

629.4.027.2

П 196

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»

На правах рукописи
УДК 629.4.027.2

ПАСТУХОВ
Михаил Иванович

**ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Гомель, 2007

Работа выполнена в УО «Белорусский государственный университет транспорта».

Научный руководитель – **Сенько Вениамин Иванович**,
доктор технических наук, профессор,
ректор УО «Белорусский государственный
университет транспорта»

Официальные оппоненты: **Сосновский Леонид Адамович**
доктор технических наук, профессор кафедры
«Строительная механика» УО «Белорусский
государственный университет транспорта»

Шилько Сергей Викторович
кандидат технических наук, заведующий
отделом «Механика адаптивных материалов
и биомеханика» ГНУ «Институт метало-
полимерных систем НАН Беларуси»

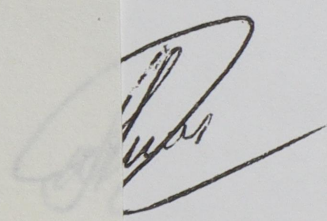
Белорусско-Российский универ-
ситет, Гомель, Беларусь

в 13.00 на заседании совета по
защите диссертаций Д 02.27.01 при
УО «Белорусский государственный
университет транспорта» по адресу:
248, e-mail: golovnich_alex@mail.ru
6653, г. Гомель, ул. Кирова, 34,
тел. (8-0232) 77-75-29, 95-21-92

в библиотеке УО «Белорусский
государственный университет транспорта»

да.

Учредитель секретарь
совета по защите диссертаций,
доктор технических наук



Головнич А. К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Работа выполнялась в соответствии с планами НИОКР Белорусской железной дороги: № 1827 В/Ю – 24 «Оценка остаточного ресурса боковых рам и надрессорных балок тележек 18-100», 01.01.97-31.12.98 и № 16 В/Ю – 966/3028 «Повышение технического ресурса кузовов и ходовых частей грузовых и пассажирских вагонов», 01.04.2003 – 30.09.2005 г.г., а также Государственной программой ориентированных фундаментальных исследований (ГПОФИ) «Надежность и безопасность» ИМИНМАШ НАН Беларуси, регистрационный № 2002468 «Разработка методики продления срока службы литых деталей транспортных систем с оценкой остаточного ресурса» 01.04.2001 – 30.11.2005 г.г.

Цель и задачи исследования

Целью работы является оценка остаточного ресурса литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) и продление срока службы тележек грузовых вагонов.

В диссертационной работе для достижения указанной цели ставились следующие основные задачи:

1. Оценка поведения боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов в эксплуатации.
2. Оценка напряженного состояния литых деталей в зависимости от условий эксплуатации и технического состояния тележек.
3. Проверка изменения механических и усталостных характеристик материала сталей литых деталей после длительной эксплуатации (30 и более лет).
4. Проверка изменения усталостных характеристик натуральных деталей от длительной эксплуатации.
5. Оценка остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов по результатам усталостных испытаний натуральных деталей.
6. Оценка остаточного ресурса литых деталей по результатам усталостных испытаний образцов.

Положения, выносимые на защиту

1. Систематизированные данные об эксплуатационных повреждениях боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов железных дорог России (около 6 млн. деталей) и Белорусской железной дороги (29078 деталей).

2. Конечно-элементные модели оценки напряженно-деформированного состояния боковых рам тележек грузовых вагонов на экстремальные нагрузки с учетом их износа в эксплуатации и результаты выполненных расчетов.

3. Результаты исследования влияния срока службы литых деталей на механические и усталостные характеристики материала и усталостные характеристики натуральных деталей.

4. Методика оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов. Сущность разработанной методики состоит в том, что остаточный ресурс (срок службы) литых деталей определяется не по коэффициенту запаса сопротивления усталости с необходимостью испытания натуральных деталей, а по результатам испытания на усталость образцов, изготовленных из деталей отработавших назначенный срок службы. В отличие от существующей методики она позволяет определять остаточный ресурс не только по зоне усталостных разрушений деталей при испытании, но и по всем зонам, в которых в эксплуатации возникают повреждения. Кроме того, новая методика в 5 раз менее трудоемка и требует в 10 раз меньше финансовых затрат.

5. Результаты оценки остаточного ресурса по существующей и предлагаемой методикам.

Личный вклад соискателя

Сбор и анализ статистического материала об эксплуатационных повреждениях литых деталей тележек грузовых вагонов по Белорусской железной дороге.

Разработка методики оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов по результатам усталостных испытаний образцов под руководством научного руководителя д.т.н., профессора В.И. Сенько.

Разработка конечно-элементной модели боковой рамы тележки типа ЦНИИ-ХЗ с учетом экстремального режима нагружения.

Участие в разработке конечно-элементной модели боковой рамы тележки модели 18-100 с коллективом сотрудников отраслевой лаборатории «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» под руководством научного руководителя.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертации докладывались на Международных научно-практических и научно-технических конференциях «Проблемы безопасности на транспорте» (г. Гомель 2002, 2003, 2005 и 2006 г.г.), «Машиностроение» (г. Минск, 2003, 2004 и 2005 г.г.), «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2004 г.), «Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин» (г. Новополоцк, 2005 г.), «Современные проблемы и эффективные пути ремонта и восстановления железнодорожного подвижного состава» (г. Киев, 2006 г.), «Подвижной состав и безопасность движения на транспорте» (г. Харьков, 2007 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 20 научных работ общим объемом 6 авт. листов, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах общим объемом 3 авт. листа (2 – единолично), 5 статей в сборниках научных работ, 4 статьи – в материалах конференций (2 – единолично), 5 – тезисы докладов конференций.

Получен патент № 6158, 26.11.1997 на изобретение «Способ и устройство для определения шероховатости поверхности».

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения, списка библиографических источников и шести приложений.

Объем диссертации – 156 страниц, иллюстраций – 57, таблиц – 37, приложений – 6 (объемом 33 страницы) и списка использованной литературы – 88 наименований. Количество публикаций автора – 20, в том числе индивидуальных – 6, патент – 1.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении показана актуальность проблемы для Белорусской железной дороги и железных дорог стран СНГ, Литвы, Латвии и Эстонии.

