

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ  
X МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Гомель, 26–27 ноября 2020 г.)

Часть 5

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2020

УДК 656.08  
ББК 39.18  
П78

Редакционная коллегия:

**Ю. И. Кулаженко** (отв. редактор), **Ю. Г. Самодум** (зам. отв. редактора),  
**А. А. Ерофеев** (зам. отв. редактора), **Т. М. Маруняк** (отв. секретарь),  
**Д. И. Бочкарев, К. А. Бочков, Т. А. Власюк, И. А. Еловой, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, В. М. Овчинников, А. А. Поддубный, А. В. Пулято, А. Г. Ташкинов**

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **В. В. Кобищанов**  
(Брянский государственный технический университет);  
доктор технических наук, профессор **Ю. О. Пазойский**  
(Московский государственный университет путей сообщения)

**Проблемы безопасности на транспорте** : материалы X Междунар.  
П78 науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5 / М-во  
трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т  
трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 229 с.  
ISBN 978-985-554-946-9 (ч. 5)

Рассматриваются безопасность и надежность подвижного состава и систем электроснабжения; транспортная безопасность при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Для ученых, преподавателей учебных заведений транспортного профиля, научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций, предприятий и учреждений транспорта и строительства.

**УДК 656.08**  
**ББК 39.18**

ISBN 978-985-554-946-9 (ч. 5)  
ISBN 978-985-554-941-4

© Оформление. БелГУТ, 2020

С развитием вычислительной техники напряженно-деформированное состояние механических деталей стало оцениваться широким разнообразием предлагаемых программных продуктов, которые представляют собой среды твердотельного моделирования. В основе большей части из них лежит метод конечных элементов. В отсутствие возможности полного описания сложной системы аналитическими уравнениями метод конечных элементов позволил с приемлемой для практической стороны точностью получать решение системы конечно-элементных уравнений широким набором методом численного интегрирования.

Более сложным с теоретической точки зрения является подход с применением непрерывных моделей формирования и идентификации физико-механических полей. Любой элемент механической конструкции практически любой сложности может быть представлен в виде пространственно-временной сущности, которая математически представляет собой описание физико-механического поля. Применение такого подхода значительно усложняет математическую модель и соответствующее время расчета с применением вычислительной техники. Но идентификация ответственных деталей подвижного состава в виде непрерывных математических моделей позволяет максимально точно учесть все технические требования при изготовлении и затем сопоставить полученные механо-прочностные характеристики с закладываемыми на этапе проектирования.

Неоспоримым преимуществом моделей на основе физико-механических полей является возможность включения в систему уравнений динамических возмущений, что позволяет оценивать механический ресурс и усталостно-прочностные характеристики механических частей.

С точки зрения дальнейшего развития и усовершенствования безопасности подвижного состава необходимо осваивать новые знания и получать новые средства проектирования и испытаний. Это позволит повысить качество, надежность и безопасность проектируемого подвижного состава. Новые средства должны включать расчет ресурса ответственных деталей подвижного состава, оценку их долговечности новейшими методами механики разрушения. При внедрении высокоскоростного подвижного состава возникает необходимость исследования характеристик сопротивления усталости материалов и сварных конструкций уже в гигацикловом порядке области циклического нагружения. Постоянное повышение требований к вопросам безопасной эксплуатации подвижного состава обуславливает разработку новых методов математического моделирования, применение разработки для расследования аварийных ситуаций, создание системы для управления техническим состоянием подвижного состава и рисками возникновения аварий и катастроф.

Таким образом, выбранные методы формирования математических моделей на основе физико-механических полей являются перспективным направлением исследования и соответствуют актуальным запросам современной практики проектирования и разработки подвижного состава.

УДК: 629.47

## **МОДЕЛЬ ВЫБОРА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В. Г. ПУЗЫРЬ, Ю. Н. ДАЦУН, И. Г. КРАМЧАНИН, К. М. САРКИСЯН*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Безопасность движения на железнодорожном транспорте является ключевым принципом его работы. Техническое состояние подвижного состава оказывает существенное влияние на показатели безопасности железных дорог. Для поддержания технического состояния и эксплуатационной надежности подвижного состава применяют систему его технического обслуживания и ремонта (ТОР). Она включает в себя совокупность производственных площадей, технических средств, документации и персонала по ТОР подвижного состава [1]. Недостаточное финансирование ремонтной составляющей подвижного состава на протяжении многих лет привело к ситуации, когда большинство основного технологического оборудования и инструмента ремонтных производств морально и физически устарело. Это негативно сказывается на эффективности работы предприятий, снижает качество ТО и Р и в конечном итоге ухудшает надежность подвижного состава в эксплуатации.

