

3. **Нормы** безопасности на железнодорожном транспорте. НБ ЖТ ЦТ 04–98. Электровозы. Требования по сертификации. Введ. 07.08.98. – М., 2003. – 172 с.

4. **Обеспечение** электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств интервального регулирования движения поездов по требованиям безопасности / Ю. А. Кравцов, В. С. Антоненко, В. М. Сафро, Е. Г. Щербина, А. А. Антонов // Вестник МИИТа. – Вып. 10. – М. : МИИТ, 2004. – С. 27–30.

5. **Расчёт** влияния тягового тока на тональные рельсовые цепи без изолирующих стыков /

Ю. А. Кравцов, Е. Г. Щербина, П. Е. Машенко // Вестник РГУПС. – 2007. – № 2. – С. 47–57.

6. **Исследование** помехоустойчивости путевых приёмников тональных рельсовых цепей / Ю. А. Кравцов, В. И. Линьков, П. Е. Машенко, А. Е. Щербина // Наука и техника транспорта. – 2009. – № 1. – С. 86–91.

7. **Методика** оценки работоспособности рельсовых цепей тональной частоты при воздействии тока электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / П. Ф. Бестемьянов, Ю. А. Кравцов, Е. Г. Щербина, А. Б. Чегуров // Вестник РГУПС. – 2012. – № 1. – С. 87–92.

УДК 629.4.023

**В. А. Кручек, Х. Р. Косимов**

Петербургский государственный университет путей сообщения

## **ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАМ ЛОКОМОТИВОВ И ПРОДЛЕНИЕ ИХ СРОКОВ СЛУЖБЫ**

Безопасная эксплуатация транспортного средства определяется остаточной прочностью деталей, узлов и конструкций. Статья посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза. Рассмотрены оценка остаточного ресурса и продление сроков службы рам локомотивов.

подвижной состав, рама тепловоза, срок службы, несущие конструкции, прочность.

### **Введение**

В связи с увеличением скоростей движения на железнодорожном транспорте и веса поездов (грузонапряженности) возрастают нагрузки на элементы экипажной части локомотивов, в том числе на рамы тепловозов. Структура элементов металлоконструкции механической части железнодорожного подвижного состава представляет собой ряд сложных пространственных конструкций с большим количеством разнообразных по конфигурации соединений и концентраторов напряжений, воспринимающих широкий спектр эксплуатационных нагрузок. Их размеры и форма определяются усилиями, де-

формациями и напряжениями в них, а также другими характеристиками состояния, которые формируются под действием нагрузок различного вида и характера, определяемых параметрами, назначением и условиями эксплуатации подвижного состава. В зависимости от этих показателей данные элементы рассчитываются на прочность и жесткость при статических и динамических нагрузках. Необходимые несущая способность и надежность конструкции должны обеспечиваться при возможно меньшей массе.

Для решения задач ресурсосбережения и сокращения эксплуатационных расходов на железнодорожном транспорте требуется повышение прочности и надежности конструк-

ций, более полное использование свойств материалов с целью обеспечения заданного ресурса, безопасности движения и обслуживания.

С учетом тенденции к уменьшению запасов прочности, исходя из требований к максимальному использованию конструкционных и технологических возможностей, а также к техническому обслуживанию при эксплуатации и к ремонтпригодности ответственных узлов и деталей, оказывается возможным допустить появление неупругих деформаций в элементах с надлежащим их учетом при проведении расчетов по допускаемым нагрузкам или деформациям. Для этого необходимы расчеты по оценке прочности, несущей способности и долговечности конструкций на основе современных исследований их предельных состояний, в том числе с применением деформационных критериев сопротивления малоциклового разрушению.

Суть такого подхода заключается в учете предельных условий в результате упругопластических деформаций и способности воспринимать дальнейшее увеличение нагрузки. В результате появляется возможность модернизировать конструкцию рамы тепловозов как системы с безопасным отказом.

Разрушения сварных швов деталей тепловозов в эксплуатации чаще всего обусловлены хрупкостью, которая берет свое начало от развивающихся усталостных трещин. При этом долговечность деталей определяется главным образом случайным характером появления дефектов в наиболее нагруженных зонах. Как установлено в ходе исследований [1], усталостное разрушение несущих конструкций происходит в результате развития микропластических деформаций, перерастания их в трещину и распространения этой трещины.