В первой главе приведен анализ состояния проблемы, связанной с работоспособностью литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) тележек типа ЦНИИ-ХЗ (модели 18-100) грузовых вагонов. Для этого был систематизирован материал, собранный различными организациями (ПО УВЗ, УО ВНИИЖТа, ВНИИЖТ, ПКБ ЦВ МПС Российской Федерации) и авторский, собранный по Белорусской железной дороге о повреждении литых деталей из стали 20Л по ГОСТ 977 тележек типа ЦНИИ-ХЗ постройки 1956-1973 г.г. и из конструкционных легированных сталей 20ГЛ, 20ФЛ, 20Г1ФЛ и 20ГТЛ по ГОСТ 977 тележек модели 18-100 постройки 1974-2000 г.г. Материал охватывает два блока информации: 1) о повреждении деталей, выявленных на выходном контроле при плановых ремонтах вагонов в депо; 2) о фактах служебного расследования при их разрушении в эксплуатации. Выполненные автором исследования подтвердили данные, полученные ранее в Российской Федерации, о вероятности эксплуатационных повреждений литых деталей при высоком их потенциале. В частности:

– в литых деталях при эксплуатации возникают повреждения, приводящие к отказам их в работе и выбраковке при диагностировании во время плановых ремонтов вагонов;

– в боковых рамах выявляются 9 зон эксплуатационных повреждений, а в надрессорных балках – 11;

– частота выбраковки деталей при выходном контроле в депо при плановых ремонтах вагонов от осмотренных составляет: а) при визуальном контроле боковых рам 0,0027 и надрессорных балок по нижнему поясу 0,00343, б) при физическом контроле (магнитопорошковым или феррозондовым) – 0,0047 и 0,0046 при нормируемой их вероятности 0,01;

– повреждения в виде трещин или литейные дефекты в контрольных зонах выявляются через срок службы от 2,5 лет и более без четкой закономерности о зависимости числа повреждений от срока службы, конструктивных особенностей деталей и материала, из которого они изготовлены;

– наибольшая доля повреждений (до 72%) боковых рам тележек ЦНИИ-ХЗ (18-100) приходится на наружный угол буксового проема и надбуксовый опорный пояс, напряжения в которых от номинальных эксплуатационных нагрузок не превышают 0,3 от допускаемых, что свидетельствует о том, что разрушения рам по этим зонам происходят не от нормированных эксплуатационных нагрузок, а от экстремальных.

Для выяснения причин возникновения в эксплуатации трещин в боковых рамах и надрессорных балках проанализирован материал о динамическом их нагружении в эксплуатации, который показал, что, как в деталях тележек типа ЦНИИ-ХЗ, так и в деталях тележек модели 18-100, основной тон амплитудных динамических напряжений ниже величин предела выносливости. В раме тележки ЦНИИ-ХЗ он составляет 15...20 МПа, а в тележке модели 18-100 – 8...16 МПа, соответственно в надрессорных балках этих тележек амплитудные напряжения равны 6...12 МПа и 7...10,5 МПа соответственно. Пределы выносливости по амплитудным напряжениям рам тележек ЦНИИ-ХЗ и 18-100 соответственно равны 35 и 48 МПа, а надрессорных балок – 18 и 26 МПа. То есть, при нормальной эксплуатации вагонов во время движения по магистральным железным дорогам разрушение литых деталей произойти не может.

Проблемами прочности и эксплуатационной надежности литых деталей тележек грузовых вагонов заняты крупнейшие научно-исследовательские центры Российской Федерации, Украины, Латвии и отраслевые лаборатории высших учебных заведений стран СНГ.

Большой вклад в теоретические и экспериментальные исследования внесли такие ведущие ученые в области железнодорожного транспорта как Л.А. Шадур, С.В. Вершинский, Л.Н. Никольский, А.А. Хохлов, С.Р. Дадыко, Б.Г. Кеглин, В.В. Кобищанов, Ю.П. Бороненко, А.В. Третьяков, П.Г. Проскурнев, В.С. Плоткин, Ю.И. Попов, В.И. Приходько, А.С. Битюцкий, Л.Д. Кузьмич, О.Б. Камаев, А.А. Ольшевский, Ю.М. Черкашин, Н.А. Костенко, А.Д. Кочнов, В.А. Косарев, Т.П. Северинова и др.

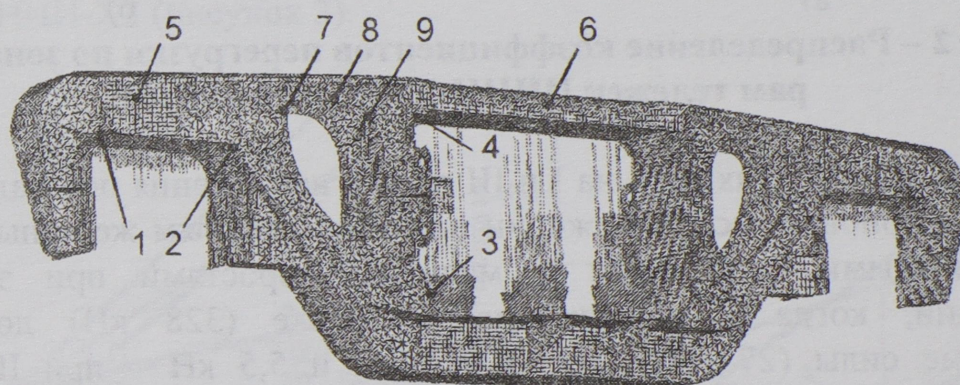
Проблема оценки остаточного ресурса литых деталей после выработки ими назначенного срока службы возникла в последние годы в связи

с проведением на железнодорожном транспорте работ по продлению срока службы грузовых вагонов. Она потребовала нового подхода к ее решению и, в частности, исследования механических и усталостных характеристик материала литых деталей и сопротивления усталости самих деталей после их длительной эксплуатации, обоснования влияния экстремальных условий нагружения, физического состояния деталей на их напряженное состояние и поиска альтернативного метода оценки их остаточного ресурса.

Существующая методика оценки остаточного ресурса по коэффициенту запаса сопротивления усталости не отвечает на все эти вопросы, а кроме того она трудоемка и дорогостояща.

Во второй главе дано обоснование причин повреждения литых деталей в эксплуатации. Для этого произведена оценка напряженного состояния боковых рам тележек типа ЦНИИ-ХЗ (черт. 61.01.108-9) и модели 18-100 (черт. 100.00.002-2) при различных режимах эксплуатации, предусмотренных «Нормами», а также при экстремальном нагружении, возникающем во время прохождения вагоном сортировочной горки с предельным износом челюсти рамы и корпуса буксы, когда возникает максимальный перекосящий момент колесной пары в тележке с кромочной передачей продольной нагрузки на наружную плоскость челюсти рамы. Рассмотрено влияние литейных дефектов на напряженное состояние рам в экстремальных случаях нагружения и предельном физическом состоянии.

Расчет на осевую нагрузку $P_o = 230,5$ кН (23,5 тс) выполнен методом конечных элементов (рисунок 1).



1...9 – зоны эксплуатационных повреждений рам

Рисунок 1 – Расчетная схема боковой рамы тележки 18-100

Для оценки общего закона распределения напряжений по зонам рам, исследования выполнены вначале только на вертикальные нагрузки, которые показали, что наибольшие напряжения в рамах возникают во внутренних углах буксовых проемов (зона 2) и в нижних углах рессорных проемов (зона 3).

Коэффициенты перегрузки в этих зонах рам (черт. 61.01.108-9) тележек ЦНИИ-ХЗ от вертикальной нагрузки 328 кН (33,4 тс) составляют соответственно – 0,48 и 0,38, а в рамах (черт. 100.00.002-2) тележек 18-100 – 0,5 и 0,41. В наружных углах буксовых проемов (зона 1) коэффициенты перегрузок рам этих тележек равны 0,02 и 0,037, а в надпорных поясах (зона 5) – 0,25 и 0,21 (рисунок 2). То есть доля повреждений по ним (0,32 и 0,40) совершенно не соответствует их напряженным состояниям от вертикальной нагрузки. Тем самым констатируется, что вертикальная нагрузка при нормальной эксплуатации вагона при его движении по магистральным железным дорогам не может вызвать тех повреждений, которые зафиксированы в эксплуатации.

