

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

УДК 629.466: 629.4.018

**КОНОВАЛОВ
ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВАГОНОВ
СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Гомель, 2020

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» (БелГУТ)

Научный руководитель: **Путьято Артур Владимирович**,
доктор технических наук, доцент,
декан механического факультета, БелГУТ

Официальные оппоненты: **Богданович Александр Вальдемарович**,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры теоретической
и прикладной механики Белорусского
государственного университета

Коваленко Александр Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
учёный секретарь государственного
научного учреждения «Объединённый
институт машиностроения НАН Беларуси»

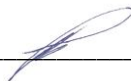
Оппонирующая организация: **Учреждение образования «Гомельский
государственный технический
университет имени П.О.Сухого»**

Защита состоится «20» ноября 2020 г. в 14-00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.27.01 при БелГУТе по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, ауд. 250, тел. (+375 232) 95-37-91, факс. (+375 232) 95-36-89, e-mail: cherninri@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке БелГУТа.

Автореферат разослан «09» октября 2020 г.

Учёный секретарь
совета по защите диссертаций _____ Р.И. Чернин



ВВЕДЕНИЕ

Практика эксплуатации и техническое состояние вагонов специального подвижного состава, показывают, что указанный в технических условиях срок службы в большинстве случаев оказывается меньшим предельного. Во многом это связано как с существенным запасом прочности, заложенным при проектировании, так и с особенностями эксплуатации конкретного типа вагонов, в том числе сезонностью их использования. Для обслуживания путевой структуры Белорусской железной дороги используются вагоны хоппер-дозаторы, вагоны для перевозки рельсошпальной решетки, турные вагоны (далее – вагоны специального подвижного состава), нормативный срок службы которых истек, а техническое состояние их является удовлетворительным и допускает дальнейшую эксплуатацию.

В настоящее время в Республике Беларусь и иных странах, использующих железнодорожную колею 1520 мм, принято решение о частичном отказе от регламентированных нормативных сроков службы для тех единиц подвижного состава, индивидуальный ресурс которых позволял разрешить их дальнейшую безаварийную эксплуатацию и в этом направлении уже выработана определенная процедура продления срока службы вагонам. Подвижной состав после длительной эксплуатации требует дополнительного контроля для обеспечения безопасности движения. В частности, учитывая, что несущая конструкция вагона подвержена циклическим динамическим нагрузкам, следует уделять особое внимание фактическим физико-механическим характеристикам металла. Остается нерешенной задача определения остаточного ресурса (или установления его отсутствия) несущим конструкциям вагонов на основе анализа технического состояния одного вагона (типового представителя), прошедшего комплекс соответствующих испытаний.

Поэтому данная работа, посвященная прогнозированию ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, является актуальной и важной как в практическом, так и в научном планах.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами. Тема и содержание диссертационной работы соответствуют п. 3 приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016 – 2020 годы «Промышленные и строительные технологии и производство». Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия», подпрограмма «Механика», задание Механика 1.23 «Повышение технико-экономических параметров железнодорожного подвижного состава на основе применения системного подхода при определении его прочностных и

динамических характеристик, а также разработка и обоснование эффективных способов контроля и разборки соединений с натягом колесных пар вагонов с применением гидрораспора» (№ ГР 20130802, 01.01.2013–31.12.2015), задание Механика 1.39 «Разработка комплексного подхода, объединяющего расчетно-экспериментальное определение ресурса железнодорожного подвижного состава после длительной эксплуатации и компьютерное моделирование динамики и прочности, в том числе, с учетом взаимодействия с подвижными грузами, с целью создания конкурентоспособных конструкций машин» (№ ГР 20172068, 01.07.2017–31.12.2019), а также ряда хозяйственных договоров с предприятиями Белорусской железной дороги.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является создание научно-обоснованной технологии определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, учитывающей сезонность их использования и изменение фактических значений физико-механических характеристик металла при длительной эксплуатации, которая является основой для прогнозирования срока службы в зависимости от технического состояния.

Для достижения цели решены следующие основные задачи:

1. Разработан алгоритм определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, учитывающий особенности их сезонной эксплуатации и изменение фактических значений механических характеристик материалов при длительной эксплуатации.

2. Создана расчетно-экспериментальная методика прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, учитывающая изменение геометрических размеров поперечных сечений и характеристик материалов конструктивных элементов.

3. Выполнены экспериментальные исследования для определения значений физико-механических характеристик металла несущих конструкций вагонов специального подвижного состава после длительной эксплуатации.

4. Реализована технология определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, на основе которой определены предельные сроки их службы при характерных режимах эксплуатации.

5. Получены зависимости ресурса различных областей несущих конструкций вагонов специального подвижного состава от изменения размеров их поперечных сечений, позволяющие осуществлять прогнозирование срока службы в зависимости от технического состояния.

Научная новизна заключается в:

– разработке научно обоснованной технологии определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, отличающейся учетом фактических значений физико-механических характеристик металла после длительной эксплуатации, а также коэффициента сезонности использования вагонов;

– создании расчетно-экспериментальной методики прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, позволяющей определять предельные сроки эксплуатации вагонов, которые имеют различные размеры поперечных сечений несущих элементов, путем использования единожды проведенного комплекса натуральных испытаний типового представителя;

– установлении количественных показателей, характеризующих изменение физико-механических характеристик материалов несущих конструкций вагонов специального подвижного состава после длительной эксплуатации;

– определении степени влияния различных эксплуатационных режимов на расход ресурса конструктивных областей вагонов специального подвижного состава, а также предельные сроки их службы;

– получении зависимостей ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава от изменения геометрических размеров их поперечных сечений, позволивших научно обосновать необходимость комплексного анализа ресурса конструктивных областей при прогнозировании ресурса вагона в целом.

Положения, выносимые на защиту:

1. Технология определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, отличающаяся учётом коэффициента сезонности их использования и фактических значений механических характеристик материалов после длительной эксплуатации, что позволяет более адекватно прогнозировать остаточный ресурс по сравнению с используемым в настоящее время подходом.

2. Расчетно-экспериментальная методика прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава при изменении размеров их поперечных сечений, обусловленном длительной эксплуатацией, отличающаяся использованием результатов единожды проведенных натуральных испытаний типового представителя при характерных режимах нагружения, которая позволяет исключить проведение дополнительных испытаний при обосновании остаточного ресурса длительно эксплуатируемых вагонов с различным техническим состоянием, а также при разработке рациональных конструктивных вариантов их модернизации.

3. Результаты экспериментальных исследований материалов несущих конструкций вагонов специального подвижного состава после длительной эксплуатации, которые продемонстрировали отсутствие изменений значений, определяющих прочность физико-механических характеристик сталей 09Г2Д, Ст4сп, Ст3сп и существенное их снижение для сталей Ст3кп и Ст4кп, позволяющие сделать вывод о невозможности продления срока службы вагонам, несущие конструкции которых изготовлены из сталей Ст3кп и Ст4кп.