Усталостное разрушение металла происходит при определенной интенсивности

микропластических деформаций, уровень которой зависит от степени однородности структуры материала, а также от его характеристик – прочности и пластичности. В силу этого к несущим конструкциям подвижного состава предъявляются высокие требования как при их создании, так и при эксплуатации и модернизации.

В целях продления срока службы наиболее нагруженные части металлоконструкций необходимо усиливать. В связи с этим работы по расчету и принятию рациональных мер по оценке остаточного ресурса и модернизации приобрели большую научную и практическую значимость.

## 1 Анализ локомотивного парка

Локомотивное хозяйство ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» состоит в основном из парка тепловозов (81,1%, табл. 1). На долю локомотивного хозяйства приходится большая часть эксплуатационных расходов и 1/10 часть фондов компании, которая расходуется на приобретение топлива и электроэнергии.

Одна из острейших проблем локомотивного хозяйства – критический уровень износа локомотивного парка (табл. 2). Техническое состояние локомотивного парка не удовлетворяет растущим требованиям, предъявляемым к железнодорожным перевозкам и возрастающим потребностям рынка. Ежегодно в связи с истечением срока службы должны исключаться из инвентаря десятки локомотивов. Отсутствие в последнее десятилетие систематического пополнения парка новыми локомотивами привело к существенному старению парка, увеличению эксплуатационных и восстановительных затрат.

Анализ состояния тепловозного парка компании показывает, что естественное ста-

ТАБЛИЦА 1. Структура парка локомотивов ГАЖК УТЙ

Поездные (магистральные) тепловозы	Маневровые тепловозы	Электровозы	Электропоезда
55,20 %	25,90 %	14,60 %	4,30 %

ТАБЛИЦА 2. Перспектива парка тепловозов ГАЖК УТЙ до 2016 г. по состоянию на январь 2011 г.

Тепловозы					
2 ТЭ10 М	3 ТЭ10 М	ТЭМ2	ЧМЭЗ	2 ТЭ116	ТЭ10 М, 2 ТЭ10У, ТЭП70 БС
Подлежащие списанию до 2015 г., 79%	Подлежащие списанию после 2015 г., 0%	Подлежащие списанию до 2015 г., 77%	Подлежащие списанию на 2011 г., 26%	Подлежащие списанию до 2015 г., 0%	Подлежащие списанию после 2015 г., 78%
Подлежащие списанию после 2015 г., 10%	Подлежащие списанию на 2011 г., 3,0%	Подлежащие списанию после 2015 г., 12%	Подлежащие списанию до 2015 г., 67%	Подлежащие списанию на 2011 г., 34%	Подлежащие списанию до 2015 г., 22%
Подлежащие списанию на 2015 г., 11%	Подлежащие списанию до 2015 г., 79%	Подлежащие списанию на 2011 г., 11%	Подлежащие списанию после 2015 г., 7%	Подлежащие списанию после 2015 г., 66%	Подлежащие списанию до 2015 г., 0%

рение тепловозов и недостаточное финансирование средств на приобретение новых локомотивов приводят к необходимости поиска путей продления срока службы тепловозов с целью обеспечения грузовых и пассажирских перевозок. Создавшееся положение требует принятия незамедлительных мер к обновлению и наращиванию парка локомотивов, отвечающих требованиям безопасности перевозок.

Можно отметить, что к 2015 году большая часть тепловозов железных дорог Республики Узбекистан отслужит свой нормативный срок службы от постройки. Без приобретения новых тепловозов компании после 2015 года будет трудно обеспечивать возрастающие объёмы перевозок народно-хозяйственных грузов.

В перспективе возникает ряд проблем: с одной стороны, резкое повышение расходов на эксплуатацию устаревшего подвижного состава, с другой – невозможность реализовать план перевозок из-за физического отсутствия подвижного состава. Из-за интенсивного износа устаревшего тепловозного оборудования увеличиваются расходы на подъемочный и капитальный виды ремонтов тепловозов, тем самым резко снижается рентабельность их использования и содержания в эксплуа-

тации. При ограниченных инвестиционных возможностях полная замена имеющегося парка на локомотивы нового поколения до 2015 г. весьма затруднительна. Поэтому целесообразно наряду с постепенным обновлением парка за счёт поставок новых локомотивов продлить срок службы части парка выполнением капитальных ремонтов с одновременной модернизацией [2].