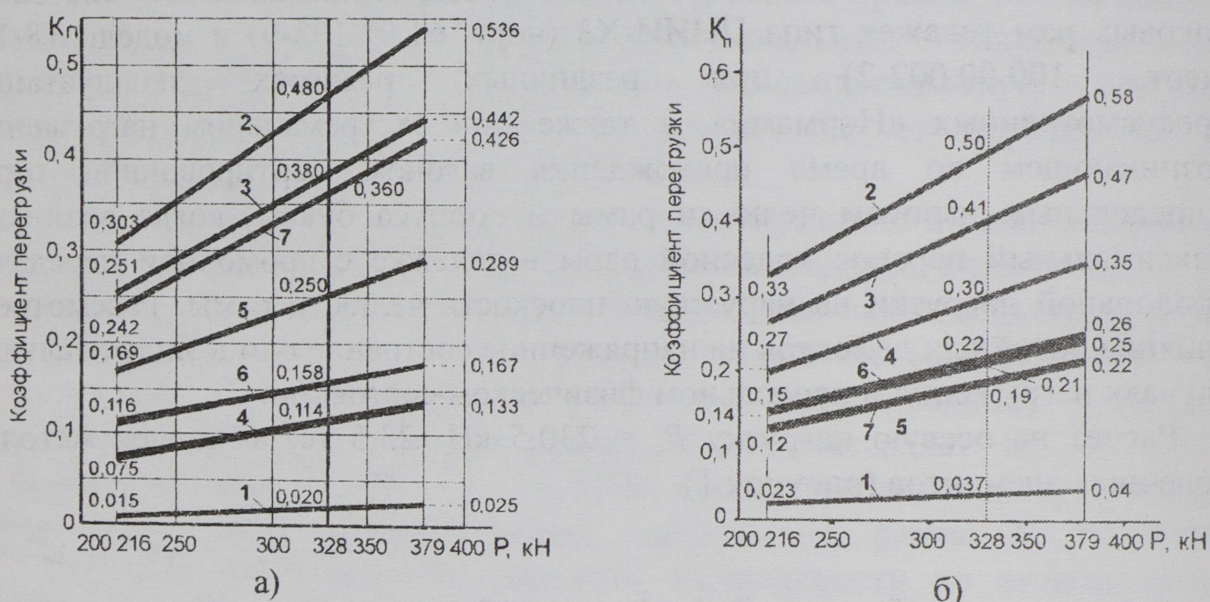


Рисунок 2 – Распределение коэффициентов перегрузки по зонам (1...7) рам тележек ЦНИИ-ХЗ (а) и 18-100 (б)

Исследования обеих рам на I и III режим нагружения показали, что при трогании вагонов с места, движении по магистральным железным дорогам с максимальными скоростями и малыми скоростями при экстренном торможении, когда к вертикальной нагрузке (328 кН) добавляются продольные силы (27 кН – при I режиме и 5,5 кН – при III режиме) и передаются на челюсти рамы равномерно, законы распределения напряжений сохраняются. Максимальные напряжения возникают во внутренних углах буксовых проемов (зона 2) и составляют: в раме (черт. 61.01.108-9) 0,67 от допускаемых 183 МПа (I режима) и 0,83 от допускаемых 130 МПа (III режима) для стали 20Л, а в раме (черт. 100.00.002-2) соответственно 0,60 от допускаемых 267 МПа (I режима) и 0,94 от допускаемых 150 МПа (III режима) для стали 20Г1ФЛ. То есть при движении вагона по магистральным железным дорогам

напряжения в рамах не превышают допустимых и рамы, при этих режимах работы вагонов, разрушаться не могут.

Однако в эксплуатации могут возникать экстремальные режимы нагружения рам тележек, когда вагон проходит вагонный замедлитель с малой скоростью (до 5 км/ч) или когда заторможенный вагон «срывается» с замедлителей. В этих случаях продольная нагрузка на раму может возрасти с 27 до 135 кН. Для проверки влияния изменения продольной силы на напряженное состояние рам, смоделированы две расчетные схемы для движения вагонов по сортировочной горке: с равномерной передачей нагрузки от корпуса буксы на наружную поверхность челюсти рамы и с неравномерной (кромочной) передачей нагрузки, которая возникает при предельном перекосе колесных пар в тележке.

Расчет рам на постоянную вертикальную нагрузку и изменяющиеся продольные силы показал, что закон распределения напряжений в рамах резко меняется. Максимальные напряжения из внутреннего угла буксового проема (зона 2) перемещается в наружный угол буксового проема (зона 1) и на опорный пояс рамы (зона 5), что полностью согласуется с законом распределения эксплуатационных повреждений рам. Коэффициенты перегрузки возрастают в зоне 1 рам тележек ЦНИИ-ХЗ с 0,50 (при продольной силе 30 кН) до 1,0 (при продольной силе 55 кН), а в зоне 5 – соответственно с 0,55 до 0,90, а в рамах тележек 18-100 соответственно с 0,30 (при продольной силе 30 кН) до 1,0 (при продольной силе 92 кН) и с 0,039 до 0,45 (в зоне 5). То есть зона 1 в этом режиме нагружения в обеих рамах является рискованной, а зона 5 осталась рискованной только в рамах тележек ЦНИИ-ХЗ (рисунок 3).

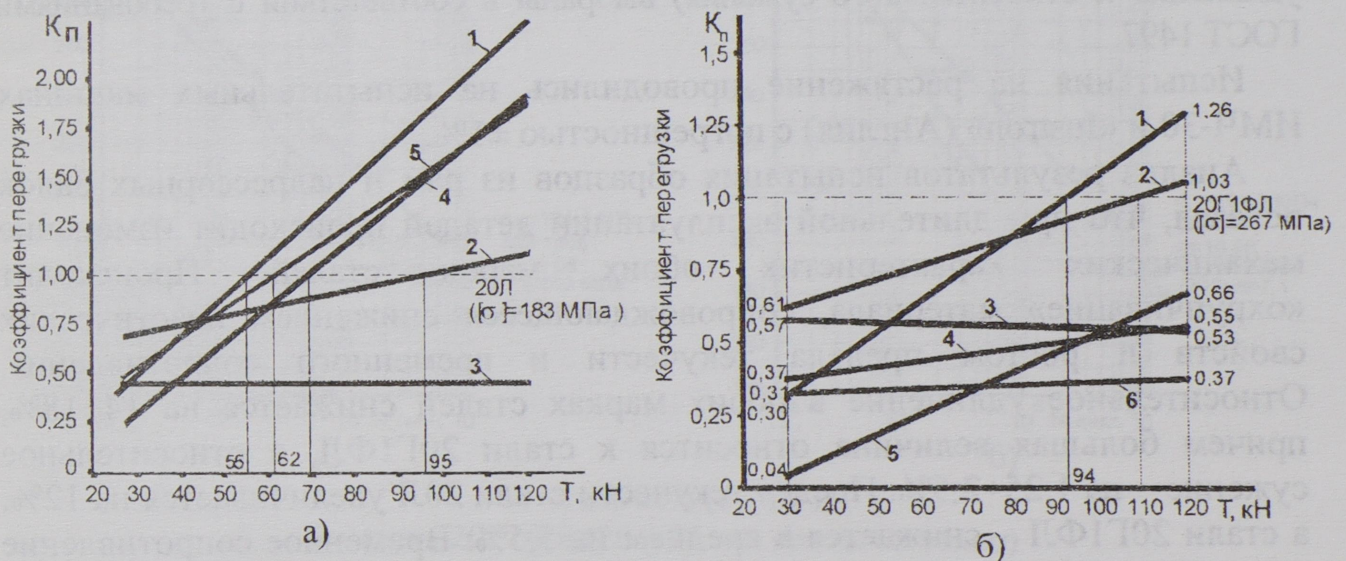


Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов перегрузки по зонам (1...5) рам тележек ЦНИИ-ХЗ (а) и 18-100 (б) от продольной нагрузки при постоянной вертикальной силе $P = 328$ кН