4. Результаты определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава при длительной эксплуатации, полученные с учетом коэффициента сезонности их использования и фактических значений пределов прочности и выносливости материалов, на основе которых установлена степень влияния режимов нагружения на расход ресурса конструктивных областей, а также показано, что предельные сроки вагонов специального подвижного состава могут превышать нормативный на 20 лет и более.

5. Зависимости остаточного ресурса различных областей несущих конструкций вагонов специального подвижного состава от изменения геометрических размеров поперечных сечений элементов, демонстрирующие существенное различие градиентов изменения ресурса для различных конструктивных областей (более чем в 10 раз), на основе которых обоснована необходимость пошагового сравнительного анализа значений ресурса в совокупности конструктивных областей при прогнозировании срока службы вагона в целом.

Личный вклад соискателя ученой степени. Все основные научные результаты диссертации получены соискателем лично. На всех этапах теоретических и экспериментальных исследований несущих конструкций вагонов специального подвижного состава соискатель осуществлял поиск и анализ исходных данных, разрабатывал модели, методики и алгоритмы для численных и экспериментальных исследований, анализировал и обобщал полученные результаты.

Научный руководитель принимал участие в постановке задач и их анализе. Экспериментальные исследования химического состава, физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния несущих конструкций вагонов выполнены при участии специалистов испытательного центра железнодорожного транспорта БелГУТа.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Основные результаты доложены и одобрены на Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2000, 2007, 2012, 2015, 2017); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (Гомель, 2003, 2013, 2018); VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Украина, Киев, 2013); 75 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Украина, Днепропетровск, 2015); 9th International Scientific Conference «Transbaltica 2015» (Литва, Вильнюс, 2015); Международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении» (Минск, 2015, 2017); VII Белорусском конгрессе по теоретической и прикладной механике «Механика-2016» (Минск, 2016); The

Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance (Италия, Кальяри, 2016); IX Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Россия, Самара, 2016); XIV Международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение» (Украина, Днепропетровск, 2016); 22nd International Conference «Mechanika 2017» (Литва, Каунас, 2017).

Результаты работы легли в основу разработки методик технического диагностирования вагонов специального подвижного состава Белорусской железной дороги с целью продления их срока службы, применены при обосновании безопасной эксплуатации вагонов метрополитена после длительной эксплуатации, а также внедрены в учебный процесс БелГУТа.

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 27 научных работ, в том числе статей в журналах и сборниках, рекомендованных ВАК РФ, – 10 (4 за рубежом, 1 без соавторов) объемом 5,2 авторских листа, материалов конференций – 11 (2 за рубежом), тезисов докладов на научных конференциях – 4 (2 за рубежом). Получен один патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 181 странице. Объем, занимаемый 80 рисунками, 40 таблицами и 2 приложениями, составляет 56 страниц. Библиографический список включает 158 наименований использованных источников, 28 публикаций соискателя и занимает 17 страниц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В *главе 1* выполнен обзор и анализ научных исследований в области определения сроков службы железнодорожного подвижного состава и иных объектов транспортного машиностроения. Особое внимание уделено вопросам определения остаточного ресурса вагонов с учетом различных климатических условий их эксплуатации, режимов их нагружения, а также изменения технического состояния. Исследованиям, связанным с изучением, оценкой и прогнозированием технического ресурса ответственных элементов металлоконструкций вагонов, посвящены работы учёных А.А. Битюцкого, В.В. Болотина, Ю.П. Бороненко, В.М. Бубнова, М.Б. Кельриха, А.Д. Кочнова, И.Ф. Пастухова, В.И. Сенько, А.М. Соколова, В.П. Сычева, А.В. Третьякова, Ю.С. Ромена, С.В. Урушева, В.Н. Цюренко, Ю.М. Черкашина, А. Војко и ряда других.

При проектировании вагонов специального подвижного состава, срок службы которых к настоящему времени выработан, использовались нормативные документы для расчета и испытаний на прочность 60 – 80-х годов, в которых схемы нагружения зачастую существенно отличаются друг от друга

и от современных требований к прочности. К настоящему времени созданы основы теории, нормативно-техническая база и методики оценки остаточного ресурса железнодорожного подвижного состава. Показано, что при определении остаточного ресурса несущих конструкций железнодорожного подвижного состава разного назначения необходимо учитывать широкий спектр динамических нагрузок, имеющих место при эксплуатации и отражающих особенности его работы, а также фактические значения физико-механических характеристик материалов.

На основании выполненного анализа сделан вывод о необходимости создания научно-обоснованной технологии определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, учитывающей сезонность их использования и изменение фактических значений физико-механических характеристик металла при длительной эксплуатации.

В *главе 2* предложен алгоритм реализации технологии определения ресурса



Рисунок 1. – Основные этапы реализации технологии определения ресурса

са (рисунок 1) и разработана расчетно-экспериментальная методика его прогнозирования для несущих конструкций вагонов специального подвижного состава с учетом сезонности их использования и изменения физико-механических характеристик их материалов при длительной эксплуатации.

Выполненные расчеты и испытания при реализации этапов 1 – 4 (см. рисунок 1) дают практически полную картину распределения напряженно-деформированного состояния металлоконструкции вагона. В то же время, учитывая длительную эксплуатацию, которая может привести к зарождению и аккумуляции в несущей конструкции, подвергающейся воздействию циклически изменяющейся нагрузки, дефектов, необходимо выполнение ряда дополнительных операций.

Отличительными особенностями технологии является реализация пятого и шестого этапов, в рамках которых на основе анализа результатов расчетов и испытаний устанавливаются проблемные зоны несущей конструкции, а также с учетом картины распределения напряжений разрабатываются схемы вырезки образцов металла и исследуются химический состав и физико-механические свойства материала несущей конструкции после длительной эксплуатации. К контролируемым параметрам, наряду с химическим составом, относятся: предел текучести σ_Y , предел прочности σ_t , предел выносливости σ_{-1} , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ , твердость металла HB , ударная вязкость KCU .

На заключительном этапе технологии выполняется определение ресурса несущей конструкции вагона специального подвижного состава, опирающееся на учет фактических значений характеристик материалов и сезонности эксплуатации, а также прогнозирование срока службы в зависимости от изменения технического состояния при длительной эксплуатации. При этом принимаются следующие допущения: усталостное повреждение или разрушение материала вагона в основном происходит при упругом деформировании; справедлива линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений; для неустановившегося режима нагружения амплитудные значения динамических напряжений приводятся к эквивалентному симметричному циклу.

Параметром, характеризующим циклическую прочность, является коэффициент запаса сопротивления усталости, представляющий собой отношение предела выносливости ($\sigma_{a,N}$) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$ к величине амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла ($\sigma_{a,\varepsilon}$), приведенной к базовому числу циклов N_0 и эквивалентной повреждающему воздействию эксплуатационных напряжений за расчетный срок службы. Причем в отличие от традиционного подхода $\sigma_{a,N}$ определяется с учетом фактического значения предела выносливости материала после длительной эксплуатации.