## 2 Анализ несущих конструкций тепловозов

Размеры и формы механических частей тягового подвижного состава определяются усилиями, деформациями и напряжениями в них, а также другими характеристиками состояния, которые формируются под действием нагрузок различного вида и характера. Они рассчитываются на прочность и жёсткость от статических и динамических нагрузок. Для обеспечения необходимой несущей способности и надёжности конструкции при возможно меньшей массе ее расчетная модель должна наиболее полно учитывать фактический спектр эксплуатационных нагрузок, строиться и решаться с учетом сочетания технических и экономических условий. Эти

конструкции должны удовлетворять требованиям безопасности для обслуживающего персонала и движения поездов.

По данным ремонтных заводов и эксплуатирующих депо, у 8–10% тепловозов серий 2 ТЭ10 М, ТЭМ2 за время их эксплуатации консольные части главных рам получают изгиб, превышающий допускаемый Правилами ремонта (15 мм), также отмечаются остаточные деформации и трещины в шкворневых балках рам [3].

Прочность, обеспечивающая работу узлов без повреждений в течение заданного срока службы локомотивов (25–30 лет) или специального подвижного состава (20 лет), действующими Нормами оценивается по допускаемым напряжениям или коэффициентам запаса по отношению к пределу текучести и пределу выносливости материала при рассмотрении работы элементов конструкций в упругой зоне [4]. Эти Нормы разработаны на основе длительных наблюдений за состоянием конструкций в эксплуатации, статистического анализа экспериментальных данных.

Вместе с тем в результате накопления усталостных повреждений или остаточных деформаций из-за несоблюдения норм проектирования или неучета реальных условий нагружения, неправильного выбора соотношения между характеристиками прочности и показателями эксплуатационной нагруженности происходят отказы, требующие внеплановых ремонтов подвижного состава.

Для получения необходимой информации при проведении исследования конструкции рамы тепловоза необходимо: определить вид контроля, методы контроля, вариант метода контроля, выбрать оптимальный комплект дефектоскопирующей аппаратуры, иметь нормативную документацию на выполнение контроля, иметь данные, подтверждающие достоверность обнаруженных дефектов выбранным методом контроля.

Классификация современных методов контроля и диагностирования несущих конструкций железнодорожного подвижного состава приведены на рисунке 1.

Оценка технического состояния металлоконструкций рамы тепловоза включает

определение геометрической и структурной механической дефектности элементов конструкций, распределение напряжений, а также степени повреждения стали под воздействием эксплуатационных факторов.

### **3 Принятие решения о дальнейшем использовании объекта**

Решение о направлении на ремонт, списании, проверке и установлении нового назначенного срока должно быть принято в соответствии с нормативно-технической документацией.

Для определения возможности и обеспечения дальнейшей надежной эксплуатации локомотива сверх срока, установленного техническими условиями, необходима оценка остаточного ресурса его базовых частей (кузова, главной рамы и рам тележек) с определением объема дополнительных работ при проведении среднего и капитального ремонтов. Эти задачи решаются расчетно-экспериментальными методами на основе опытных данных с расчетом их долговечности с проведением стендовых испытаний рам, эксплуатировавшихся более 20–25 лет, на несущую способность и усталостную прочность. В дальнейшем определение остаточного ресурса локомотива осуществляется на основе совокупности имеющейся информации прогнозированием его технического состояния по определяющим параметрам до достижения предельного состояния.

По выбранным критериям производится оценка и прогнозирование остаточного ресурса и предварительно устанавливаются пути возможной дальнейшей эксплуатации тепловоза. Далее производится оценочный экономический расчет и принимается окончательное решение о дальнейшей эксплуатации тепловоза.

Результатом проведенной работы является выдача заключения о возможности дальнейшей эксплуатации тепловоза в течение определенного расчетного периода или исключение его из инвентаря.

В качестве основного показателя остаточного ресурса определяется гамма-процентный