Напряжения в буксовом проеме рамы возрастают на 14%, если продольная нагрузка передается на наружную поверхность челюсти кромочно, что бывает при предельном износе сопряжения рама-букса (при суммарных продольных зазорах 29 мм и более и поперечных 20 мм).

Таким образом, моделирование реальных эксплуатационных режимов нагружения рам, экстремального физического их состояния (износа) и влияния литейных дефектов позволило установить причины появления высоких напряжений в тех зонах рам, в которых в эксплуатации наиболее часто возникают трещины. Этими причинами являются неблагоприятное сочетание экстремальных продольных нагрузок, возникающих при пропуске вагонов через вагонные замедлители на сортировочных горках при маневровой работе, с предельными износами узла букса-рама, перекосом букс в челюсти рам и кромочной передаче продольной нагрузки, а также возможным появлением в опасных зонах литейных дефектов.

В третьей главе исследован вопрос влияния времени эксплуатации литых деталей на изменение механических и усталостных характеристик их материала для двух поколений деталей: 1) изготовленных из углеродистой стали 20Л; 2) изготовленных из конструкционной легированной стали 20Г1ФЛ (ГОСТ 977). Образцы для механических и усталостных испытаний изготавливались из литых деталей, отработавших 30 лет, из зон их наиболее интенсивного нагружения. В рамах – из опорного надбуксового пояса и нижнего пояса рессорного проема, а в наддресорных балках – из нижнего пояса.

Тип образцов и методика испытаний для получения механических характеристик (предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения и относительного сужения) выбраны в соответствии с требованиями ГОСТ 1497.

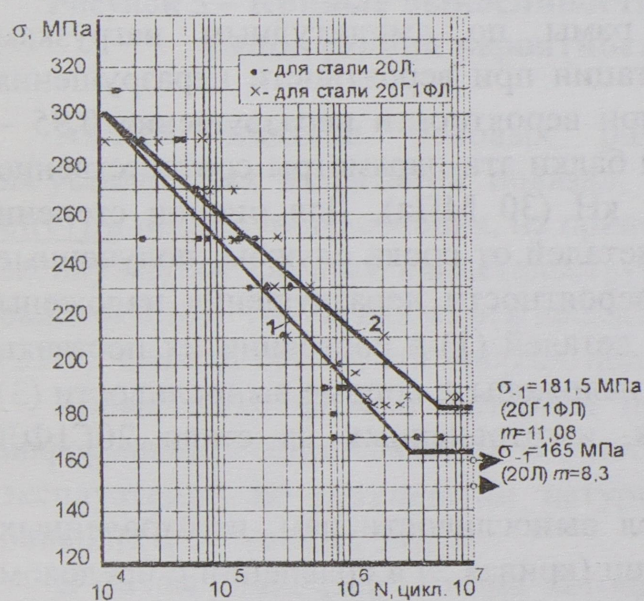
Испытания на растяжение проводились на испытательных машинах ИМЧ-30 и «Iustron» (Англия) с погрешностью $\pm 1\%$.

Анализ результатов испытания образцов из рам и наддресорных балок показал, что при длительной эксплуатации деталей происходит изменение механических характеристик обеих марок сталей. Происходит «охрупчивание» материала, сопровождающееся снижением пластических свойств и ростом предела текучести и временного сопротивления. Относительное удлинение в обеих марках сталей снижается на 14÷18%, причем большая величина относится к стали 20Г1ФЛ, а относительное сужение – на 1,25÷2,5%. Предел текучести стали 20Л увеличивается на 12%, а стали 20Г1ФЛ – снижается в среднем на 5,5%. Временное сопротивление обеих сталей возрастает: стали 20Л – на 6,5%, а стали 20Г1ФЛ – на 3,25%. Исследование влияния срока службы литых деталей на изменение характеристик сопротивления усталости материала при действии циклических динамических нагрузок проводилось на образцах,

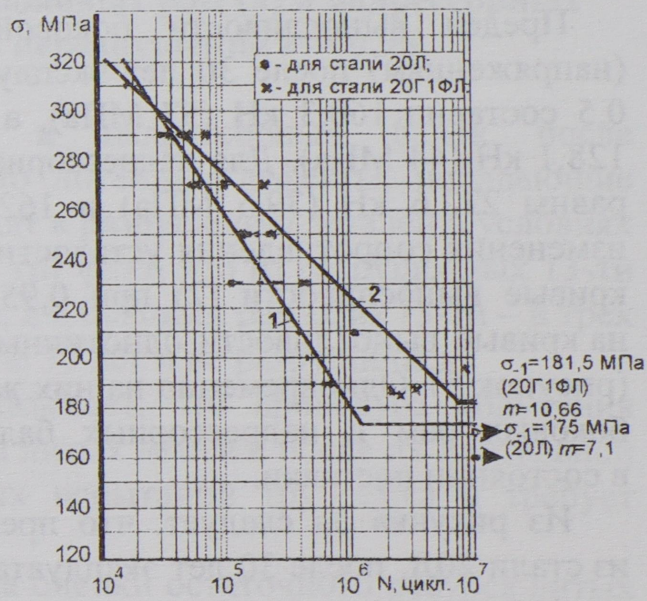
изготовленных из тех же деталей, что и исследования по оценке механических характеристик материала. В качестве основных характеристик сопротивления усталости определялись: предел выносливости при симметричном цикле нагружения и показатель наклона левой ветви кривой выносливости. Испытания образцов производились на машине УКИ-6000-2 с вращением при консольном изгибе. Форма образцов цилиндрическая. Методика испытания принята в соответствии с требованиями ГОСТ 25.502. Базовое число циклов при определении предела выносливости принято 10^7 циклов. Частота нагружения образцов 50 Гц. Число образцов при определении предела выносливости для каждой из марок сталей – не менее 20. По результатам испытаний построены кривые выносливости для образцов из стали 20Л и 20Г1ФЛ изготовленных из наддресорных балок и боковых рам (рисунок 4).

Анализ результатов усталостных испытаний показывает, что предел выносливости материала из стали 20Л после длительной эксплуатации деталей практически не изменяется. Предел выносливости образцов из наддресорной балки остался равным 165 МПа, как и в состоянии поставки (нового материала), а из боковой рамы – возрос со 165 до 175 МПа (на 6%).

Пределы выносливости образцов из наддресорной балки и боковой рамы из стали 20Г1ФЛ оказались на 9% ниже пределов выносливости этого материала в состоянии поставки. Снижение произошло с 200 до 181,5 МПа.



