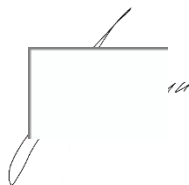


На правах рукописи



НИКИТИН Дмитрий Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Специальность: 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Государственный университет управления».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Карелина Мария Юрьевна

Официальные оппоненты: **Келлер Андрей Владимирович**
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»,
«Транспортный факультет», декан;

Загородний Николай Александрович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
кафедра «Эксплуатация и организация движения автотранспорта», заведующий кафедрой;

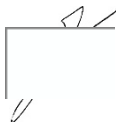
Ведущая организация: **Открытое акционерное общество**
«Научно-исследовательский институт
автомобильного транспорта», г. Москва.

Защита состоится «28» октября 2025 г. в 14³⁰ часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.380.05 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 220). Тел/факс: (812) 316-58-73, E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте: <https://dis.spbgasu.ru/specialty/personal/nikitin-dmitriy-aleksandrovich>

Автореферат разослан «01» сентября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Грушецкий Станислав Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На гражданских и военных аэродромах для содержания взлетно-посадочной полосы (ВВП), рулѐжных дорожек и смежных территорий, наиболее распространѐнным оборудованием является специальные автомобили с установленными на них различным коммунальным навесным оборудованием. Навесное оборудование, используемое для проведения работ, оказывает существенное влияние на эксплуатационные параметры специального автомобиля, в том числе, на надежность, трудоемкость обслуживания и ремонта. В то же время износ отдельных элементов также влияет на показатель производительности и эффективности процесса уборки летных полей.

Эксплуатация специальных автомобилей на взлетно-посадочных полосах и прилегающих территориях требует поддержания крайней степени готовности и высоких показателей производительности и эффективности транспортных средств в любое время года на протяжении всего жизненного цикла. Несвоевременный выход из строя, неготовность к эксплуатации и снижение производительности или эффективности специального автомобиля в данных условиях недопустимо, так как может привести к чрезвычайным ситуациям с участием воздушных судов.

Щеточная установка является одним из наиболее востребованных элементов навесного оборудования специального автомобиля, так как удаляет остаточный после работы фронтального отвала снег и значительно повышает коэффициент сцепления шасси воздушного судна и полотна летного поля. Щеточная установка вносит наибольший вклад в обеспечение безопасности транспортного процесса, но значительно снижает эксплуатационные параметры специального автомобиля в связи с возникновением больших усилий в пятне контакта ворса и полотна, и большими затратами мощности на вращение щеточного узла, что усугубляется с износом ворса.

Эксплуатация специального автомобиля неизбежно приводит к износу навесного оборудования, предназначенного для уборки и содержания дорожной одежды ВВП, рулѐжных дорожек и смежных территорий. В период жизненного цикла по мере эксплуатации и износа навесное оборудование пропорционально влияет на показатели эффективности процесса уборки и содержания, а также на эксплуатационные показатели самого спецавтомобиля. В процессе износа изменяются рабочие параметры навесного оборудования и эффективность осуществляемого процесса, что приводит к изменению эксплуатационных показателей производительности и эффективности специального автомобиля.

Существующие в настоящее время методики недостаточно полно раскрывают степень влияния параметров навесного оборудования на эксплуатационные параметры надежности, производительности и эффективности специального автомобиля и не учитывают конструктивные и рабочие параметры щеточного узла. Определение зависимостей эксплуатационных параметров автомобиля специального назначения от конструктивных и рабочих параметров щеточного узла требует разработки самостоятельных методик повышения эксплуатационных характеристик путем выявления связей, влияющих на базовое шасси и навесное оборудование. Ширина захвата щетки, ее диаметр, степень износа ворса и его жесткость, частота вращения и сила прижима щеточного узла являются минимальным набором параметров щеточного узла, влияющих на рабочий процесс специального транспортного средства. Исследование влияния данных типов навесного оборудования на эксплуатационные параметры и рабочий процесс в целом позволит оптимизировать навесное оборудование и его параметры под условия эксплуатации и требования, предъявляемые к транспортному средству, а также позволят управлять эксплуатационными показателями надежности, производительности и эффективности.

Существующие методики повышения эксплуатационных параметров специального автомобиля путем определения влияния навесного оборудования на эксплуатационные показатели специального автомобиля требуют доработки и оптимизации под современные требования и условия эксплуатации специальных автомобилей с навесным оборудованием, с учетом основных конструктивных, рабочих и эксплуатационных параметров щеточного узла.

Установление закономерностей внешних связей для специального автомобиля в результате установки на базовое шасси навесного оборудования и возникновения дополнительных факторов, изменяющих показатели реализуемого качества надежности, работоспособности изделий во времени, позволит решать ряд важных теоретических и практических задач эксплуатации транспортного средства, ТО и ТР, разработать мероприятия по системам сохранения и восстановления работоспособности автомобилей и запланировать поставку расходных материалов и запасных частей с целью снижения времени простоя, решая тем самым основную задачу обеспечения летных полетов высокопроизводительными и эффективными специальными автомобилями.

Вышеизложенные проблемы определяют потребность в повышении эксплуатационных показателей специального автомобиля с центральной щеткой путем разработки методики оптимизации навесного оборудования,

учитывающей основные рабочие и эксплуатационные параметры, и определения зависимостей и закономерностей влияния навесного оборудования и степени его износа на эксплуатационные показатели специального автомобиля с центральной щеткой, способствующих повышению безопасности транспортного процесса.

Степень разработанности. Работы в области исследований влияния навесного оборудования и его параметров на эксплуатационные характеристики специального автомобиля активно проводились в ВУЗах, например: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», ОАО Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (НИИАТ), ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» и др. Весомый вклад в создание, оптимизацию и исследование влияния навесного оборудования на эксплуатационные параметры автомобилей специального назначения внесли следующие российские и иностранные ученые: Асанов А. А., Баловнев В. И., Болдин А. П., Гайнутдинов В. Г., Гриб В. В., Доценко А. И., Ермилов А. Б., Желудкевич Р. Б., Куксов М.П., Лепиш Н.А., Мерданов Ш.М., Немков М. В., Тойгамбаев С.К., Уханов А. П., Щемелев А. М., Cășeriu Bianca, Blaga Petruta, Gallas Dawid, Stobnicki Paweł, Jakuszko Wojciech, Urbański Patryk, Kikut Justyna.