Параметр $\sigma_{a,\varepsilon}$ включает в себя срок службы металлоконструкции и определяется при k режимах нагружения по формуле:

$$\sigma_{a,\varepsilon} = \sqrt[m]{\sum_k \left[\frac{N_c^k}{N_0} \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot P_i^k \right]}, \quad (1)$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах; N_c^k – суммарное число циклов динамических напряжений за расчетный срок службы для k -го режима нагружения; N_0 – базовое число циклов; σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -ом интервале k -го режима нагружения;

p_i^k – вероятность (частота) действия уровня амплитуд $\sigma_{a,3}$ в i -ом интервале k -го режима нагружения.

Суммарное число циклов для k -го режима представим в виде:

$$N_c^k = K^k T_p, \quad (2)$$

где K^k – коэффициент сезонности, учитывающий в том числе интенсивность эксплуатации и связывающий суммарное число циклов динамических напряжений с расчетным суммарным сроком службы для k -го режима нагружения; T_p – суммарный расчетный срок службы.

Таким образом,

$$T_p = N_0 \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m}{\sum_k \left[K^k \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot p_i^k \right]}. \quad (3)$$

В рамках описанного алгоритма реализации технологии возможна оценка остаточного ресурса несущей конструкции конкретного вагона специального подвижного состава после длительной эксплуатации. В то же время нерешенной остается задача количественного прогноза ресурса конструкции при техническом состоянии, отличающемся от состояния вагона-типового представителя, прошедшего комплекс испытаний. Решение поставленной задачи выполнено путем разработки расчетно-экспериментальной методики прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов с различным техническим состоянием. Реализация описанного алгоритма определения ресурса позволяет для i -ой контрольной области несущей конструкции испытанного вагона с j -м техническим состоянием (толщиной металла t_i) получить значение остаточного ресурса. Дальнейшее решение сводится к необходимости определения амплитудных значений динамических напряжений в i -ой контрольной области несущей конструкции с толщиной $\delta_{t_i}^j \cdot t_i$ при k -ом характерном режиме нагружения. Здесь $\delta_{t_i}^j$ – коэффициент j -го состояния системы, учитывающий износ несущей конструкции в i -ой контрольной области.

Получение массива экспериментальных данных динамических напряжений для каждого характерного режима нагружения и широкого диапазона изменений $\delta_{t_i}^j$ задача весьма дорогостоящая и зачастую невыполнимая. Поэтому предложено, используя результаты виртуальных испытаний несущей конструкции вагона, установить изменение напряжений в i -ой контрольной области для k -го характерного режима нагружения в зависимости от технического состояния j .

Для объектов исследования приняты к рассмотрению три характерных режима нагружения: соударение вагонов (режим A), движение в составе

поезда (режим *B*), режим загрузки-разгрузки (режим *C*). Каждый из рассматриваемых режимов нагружения вносит свой «вклад» в расход ресурса, соотношение которого связано с расположением контрольной области.

Для выбранных контрольных областей выполнен комплекс расчетных исследований, по результатам которых получен массив данных, показывающий изменения эквивалентных напряжений в зависимости от толщины конструктивных элементов для различных режимов нагружения. Далее подбираются аппроксимирующие зависимости для массивов расчетных значений напряжений, полученных при варьировании толщиной конструктивных элементов для различных грузовых состояний (уровней режимов нагружения) несущей конструкции.

Базируясь на экспериментальных данных, установленных в результате испытаний типового представителя (обозначим индексом «э»), и полученных расчетных значениях (обозначим индексом «р»), определяются прогнозные расчетно-экспериментальные зависимости изменения динамических напряжений (обозначим индексом «рэ») в *i*-ой контрольной области конструкции вагона в зависимости от *j*-го технического состояния для *k*-го характерного режима нагружения. Так, для *k*-го режима нагружения при *n*-ом грузовом состоянии, а также *j*+1 технического состояния массив напряжений в *i*-ой контрольной области можно определить по формуле:

$$\{\sigma_i^{j+1}\}_{k_n}^{pэ} = \left[1 + \left\{ \frac{\sigma_i^{j+1} - \sigma_i^j}{\sigma_i^j} \right\}_{k_n}^p \right] \cdot \{\sigma_i^j\}_{k_n}^p. \quad (4)$$

Полученный массив данных фактически представляет собой массив зависимостей вида $\sigma_i^{j+1} = f(\delta_{t_i}^j \cdot t_i)$, причем в качестве дополнительной экзогенной переменной наряду со значениями механических характеристик материала, сезонностью эксплуатации и т.п. выступает параметр, связанный с геометрическими характеристиками элемента в контрольной области.

Таким образом, реализация приведенного алгоритма (см. рисунок 1) применительно к конкретным типам вагонов специального подвижного состава позволяет для любого *j*-го технического состояния определить ресурс *i*-ой контрольной области, т.е. массив значений остаточного ресурса $\{T_i^j\}$.

В главе 3 на примере вагона хоппер-дозатора подробно описаны методы и инструментарий для оценки прочности и физико-механических характеристик материалов несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, а также приведены соответствующие результаты.

Для расчетов на прочность использован комплект конструкторской документации на вагон, причем учтены фактические значения толщин конструктивных элементов, определенные по результатам ультразвуковой толщинометрии. Разработана параметрическая конечно-элементная модель

вагона хоппер-дозатора. Силовые и кинематические граничные условия назначены в соответствии с рекомендациями действующей нормативной документации.

В качестве примера на рисунке 2 приведены схема распределения напряжений в конструкции вагона хоппер-дозатора для режима движения вагона в составе поезда и значения расчетных эквивалентных напряжений σ_p в долях от допускаемой величины $[\sigma]$ различных конструктивных элементов при соударении вагонов и движения вагона в составе поезда. Установлено, что прочность несущей конструкции объекта исследования с учетом установленных по результатам технического обследования значений утонения конструктивных элементов после длительной эксплуатации соответствует актуальным нормативным требованиям.

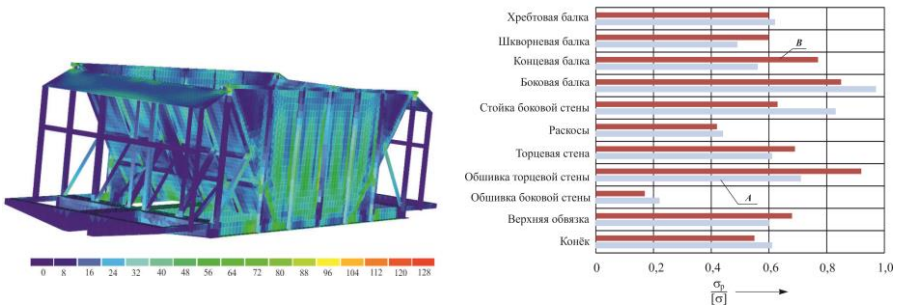


Рисунок 2. – Распределение эквивалентных напряжений (МПа) при движении вагона хоппер-дозатора в составе поезда, а также диаграмма напряжений (в долях от $[\sigma]$) конструкции при различных режимах нагружения

Результаты обследования технического состояния и расчетов металлоконструкции вагона легли в основу разработки схемы установки тензометрических датчиков в контрольных точках (идентификация номеров контрольных точек и мест их размещения на конструкции для объектов исследования приведены в тексте диссертационной работы) для дальнейшего проведения контрольных испытаний вагона.