а)



б)

1 - сталь 20Л (30 лет);

2 - сталь 20Г1ФЛ (26 и 25 лет соответственно)

Рисунок 4 - Кривые выносливости образцов из наддресорных балок (а) и боковых рам (б) после длительной эксплуатации

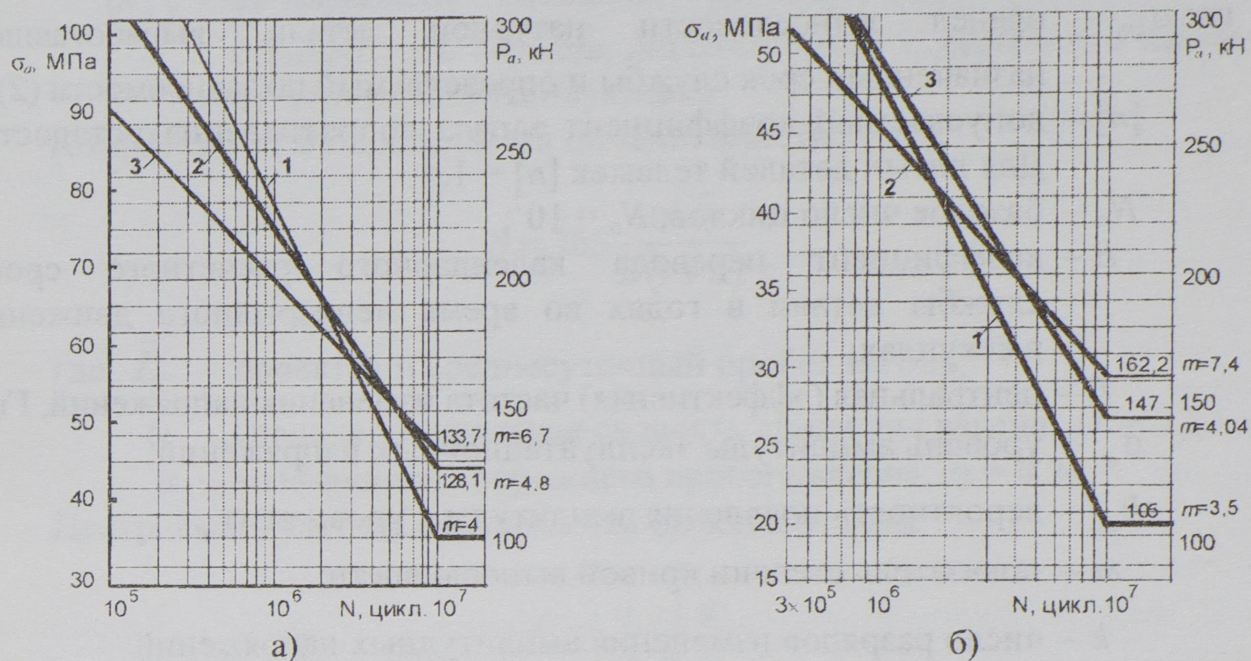
В ходе испытания выявилось, что у 23% образцов в изломах оказались литейные дефекты, вследствие чего разрушения их происходили не по сечению действия максимальных напряжений, а по сечению залегания дефектов. При построении кривых выносливости дефектные образцы из обработки изымались.

В четвертой главе произведена проверка влияния длительной эксплуатации боковых рам и надрессорных балок на изменение их сопротивления усталости. Для этого были отобраны детали, изготовленные из стали 20Л после их 30-летней эксплуатации и испытаны на усталость на машине ЦДМ-200 при постоянной средней и изменяющихся амплитудных нагрузках при частоте нагружения 300 циклов в минуту (5 Гц). Боковые рамы испытаны при постоянной средней нагрузке $P_m = 343$ кН (35 тс), а надрессорные балки – при $P_m = 441$ кН (45 тс). Для построения кривых выносливости испытано по 14 деталей каждого из наименований. Испытания и обработка результатов выполнены по типовой «Методике испытаний на усталость» ГосВНИИВа – ВНИИЖТа Российской Федерации. Пределы выносливости рам и надрессорных балок найдены для вероятностей неразрушения 0,5 и 0,95 и сопоставлены с пределами выносливости аналогичных деталей, полученных в состоянии поставки (новых). После разрушения деталей в изломах фиксировались литейные дефекты: их величины и места расположения по отношению к поверхности детали.

Предел выносливости боковой рамы по амплитудным нагрузкам (напряжениям) после 30 лет эксплуатации при вероятности неразрушения 0,5 составил 160,3 кН (57 МПа), а при вероятности неразрушения 0,95 – 128,1 кН (44 МПа). Для надрессорной балки эти параметры соответственно равны 222,6 кН (39,5 МПа) и 162,2 кН (30 МПа). Для оценки степени изменения сопротивления усталости деталей от срока службы, полученные кривые выносливости (2) при 0,95 вероятности неразрушения наложены на кривые выносливости однотипных деталей (1) в состоянии их поставки (рисунок 5). Одновременно на них же наложены и кривые выносливости (3) боковых рам и надрессорных балок, изготовленных из стали 20Г1ФЛ в состоянии поставки.

Из рисунка 5а следует, что предел выносливости рам, изготовленных из стали 20Л, после 30 лет эксплуатации (кривая 2) в сравнении с пределом выносливости в состоянии поставки (кривая 1) при вероятности неразрушения $P = 0,95$ повысился от 100 до 128,1 кН (на 28%). Аналогично предел выносливости надрессорной балки повысился от 105 до 162,2 кН (на 54%), (рисунок 5б). Объясняется это тем, что при воздействии на деталь кратковременных и редко действующих эксплуатационных нагрузок, приближающихся по величине к пределу текучести, происходит упрочнение детали, сопровождающееся увеличением предела выносливости.

Следовательно, потенциал по несущей способности остающихся в эксплуатации литых деталей после выбраковки их неразрушающими методами контроля за назначенный срок их службы не только не снижается, но и возрастает.



1 – после изготовления, сталь 20Л;

2 – после 30 лет эксплуатации, сталь 20Л; 3 – после изготовления, сталь 20Г1ФЛ

Рисунок 5 – Кривые выносливости боковых рам (а) и надрессорных балок (б) при вероятности неразрушения $P = 0,95$

Анализ изломов боковых рам и надрессорных балок после их усталостных испытаний показал, что литейные дефекты, попадающие внутрь поперечного сечения, не приводят к разрушению деталей в условиях эксплуатации. Об этом свидетельствует тот факт, что из разрушенных 13-ти балок в шести (46%) оказались дефекты, а в боковых рамах из 13-ти – в трех (23%). Однако детали эти проработали по 30 лет и не разрушились.

Кроме того, данный материал показывает, что процедура получения информации о сопротивлении усталости литых деталей после их длительной эксплуатации по результатам натурных испытаний трудоемка и требует больших финансовых затрат.

В пятой главе разработана методика оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов.

Суть ее заключается в том, что остаточный ресурс литых деталей определяется не по результатам усталостных испытаний натурных деталей, а образцов, изготовленных из деталей выработавших назначенный срок службы.

