

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

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.

Пусть фирма А планирует организовать выпуск запасных частей для скоростного подвижного состава. Для этого необходимы ресурсы и техника, которых у фирмы А нет.

В этой ситуации возможно заключить контракты с фирмой В, которая может обеспечить финансирование этого проекта, но ставит за это условие фирме В – долю выпущенных запасных частей для скоростного подвижного состава за первый год работы фирмы А.

Предполагается выпуск запасных частей для скоростного подвижного состава за год в объеме в среднем 250 единиц по цене 40 тыс. грн. (всего 100 млн грн.).

Для фирмы А, которая представляет страну с ослабленной инфраструктурой и неэффективной экономикой, необходимо выполнения этого задания как можно быстрее.

Фирма В требует получить часть готовой продукции больше половины, поскольку только это покрывает ее затраты, что для нее принципиально.

Фирма В не может требовать от фирмы А выполнения своих интересов, так как фирма А может привлечь к выпуску запчастей для скоростного подвижного состава фирму С.

Складывается конфликтная ситуация между взаимодействием фирм, так как они обе получают прибыль и сумма их платежей не равна нулю. Это кооперативная игра с ненулевой суммой. Оцениваются возможности фирм путем определения функции полезности.

Когда какая-нибудь одна фирма получает всю прибыль за год, полезность для нее равна 1, а для другой – соответственно 0. То есть при росте полезности для одной фирмы другой фирме приходится потерять эту полезность.

Лучшим решением является такое распределение прибыли, при котором произведение полезностей является максимальным.

В общем случае функцию полезности можно задать на основании статистических данных для конкретных условий функционирования предприятия.

Запишем функцию полезности для фирмы А как функцию  $y_1 = a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x + a_4$  в общем виде. То есть с возрастанием платежей от фирмы В фирма А получает всё больше пользы в своей деятельности.

Вместе с этим для фирмы В функция полезности с увеличением платежей также возрастает, но в противофазе к интересам фирмы А. Эту особенность представим для функции полезности в виде  $y_2 = -b_1x^3 + b_2x^2 + b_3x + b_4$ .

Для условия достижения оптимального значения функции полезности определим перемноженную функцию  $y = y_1 \cdot y_2$ . В связи со сложностью аналитического представления максимальной полезности приведем числовой пример реализации данной задачи. По статистическим данным [3] запишем для фирмы А функцию полезности в виде  $y_1 = 10^{-6}x^3 - 0,62 \cdot 10^{-3}x^2 + 0,41 \cdot 10^{-1}x + 0,29 \cdot 10^{-1}$ .

Для фирмы В соответственно  $y_2 = -0,3 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,134 \cdot 10^{-4}x^2 + 0,115 \cdot 10^{-1}x - 0,2 \cdot 10^{-1}$ .

Соответствие платежей и полезности от их распределения приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие платежей и полезности от их распределения

Фирма	Значение											
А	$y_1$	0	0,386	0,636	0,798	0,891	0,933	0,943	0,938	0,939	0,963	1
	$x_1$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
В	$y_2$	1	0,921	0,842	0,753	0,655	0,55	0,439	0,325	0,208	0,091	0
	$x_2$	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$y_1 \cdot y_2$	0	0,355	0,535	0,601	0,583	0,513	0,414	0,305	0,196	0,088	0	0

Как видно из расчетов, максимальное значение  $y$  достигается при распределении платежей: 30 млн грн. фирме А и 70 млн грн. фирме В, когда  $y = 0,601$ .

На рисунке 1 представлено решение этой задачи. По оси абсцисс в числителе отображен платеж в пользу фирмы А, в знаменателе – платеж в пользу фирмы В.

Из проведенных исследований по выбору стратегии содержания локомотивного парка видно, что методами стратегических игр можно решать различные типы задач, связанные с принятием решений, в частности, обоснование постепенного перехода к сервису, выбор тактики обслуживания подвижного состава, оптимальное взаимодействие между разными фирмами.