Отобранный типовой представитель с наихудшим техническим состоянием (вагон хоппер-дозатор 1964 года постройки) прошел комплекс экспериментальных исследований, в том числе при многократном воздействии продольных сил соударения в автосцепное устройство. Рисунок 3 иллюстрирует проведение испытаний при продольном соударении вагонов. В результате получен массив значений динамических напряжений, подтверждающих адекватность выполненных расчетов и приведенных выше выводов.

Помимо динамических испытаний была получена информация о фактических значениях физико-механических характеристик материала, из которого изготовлена несущая конструкция вагона.



Рисунок 3. – Испытание вагона хоппер-дозатора при соударении

На рисунке 4 приведена схема вырезки образцов из хребтовой балки вагона хоппер-дозатора для определения твердости, ударной вязкости и химического состава, основой для которой являются полученные результаты расчетов.

Результаты исследований показали, что химический состав материала несущей конструкции вагона хоппер-дозатора соответствует составу материала, указанного в технической документации. Значения физико-механических характеристик материала соответствуют величинам, установленным соответствующими нормативными документами.

Таким образом, результаты проведенных расчетов и экспериментов являются входными параметрами для реализации технологии определения ресурса применительно к несущей конструкции вагона хоппер-дозатора.

В *главе 4* представлены особенности, выявленные при оценке прочности и физико-механических характеристик материалов несущих конструкций вагонов для перевозки рельсошпальной решетки и турных вагонов с проволочными, схемы металлоконструкций которых приведены на рисунке 5.

Результаты расчетов и испытаний типовых представителей несущих конструкций вагона для перевозки рельсошпальной решетки (1964 года постройки) и турного вагона сопровождения (1969 года постройки) показали, что в целом они соответствуют нормативным требованиям прочности. В то же время для конструкций вагонов для перевозки рельсошпальной решетки, изготовленных из кипящей стали углеродистой обыкновенного качества марок Ст3кп и Ст4кп, обнаружены существенные несоответствия значений характеристик материалов, определяющих прочность несущих

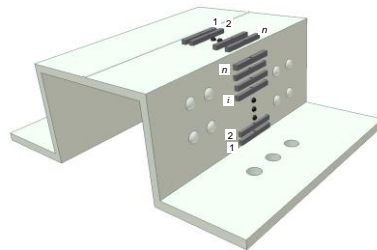
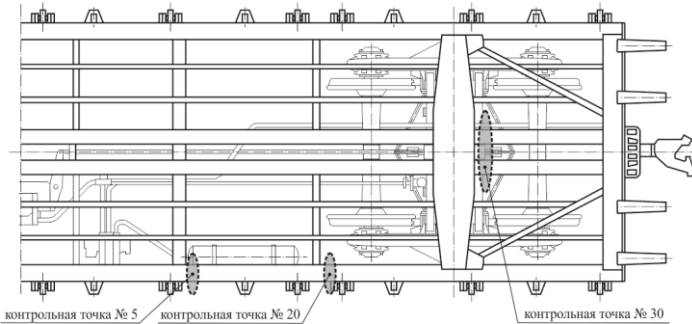


Рисунок 4. – Схема вырезки образцов из хребтовой балки вагона хоппер-дозатора

конструкций, нормативным требованиям: снижение значений предела текучести, предела прочности и предела выносливости стали достигает 19 %, относительного удлинения – 52 %. Установлено также существенное изменение значений твердости в пределах поперечного сечения конструктивного элемента (более 28 %), а также значений ударной вязкости более чем в 5 раз по высоте поперечного сечения (рисунок 6).

а)



б)

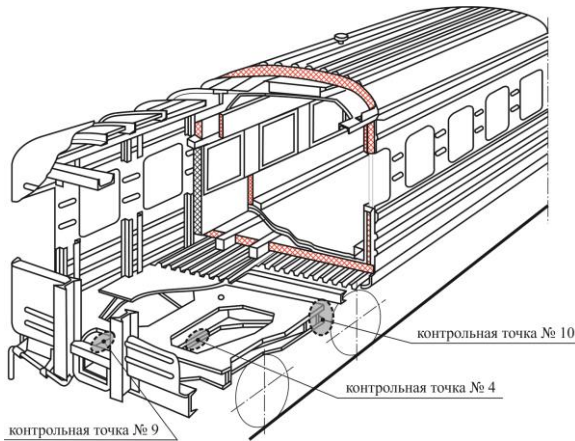


Рисунок 5. – Схемы металлоконструкций вагона для перевозки рельсошпальной решетки (а) и турного вагона (б)

Полученные значения характеристик материалов дают возможность реализации технологии определения ресурса несущих конструкций применительно к рассмотренным вагонам.

В *главе 5* изложены результаты анализа вклада различных факторов в ресурс и его прогнозирования для несущих конструкций вагонов специального подвижного состава.

На рисунке 7 приведены значения остаточного ресурса в отдельных контрольных точках несущих конструкций, а также диаграмма «вкладов» в его расход различных режимов нагружения для вагона хоппер-дозатора.

Установлено, что к конструктивным областям, обладающим наименьшим ресурсом, относятся: нижняя полка хребтовой балки вблизи сочленения со шкворневой с внутренней стороны вагона, для которой остаточный ресурс составил 11 лет; нижний лист шкворневой балки вблизи сочленения с хребтовой, для которого остаточный ресурс составил 26 лет. Результаты исследований позволили установить также степени влияния различных эксплуатационных режимов на расход ресурса конструктивных областей. Так, например, для нижней полки хребтовой балки вблизи сочленения со шкворневой с внутренней стороны вагона «ресурсоопределяющим» ($\approx 99\%$) является режим соударения вагонов (продольного нагружения), а для нижнего листа шкворневой балки вблизи сочленения с хребтовой – режим движения в составе поезда (вертикальные колебания). В то же время, для боковой балки «вклад» в расход ресурса от продольного нагружения составляет порядка 12 %, а от вертикальных колебаний – 88 %, причем режим загрузка-разгрузка за срок эксплуатации вносит несущественный «вклад» в расход ресурса.