По результатам выполненных автором исследований остаточный ресурс литых деталей предлагается определять по зависимости

$$T_0 = \frac{\left(\frac{\sigma_{aNt}}{[n]} \right)^m \cdot N_0}{B \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^k \sigma_{ai}^m \cdot P_{ai}}, \quad (1)$$

где σ_{aNt} – предел выносливости натурной детали, выработавшей назначенный срок службы и определяемый по зависимости (2);

$[n]$ – допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости.

Для литых деталей тележек $[n] = 1,4$;

N_0 – базовое число циклов, $N_0 = 10^7$;

B – коэффициент перевода календарного расчетного срока службы детали в годах во время непрерывного движения в секундах;

f_3 – центральная (эффективная) частота изменения напряжений, Гц,

σ_{ai} – уровень амплитуды эксплуатационных напряжений;

P_{ai} – вероятность появления амплитуды с уровнем σ_{ai} ;

m – показатель степени кривой выносливости;

k – число разрядов изменения амплитудных напряжений.

Предел выносливости натурной детали, выработавшей назначенный срок службы при вероятности неразрушения 0,95 определяется по зависимости

$$\sigma_{aNt} = \bar{\sigma}_{aNt} (1 - z_p v_{\sigma aN}), \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_{aNt}$ – предел выносливости детали при вероятности неразрушения 0,5;

z_p – квантиль распределения, соответствующий вероятности P ,

полагая, что σ_{aNt} – случайная величина, имеющая нормальный закон распределения, для основных несущих деталей $P = 0,95$

и $z_p = 1,645$;

$v_{\sigma aN}$ – коэффициент вариации предела выносливости детали, для стальных отливок $v_{\sigma aN} = 0,1$.

Предел выносливости детали при вероятности неразрушения 0,5 определяется по зависимости

$$\bar{\sigma}_{aNt} = \frac{\bar{\sigma}_{-1t}}{[K_\sigma]}, \quad (3)$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее (медианное) значение предела выносливости гладкого стандартного образца из материала детали, изъятый из эксплуатации после выработки назначенного срока службы при симметричном цикле изгиба на базе N_0 ;

$[K_\sigma]$ – коэффициент снижения предела выносливости гладкого стандартного образца, определяемого с учетом его изменения от длительной эксплуатации.

Коэффициент B определяется по зависимости

$$B = 365 \frac{10^3 \bar{L}_C}{\bar{v}(1 + \alpha)}, \quad (4)$$

где \bar{L}_C – проектный среднесуточный пробег вагона;

\bar{v} – средняя техническая скорость движения вагона, $\bar{v} = 22,4$ м/с;

α – коэффициент порожнего пробега вагона, $\alpha = 0,34$.

Центральная частота определяется по зависимости

$$f_3 = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{ст}}}, \quad (5)$$

где a – коэффициент, равный: для обрессоренных частей тележки

$a = 1,6$ и $a = 2,0$ для необрессоренных частей тележки;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$f_{ст}$ – статический прогиб рессорного подвешивания, $f_{ст} = 0,05$ м.

Показатель степени кривой выносливости находят по формуле

$$m = \frac{A}{[K_\sigma]}, \quad (6)$$

где $A = 16$ – для малоуглеродистых сталей, $A = 18$ – для низколегированных сталей.

Предлагаемый метод апробирован на двух марках сталей (20Л и 20Г1ФЛ), на двух деталях (боковых рамах и надрессорных балках) и показал хорошие результаты. Остаточный срок службы боковых рам из стали 20Л составил 25,9 лет, а надрессорных балок – 12,5 лет. Для этих же деталей, выполненных из стали 20Г1ФЛ, остаточные сроки службы составили соответственно 39,4 и 21,8 лет. Разница в величинах остаточного срока службы, найденных по методике ГосНИИВ, по результатам натурных испытаний деталей и по предложенной методике по результатам испытания образцов, составила для боковых рам – 4%, а для надрессорных балок – 3%. Однако затраты и трудоемкость получения результатов по существующей

методике в 10 раз превышают затраты и в 5 раз – трудоемкость, в сравнении с предлагаемой методикой.

В шестой главе представлен расчет экономической эффективности от продления срока службы литых деталей тележек грузовых вагонов на Белорусской железной дороге.

Расчет показал, что вследствие сокращения закупок рам и надрессорных балок из стали 20Л при продлении их срока службы на 6 лет, разовая экономия финансовых средств по дороге составляет 6 млн. у.е., а из стали 20 Г1ФЛ при продлении срока службы деталей на 3 года – 6,62 млн. у.е. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

– 1. Литые детали (боковые рамы и надрессорные балки), тележек ЦНИИ-ХЗ и модели 18-100 грузовых вагонов не вырабатывают технического ресурса ко времени назначенного срока службы. Об этом свидетельствуют результаты проведенных исследований по оценке эксплуатационных повреждений литых деталей тележек грузовых вагонов. Вероятность появления усталостных трещин в деталях ниже нормируемой величины 0,01 и составляет – 0,0046 для боковых рам и – 0,0047 для надрессорных балок [2], [3], [8], [9], [16], [18].

2. Исследования напряженно-деформированного состояния боковых рам тележек типа ЦНИИ-ХЗ и модели 18-100 показали, что причиной их повреждений в эксплуатации является неблагоприятное сочетание экстремальных нагрузок на детали с предельным износом узлов сопряжения букса – рама, фрикционный клин – надрессорная балка и концентрацией литейных дефектов в зонах высоких напряжений деталей. Экстремальные нагрузки на раму и надрессорную балку передаются при роспуске вагонов на сортировочных горках при маневровой работе, когда вагон входит на вагонный замедлитель с малой скоростью (≤ 5 км/ч) или при трогании вагона заторможенного замедлителем. В этом режиме продольные нагрузки на раму возрастают от 27 до 135 кН и более и вызывают рост напряжений в буксовом проеме рамы в 1,6...1,8 раза, которые превышают допускаемые значения. При износе сопряжения букса – рама, приближающемся к предельному (29 мм вдоль тележки и 20 мм – поперек) происходит забегание одной рамы относительно другой на 50 мм, перекося корпуса буксы в горизонтальной плоскости на 0,025 рад и рост напряжений в зонах разрушения боковых рам на 14%. При попадании в опасные зоны ($\sigma=(0,75\div 0,95)[\sigma]$) деталей скрытых литейных дефектов (на глубину до 5 мм от поверхности) напряжения в них возрастают на 25÷30 % [2], [3], [4], [6], [8], [9], [11], [13], [19].

3. Проведенные автором исследования показали, что при длительной эксплуатации (30 лет и более) происходят изменения механических и усталостных характеристик материала литых деталей и усталостных характеристик самих деталей. У стали 20Л предел текучести и временное сопротивление возрастают соответственно на 12 и 6,5%, а относительное удлинение и относительное сужение снижаются на 14,5 и 2,5%. У стали 20Г1ФЛ предел текучести снижается на 5,5%, а временное сопротивление возрастает на 3,25%. Относительное удлинение и относительное сужение снижаются соответственно на 18,25 и 1,25%.

Впервые автором установлено, что после длительной эксплуатации сопротивление усталости стали 20Л практически не изменяется, а стали 20Г1ФЛ снижается на 9% [10], [12].