При анализе методической, нормативно-правовой базы, а также научных работ в области повышения эксплуатационных параметров специальных автомобилей было установлено, что исследования, посвященные установлению зависимостей влияния навесного оборудования и оптимизации, не были в должной мере освещены в научной среде.

Цель и задачи исследования:

Цель исследования – повышение эксплуатационных показателей специального автомобиля с конструкцией щеточного узла путем установления зависимостей и закономерностей изменения эксплуатационных показателей транспортного средства от рабочих и технических параметров щеточного узла, в том числе, износа ворса.

Задачи исследования:

1. Проанализировать наиболее распространенные методики уборки и содержания и модели транспортных средств, в том числе на шасси специальных автомобилей с интегрированным щеточным узлом, используемые

для дорожных одежд ВПП, рулёжных дорожек и прочих территорий аэропортов и требований, предъявляемых к ним;

2. Установить закономерность влияния навесного оборудования на специальный автомобиль с конструкцией щеточного узла, позволяющую решать теоретические и практические эксплуатационные задачи;

3. Разработать методику определения влияния износа ворса щеточного узла на эксплуатационные параметры специального автомобиля с учетом особенностей эксплуатации, режимов работы и конструктивных параметров щеточного узла;

4. Определить зависимости эксплуатационных показателей производительности и эффективности специального автомобиля от степени износа ворса щеточного узла, позволяющие рационализировать периодичность замены ворса;

5. Провести оценку эксплуатационных свойств специального автомобиля в результате разработки метода определения закономерностей влияния дополнительного навесного оборудования и определения зависимостей эксплуатационных параметров и износа ворса щеточного узла.

Объектом исследования является транспортное средство - специальный автомобиль (спецавтомобиль) с установленным в центральной части навесным щеточным узлом (щетка центральная).

Предметом исследования являются показатели эффективности эксплуатации спецавтомобиля в период жизненного цикла транспортного средства.

Рабочая гипотеза. При содержании аэропортовых площадок и прочих дорожных одежд коммунальное навесное оборудование имеет прямое влияние на техническое состояния и эффективность эксплуатации базового шасси специального автомобиля. Щеточный узел центрального расположения является наиболее распространённым вариантом навесного оборудования. Методика определения корреляции зависимости эксплуатационных показателей производительности и эффективности специального автомобиля от степени износа ворса щеточного узла позволит рационализировать периодичность замены ворса и оптимизировать экономические показатели.

Методология и методы исследования. Для формирования методологической базы исследований использованы труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области исследования, а также нормативные и методические документы в области улучшения и повышения эксплуатационных характеристик специальных автомобилей, техники коммунальных служб, навесного оборудования, а также выявления закономер-

ностей влияния навесного оборудования на показатели эффективности эксплуатации аэродромной техники. При работе над диссертацией и поставленными задачами использовались методы: теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), наблюдения, анализ информации, измерения, визуального осмотра транспортных средств, моделирования, в том числе компьютерного, метод поиска рациональных конструктивных параметров, метод обработки и анализа данных эксперимента.

Научная новизна работы заключается:

1. Установлена закономерность влияния навесного оборудования (на примере центральной щетки) на эффективность эксплуатации специального автомобиля на протяжении жизненного цикла транспортного средства;
2. Разработана методика, описывающая воздействие уровня износа ворса центрального щеточного узла на количественные индикаторы эффективности эксплуатации спецавтомобиля с учетом условий эксплуатационной среды, режимов работы и конструктивных параметров центрального щеточного узла;
3. Определена корреляция параметров эксплуатации специального автомобиля с конструкцией центрального щеточного узла и остаточной длины ворса, дающая возможность определять оптимальный период замены ворса щетки;
4. Повышены эксплуатационные показатели производительности и эффективности специального автомобиля с конструкцией щеточного узла путем своевременной замены ворса и повышения средней скорости движения.

Практическая значимость работы:

1. Повышены эксплуатационные свойства и показатели специального автомобиля посредством определения рациональной степени износа ворса, при которой сохраняются показатели производительности и обеспечиваются требования по коэффициенту эффективности.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Уточнено требуемое значение коэффициента эффективности щеточного узла современных специальных автомобилей применительно к условиям эксплуатации на летном поле аэродрома;
2. Разработана аналитическая методика определения закономерностей влияния дополнительного навесного оборудования на специальный автомобиль, позволяющая управлять показателем его работоспособности;

3. Разработан аналитический метод определения закономерностей влияния дополнительного навесного оборудования на специальный автомобиль, позволяющая управлять показателем его работоспособности;

4. Разработаны зависимости эксплуатационных параметров специального автомобиля от износа ворса щеточного узла, позволяющие определять оптимальный период замены ворса с сохранением показателей производительности.

5. Повышены эксплуатационные свойства и показатели специального автомобиля посредством определения рациональной степени износа ворса, при которой сохраняются показатели производительности и обеспечиваются требования по коэффициенту эффективности.

Область исследования диссертационной работы соответствует критериям паспорта специальности ВАК 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, а конкретно:

Пункт 4. Разработка требований к эксплуатационным свойствам автотранспортных средств разного назначения, к прицепах и полуприцепам, специальным кузовам, погрузочно-разгрузочному оборудованию и методов их оценки, обоснование рациональной структуры парка;

Пункт 20. Закономерности изменения технического состояния специальных автомобилей, закономерности формирования суммарной интенсивности эксплуатации, наработки шасси и навесного оборудования, влияние параметров навесного оборудования и режимов его работы на надежность базового автомобиля.