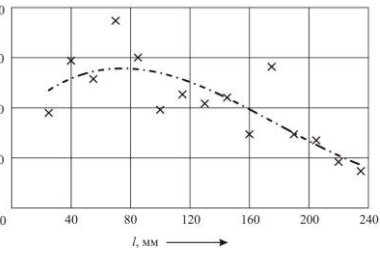
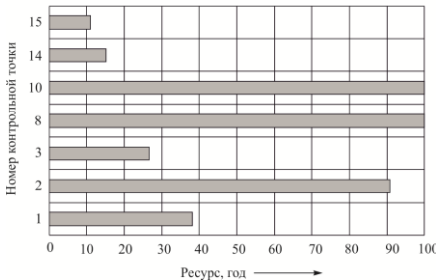


Рисунок 6. – Результаты определения КСУ по высоте вертикальной стойки хребтовой балки вагона (Ст4кп)

A – соударение вагонов; **B** – движение в составе поезда; **C** – загрузка-разгрузка вагона
1, 2 – нижняя полка хребтовой балки вблизи сочленения со шкворневой с внутренней стороны вагона; **3** – нижний лист шкворневой балки вблизи сочленения с хребтовой; **8** – верхняя обвязка кузова; **10** – нижняя полка боковой балки вблизи шкворневой; **14, 15** – верхняя полка хребтовой балки вблизи сочленения со шкворневой с внутренней стороны вагона

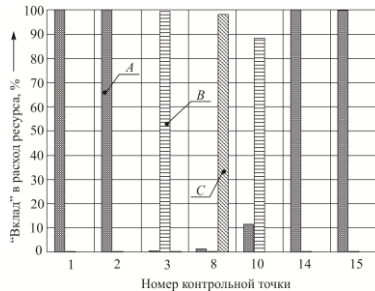
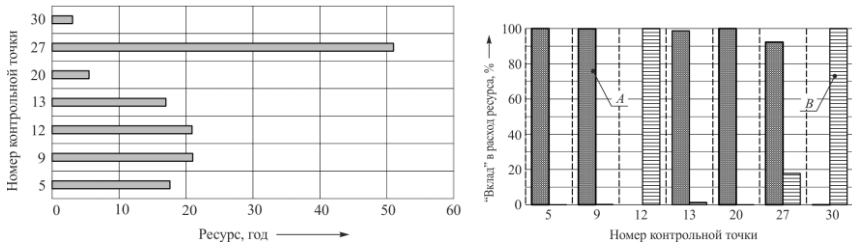


Рисунок 7. – Остаточный ресурс и «вклад» режимов нагружения в его расход для контрольных точек конструкции хоппер-дозатора

На рисунке 8 приведены значения остаточного ресурса в отдельных контрольных точках, а также диаграмма «вкладов» в его расход различных режимов нагружения вагона для перевозки рельсошпальной решетки. К элементам, имеющим наименьший остаточный ресурс, относятся: верхняя полка хребтовой балки вблизи сочленения со шкворневой в консольной части вагона – 3 года; области нижней полки боковой балки вблизи сочленения с основной поперечной балкой – 5 лет и с промежуточной поперечной балкой – 17 лет (см. рисунок 5,а). Установлено, что для большинства конструктивных элементов «ресурсопределяющим» является режим соударения вагонов. За исключением контрольных областей № 12 и № 30, для которых определяющим является режим движения в составе поезда. Следует отметить, что режим *C*, как показали проведенные исследования, не оказывает существенного влияния на показатель долговечности.



A – соударение вагонов; *B* – движение в составе поезда

5, 20 – нижняя полка боковой балки вблизи сочленения с промежуточной поперечной и основной поперечной балкой; **9** – нижняя полка хребтовой балки в середине вагона;

12 – нижняя полка хребтовой балки вблизи сочленения с шкворневой с внутренней стороны вагона; **13, 27** – нижний лист шкворневой балки вблизи сочленения с хребтовой;

30 – верхняя полка хребтовой балки вблизи сочленения с шкворневой в консольной части вагона

Рисунок 8. – Остаточный ресурс и «вклад» режимов нагружения в его расход для контрольных точек конструкции вагона для перевозки рельсошпальной решетки

Аналогичные исследования выполнены для металлоконструкции турного вагона. В результате чего установлено, что «ресурсопределяющими» являются области верхнего и нижнего листов хребтовой балки консольной части вагона, для которых остаточный ресурс составил 9 и 7 лет соответственно, а также боковой балки вблизи шкворневой, для которой остаточный ресурс – 8 лет (см. рисунок 5,б).

Таким образом, проведенные исследования показали, что каждый из рассмотренных режимов нагружения вносит свой «вклад» в расход ресурса, значение которого зависит от расположения конструктивного элемента. Используя полученные диаграммы, можно существенно сократить объем экспериментальных исследований при оценке ресурса конструкции рассмотренных моделей вагонов.

Реализация разработанной расчетно-экспериментальной методики прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава позволила определить, что зависимость остаточного ресурса различных конструктивных областей по мере изменения толщин их элементов носит нелинейный характер (рисунок 9). Установлено, что при определении предельного срока службы вагона в целом, необходимо выполнять пошаговый сравнительный анализ значений ресурса для совокупности конструктивных областей, поскольку градиент изменения ресурса в них при различных геометрических размерах поперечных сечений может отличаться в 10 раз и более.

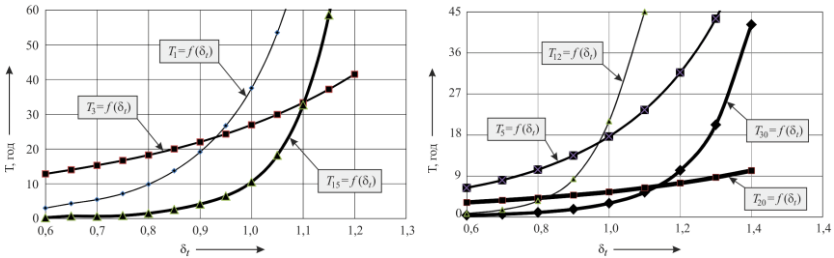


Рисунок 9. – Зависимости остаточного ресурса в контрольных зонах от толщин соответствующих конструктивных элементов δ_i (в долях значения для испытанного вагона) вагона хоппер-дозатора и вагона для перевозки рельсошпальной решетки

В частности, применительно к конструкции вагона хоппер-дозатора для испытанного вагона и объекта с меньшими толщинами элементов «ресурсоопределяющей» является область нижней полки хребтовой балки вблизи сочленения с шкворневой с внутренней стороны вагона. В то же время при толщинах, больших на 10 %, определяющим станет ресурс области нижнего листа шкворневой балки вблизи сочленения с хребтовой. Для вагона, перевозящего рельсошпальную решетку, установлено, что «ресурсоопределяющей» является контрольная точка № 30. В то же время при необходимости управления ресурсом (его увеличения) «ресурсоопределяющей» станет точка № 20.

Для автоматизации расчета разработана компьютерная программа в среде Visual Basic for Applications. Разработанная технология апробирована также при продлении сроков службы вагонам дизель-электростанциям, вагонам-цистернам для перевозки цемента, вагонам Минского метрополитена [7, 10, 22, 23].