Сопротивление усталости натуральных деталей после длительной эксплуатации не снижается, а возрастает по сравнению с состоянием поставок (новых). Предел выносливости боковых рам (из стали 20Л) увеличивается на 28%, а надрессорных балок на 54%, что является следствием упрочнения деталей кратковременными разовыми перегрузками [2], [11].

4. Существующая методика оценки остаточного ресурса литых деталей неэффективна, так как требует дорогостоящих и трудоемких натуральных испытаний деталей на усталость, и не отражает реального процесса разрушения в эксплуатации [1], [5], [14], [15].

Предлагаемая методика оценки остаточного ресурса литых деталей в отличие от существующей основана на усталостных испытаниях образцов, изготавливаемых из деталей, выработавших назначенный срок службы. Данная методика позволяет определять остаточный ресурс детали не только по зоне усталостных разрушений при ее испытаниях, но и системно по всем зонам, в которых в эксплуатации возникают повреждения. Кроме того, новая методика требует в 10 раз меньше финансовых затрат и в 5 раз меньше времени на получение результата [3], [4], [5], [6]. Акт приемки научно-исследовательской работы по заданию 12.2 ГПОФИ НАН РБ – пр. №16 от 30.11.2005 г.

5. Остаточные ресурсы литых деталей из стали 20Л, найденные по результатам исследований натуральных деталей и образцов, различаются не более чем на 4%, что свидетельствует об их высокой сходимости и составляют соответственно:

- боковых рам – 27 лет и 25,9 года;
- надрессорных балок – 12,9 и 12,5 года [3].

Остаточные ресурсы литых деталей из стали 20Г1ФЛ, найденные по результатам исследований образцов, составляют соответственно:

- боковых рам – 39,4 года;
- надрессорных балок – 31,5 года [5].

6. Для повышения качества контроля над изготовлением деталей тележек получен патент № 6158 на изобретение «Способ и устройство для определения шероховатости поверхности» (дата начала действия 1997.11.26).

Рекомендации по практическому использованию результатов

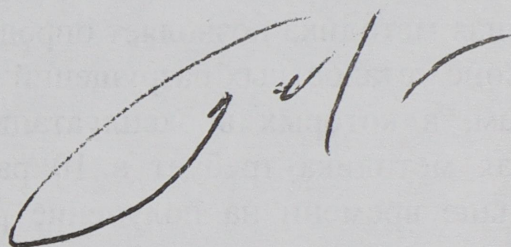
Результаты проведенных исследований были вынесены в виде рекомендаций по продлению срока службы литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) тележек грузовых вагонов в Комиссию Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций стран СНГ, Латвии, Литвы и Эстонии: деталей из стали 20Л – на 10 лет, а из сталей 20ГЛ, 20ФЛ, 20Г1ФЛ, 20ГТЛ – на 15 лет.

Комиссия Совета приняла решение:

– продлить срок службы боковых рам и надрессорных балок, изготовленных из углеродистой стали 20Л, тележек типа ЦНИИ-ХЗ – на 6 лет (пр. № 18-06-02-01/4486 от 17.04.2002 г., г. Москва);

– продлить срок службы боковых рам и надрессорных балок, изготовленных из низколегированных сталей 20ГЛ, 20ФЛ, 20Г1ФЛ, 20ГТЛ ГОСТ 977, тележек модели 18-100 – на 3 года (пр. 19-21.03.2007 г., г. Астана).

Решение Комиссии Совета о продлении срока службы литых деталей реализовано на Белорусской железной дороге – пр. № Н306/180А от 12.04.2007 г.



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в журналах

1 Сенько, В.И. Оценка влияния эксплуатационных факторов на усталостную прочность литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 1. – С. 4-8.

2 Пастухов, М.И. Оценка несущей способности литых деталей тележек грузовых вагонов после длительной эксплуатации / М.И.Пастухов // Весн. ПГУ. – 2005. – № 12. – С. 160-163.

3 Сенько, В.И. Итоги комплексной оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Весн. БелГУТа. – 2006. – № 1 – 2. – С. 5-10.

4 Пастухов, М.И. Рациональное использование литых деталей тележек грузовых вагонов / М.И.Пастухов // Весн. БелГУТа. – 2006. – № 1 – 2. – С. 21-25.

5 Сенько, В.И. Оценка остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов по результатам испытаний образцов на выносливость / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Вісн. ДНУЗТ. – 2007. – № 15. – С. 126-130.

6 Сенько, В.И. Способ оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Весн. БелГУТа. – 2007. – № 1 – 2. – С. 100-104.

Статьи в сборниках

7 Сенько, В.И. Анализ причин эксплуатационных повреждений литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр., Минск, 26–27 мая 2003г. / БНТУ. – Мн., 2003. – Вып. 19. – С. 547-552.

8 Сенько, В.И. Пути предупреждения эксплуатационных повреждений и продления срока службы литых деталей тележек модели 18-100 грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр., Минск, 5–6 мая 2004г. / БНТУ. – Мн., 2004. – Вып. 20. – Т. 2. – С. 238-244.

9 Сенько, В.И. Об усилении контроля за литыми деталями тележек грузовых вагонов при изготовлении и плановых видах ремонта / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр., Минск, 26–27 нояб. 2004г. / БНТУ. – Мн., 2004. – Вып. 2. – Т. 2. – С. 13-16.

10 Сенько, В.И. К оценке влияния срока службы вагонов на изменение характеристик сталей литых деталей / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр., Минск, 23–27 мая 2005г. / БНТУ. – Мн., 2005. – Вып. 21. – Т. 2. – С. 73-76.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БЕЛГУТА

11 Сенько, В.И. О полном использовании технического ресурса литых деталей тележек модели 18-100 / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Збірник наукових праць. Рухомий склад та безпека руху на транспорті, Харків, 17-19.04.2007 / УкрГАЗТ. – Харків. – Вып. 82. – С. 77-83

Материалы конференций

12 Пастухов, М.И. Исследование характеристик усталостной прочности материала литых деталей тележек грузовых вагонов после длительной эксплуатации / М.И.Пастухов // Безопасность движения поездов: тр. V научно-практ. конф. Москва, 4–5 нояб. 2004г. – М., 2004. – С.23-24.

13 Сенько, В.И. Оценка влияния перекоса колесных пар на напряженное состояние боковых рам тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Подвижной состав жел. дор. транспорта: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 4–5 нояб. 2004г. / БелГУТ. – Гомель, 2004. – С. 77-80.

14 Пастухов, М.И. Оценка остаточного срока службы литых деталей из конструкционных легированных сталей / М.И.Пастухов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 27–28 окт. 2005г. – Гомель, 2005. – С. 86-87.

15 Сенько, В.И. К вопросу определения коэффициента сопротивления усталости литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27–28 окт. 2005г. / БелГУТ. – Гомель, 2005. – С. 77-79.

Тезисы докладов

16 Пастухов, М.И. Неразрушающий контроль литых деталей тележек грузовых вагонов как путь полной реализации технического ресурса / М.И.Пастухов, В.А.Кравцов // Проблемы безопасности на транспорте: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 17–18 окт. 2002г.– Гомель, 2002. – С. 84-86.