Положения, выносимые на защиту:

1. Установленная закономерность влияния навесного оборудования (на примере центральной щетки) на эффективность эксплуатации специального автомобиля на протяжении жизненного цикла транспортного средства;

2. Методика определения воздействия индикаторов работы навесного оборудования и уровня износа ворса центрального щеточного узла на количественные индикаторы эффективности эксплуатации спецавтомобиля с учетом условий эксплуатации;

3. Установленная корреляция параметров эксплуатации специального автомобиля с конструкцией центрального щеточного узла и остаточной длины ворса, дающая возможность определять оптимальный период замены ворса щетки при сохранении эффективности и производительности;

4. Результаты определения рациональной степени износа ворса щеточного узла специального автомобиля, используемого для содержания в течение круглого года летного поля аэродрома.

Достоверность результатов и выводов сформированных автором работы подтверждается результатами натурных испытаний опытного образца щетки центральной в условиях аэродрома Челябинска (Баландино) им. И.В. Курчатова, а также эффекта от применения методик.

Апробация работы. Перечень тематических мероприятий и международных конференций на которых автор выступил с тезисами и выводами из данной работы:

1. Международная научно-практическая конференция «Автотранспортный комплекс 3.0. актуальные проблемы и перспективы развития», апрель 2023г., Чеченская Республика, г. Грозный, ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

2. Научно-исследовательская конференция «Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета», февраль 2023 г., Москва, пр. Ленинградский, д 64;

3. Научно-исследовательская конференция «Интеллектуальные технологии и электронные устройства в автомобилестроении и дорожно-транспортном комплексе» «Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета», ноябрь 2022, г., Москва, пр. Ленинградский, д 64;

4. Международный научный конгресс «Современная наука, человек и цивилизация», декабрь 2022 года, г. Грозный;

Разработки, расчеты и технические решения диссертационной работы, а так же программное обеспечение используются в технологических процессах при выпуске аэродромной техники на производственном предприятии Общество с ограниченной ответственностью «Завод СпецАгрегат» (г. Миасс, Челябинская область)

Основные положения и методические разработки диссертационного исследования внедрены в образовательных программах «Государственного университета управления» на кафедре управления транспортными комплексами при подготовке бакалавров при преподавании дисциплин «Транспортировка в цепях поставок», «Грузоведение» (направление подготовки 38.03.02 Менеджмент, образовательная программа «Логистика и управление цепями поставок») и «Современные транспортно-логистические технологии» (направление 38.04.02 Менеджмент, образовательная программа «Транспорт и логистика».

Публикации. По тематике исследования разработана программа для ЭВМ и в установленном порядке зарегистрировано право, оформлено свидетельство. Также подготовлены и опубликованы 6 публикаций по теме диссертации, в т.ч. 3 публикации размещены в лицензируемых изданиях из перечня доступного на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ и одно в лицензируемом издании, включенном в международную базу Scopus, используемой для отслеживания научного цитирования.

Структура и объем диссертации. Работа оформлена на 152 машинопечатных страницах, содержит наглядный материал, включены 20 таблиц и 68 рисунков и диаграмм. Разделы работы следующие:

Введение;

Глава 1. Обобщающая информация, гипотеза, новизна, основные положения;

Глава 2. Описывает метод исследования технического состояния специального автомобиля;

Глава 3. Описывает методику расчета параметров эксплуатации транспортного средства под влиянием износа ворса щеточного узла;

Глава 4. Описывает методику проведения испытаний и процедуру определения технико-эксплуатационных параметров специального автомобиля;

Заключение;

Список сокращений;

Список использованной литературы, который состоит из 89 источников, в т.ч. 7 англоязычных.;

Приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и значимость методики определения и повышения показателей эффективности эксплуатации транспортных средств на базе шасси специального автомобиля с щеткой центральной. Описана разработка аналитического метода определения закономерностей изменения состояния специального автомобиля с щеточным узлом путем выявления оптимального показателя износа ворса щеточного узла и определения степени влияния его износа на эксплуатационные параметры специального автомобиля.

В первой главе устанавливается и описывается практическая значимость и экономическая целесообразность разработки методов улучшения показателей эксплуатации специальных автомобилей с щеткой центральной.

ной. Определены ключевые варианты щеток, используемых при круглогодичном содержании взлетно-посадочных полос, рулёжных дорожек и смежных площадок и территорий, определены основные особенности конструкций и рассмотрены способы повышения эксплуатационных свойств и возможность их реализации. Отмечены ряд недостатков существующих технических решений и обоснована острая потребность разработки способов улучшения базовых индикаторов эксплуатации транспортного средства на базе специального шасси.

Область взлетно-посадочной полосы, рулежных дорожек и вспомогательной территории, испытывает влияние со стороны экзогенных факторов, например, загрязнение людьми, осуществляющих перелеты и обслуживание воздушных судов. Поддержание этих территорий в чистом состоянии напрямую влияет как на уровень качества предоставляемых услуг и безопасность перелетов, так и на количество временных издержек в результате изменения климатических условий, например, при активном снегопаде или образования наледи.

Особенности эксплуатации специальных автомобилей на летном поле аэродрома и требования, предъявляемые к ним представлены во многих международных документах, регламентирующих деятельность аэропортов и эксплуатантов. Специальный автомобиль, эксплуатирующийся на летном поле аэродрома обязан обеспечивать наибольший показатель надежности и безотказности, а основным оценочным показателем является его производительность и эффективность в процессе эксплуатации.

Выявлены режимы эксплуатации специального автомобиля в зависимости от времени года и степени загрязнения и установлено, что щеточный узел является одним из наиболее популярных и используется в большинстве случаев, так как осуществляет уборку тонкого слоя уплотненного снега на поверхности летного поля, который остается после работы отвала. При этом, если отвал неисправен или его применение нецелесообразно щеточный узел способен самостоятельно осуществлять рабочий процесс, но, при отказе щеточного узла, отвал обеспечить требуемое качество не в состоянии.

Определены основные современные типы специальных автомобилей и их характеристики, оборудованные щеточным узлом и предназначенные для поддержания качества и безопасности эксплуатации аэропортов, представлены различные варианты компоновки. для обеспечения большинства потребностей при содержании ВПП.