Таким образом, реализация технологии определения ресурса позволила установить предельный срок безопасной эксплуатации несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, а также выполнить прогнозирование их остаточного ресурса при изменении технического состояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. Предложен алгоритм, положенный в основу технологии определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, который включает техническое диагностирование вагонов, установление условий и интенсивности их эксплуатации, а также экспериментальные исследования несущих конструкций. Он отличается дополнительным учетом коэффициента сезонности использования вагонов и фактических значений механических характеристик материалов несущих конструкций при длительной эксплуатации. Реализация предложенного алгоритма позволяет учесть особенности эксплуатации вагонов специального подвижного состава при прогнозировании их остаточного ресурса [1, 2, 3, 4, 9, 22, 23].

2. Выполненная расчетно-экспериментальная оценка состояния несущих конструкций вагонов специального подвижного состава показала:

– прочность несущих конструкций вагонов по результатам конечно-элементных расчетов с учетом установленных по результатам технического обследования металлоконструкций значений толщин конструктивных элементов после длительной эксплуатации соответствует актуальным нормативным требованиям, что подтверждается результатами проведенных натурных испытаний;

– основные характеристики материалов несущих конструкций вагонов для перевозки рельсошпальной решетки, изготовленных из кипящей стали углеродистой обыкновенного качества марок Ст3кп и Ст4кп имеют существенные несоответствия нормативным значениям: снижение значений предела текучести, предела прочности и предела выносливости стали достигает 19 %, относительного удлинения – 52 %, различие значений твердости в пределах поперечного сечения конструктивного элемента составляет более 28 %, различие значений ударной вязкости по конструктивным областям наблюдается более чем в 5 раз [3, 4, 8, 17, 19, 22].

3. Разработана расчетно-экспериментальная методика прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, имеющих различное техническое состояние (степень коррозионного износа конструктивных элементов), основанная на использовании базы данных с результатами натурных испытаний вагонов – типовых представителей и результатов виртуальных испытаний прочности конкретного объекта прогнозирования ресурса. Методика является основой для установления зависимостей остаточного ресурса контрольных областей конструктивных элементов вагонов от изменения геометрических характеристик их поперечных сечений при длительной эксплуатации как при продлении срока службы вагонов, так и на этапах модернизации и проектирования, исключая прове-

дение дорогостоящих ресурсных испытаний при поиске рациональных конструктивных решений [5, 9].

4. Реализация технологии определения ресурса вагонам специального подвижного состава продемонстрировала, что предельный срок службы при установившемся режиме эксплуатации для вагона хоппер-дозатора составляет 60 лет, вагона для перевозки рельсошпальной решетки – 55 лет, турного вагона – 52 года. Установлено, что вагоны, несущая конструкция которых изготовлена из кипящей стали, учитывая существенное снижение вязкости и предела выносливости ее материала после длительной эксплуатации, продлению срока службы не подлежат. [3, 4, 6, 8].

Выполненный анализ влияния эксплуатационных режимов на расход ресурса конструктивных областей вагонов специального подвижного состава показал:

– у вагона хоппер-дозатора для хребтовой балки «ресурсоопределяющим» ($\approx 99\%$) является режим соударения вагонов, для шкворневой балки – режим движения в составе поезда. В то же время для боковой балки вклад в расход ресурса от продольного нагружения составляет около 12 %, а от вертикальных колебаний – 88 %, причем режим загрузка-разгрузка практически не влияет на расход ресурса [5];

– у вагона для перевозки рельсошпальной решетки и турного вагона для большинства конструктивных элементов «ресурсоопределяющим» является режим соударения. Исключением является хребтовая балка вагона для перевозки рельсошпальной решетки, где основной «вклад» в расход ресурса вносит режим движения в составе поезда [6, 9].

5. Получены нелинейные зависимости остаточного ресурса различных конструктивных областей от изменения толщины их элементов, которые являются основой для прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава. Они показывают, что поскольку градиент изменения их ресурса может отличаться в 10 раз и более, то при установлении предельного срока службы вагона в целом необходимо выполнять пошаговый сравнительный анализ значений ресурса для совокупности конструктивных областей. Выявлено, что применительно к конструкции вагона хоппер-дозатора для испытанного вагона и объекта с меньшими толщинами «ресурсоопределяющей» является область нижней полки хребтовой балки вблизи сочленения со шкворневой с внутренней стороны вагона. В то же время при толщинах, на 10 % больших, определяющим станет ресурс шкворневой балки [5, 9].

Создана компьютерная программа, позволяющая в автоматическом режиме выполнить прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава в рамках реализации процедуры продле-

ния их срока службы на основе предложенной технологии, которая используется также для установления новых сроков службы иных типов вагонов.

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты могут быть использованы специализированными организациями, занимающимися продлением срока службы железнодорожного подвижного состава, а также проектными организациями при разработке вагонов с повышенным ресурсом.

Разработанная технология определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава легла в основу создания нормативных документов: «Методика технического диагностирования вагонов хоппер-дозаторов ЦНИИ-ДВЗ с целью продления срока службы», «Методика технического диагностирования универсальных платформ модели 13-401, используемых при текущем содержании, ремонте и реконструкции железнодорожного пути Белорусской железной дороги», «Программа и методика технического диагностирования турных вагонов для персонала, обслуживающего путевую технику Белорусской железной дороги», «Программа и методика технического диагностирования вагонов метрополитена модели 81-717/714».

Расчетно-экспериментальная методика прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава используется в ОНИЛ «ТТОРЕПС» при выполнении работ по продлению срока его службы. Результаты работы также внедрены в учебный процесс БелГУТа.

Документы, подтверждающие внедрение результатов работы, приведены в приложениях к диссертации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Сенько, В. И. Методологическая схема рециклинга и продления срока службы вагонов / В. И. Сенько, А. В. Путято, Е. Н. Коновалов // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2014. – № 2 (29). – С. 4–7.

2. Kanavalau, Y. Evaluation Techniques for Residual in-Use Utility of the Railway Car Hopper-Batcher Bearing Structure with a Long-term Service / Y. Kanavalau, A. Putsiata // Procedia Engineering. – 2016. – Volume 134. – P. 57–63.

3. Путято, А. В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанаськов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1 (34). – С. 26–35.

4. Senko, V. Definition of residual resource of a bearing structure of the railway car hopper-batcher after long-term service / V. Senko, A. Putsiata, Y. Kanavalau // Proceedings of the Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 239, 2016. – 16 p.

5. Коновалов, Е. Н. Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов с различным техническим состоянием на основе результатов испытаний типового представителя / Е. Н. Коновалов, А. В. Путято // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С. 208–214.

6. Коновалов, Е. Н. Расчетно-экспериментальное обоснование остаточного ресурса кузова турного вагона / Е. Н. Коновалов // Актуальные вопросы машиноведения. – 2016. – Т. 5. – С. 187–190.

7. Сенько, В. И. Расчетно-экспериментальная оценка остаточного ресурса несущей конструкции вагона дизель электростанции после длительной эксплуатации / В. И. Сенько, А. В. Путято, Е. Н. Коновалов // Вестн. Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 5–9.