В этих условиях особо актуальными становятся вопросы формирования программ технического перевооружения предприятий, выбора оптимального состава оборудования. Задача усложняется

наличием на рынке широкой номенклатуры как технологического, так и диагностического оборудования, которое имеет различные технические характеристики и стоимость.

Из множества известных методов и подходов для решения этой задачи предпочтительно применение таких, которые позволяют учитывать многокритериальность и неопределенность, а также позволяют выбирать решения из множества альтернатив различных критериев различной размерности.

Однако в ряде случаев существующие методы не могут давать однозначного и обоснованного вывода при подборе оборудования из группы аналогичных и равнозначных типов или моделей. Поскольку подбираемые образцы оборудования могут существенно отличаться друг от друга по техническим характеристикам и типу исполнения, применение некорректного метода может показывать худшие критерии выбора с лучшими функциональными возможностями [2].

Проблема выбора правильного метода многокритериального подбора оборудования должна базироваться на двух условиях:

- соответствие метода свойствам решаемой задачи (условия выбора, тип множества альтернатив, количество критериев т.д.);
- учет влияния субъективных характеристик метода, которые обусловлены индивидуальными особенностями лица (лиц), принимающего решения.

Одним из методов, учитывающих такие условия при выборе оборудования, является метод анализа иерархий (МАИ) [3]. МАИ заключается в структуризации задач принятия решений путем построения многоуровневой иерархии, объединяющей все представляющие интерес компоненты задачи, которые сравниваются между собой при помощи разработанных для этого процедур [3].

Ключевой этап МАИ – построение дерева иерархии и оценки его альтернатив. Эксперт на основе своего субъективного мнения оценивает принадлежность элемента данному множеству относительно другого элемента.

Нормативной документацией [4] установлен ряд общих требований к диагностическому оборудованию. С точки зрения задачи выбора оптимального диагностического оборудования эти требования можно разделить на две группы. К первой целесообразно отнести безусловные требования, соответствие которым является обязательным для принятия средства диагностирования к рассмотрению. Сюда были отнесены обеспечение измерений или контроль диагностических параметров с заданной погрешностью (точностью) измерения, надежность (наработка на отказ). Во второй группе были сконцентрированы требования, соответствие которым у разных средств диагностирования может обеспечиваться по-разному, а значит, может выступать критерием в процессе выбора. К таковым можно отнести стоимость, степень автоматизации, трудоемкость работы, требуемую квалификацию персонала, эксплуатационную технологичность конструкции.

Для получения реальных данных по указанным критериям в работе рассматривались существующие средства и системы диагностирования колесных пар подвижного состава. Если учесть, что в данный момент на рынке представлено 5 типов диагностических средств по колесным парам, то дерево иерархий будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