Проведен анализ существующих типов щеток и способов установки ворса, в результате выявлено, что наиболее перспективным с точки зрения

эффективности и производительности специального автомобиля является щеточный узел с кассетным расположением ворса, так как способны обеспечить частоту вращения до 1000 об/мин. Материалом для щетки центральной определен полипропилен, так как обладает лучшими показателями ресурса при сохранении качества содержания. Установлено, что ресурс полипропиленового ворса щеточного узла специального автомобиля составляет 375 часов работы.

Анализ существующих методик улучшения, оценки и определения эксплуатационных параметров специальных автомобилей с щеточным узлом позволили сделать вывод, что основным показателем эффективности щеточного узла является соотношение скорости ворса в точке контакта с поверхностью и скорости самого специального автомобиля, которое, при условии смета посторонних предметов и снега, должно быть не менее 2.

Так, в первой главе настоящей работы решена первая задача исследования, в результате чего определено, что в существующих в настоящий момент условиях необходимо разработать методы и зависимости влияния навесного оборудования на эксплуатационные параметры специального автомобиля, так как существующие методики недостаточно адаптированы для специальных автомобилей, предназначенных для эксплуатации на летном поле аэродрома.

Во второй главе раскрыты способы и методы технического анализа аэродромной и коммунальной техники в зависимости от воздействия внешних связей и факторов пространства, изменяющих его эксплуатационные параметры, надежность, работоспособность во времени, позволяющая решать актуальные теоретические и практические задачи ТО и ТР.

Первым методологическим принципом технической эксплуатации автомобиля (ТЭА) является знание инструментов количественной оценки (описание) закономерностей, определяющих реализуемые показатели качества автомобиля во времени с учетом всех факторов, влияющих на данные показатели. Данные закономерности являются закономерностями взаимодействия системы ТЭА с другими системами более высокого уровня или закономерностями внешних связи. Знание закономерностей внешних связей для исследуемой системы и факторного пространства, изменяющих показатели реализуемого качества, надежности, работоспособности изделий во времени, позволит решать ряд важных теоретических и практических задач по ТО и ТР, разработать мероприятия по системам поддержания и восстановления работоспособности автомобилей и запланировать расход материалов, запасных частей и т.д.

Адаптируем существующий метод для определения удельных показателей ТО и ТР на основе следующего предположения: период приведения значений объёмов работ по ТО и ТР – это интервал ТО автомобиля, что позволит дифференцировать значение удельной трудоёмкости ТР на различных сроках эксплуатации специального автомобиля и тем самым уточнить показатели реализуемого качества на всех участках срока эксплуатации специального автомобиля.

Аналитическим обоснованием данной адаптации является доказанное свойство непрерывной неубывающей функции $f_{mp}(x)$:

$$\frac{\int_0^{x_i} f_{mp}(x) dl}{x_i} < \frac{\int_{x_{(i-1)}}^{x_i} f_{mp}(x) dx}{[x_i - x_{(i-1)}]}, \quad (1)$$

где $[x_i - x_{(i-1)}]$ – интервал между плановыми ТО.

Тогда формула для разработанного метода имеет следующий вид:

$$Y_{tpi} = \frac{1}{\Delta x_i} \sum_{j=1}^m x_{tpji} \cdot 1000, \text{ чел-час. /1000 км}, \quad (2)$$

где Y_{tpji} – трудоёмкость ТР на j -м интервале ТО;

Покажем аналитическую связь между существующим и предлагаемым методами.

Примем следующие обозначения: i – порядковый номер интервала ТО; Δx – пробег специального автомобиля на интервале ТО, км; x_i – пробег специального автомобиля, достигшего i -ый интервал ТО, км; y_i – трудоёмкость ТР для i -го ТО, чел-час; y_i^Σ – суммарная трудоёмкость ТР достижении пробега x_i , чел-час.

Пусть показатель трудоёмкость ТР аппроксимируются линейной функцией в зависимости от пробега автомобиля (рисунок 1).

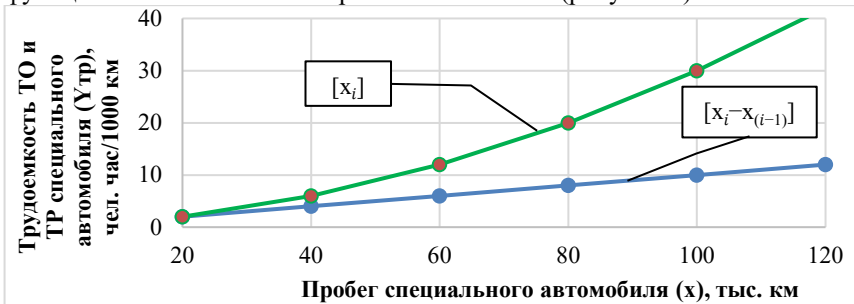


Рисунок 1 – Аппроксимация показателя трудоёмкость ТР

Определим величину ТР между двумя последовательными ТО (Y_{mpi}) в соответствии с разработанным методом:

$$\begin{aligned} Y_{mpi} &= \frac{y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y_i}{\Delta x} = \frac{a \cdot x_i + b}{\Delta x} = \\ &= a \cdot \frac{x_i}{\Delta x} + \frac{b}{\Delta x} = a \cdot \frac{i \cdot \Delta x}{\Delta x} + \frac{b}{\Delta x} = a \cdot i + \frac{b}{\Delta x}, \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда можно определить аналитическую связь между значениями Y_{mpi} и Y_{mpi}^{Σ} , то есть между классическим и предлагаемым методами определения трудоёмкости ТР:

$$\begin{aligned} Y_{mpi} - Y_{mpi}^{\Sigma} &= a \cdot i + \frac{x}{\Delta x} - \frac{a}{2}(i+1) - \frac{l}{\Delta x} = \\ &= a \cdot i - \frac{a}{2} \cdot i - \frac{a}{2} = a \left(\frac{i-1}{2} \right) = \frac{a}{2}(i-1) \end{aligned} \quad (4)$$

В результате получим:

$$a \cdot i = \frac{a}{2}(j+1) \succ 2i = j+1 \succ j = 2i-1. \quad (5)$$

Между классическим и предлагаемым методом определения значения показателя удельная трудоёмкость ТР существует аналитическая связь:

$$Y_{mpi} = Y_{mpi}^{\Sigma}, \quad (6)$$

при $j = 2i-1$.