8. Putsiata, A. Prediction of a Resource of Flat Wagon's Frame for Transportation of Packages of Rail and Ties after Long Term Operation / A. Putsiata, Y. Kanavalau // Proceedings of 22nd International Conference "МЕХАНИКА 2017", 19 May 2017, Kaunas University of Technology, Lithuania. – 2017. – P. 312–317.

9. Путято, А. В. Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава с различным техническим состоянием / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов // Актуальные вопросы машиноведения. – 2017. – Т. 6. – С. 194–197.

10. Экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния кузовов вагонов метрополитена после длительной эксплуатации /

В. В. Белогуб, Е. Н. Коновалов, Л. В. Огородников, А. В. Пулято // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 6–11.

Статьи в сборниках научных работ

11. Прочность кузова и рамы вагона дизель-электростанции с учетом их фактического физического состояния после длительной эксплуатации / А. В. Пулято, Е. Н. Коновалов, В. В. Белогуб, С. С. Якимович // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки : международный сборник научных трудов / Беларус. гос. ун-т трансп. ; редкол. : А. О. Шимановский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2013. – Вып. 7. – С. 111–121.

12. Пулято, А.В. Расчетно-экспериментальная методика оценки остаточного ресурса металлоконструкции вагона дизель-электростанции после длительной эксплуатации / А.В. Пулято, Е.Н. Коновалов // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки : международный сборник научных трудов / Беларус. гос. ун-т трансп. ; редкол. : А. О. Шимановский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2014. – Вып. 8. – С. 173–178.

Материалы конференций

13. Холодилов, О. В. Методы технического диагностирования вагнов-цистерн / О. В. Холодилов, Е. Н. Коновалов, С. В. Короткевич // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 14–15 нояб. 2007 г. / Беларус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2007. – С. 97–98.

14. Пути решения проблемы обеспеченности перевозочного процесса железнодорожным подвижным составом в Республике Беларусь / В. И. Сенько, А. В. Пулято, И. Л. Чернин, А. В. Пигунов, Е. Н. Коновалов, Н. Г. Сенько, В. В. Белогуб // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 29–30 нояб. 2012 г. / Беларус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2012. – С. 105 – 109.

15. Пулято, А.В. К вопросу обоснования нового назначенного срока службы грузовых вагонов после длительной эксплуатации / А.В. Пулято, Е.Н. Коновалов, В.В. Белогуб // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 11–12 квітня 2013 р. – Сер. «Техніка, технологія». – Київ : ДЕДУТ, 2013. – С. 70–71.

16. Продление срока службы вагона-дизель электростанции / А. В. Пулято, Е. Н. Коновалов, В. В. Белогуб, С. В. Макеев // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27 окт. 2013 г. / Беларус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2013. – С. 30–32.

17. Продление срока службы железнодорожного подвижного состава / В. И. Сенько, А. В. Пулято, Е. Н. Коновалов, Л. В. Сенько // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27 окт. 2013 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2013. – С. 41–43.

18. Коновалов, Е. Н. Результаты определения остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик металла несущей конструкции / Е. Н. Коновалов, А. В. Пулято // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26–27 нояб. 2015 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. : редкол. : В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 42–43.

19. Оценка остаточного ресурса и продление срока службы вагонов минского метрополитена / А. В. Сиряченко, В. И. Сенько, А. В. Пулято, Е. Н. Коновалов, В. В. Белогуб, П. М. Афанаськов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26–27 нояб. 2015 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. : редкол. : В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 79.

20. Пулято, А. В. Ресурс несущей конструкции вагона-платформы, используемого для перевозки рельсошпальной решетки, после длительной эксплуатации / А. В. Пулято, Е. Н. Коновалов, В. В. Белогуб // Наука и образование транспорту: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Самара / Самарский гос. ун-т путей сообщения. Самара, 2016. – С. 68–72.

21. Коновалов, Е. Н. Компьютерная программа «Ресурс несущей конструкции грузового вагона» / Е. Н. Коновалов, А. В. Пулято // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году науки, Гомель, 23-24 ноября 2017 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель, 2017. – Ч. 1. – С. 108–109.

22. Коновалов, Е. Н. Методика технического диагностирования вагонов-цистерн для перевозки цемента после длительной эксплуатации / Е. Н. Коновалов, В. И. Сенько, А. В. Пулято // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 11–12 окт. 2018 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель, 2018. – Ч. 1. – С. 37–39.

23. Коновалов, Е.Н. Оценка эксплуатационной нагруженности вагонов метрополитена / Е.Н. Коновалов, Л.В. Огородников, А.В. Пулято // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 11–12 окт. 2018 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель, 2018. – Ч. 1. – С. 39 – 41.

Тезисы докладов

24. Коновалов, Е. Н. Основные принципы построения электронного паспорта грузового вагона / Е. Н. Коновалов, К. И. Артеменко, Ю. С. Вершов // Проблемы безопасности на транспорте : междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 12-15 июня 2000 г. : тез. докл. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. Я. Негрея. – Гомель, 2000. – С. 66.

25. Коновалов, Е. Н. Анализ парка вагонов-цистерн, отслуживших нормативный срок эксплуатации / Е. Н. Коновалов // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 10–12 сент. 2003 г. : тез. докл. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2003. – Ч. 1. – С. 27–28.

26. Пулято, А. В. Методика определения ресурса вагона хоппердозатора после длительной эксплуатации с учетом физико-механических свойств материала несущей конструкции / А. В. Пулято, Е. Н. Коновалов // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : 75 Междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 14–15 мая 2015 г. : тез. докл. / ДИИТ ; редкол. : С. В. Мямлин (предс.) [и др.]. – Днепропетровск, 2015. – С. 46–47.

27. Коновалов, Е. Н. Расчетно-экспериментальная методика прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов относительно технического состояния испытанного типового представителя / Е. Н. Коновалов, А. В. Пулято // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение : XIV Междунар. конф., Днепропетровск, 2016 : тез. докл. / Изд-во ДНУЖТ, Днепропетровск, 2016. – С. 66–67.

Патенты

28. Устройство для нанесения полимерного покрытия на внутреннюю поверхность корпуса буксы роликовой вагонной колесной пары: патент Республики Беларусь ВУ 20295 С1 2016.08.30 / И. Л. Чернин, А. В. Пигунов., Р. И. Чернин, Е. Н. Коновалов, В. А. Руденко.

РЕЗЮМЕ

Коновалов Евгений Николаевич

Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава при длительной эксплуатации

Ключевые слова: вагон, специальный подвижной состав, ресурс, прочность, несущая конструкция, прогнозирование, механические характеристики материала.

Цель исследования: Целью данной работы является создание научно-обоснованной технологии определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, учитывающей сезонность их использования и изменение фактических значений физико-механических характеристик металла при длительной эксплуатации, а также позволяющей выполнять прогнозирование срока службы в зависимости от технического состояния.

Методы исследования: экспериментальные (метод тензометрии, дефектоскопические методы и др.) и теоретические (метод конечных элементов, механическая теория усталости).