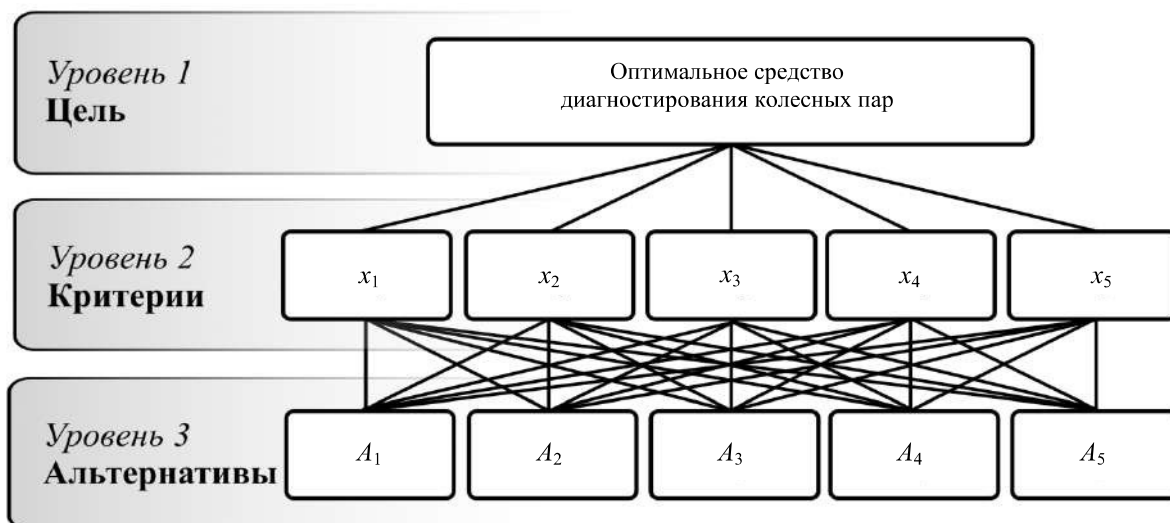


Рисунок 1 – Дерево иерархии выбора средств диагностики колесных пар

Относительные веса критериев и локальных оценок альтернатив определялись путем формирования матрицы попарных сравнений сначала критериев, затем каждой альтернативы по каждому критерию. Результаты попарного сравнения элементов заносились в матрицу сравнения размерности  $n \times n$ , где  $n$  – число сравниваемых элементов. Поскольку все критерии характеризуются разной размерностью, для проведения парных сравнений использовалась шкала относительной важности Саати [3].

В результате дальнейших расчетов были получены значения вектора глобальных приоритетов альтернатив (таблица 1).

Таблица 1 – Значения глобальных приоритетов

Альтернативы	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
Значение глобального приоритета	0,2929	0,1747	0,1541	0,0973	0,2819

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее значимым критерием в настоящее время является стоимость средств диагностики. Поэтому максимальным значением глобального приоритета характеризуются альтернативы  $A_1$  и  $A_5$ , которые соответствуют портативным ручным устройствам бесконтактного контроля параметров колесных пар подвижного состава. Полностью автоматизированная система диагностики колесных пар  $A_2$  характеризуется невысоким значением глобального приоритета по причине высокой стоимости.

#### Список литературы

- 1 Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways / E. Tartakovskiy [et al.] // Rail Transport – Systems Approach. Springer, Cham. – 2017. – P. 217–236.
- 2 Гривачев, А. В. Сравнительный анализ подходов и методов многокритериального выбора сложных мобильных систем // А. В. Гривачев, С. Ю. Сазонов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 5(68). – С. 35–43.
- 3 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.
- 4 ГОСТ 25176-82. Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация. Общие технические требования. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 10 с.

УДК 629.47

### ВЫБОР СТРАТЕГИИ СОДЕРЖАНИЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА ПРИ ВНЕДРЕНИИ СЕРВИСА

*В. Г. ПУЗЫРЬ, А. С. КРАШЕНИНИН, Ю. Н. ДАЦУН, А. Н. ОБОЗНЫЙ, В. И. ЗАДЕСЕНЕЦ*  
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков

В эксплуатации иногда возникают ситуации неопределенности оценки технического состояния оборудования локомотивов и одновременно выбора оптимальной стратегии их содержания, в том числе с возможностью применения сервиса.

Как показывает опыт развитых стран, целесообразно при эксплуатации локомотивов внедрять концепцию сервиса, так как это дает возможность стимулировать работу всех подразделений локомотивного хозяйства, экономить все виды ресурсов на эксплуатацию локомотивов.

Отечественными и зарубежными учеными много внимания уделялось оптимизации системы технического обслуживания (ТО), текущих ремонтов (ТР) тягового подвижного состава (ТПС), внедрению в ТО и ТР методов и систем диагностирования, средств автоматизации и информационных технологий, оценке жизненного цикла ТПС.

Сочетание этих подходов с позитивным опытом стран, которые внедрили принцип сервиса, позволит адаптироваться отрасли к новым реалиям содержания подвижного состава.

Теоретическое обоснование перехода на сервис достаточно точно можно описать, применяя подходы теории игр относительно принятия решений в конфликтных ситуациях и определения оптимальной стратегии поведения каждого из участников в этой ситуации [1, 2].

Рассмотрим игровую задачу так называемой торговли.