Таким образом, разработанный метод позволяет устанавливать значение удельной трудоёмкости ТР между двумя последовательными интервалами ТО (Y_{mpi}) и исследовать значение показателя удельной трудоёмкости ТО и ТР, характерное для каждого отдельного интервала ТО (чел-час./1000 км).

$$Y_{moi \text{ и } mpi} = \left(\frac{y_{moi} + y_i}{\Delta x} \right) \cdot 1000, \text{ чел-час/1000 км} \quad (7)$$

Данный показатель используется в диссертационном исследовании для определения вероятностных значений коэффициента оперативной готовности (КОГ) в целях оценки состояния эксплуатационной способности специального автомобиля в конкретный момент времени (для конкретного интервала ТО). При этом возможно определение удельной трудоёмкости ТО и ТР для соответствующего пробега автомобиля x_i с начала эксплуатации:

$$Y_{mo \text{ и } mpi}^{\Sigma} = \left(\frac{y_{moi}^{\Sigma} + y_i^{\Sigma}}{x_i} \right) \cdot 1000, \text{ чел·час/1000 км} \quad (8)$$

где y_{moi}^{Σ} суммарная трудоёмкость ТО и ТР соответствующий пробегу x_i , чел·час.

На рисунке 2 представлены изменения в значениях удельного показателя трудоёмкости ТО и ТР выполненное по двум вариантам для одинаковых начальных условий: классический вариант (1) и предлагаемый вариант (2):

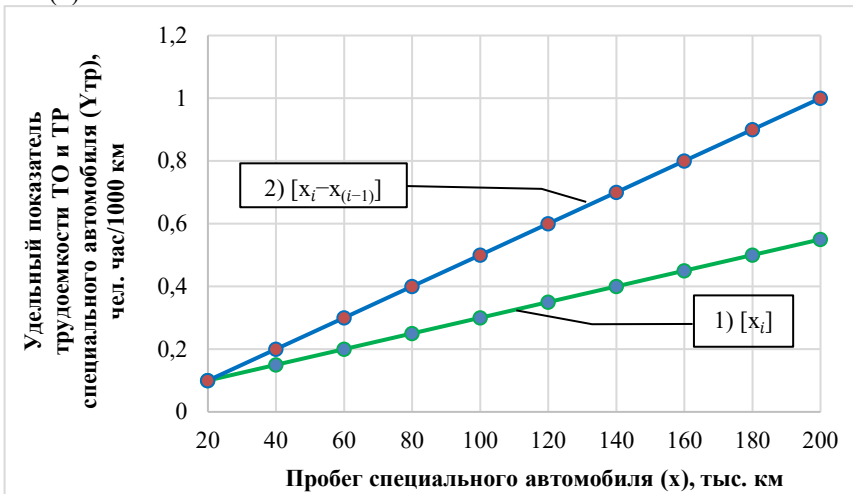


Рисунок 2 – Изменения в значениях удельного показателя трудоёмкости ТО и ТР выполненное по двум вариантам для одинаковых начальных условий и одинаковых условиях эксплуатации однотипного подвижного состава

Физический смысл предлагаемого метода заключается в следующем: он показывает интенсивность изменения технического состояния специального автомобиля для каждого последовательного интервала ТО и может служить для оценки изменения показателей реализуемого качества специального автомобиля в сравнении базовым шасси. В соответствии установленной аналитической связи между двумя методами (классическим и предлагаемым) оценочная зависимость достаточно проста:

$$TOi_{(1)} = TOi_{(2)} \cdot \sqrt{2} \quad (9)$$

В третьей главе определены особенности рабочего процесса щеточного узла специального автомобиля и определена степень влияния пара-

метров рабочих процессов и конструкционных особенностей на эксплуатационные параметры специального автомобиля, выявлен показатель оптимального износа ворса щеточного узла, при котором обеспечиваются наилучшие показатели производительности специального автомобиля.

Определение зависимостей эксплуатационных параметров специального автомобиля от износа ворса щеточного узла является комплексным подходом, объединяющим ряд методов и математических моделей расчета щеточного узла в комплексе автомобиля, определения мощностного баланса, определения запаса мощности автономной силовой установки, учета требуемых показателей эффективности и знаний конструкции и особенностей рабочего процесса.

Анализ полученных путем математического моделирования рабочего процесса данных позволяет построить зависимость скорости движения специального автомобиля и мощности щеточного узла от износа щетки (рисунок 3).

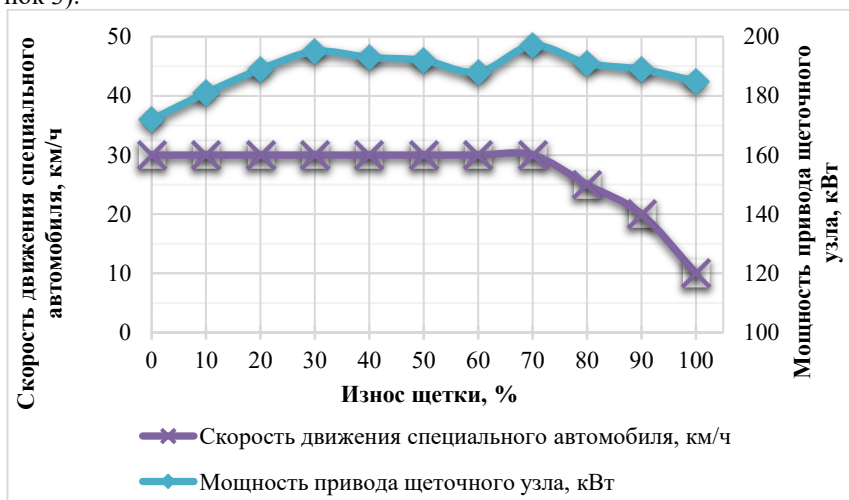


Рисунок 3 – Зависимость скорости движения специального автомобиля и мощности привода щеточного узла от износа щетки

В связи с ограниченным запасом мощности силовой установки необходимо снижение скорости движения специального автомобиля для обеспечения условий по запасу мощности.