17 Сенько, В.И. К методике оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Проблемы безопасности на транспорте: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 17–18 окт. 2002г. / БелГУТ. – Гомель, 2002. – С. 91-93.

18 Пастухов, М.И. Анализ статистического материала о неразрушающем контроле литых деталей тележек грузовых вагонов / М.И.Пастухов // Проблемы и перспективы транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 24–26 окт. 2003г. – Гомель, 2003. – С. 36-39.

19 Сенько, В.И. Анализ влияния напряженного состояния рам тележек грузовых вагонов на эксплуатационные нагрузки / В.И.Сенько,

И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Проблемы и перспективы транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–26 окт. 2003г. / БелГУТ. – Гомель, 2003. – С. 52-54.

20 Сенько, В.И. Оценка остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов по результатам испытаний образцов на выносливость / В.И.Сенько, И.Ф.Пастухов, М.И.Пастухов // Современные проблемы и эффективные пути ремонта и восстановления железнодорожного подвижного состава: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Киев, 18-19 мая 2006 / Киевгипротранс. – Киев, 2006. – С. 11-12.

Патенты

21 Способ и устройство для определения шероховатости поверхности: пат. 6158 Респ. Беларусь, МПК G 01 B 11/30 / М.И.Пастухов, В.И.Кондратенко, Е.Л.Тихова, В.В.Сытько; заявитель Гомельск. гос. ун-т. – № 970648; заявл. 26.11.97; опубл. 30.06.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 2. – С. 214-215.

РЭЗЬЮМЭ

Пастухоў Міхаіл Іванавіч

Рэшткавы рэсурс літых дэталёў цялежак грузавых вагонаў

Ключавыя словы: грузавы вагон, цялежка, літыя дэталі, пашкоджанне, напружана-дэфармаваны стан, метад канчатковых элементаў, тэрмін службы, трываласць, супраціўленне стомленасці, рэсурс, метад ацэнкі рэшткавага рэсурсу, эфектыўнасць.

Аб'ект даследавання – літыя дэталі цялежак грузавых вагонаў. Прадмет даследавання – рэшткавы рэсурс літых дэталёў.

Мэтай працы з'яўляецца ацэнка рэшткавага рэсурсу літых дэталёў (бакавых рам і надрэсорных балак) і працяг тэрміна службы цялежак грузавых вагонаў.

Дадзен аналіз тэхнічнага стану літых дэталёў цялежак грузавых вагонаў у эксплуатацыі, на аснове якога знойдзена верагоднасць адказу дэталёў.

Выкананы разлікі на трываласць бакавых рам цялежак тыпу ЦНІІ-ХЗ і мадэлі 18-100 метадам канчатковых элементаў на нарматыўныя і экстрэмальныя рэжымы нагружэння з улікам іх фізічнага стану, якія дазволілі ўстанавіць прычыны эксплуатацыйных пашкоджанняў рам.

Даследаваны ўплыў тэрміна службы на змену механічных і стомленасных характарыстык матэрыялу літых дэталёў. Знойдзены характарыстыкі супраціўлення стомленасці бакавых рам і надрэсорных балак пасля адпрацоўкі імі прызначанага тэрміна службы ў 30 гадоў.

Распрацавана новая, больш эфектыўная метадыка ацэнкі рэшткавага рэсурсу літых дэталёў па выніках выпрабавання ўзораў на супраціўленне стомленасці, вырабленых з дэталёў, выпрацаваўшых прызначаны тэрмін службы.

Вынікі даследаванняў дазволілі падоўжыць тэрмін службы літых дэталёў цялежак грузавых вагонаў на Беларускай чыгунцы звыш прызначанага на 6 гадоў, што дало эканомію больш за 6 млн. у.а. цялежак тыпу ЦНІІ-ХЗ і на 3 гады цялежак мадэлі 18-100, што дало разавую эканомію адпаведна больш за 6 млн. у.а. для першых тыпаў цялежак і гадавую эканомію ў 6,62 млн. у.а. – для другіх.

РЕЗЮМЕ

Пастухов Михаил Иванович

Остаточный ресурс литых деталей тележек грузовых вагонов

Ключевые слова: грузовой вагон, тележка, литые детали, повреждение, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, срок службы, прочность, сопротивление усталости, ресурс, метод оценки остаточного ресурса, эффективность.

Объект исследования – литые детали тележек грузовых вагонов. Предмет исследования – остаточный ресурс литых деталей.

Целью работы является оценка остаточного ресурса литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) и продление срока службы тележек грузовых вагонов.

Дан анализ технического состояния литых деталей тележек грузовых вагонов в эксплуатации, на основе которого найдена вероятность отказа деталей.

Выполнены расчеты на прочность боковых рам тележек типа ЦНИИ-ХЗ и модели 18-100 методом конечных элементов на нормативные и экстремальные режимы нагружения с учетом их физического состояния, позволившие установить причины эксплуатационных повреждений рам.

Исследовано влияние срока службы на изменение механических и усталостных характеристик материала литых деталей. Найдены характеристики сопротивления усталости боковых рам и надрессорных балок после отработки ими назначенного срока службы в 30 лет.

Разработана новая, более эффективная методика оценки остаточного ресурса литых деталей по результатам испытания образцов на сопротивление усталости, изготовленных из деталей, выработавших назначенный срок службы.

Результаты исследований позволили продлить срок службы литых деталей тележек грузовых вагонов на Белорусской железной дороге сверх назначенного на 6 лет тележек типа ЦНИИ-ХЗ и на 3 года тележек модели 18-100, что дало разовую экономию соответственно более 6 млн. у.е. для первых типов тележек и годовую экономию 6,62 млн. у.е. – для вторых.

RESUME

Pastukhov Mikhail Ivanovich

Residual resource of cast details of carriages of freight cars bogies

Key words: freight car, bogies, cast details, damage, stressed deformed state, final elements method, service life, strength, fatigue resistance, resource, method of residual resource estimation, efficiency.

The object of research is cast details of freight car bogies. The subject of research is residual resource of cast details.

The aim of the work is estimation of residual resource of cast details (lateral frames and over spring beams) and prolongation of freight car bogies service life.

It is given the analysis of cast details freight cars bogies under exploitation on the basis of which the probability of details failure was determined.

The were made durability calculations of lateral frames of bogies of CNII-H3 and model 18-100 type by the final elements method on standart and extremal loads taking into account their physical condition which allowed to determine the reasons of frames operational damages.

It was investigated the influence of service life on the change of mechanical and fatigue characteristics of cast details material. Characteristics of resistance to fatigue of lateral frames and over spring beams after specified 30 year service life ware found.

A new more effective method of estimation of cast details residual resource according to the results of tests on resistance to fatigue performed on the samples made from elements which worked out their specified service life.

The results of investigation allowed to prolong the service life of freight car bogies cast details on the Belorussian Railway by 6 years over specified term for bogies of CNII-H3 type and by 3 years for model 18-100 type bogies, that gives single economy of more than 6 million c.u. for the 1st bogies type and of 6,62 million c.u. for the second.

Научное издание

ПАСТУХОВ Михаил Иванович

**ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.11.07 г. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Печатных листов 1,5. Тираж 100 экз. Зак. № 2551.

Типография УО «Белорусский государственный университет транспорта».
246022, Гомель, ул. Кирова, 34.
ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.