<i>Довгяло В. А., Моисеенко В. Л., Пупачёв Д. С., Максимчик К. В.</i> Разработка эксплуатационной документации для укладочного крана УК-25/28сп.....	52
<i>Дорожук Д. В., Дудко М. А.</i> Современные тенденции в развитии тягового электропривода трамваев .....	55
<i>Железнов К. И., Урсуляк Л. В., Швец А. А.</i> О построении оптимальной траектории движения поезда в координатах «путь – время».....	57
<i>Заирова Д. Н.</i> Технология восстановительной наплавки многоэлектродным способом ободов цельнокачанных колес в условиях предприятий АО «Узбекистон темир йуллари» .....	59
<i>Зайнитдинов О. И.</i> Конструкция съёмного кузова вагона с раздвижными боковыми стенами .....	60
<i>Капустин А. Г., Карачун А. Г.</i> Защита и диагностика систем электроснабжения воздушных судов.....	62
<i>Капустин А. Г., Терещенко К. В.</i> Инвариантная система регулирования напряжения системы электроснабжения .....	64
<i>Кара С. В.</i> К вопросу ресурса боковых рам тележек грузовых вагонов и их конструктивного совершенствования.....	65
<i>Карандеев С. С., Сорокин Д. П., Кушкова И. Ю.</i> Особенности организации ремонта крышек люков полувагонов в Жлобинском вагонном депо .....	67
<i>Каримова М. Х.</i> К вопросу безопасности буксового узла грузового вагона.....	69
<i>Кебигов А. А., Зайчик В. С.</i> Требования безопасности к инфраструктуре железнодорожного транспорта .....	71
<i>Кельрих М. Б., Фомин А. В., Прокопенко П. Н.</i> Оценка динамических качеств платформы в условиях эксплуатации .....	73
<i>Коришунов С. Д., Смирнов А. А., Ромашов Д. А.</i> Методические особенности прочностных статических испытаний кузовов двухэтажных вагонов нового поколения.....	74
<i>Коришунов С. Д., Смирнов А. А., Ромашов Д. А.</i> Испытания на прочность специализированных вагонов.....	76
<i>Коришунов С. Д., Удельнов А. Г., Самошкин С. Л.</i> Аспекты испытаний и эксплуатации вагонов для перевозки автомобилей и мотоциклов в пассажирских поездах.....	78
<i>Кузнецова М. Г., Маркавцов А. А., Холодилов О. В.</i> Повышение эффективности акустико-эмиссионной диагностики подшипниковых узлов за счет применения конечно-элементного анализа.....	81
<i>Кулаженко Ю. И., Зайчик В. С., Кебигов А. А.</i> Требования безопасности к железнодорожному подвижному составу .....	82
<i>Леоненко Е. Г.</i> Анализ сил, действующих на порожний вагон, при вписывании в кривые участки пути .....	84
<i>Лецик С. Д., Гончаров А. С.</i> Исследование характеристик покрытий, применяемых для восстановления деталей локомотивов, на основе гальванического хрома, модифицированного наноразмерными продуктами импульсной лазерной абляции кремния в водной среде .....	86
<i>Ловская А. А., Фомин А. В., Фомина Ю. В.</i> Определение динамической нагруженности и прочности несущей конструкции крытого вагона при ведении с него огневых действий .....	88
<i>Ляшук В. М., Высочанский А. В.</i> Исследование возможности применения генераторов синусоидальной формы для диагностики состояния изоляции обмоток сухих трансформаторов .....	90
<i>Ляшук В. М., Породько Я. В.</i> Методы снижения электропотребления за счет модернизации преобразовательного оборудования .....	91
<i>Мищенко Т. Н., Таптунов Д. А., Тырсовой Р. П., Чипак А. Н.</i> Вероятностный анализ стохастических процессов напряжений в узле присоединения и на шинах тяговой подстанции переменного тока .....	92
<i>Мищенко Т. Н., Фалинский В. А., Хаустов К. Р., Шаповал М. С.</i> Идентификационная модель тяговой подстанции постоянного тока .....	93
<i>Моисеенко В. Л., Дмитриев А. В., Максимчик К. В., Письменная Н. В.</i> Эксплуатация гибридного привода на железнодорожном транспорте.....	94
<i>Надточей Д. Г., Петраков Д. И.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния несущих конструкций вагона-самосвала (думпкара).....	96
<i>Никитин О. В., Никитина Д. О.</i> Построение цифровой 3D модели раздвижной колесной пары с тангенциально-осевым замком.....	98
<i>Оттока А. Г., Самусенко Е. В., Холодилов О. В.</i> Разработка методики магнитопорошкового контроля адаптеров грузового вагона.....	101
<i>Пигунов А. В., Пигунов В. В., Дашук П. А.</i> Применение алюминия и нержавеющей сталей в конструкциях кузовов грузовых вагонов.....	103
<i>Попов В. Б.</i> Математическое моделирование механизма подъёма секций косилки-плющилки ротационной КПр-9.....	105
<i>Прудко А. П., Босый Д. А.</i> Математические модели формирования и идентификации физико-механических полей в применении к оценке безопасности подвижного состава .....	107
<i>Пузырь В. Г., Дацун Ю. Н., Крамчанин И. Г., Саркисян К. М.</i> Модель выбора диагностического оборудования локомотиворемонтного предприятия .....	108
<i>Пузырь В. Г., Крашенинин А. С., Дацун Ю. Н., Обозный А. Н., Задесенец В. И.</i> Выбор стратегии содержания локомотивного парка при внедрении сервиса .....	110
<i>Путято А. В., Шведов А. Л.</i> Разработка 3D модели якоря тягового электродвигателя ЭД-118.....	112