Представленный метод позволяет также оценить скорость движения специального автомобиля и частоту вращения щеточного узла от степени износа щетки (рисунок 4).

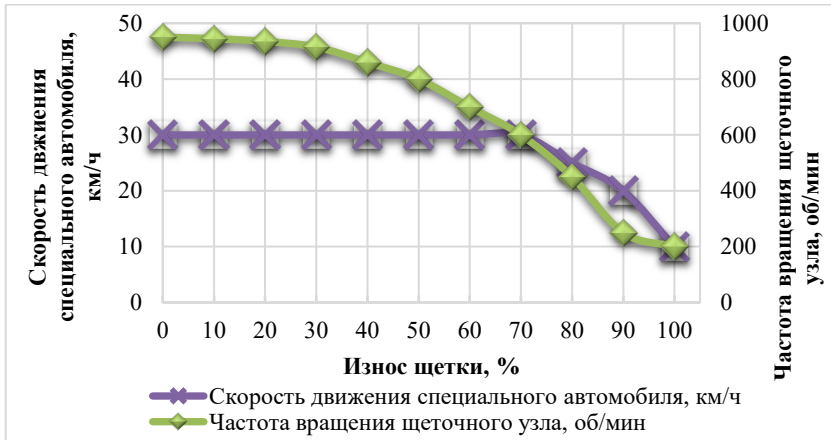


Рисунок 4 – Зависимость скорости движения специального автомобиля и частоты вращения щеточного узла от износа щетки

Установлено, что износ щетки приводит к необходимости снижения частоты вращения щеточного узла в связи с увеличением требуемой мощности привода. При 70% износе щетки специального автомобиля снижение частоты вращения является недостаточно и для обеспечения мощностного баланса снижается скорость движения транспортного средства.

Зависимость коэффициента эффективности от скорости движения транспортного средства и износа щетки представлена ниже.

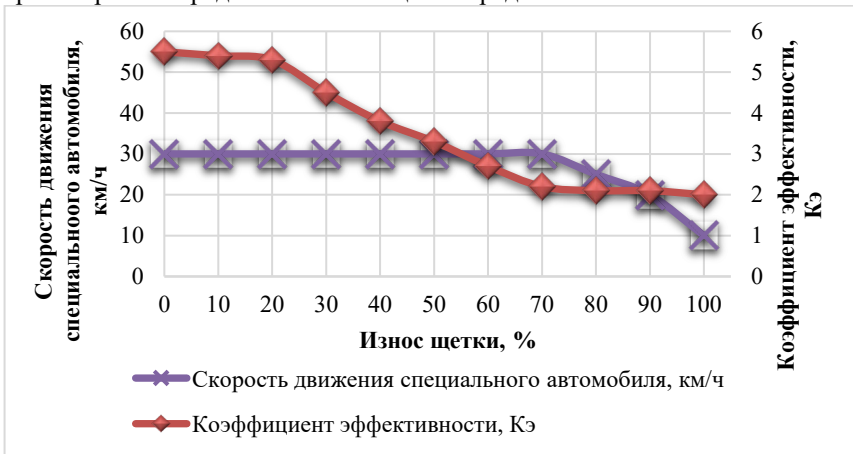


Рисунок 5 – Корреляция коэффициента эффективности от скорости с учетом износа щетки

Износ 0–30 % характерен постепенным снижением коэффициента эффективности в связи с износом ворса. Износ 30–70 % характерен более резким падением коэффициента эффективности, что связано с уменьшением скорости вращения щеточного узла. Износ 70–100 % характерен сохранением коэффициента эффективности более 2, что обеспечивается снижением скорости движения специального автомобиля и приводит к падению производительности при граничных показателях значения коэффициента эффективности.

Исследования степени влияния износа ворса щеточного узла на эксплуатационные показатели требуют оценки производительности, как одной из ключевых характеристик специального автомобиля, предназначенного для содержания летного поля аэродрома в течение круглого года и показаны на рисунке 6.

Оценка производительности осуществлялась путем определения технической производительности следующим образом:

$$П_{\text{ТЕХ}} = 3600 \cdot B \cdot V_M, \text{ м}^2/\text{ч} \quad (10)$$

где B – ширина захвата при уборке, м; V_M – скорость машины, м/с.

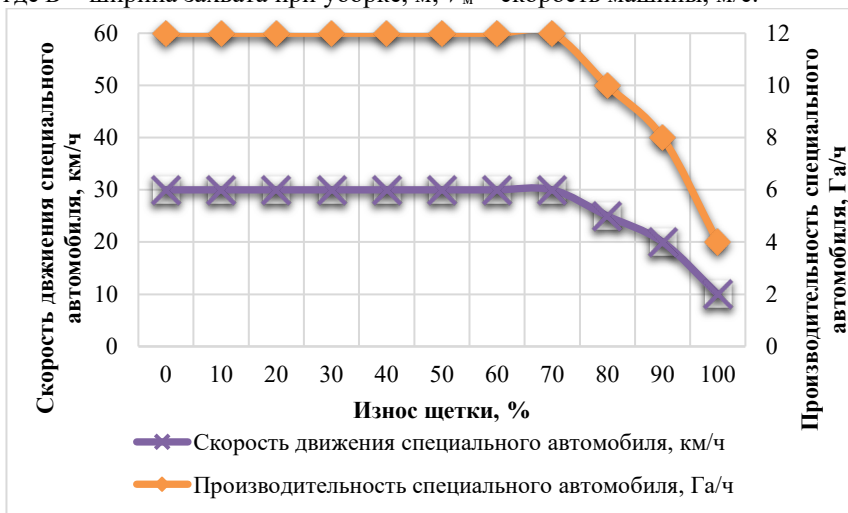


Рисунок 6 – Зависимость скорости движения и производительности специального автомобиля от износа щетки

В результате определения оптимального показателя износа ворса щеточного узла разработана зависимость эксплуатационных параметров специального автомобиля от износа ворса щеточного узла.