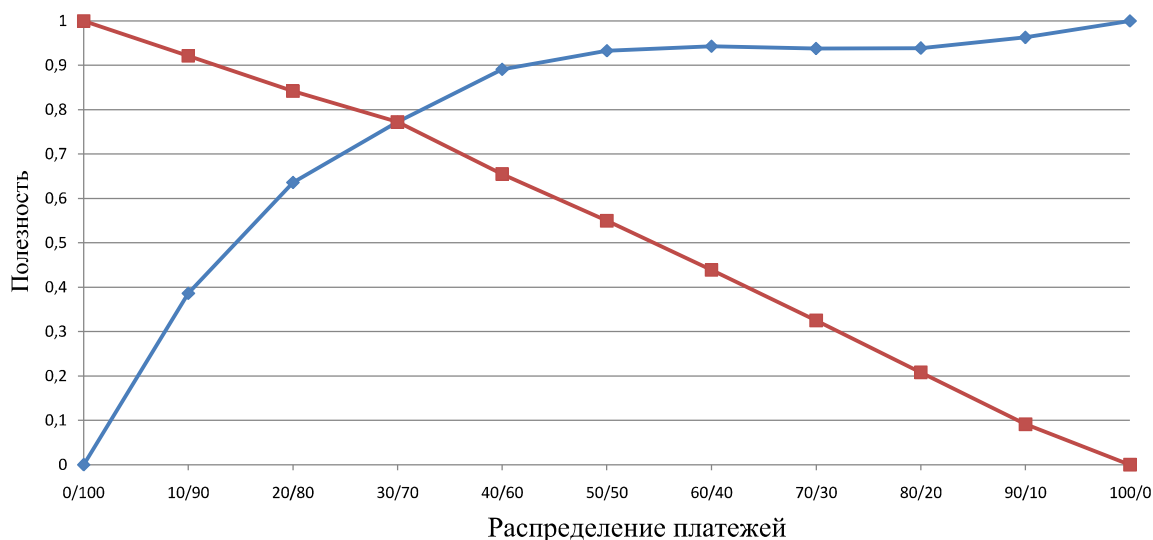


Рисунок 1 – Графическое представление решения игровой задачи торговли

В ситуации, присущей кооперативной игре с ненулевой суммой, целесообразно получить информацию о динамике функции полезности, по которой можно оценивать выбранные стратегии игроков.

#### Список литературы

- 1 **Вентцель, Е. С.** Элементы теории игр / Е. С. Вентцель. – М. : Физматгиз, 1961. – 68 с.
- 2 Dixit, A. K. Games of Strategy / A. K. Dixit, S. Skeath, D. McAdams. – Norton & Company, 2015.
- 3 Автоматизированная система управления надежностью локомотивов (АСУНТ) / К. В. Липа [и др.] // Концепция ТМХ-Сервис. – М. : ТМХ-Сервис, 2012. – 160 с.

УДК 629.4.023

### РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ЯКОРЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭД-118

*А. В. ПУТЯТО, А. Л. ШВЕДОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В процессе эксплуатации тягового подвижного состава Белорусской железной дорогой особое внимание уделяется поддержанию требуемого уровня эксплуатационной надежности, в том числе за счет совершенствования технологии выполнения работ по неразрушающему контролю его ответственных деталей и узлов. Несмотря на соблюдение технологии ремонта тяговых электрических машин при различных видах обслуживания и ремонта в условиях локомотивных депо Белорусской железной дороги и иных специализированных предприятий в локомотивном хозяйстве наряду с типовыми неисправностями, такими как понижение сопротивления изоляции, перегрев и расплавление контактных соединений и прочих, наблюдается тенденция увеличения отказов по причинам, имеющим механическую природу: трещины валов якорей и подшипниковых щитов, ослабление посадки зубчатого колеса на конусной части вала и внутренних колец подшипников на шейках вала якоря, разрушение сепараторов подшипников и т. п.

Одной из наиболее распространенных электрических машин тягового подвижного состава, эксплуатируемой на Белорусской железной дороге является ЭД-118. Указанным тяговым электродвигателем укомплектованы тепловозы серии М62 и 2ТЭ10 всех исполнений. Анализ результатов ультразвукового и магнитопорошкового контроля валов якорей тяговых электродвигателей со средним сроком эксплуатации 30 лет свидетельствует о встречающихся трещинах, имеющих, предположительно, природу усталостного характера. Отметим, что ряд возникающих эксплуатационных неисправностей успешно устраняется при плановых видах ремонта и не влияет на достижение предельного состояния электродвигателя. В то же время такая неисправность, как появление трещин в ба-

<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>Кебилов 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>Кориунов С. Д., Смирнов А. А., Ромашов Д. А.</i> Методические особенности прочностных статических испытаний кузовов двухэтажных вагонов нового поколения.....	74
<i>Кориунов С. Д., Смирнов А. А., Ромашов Д. А.</i> Испытания на прочность специализированных вагонов.....	76
<i>Кориунов 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., Кебилов 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., Даун Ю. Н., Крамчанин И. Г., Саркисян К. М.</i> Модель выбора диагностического оборудования локомотиворемонтного предприятия .....	108
<i>Пузырь В. Г., Крашенинин А. С., Даун 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