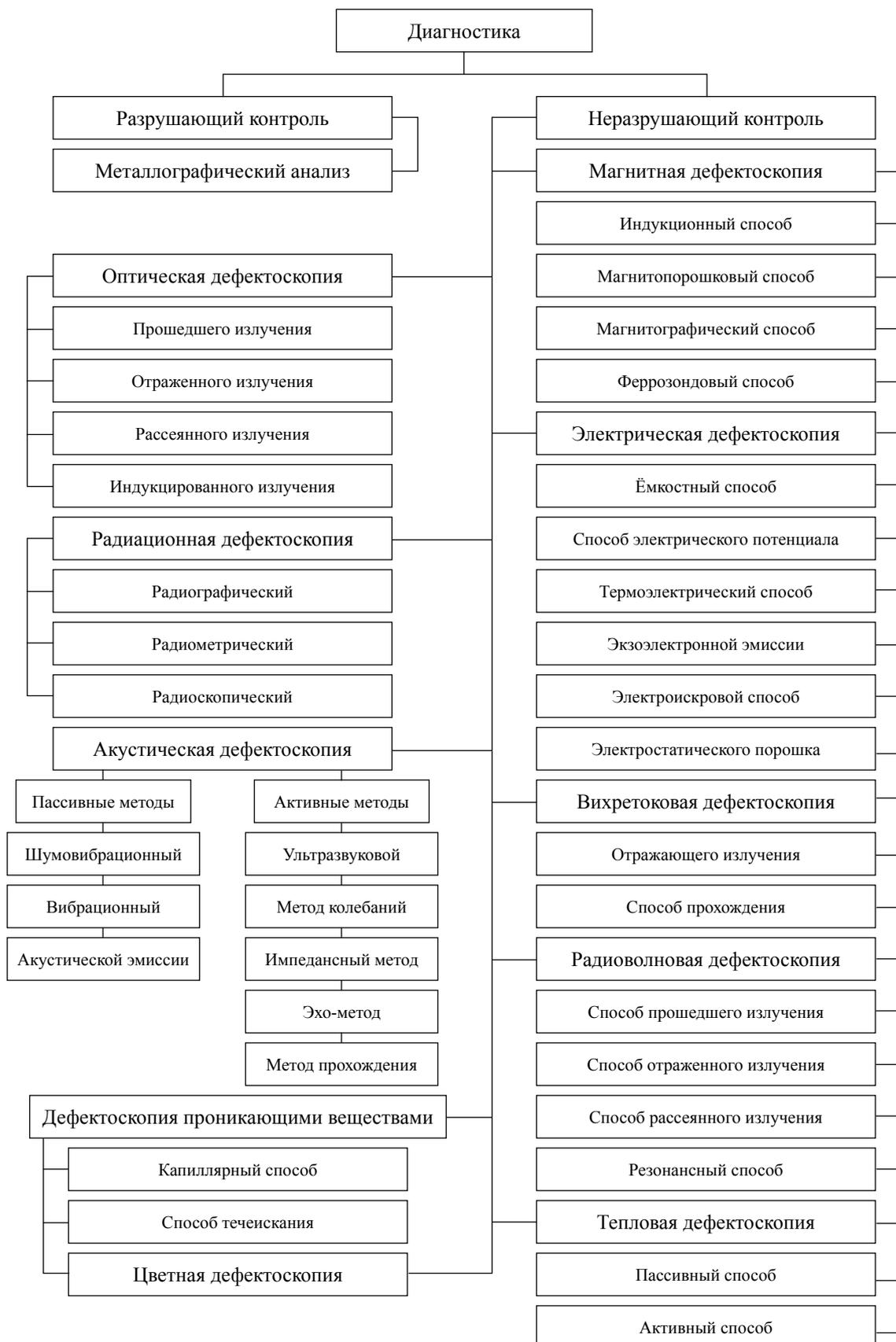


Рис. 1. Классификация методов диагностики железнодорожного подвижного состава

ресурс, задаваемый двумя численными значениями: наработкой, выраженной в процентах, и вероятностью того, что в течение этой наработки предельное состояние не будет достигнуто. Выбор вероятности (гамма) осуществляется в зависимости от назначения, степени ответственности и режима использования локомотива. Для ответственных деталей локомотивов, таких как несущие конструкции, преждевременное прекращение работы которых может привести к существенным экономическим потерям, это значение может достигать 90...95%. Если переход несущей конструкции локомотива в предельное состояние (ресурсный отказ) связан с опасностью для жизни и здоровья людей, значительными экологическими последствиями, то контроль за техническими параметрами ведется непрерывно. Продолжительность эксплуатации следует нормировать заданием назначенного ресурса, основываясь на полученных показателях остаточного ресурса.

#### **4 Порядок и последовательность работ для определения остаточного ресурса несущих конструкций локомотива**

В соответствии с принятыми критериями предельного состояния и с учетом условий эксплуатации локомотивов показателями их технического состояния являются:

- механические характеристики материалов (предел текучести, предел прочности, предел выносливости, твердость, характеристики микроструктуры материала);
- коэффициенты запаса прочности (по числу циклов до разрушения или по напряжениям при расчетах на усталостную прочность);
- эксплуатационные параметры (режимы работы, вибрации, деформации и др.).