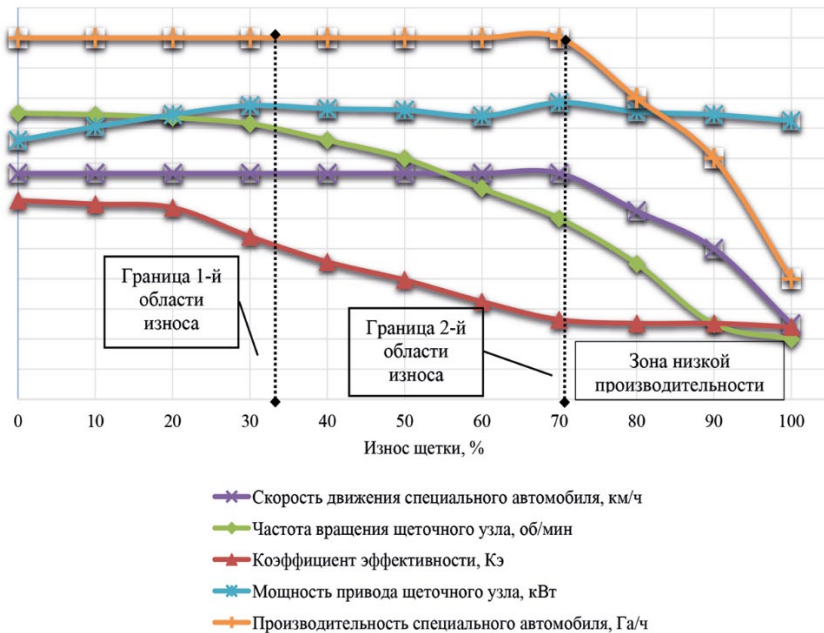


Рисунок 7 - Зависимость эксплуатационных параметров специального автомобиля от износа щеточного узла

Установлено, что эксплуатация специального автомобиля при значении износа ворса до 30% не приводит значительным изменениям эксплуатационных показателей специального автомобиля, так обеспечивается скоростью движения специального автомобиля до 30 км/ч, а частота вращения щеточного узла до 950 об/мин. При дальнейшей эксплуатации специального автомобиля при значениях износа ворса с 30 до 70% необходимо постепенное снижение частоты вращения щеточного узла с 900 до 600 об/мин в связи с недостаточной мощностью привода щетки, что приводит к снижению коэффициента эффективности с $K_z = 5,5$ до $K_z = 2,2$. Определено, что дальнейшая эксплуатация специального автомобиля при износе щетки более 70% нецелесообразна, так как требует снижения скорости передвижения специального автомобиля, что оказывает негативный эффект в виде значительного снижения показателей производительности с 12 до 4 Га/ч.

Согласно рекомендациям по определению технической производительности специальных автомобилей, средняя производительность специ-

ального автомобиля при ширине захвата щеточного узла 4 метра, скоростью движения при ресурсе с 0 до 70% – 30 км/ч, а при ресурсе от 70 до 100% ресурса – 15 км/ч, что связано с уменьшением эффективности работы, до внедрения предлагаемой методики составляет:

$$P_{\text{до}} = \frac{4 \cdot 30 \cdot 0,7 + 4 \cdot 15 \cdot 0,3}{10} = 10,8 \text{ Га/ч} \quad (11)$$

При этом производительность специального автомобиля в результате своевременной замены изношенного ворса щеточного узла при ширине захвата 4 метра и скоростью движения 30 км/ч после внедрения предлагаемой методики составляет:

$$P_{\text{после}} = \frac{4 \cdot 30}{10} = 12 \text{ Га/ч} \quad (12)$$

Так предлагаемая методика позволяет повысить среднюю производительность специального автомобиля на 10%.

Для подтверждения методики и проверки работоспособности щеточного узла разработанная трехмерная модель цилиндрической щетки центральной. Данная трехмерная модель позволяет оценивать показатели прочности и надежности конструкции рамы, механизма подъема и кожухов, а также показатели работоспособности и области применимости щеточного узла специального автомобиля и представляет собой полностью новую разработанную автором конструкцию для специального автомобиля для содержания летных полей аэродромов на базе шасси отечественного производства.

Приведены основные характеристики составных элементов установки щетки центральной. Произведено аналитическое определение рабочих и эксплуатационных параметров щетки центральной и специального автомобиля в целом. Определены параметры работоспособности щетки центральной в зависимости от условий эксплуатации и окружающей среды, обеспечивающие наилучшие эксплуатационные показатели специального автомобиля.

Изображенная на рисунке 8 установка с гидравлическим приводом монтируется на опорной раме и подвешивается с помощью механизма подъема, так чтобы она опиралась на аэродромное покрытие, вне зависимости от движения транспортного средства и наличия неровности поверхности.

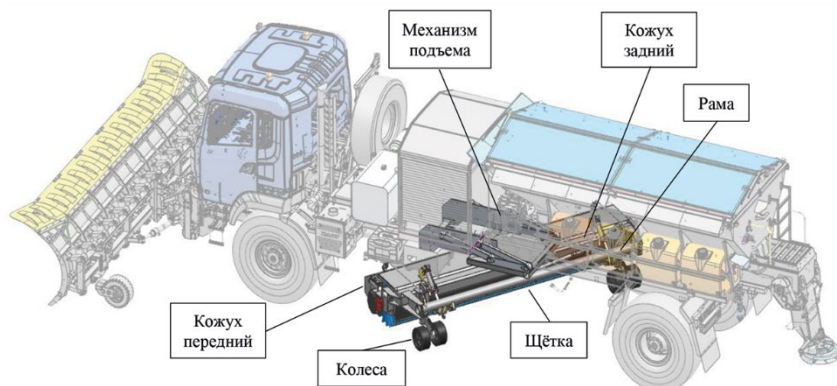


Рисунок 8 – Щётка центральная в составе специального автомобиля

В четвертой главе определены технико-эксплуатационные параметры специального автомобиля и выявлена экономическая эффективность от применения предлагаемых методов определения трудоемкости ТО и ТР, а также метода определения рационального показателя износа для замены ворса щеточного узла, при котором обеспечивается наиболее эффективная эксплуатация специального автомобиля с щеткой центральной.