Полученные результаты и их новизна: Разработана технология определения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, включающая техническое диагностирование вагонов, установление условий и интенсивности их эксплуатации, а также экспериментальные исследования несущих конструкций, отличающаяся дополнительным учетом коэффициента сезонности использования вагонов и значений фактических механических характеристик материалов конструкций после длительной эксплуатации, позволяющая более адекватно оценивать и прогнозировать остаточный ресурс. Установлено, что вагоны специального подвижного состава, несущая конструкция которых изготовлена из кипящей стали, учитывая существенное снижение после длительной эксплуатации вязкости и предела выносливости материала, продлению срока службы не подлежат. Получено, что предельный срок службы при установившемся режиме эксплуатации для вагона хоппер-дозатора составляет 60 лет, вагона для перевозки рельсошпальной решетки – 55 лет, турного вагона – 52 года.

Получены нелинейные зависимости остаточного ресурса различных конструктивных областей от утонения их элементов, которые являются основой для прогнозирования ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава. Они показывают, что поскольку градиент изменения их ресурса может отличаться в 10 раз и более, то при установлении предельного срока службы вагону в целом необходимо выполнять пошаговый сравнительный анализ значений ресурса для совокупности конструктивных областей.

Степень использования и рекомендации: Разработанная технология определения ресурса несущих конструкций вагонов легла в основу при создании ряда нормативных документов по продлению срока службы железнодорожного подвижного состава. Результаты работы также внедрены в учебный процесс БелГУТа.

Область применения: железнодорожный транспорт.

РЭЗІЮМЭ

Канавалаў Яўгеній Мікалаевіч

Прагназаванне рэсурсу апорных канструкцый вагонаў спецыяльнага рухомага саставу пры працяглай эксплуатацыі

Ключавыя словы: вагон, спецыяльны рухомы састаў, рэсурс, трываласць, нясучая канструкцыя, прагназаванне, механічныя характарыстыкі матэрыялу.

Мэта працы: Стварыць навукова-абгрунтаваную тэхналогію да ацэнкі рэсурсу нясучых канструкцый вагонаў спецыяльнага рухомага саставу, якая ўлічвае сезоннасць іх выкарыстання і фактычныя значэнні фізіка-механічных характарыстык металу пры працяглай эксплуатацыі.

Метады даследавання: эксперыментальныя (метад тэнзаметрыі, дэфектаскапічныя метады і інш.) і тэарэтычныя (метад канчатковых элементаў, механічная тэорыя стомленасці).

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Распрацавана тэхналогія вызначэння рэсурсу нясучых канструкцый вагонаў спецыяльнага рухомага саставу, якія ўключаюць тэхнічнае дыягнаставанне вагонаў, устанавленне ўмоў і інтэнсіўнасці іх эксплуатацыі, а таксама эксперыментальныя даследаванні нясучых канструкцый, якая адрозніваецца дадатковым улікам каэфіцыента сезоннасці выкарыстання вагонаў і значэнняў механічных характарыстык матэрыялаў канструкцый пасля працяглай эксплуатацыі, якая дазваляе больш адэкватна ацэньваць і прагназаваць рэшткавы рэсурс вагонаў. Устаноўлена, што вагоны, апорная канструкцыя якіх выраблена з кіпячай сталі, улічваючы істотнае зніжэнне пасля працяглай эксплуатацыі глейкасці і мякы трываласці матэрыялу, падаўжэнню тэрміна службы не падлягаюць. Атрымана, што канчатковы тэрмін службы пры ўстаноўленым рэжыме эксплуатацыі для вагона хопер-дазатара складае 60 гадоў, вагона для перавозкі рэйкашпальнай рашоткі – 55 гадоў, турнага вагона – 52 гады.

Атрыманы нелінейныя залежнасці рэшткавага рэсурсу розных канструктыўных абласцей ад патанчэння іх элементаў, якія з'яўляюцца асновай для прагназавання рэсурсу нясучых канструкцый вагонаў спецыяльнага рухомага саставу. Яны паказваюць, што паколькі градыент змянення іх рэсурсу можа адрознівацца больш, чым у 10 разоў, то пры вызначэнні гранічнага тэрміна службы вагону ў цэлым неабходна выконваць пакрокавы параўнальны аналіз значэнняў рэсурсу для сукупнасці канструктыўных абласцей.

Ступень выкарыстання і рэкамендацыі: Распрацаваная тэхналогія вызначэння рэсурсу нясучых канструкцый вагонаў пакладзена ў аснову шэрагу нарматыўных дакументаў па працягу тэрміна службы чыгуначнага рухомага саставу. Рэзультаты работы таксама ўкаранёны ў вучэбны працэс БелДУТа.

Галіна выкарыстання: чыгуначна транспарт.

SUMMARY

Kanavalau Yauheni Mikalaeovich

Forecasting of the resource of bearing constructions of rail cars of the special rolling stock at long-term operation

Keywords: rail cars, special rolling stock, resource, forecasting, durability, bearing constructions, mechanical properties of material

The work purpose: Creating a scientific technology to the estimation of bearing constructions resource of rail cars of special rolling stock, which takes into consideration its seasonal operation and actual values of physical-mechanical properties of metal at long-term operation.

Research methods: experimental (tensometrical, defectoscopic and other methods) and theoretical (finite-element method, mechanical fatigue theory)

The gained results and their novelty: The technology of estimating of bearing constructions resource of rail cars of special rolling stock is developed; it includes technical diagnosing of rail cars, establishing conditions and intensity of their operation; it also includes experimental research of bearing constructions which takes into account the seasonal factor of operation and mechanical property values of materials at long-term operation. The technology allows estimating and predicting the remaining lifetime more precisely. It is established that the bearing constructions of rail cars of special rolling stock made of rimmed steel are not repairable due to the degradation of viscosity and fatigue limit of the material after long term operation. It is obtained that the lifetime limit for a hopper-batcher under the common operation conditions is 60 years; for a track carrying wagons it is 55 years; for a crew wagon it is 52 years.

Nonlinear dependences of lifetime in various structural systems related to thinning of their elements are obtained, which constitute the basis for predicting the lifetime for the supporting framework of the rail cars of special rolling stock. These dependences show that as the lifetime change gradient can alter 10 times and more, so it is necessary to complete step-by-step comparative analysis of lifetime values for a range of structural areas by defining the limits of lifetime for a rail car as a whole .

Recommendations for application: The developed technology of estimating the lifetime of bearing constructions of rail cars of special rolling stock has been used as a basis for a number of normative documents concerning the lengthening of lifetime of the rolling stock. The results of the research are implemented into the educational process in Belarussian State University of Transport.

Scope: railway transport



Научное издание

КОНОВАЛОВ Евгений Николаевич

**Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов
специального подвижного состава при длительной эксплуатации**

05.22.07 – подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 02.10.2020 г. Формат бумаги 60 × 84^{1/16}.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. листов 1,63. Тираж 100 экз. Зак. № 2802.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель.