АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», по образовательной программе 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника и технологии»

БАЙГОЖИНА ПЕРИЗАТ УВАЛИЕВНА

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Актуальность диссертационной работы. Диссертация выполнена в рамках реализации Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 года, а также в соответствии с задачами Концепции развития железнодорожного транспорта Республики Казахстан до 2029 года. Работа выполнена на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», по образовательной программе докторантуры 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника и технологии».

Железнодорожный транспорт играет важную роль в обеспечении грузовых перевозок Республики Казахстан. В условиях роста объемов перевозок и увеличения нагрузки на вагонный парк возрастает значение своевременной оценки технического состояния грузовых вагонов, принятия обоснованных решений по их дальнейшей эксплуатации и рационального использования имеющихся ресурсов вагонного хозяйства.

В процессе эксплуатации неисправности грузовых вагонов выявляются преимущественно в пунктах технического обслуживания. Решение о дальнейшей эксплуатации вагона или направлении его в ремонт принимается на основании результатов технического контроля и требований действующих нормативных документов. Вместе с тем существующие подходы не всегда позволяют комплексно учитывать фактическое техническое состояние отдельных узлов и экономическую целесообразность принимаемого решения.

Одновременно важным вопросом является обеспечение пунктов технического обслуживания необходимыми запасными частями. Неравномерность запасов между станциями может приводить к их избытку в одних пунктах и недостатку на других, увеличению времени ожидания ремонта и дополнительным эксплуатационным затратам.

Существующие методы контроля технического состояния грузовых вагонов и действующая нормативная база обеспечивают выполнение требований безопасности движения. Однако вопросы принятия обоснованных решений по дальнейшей эксплуатации вагонов с учетом их технического состояния, а также перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания требуют дальнейшего совершенствования. В

связи с этим актуальной является разработка алгоритма принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов и методики перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания.

Гипотезой исследования является предположение о возможности повышения эффективности эксплуатации грузовых вагонов за счет совершенствования процессов принятия решений по их дальнейшей эксплуатации на основе оценки технического состояния и перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания.

Целью исследования является повышение эффективности эксплуатации грузовых вагонов на основе разработки алгоритма принятия решений по дальнейшей эксплуатации вагонов с учетом оценки их технического состояния и совершенствования управления запасными частями в пунктах технического обслуживания.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проведен анализ текущего состояния грузовых вагонов в Республике Казахстан;
- проведен критический анализ системы эксплуатации, контроля качества и технического обслуживания грузовых вагонов;
- обоснован выбор полигона исследования и проведен анализ статистических данных о работоспособности грузовых вагонов;
- обоснован критерий оптимальности для выбора решения по эксплуатации грузовых вагонов;
- разработана вероятностно-детерминированная математическая модель оптимизации эксплуатации и технического обслуживания грузовых вагонов;
- оптимизировано распределение складских запасов на примере Карагандинского отделения дороги;
- реализованы результаты исследования и оценена их эффективность.

В работе рассматриваются два взаимосвязанных направления по принятию решений о дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов и перераспределению запасных частей между пунктами технического обслуживания. Оба направления объединены общей задачей повышения эффективности эксплуатации грузового вагонного парка за счет обоснованного принятия эксплуатационных решений и рационального использования запасных частей.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы статистического анализа, теории вероятностей, наблюдения, математического моделирования и многокритериальной оценки.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- проведен анализ статистической информации о неисправностях грузовых вагонов в Карагандинском отделении дороги позволил определить вероятность отказа основных узлов грузовых вагонов;
- обоснован критерий оптимальности, представляющий собой оценку эффективности принимаемых решений по эксплуатации грузовых вагонов;

– разработана вероятностно-детерминированная модель эксплуатации и технического обслуживания грузовых вагонов, позволяющая определить алгоритм принятия решений о дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов;

– впервые установлена детерминированная зависимость между экономическими показателями и затратами на их эксплуатацию в зависимости от их работоспособности;

– получены зависимости, определяющие оптимальное распределение потребных запасных частей между станциями Карагандинского отделения дороги;

– впервые разработана математическая модель оптимального распределения потребных запасных частей в группе станций Карагандинского отделения дороги;

– впервые предложен метод определения совокупной вероятности отказа по учитываемым группам узлов вагона.

Научные положения, выносимые на защиту:

– алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов на основе оценки технического состояния основных узлов и деталей вагона с учетом технических и экономических критериев;

– математическая модель и методика перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания с учетом потребности станций и неснижаемого запаса;

– результаты моделирования вариантов перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания, характеризующие изменение затрат на хранение и перевозку, времени простоя вагонов и использования запасных частей;

– результаты оценки экономической эффективности применения разработанных решений.

Автор защищает:

1. Алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов на основе оценки технического состояния основных узлов и деталей вагона.

2. Подход к выбору дальнейшей стратегии эксплуатации грузовых вагонов, основанный на сопоставлении технического состояния узлов и экономической целесообразности принимаемого решения.

3. Методику оценки технического состояния основных узлов грузового вагона для принятия решений о дальнейшей эксплуатации, ремонте или выводе из эксплуатации.

4. Методику перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания с учетом потребности станций и наличия неснижаемого запаса.

5. Программный модуль, реализующий алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов.

6. Результаты оценки эффективности разработанных решений, включая снижение затрат на содержание запасов и сокращение времени простоя вагонов.

Объектом исследования являются процессы эксплуатации и технического обслуживания грузовых вагонов, а также обеспечение пунктов технического обслуживания запасными частями.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов на основе оценки их технического состояния, а также процессы оптимизации и перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных решений при организации эксплуатации и технического обслуживания грузовых вагонов. В рамках исследования:

– разработан алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов на основе оценки технического состояния основных узлов и деталей;

– разработан программный модуль, реализующий алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов;

– разработана методика перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания с учетом потребности станций и неснижаемого запаса;

Результаты диссертационного исследования переданы для практического использования в ВЧД-13 Карагандинского отделения дороги и внедрены в учебный процесс дисциплины «Производственная эксплуатация. Методы и модели» для магистрантов 1-го курса образовательной программы 7М07104 – «Транспорт, транспортная техника и технологии».

Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректной постановкой задач исследования, использованием статистических данных по эксплуатации грузовых вагонов Карагандинского отделения дороги, применением методов статистического анализа, математического моделирования и сравнительной оценки рассматриваемых вариантов. Разработанные алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов и методика перераспределения запасных частей проверены на расчетных и практических примерах. Полученные результаты согласуются с действующими нормативными требованиями и условиями эксплуатации железнодорожного транспорта. Основные положения диссертации опубликованы в научных изданиях и представлены на научно-практических конференциях.

Все разделы диссертации выполнены в методической последовательности и логически взаимосвязаны. Разделы диссертации логически взаимосвязаны и последовательно отражают этапы решения поставленных задач. Полученные научные и практические результаты соответствуют цели и задачам исследования.

Краткое содержание диссертации

В первой главе проведен анализ современного состояния грузового вагонного парка Республики Казахстан, рассмотрены существующие подходы к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и контролю технического состояния грузовых вагонов. Выполнен критический анализ действующей системы эксплуатации и технического обслуживания, выявлены основные проблемы и ограничения существующих подходов. По результатам проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлена характеристика Карагандинского отделения дороги. Выполнен статистический анализ неисправностей грузовых вагонов и определены наиболее распространенные отказы основных узлов и деталей вагонов по классификатору «Основные неисправности грузовых вагонов» (КЖА 2005 04) по Карагандинскому отделению дороги.

В третьей главе разработан алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов на основе оценки технического состояния основных узлов и деталей. Определены и систематизированы контролируемые параметры колесных пар, буксовых узлов, кузова, тормозного оборудования и других элементов вагона. На основе технических и экономических критериев возможен выбор одного из решений: продолжение эксплуатации без ремонта, направление вагона в ремонт, замена узлов и деталей или его списание. Учитывается совокупная вероятность отказа вагона как единой системы, которая позволяет обоснованно определить необходимость технического вмешательства на этапе отцепки вагона.

В четвертой главе разработаны математическая модель и методика перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания с учетом имеющихся запасов, потребности станций и установленного неснижаемого запаса. Рассмотрены критерии оценки вариантов перераспределения, включающие затраты на хранение и транспортировку, время простоя вагонов и использование запасных частей.

В пятой главе проведена практическая проверка разработанных решений. Рассмотрена работа программного модуля, реализующего алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов, и выполнено моделирование вариантов перераспределения запасных частей для условий Карагандинского отделения дороги. Установлено снижение затрат на содержание запасов в среднем на 25,34 % и сокращение времени простоя вагонов в среднем на 11,25 %. Выполнена экономическая оценка разработанных решений, согласно которой расчетный годовой экономический эффект составил 4 278 300 тг, а срок окупаемости – 1,05 года.

Личный вклад диссертанта. Автор лично выполнил сбор, обработку и анализ статистических данных по неисправностям грузовых вагонов Карагандинского отделения дороги. Совместно с научными руководителями участвовал в разработке алгоритма принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов и методики перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания. Также совместно с научным руководителем проведено моделирование рассматриваемых

вариантов, выполнен анализ полученных результатов, разработан программный модуль и проведена оценка экономической эффективности предложенных решений.

Публикация и апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в двух статьях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, в двух статьях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстани в двух материалах международных научно-практических конференций. Получено одно свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права.