В случае значительного ухудшения характеристик бывших в длительной эксплуатации рам по сравнению с новыми разрабатываются технические решения технологической или конструкторской доработки отдельных элементов конструкций (шкворневой узел, концевые части рамы и др.). При

необходимости выполняется расчетная или экспериментальная проверка внесенных изменений.

Основные этапы и порядок выполнения работ, связанных с продлением сроков службы локомотивов, показаны на блок-схеме (рис. 2). Она построена с учетом разработок и требований научно-технических и надзорных организаций к прогнозированию ресурса потенциально опасных объектов. При этом учитывается, что экипажные части локомотивов в эксплуатации испытывают интенсивные динамические циклические нагрузки, которые способствуют накоплению усталостных повреждений в элементах конструкции экипажа и изменению свойств их материалов.

Результатом работы является согласование технического решения, где указан необходимый объем работ (ремонт, модернизация), выполняемый по действующим и специально разработанным нормативно-техническим документам, а также предельный срок службы локомотива.

#### **Заключение**

Результатом настоящей работы является систематизация источников сбора исходной информации (структурная схема оценки остаточного ресурса тепловоза) для оценки остаточного срока службы тепловозов в условиях неполноты информации. Показано, что практически все источники информации имеют нечеткую составляющую, которая может влиять на результаты оценки остаточного ресурса. Таким образом, для объективной оценки технических рисков, связанных с оценкой остаточного срока службы рамы тепловоза, необходим прикладной метод, позволяющий оценивать остаточный ресурс с учетом нечеткости исходной информации.

#### **Библиографический список**

1. **Прочность** и безотказность подвижного состава железных дорог / А. Н. Савоськин,



Рис. 2. Структурная схема процедуры определения остаточного ресурса и продления сроков службы несущих конструкций тепловоза

Г. П. Бурчак, А. Л. Матвеевичев и др. ; ред. А. Н. Савоськин. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.

2. **Разработка** технологий освидетельствования и восстановления рам тепловоза серии ТЭ10 М для продления срока их службы : отчет о НИР / Ташкентский ин-т инж. транспорта. – Ташкент : ТашиИТ, 2007.

3. **Применение** методов расчёта несущей способности и малоциклового усталости для

оценки ресурса ответственных узлов локомотивов / Э. С. Оганян // Сборник трудов ПГУПС. – СПб. : ПГУПС, 2004. – С. 163–167.

4. **Нормы** для расчета и оценка прочности несущих элементов динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.

5. **Продление** срока службы подвижного состава / А. В. Третьяков. – М. : МБА, 2011. – 303 с.

УДК 625.15, 625.151.53

**В. С. Майоров**

БГТУ «Военмех»

## **ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ГАРНИТУР СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ВНЕШНИМИ ЗАМЫКАТЕЛЯМИ**

Произведён анализ причин отказов оборудования стрелочных переводов, оснащённых внешними замыкателями, предложен новый кулачковый механизм внешнего замыкателя. Рассмотрены вопросы динамического синтеза механизмов замыкателей новой конструкции и компьютерного моделирования движения механизмов. Приведены результаты расчётов.

внешний замыкатель, кулачковый механизм, динамический синтез, моделирование.

### **Введение**

В связи с непрерывным техническим совершенствованием транспортных систем, в частности подвижного состава железных дорог, возрастают скорости движения грузовых и пассажирских поездов, что ведёт к повышению требований по обеспечению безопасности движения. На железных дорогах во всём мире разработано и используется множество устройств и систем, предназначенных для повышения безопасности.

В истории развития железных дорог давно имеет место проблема фиксации острижков стрелочного перевода в крайних положениях. Установка устройств блокировки в механизмах стрелочных переводов необходима для предотвращения самопроизвольного перевода острижков под действием нагрузки

от проходящего состава. Данные устройства называются внешними замыкателями и являются одним из наиболее важных узлов гарнитуры стрелочного электропривода.

В настоящее время на железнодорожном транспорте разработано множество вариантов конструкций данных механизмов, в частности вертикальные и горизонтальные кляммерные замыкатели, зубчатые шарнирно-рычажные замыкатели и т. д.

Наибольшее распространение на российских железных дорогах, особенно на скоростных и высокоскоростных линиях, получили кляммерные замыкатели. Несмотря на относительно несложную конструкцию механизма, опыт эксплуатации показывает, что механизмы существующих конструкций гарнитур стрелочных электроприводов не обладают достаточной надёжностью. Об