В статье «Algorithm for Making the Optimal Decision for Further Operation of Freight Cars», опубликованной в журнале Communications – Scientific Letters of the University of Žilina, входящем в базу данных Web of Science, Scopus в разделе Mechanical Engineering in Transport (квартиль Q4, процентиль 47, 2025. Т. 27, № 4. DOI: 10.26552/com.C.2025.049), рассмотрена методика выбора решения по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов. В работе собраны и обработаны статистические данные по отказам основных узлов грузовых вагонов, обоснован критерий оптимальности, основанный на максимизации прибыли, и разработан алгоритм выбора между дальнейшей эксплуатацией, ремонтом и списанием вагона.

В статье «Reducing Storage Costs and Downtime in Railways Through Spare Parts Redistribution and MCDA-Based Optimization», опубликованной в журнале Applied Sciences, входящем в базу данных Web of Science, Scopus (квартиль Q2, процентиль 81, 2025, № 24. Статья 12957. DOI: 10.3390/app152412957), разработан подход к повышению эффективности управления запасными частями на железнодорожных станциях. Выполнено сравнение традиционной системы хранения запасов и вариантов их перераспределения между станциями, разработана математическая модель на основе многокритериального анализа решений (MCDA), учитывающая затраты на хранение, транспортировку и перераспределение запасных частей.

В статье «Жүк вагондарының қызмет ету мерзімін арттыру әдісінің негіздемесі», опубликованной в журнале «Труды Университета» (2024. № 4 (97). Раздел 3 «Строительство. Транспорт». DOI: 10.52209/1609-1825_2024_4_226), проведен анализ вопросов обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации железнодорожного подвижного состава, рассмотрены показатели его технического состояния и вероятности отказов.

В статье «Вагондардың жағдайын техникалық және функционалдық диагностика негізінде болжау қажеттілігінің негіздемесі», опубликованной в журнале «Труды Университета» (2025. № 1 (98). Раздел «Строительство. Транспорт». DOI: 10.52209/1609-1825_2025_1_273), рассмотрены современные средства технической диагностики грузовых вагонов, включая системы контроля колесных пар, тормозного оборудования и ходовой части.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа представлена в виде машинописного текста, состоит из обозначений и сокращений,

введения, 5 глав и заключения, включает в себя 74 рисунка, 52 таблицы, список использованных источников из 174 наименований и 6 приложений.

Диссертация представляет новые научно обоснованные результаты, направленные на решение важной прикладной задачи повышения эффективности эксплуатации грузовых вагонов путем разработки алгоритма принятия решений по их дальнейшей эксплуатации и методики перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания.

По результатам проведенного исследования получены следующие основные результаты:

– проведен анализ текущего состояния грузового вагонного парка Республики Казахстан, критический анализ существующих методов технического обслуживания, диагностирования и контроля технического состояния вагонов, что позволило определить основные проблемы и сформулировать цель и задачи исследования;

– выполнен статистический анализ неисправностей грузовых вагонов Карагандинского отделения дороги (полгион исследования) и сформирована база данных наиболее распространенных отказов основных узлов и деталей вагонов по классификатору «Основные неисправности грузовых вагонов» (КЖА 2005 04);

– определены параметры технического состояния основных узлов грузового вагона, учитываемые при выборе дальнейшей стратегии его эксплуатации;

– обоснован критерий оптимальности для выбора решения по эксплуатации грузовых вагонов;

– разработана вероятностно-детерминированная математическая модель, на основе которой сформирован алгоритм выбора варианта дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов с учетом их технического состояния и экономических показателей;

– выполнена практическая апробация двухэтапной методики оценки риска на примере вагона № 75014324, подтвердившая ее высокую техническую эффективность: проведение ремонтных работ обеспечило снижение совокупной вероятности отказа вагона с 94,16 % до 27,34 %, что гарантирует восстановление его надежности и безопасность эксплуатации;

– разработаны математическая модель и методика перераспределения запасных частей между пунктами технического обслуживания с учетом потребности станций, имеющихся запасов и необходимости сохранения неснижаемого запаса;

– выполнена оптимизация вариантов перераспределения запасных частей для условий Карагандинского отделения дороги. Установлено, что применение разработанной методики позволяет снизить затраты на содержание запасов в среднем на 25,34 %, сократить время простоя вагонов в среднем на 11,25 % и обеспечить средний коэффициент использования запасных частей после перераспределения около 72 %;

– разработан программный модуль, реализующий алгоритм принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов, и проведена его проверка на расчетных примерах;

– выполнена оценка экономической эффективности разработанных решений. Расчетный годовой экономический эффект составил 4 278 300 тг. При единовременных затратах 4 500 000 тг срок окупаемости составил 1,05 года;

– разработанный алгоритм, программный модуль и методика перераспределения запасных частей могут быть использованы при организации эксплуатации и технического обслуживания грузовых вагонов;

– перспективой дальнейшего исследования является развитие научно-методического подхода к повышению эффективности эксплуатации грузовых вагонов.