Определено, что цены агрегатов, наиболее аналогичных разрабатываемым, которые предлагают иностранные компании SCHMITD и Boschung, значительно превышают их себестоимость предлагаемой конструкции от 1,89 до 3,4 раз или от 10,133 до 27,333 тыс. руб.

Расчет технико-эксплуатационных параметров основывался на существующей методике расчета требуемого количества средств механизации специальных автомобилей с щеточным узлом. Так требуемое количество единиц в парке аэродромной техники в результате применения методики определения оптимального ресурса ворса щеточного узла в результате эксплуатации специального автомобиля без снижения показателей производительности снижается с 2,95 до 2,41. Так, при эксплуатации одной ВПП необходимо по 3 специальных автомобиля для обоих случаев, при эксплуатации 2 ВПП необходимо 5 специальных автомобилей с применением предлагаемых решений и 6 специальных автомобилей-аналогов, таким образом экономических эффект представлен на рисунке 9.

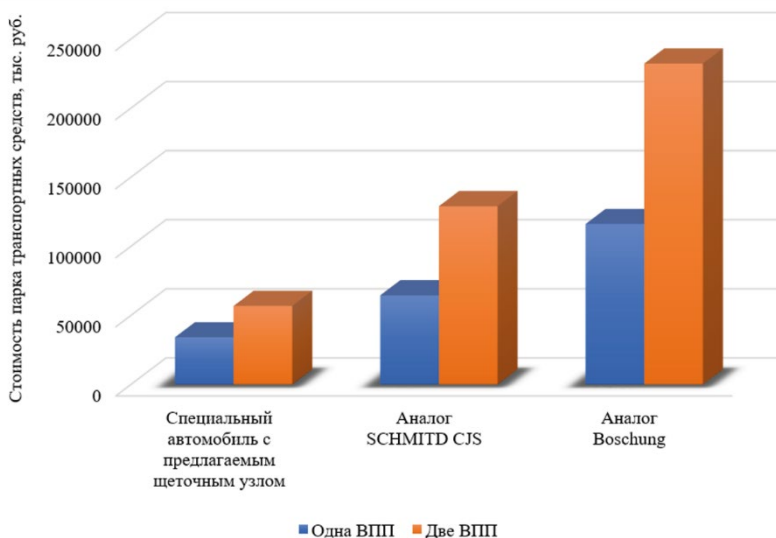


Рисунок 9 – Экономический эффект от применения специальных автомобилей

Экономический эффект от эксплуатации парка специальных автомобилей на базе УРАЛ-63704-0111 составляет 1,89 раз при обслуживании одной ВПП в сравнении с наиболее выгодным с экономической точки зрения аналогом, так как в таком случае требует одинаковое количество специальных автомобилей. При этом, при эксплуатации двух ВПП, возникает разница в требуемом количестве специальных автомобилей, так как в результате оптимизации увеличивается средняя производительность специального транспорта и для содержания двух ВПП необходимо не 6, а 5 автомобилей. Таким образом, экономический эффект при покупке парка специальных автомобилей, необходимого для обслуживания двух летних полей составляет до 2,27 раз или 72 164 тыс. руб.

В заключении изложены основные результаты проведенного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены наиболее распространенные модели транспортных средств, в том числе на шасси специальных автомобилей с интегрированным щеточным узлом, используемые для дорожных одежд ВПП, рулѐжных дорожек и прочих территорий аэропортов. Определено, что наиболее эффективной является кассетная конструкция щеток, так как обеспечивает частоту вращения до 1000 об/мин, материал ворса определен как полипропилен, так

как обладает наибольшим показателем ресурса, до 375 часов работы. Установлено, что значение коэффициента эффективности рабочего процесса при осуществлении работ по содержанию летного поля должно составлять более 2;

Установлена закономерность влияния внешних связей на специальный автомобиль в результате установки на базовое шасси навесного оборудования и возникновения дополнительных факторов, изменяющих на показатели реализуемого качества надежности, работоспособности изделий во времени, что позволит решать ряд важных теоретических и практических задач эксплуатации транспортного средства, ТО и ТР. Установлена оценочная зависимость между существующим и предлагаемым методом, равная 1,414.

Разработана методика определения влияния износа ворса щеточного узла на эксплуатационные параметры специального автомобиля с учетом особенностей эксплуатации, режимов работы и конструктивных параметров щеточного узла, в результате чего установлено, что износ ворса при прочих равных показателях напрямую оказывает влияние на показатель требуемой мощности и приводит к необходимости снижения частоты вращения ворса щеточного узла и скорости движения специального автомобиля. Данная методика учитывает особенности базового шасси, конструктивные параметры щеточного узла, особенности эксплуатации, а также требования по обеспечению коэффициента эффективности и позволяет определить пределы применимости и режимы работы специального автомобиля. Согласно предлагаемой методики определено, что предельным значение скорости движения специального автомобиля с новым ворсом щеточного узла составляет 30 км/ч и снижается по мере его износа, частота вращения щетки составляет 950 об/мин.

Определена зависимости эксплуатационных показателей специального автомобиля от степени износа ворса щеточного узла и установлено, что использование специального автомобиля при значении износа ворса до 30% не оказывает существенного влияния на изменение эксплуатационных показателей специального автомобиля, так как обеспечивается скорость движения специального автомобиля до 30 км/ч, а частота вращения щеточного узла до 950 об/мин. При дальнейшей эксплуатации специального автомобиля при значениях износа ворса с 30 до 70% необходимо постепенное снижение частоты вращения щеточного узла с 900 до 600 об/мин в связи с недостаточной мощностью привода щетки, что приводит к снижению коэффициента эффективности с $K_z = 5,5$ до 2,2. Установлено, что скорость уборки и работы специального автомобиля существенно снижается при

остаточной длине щетки менее 70% от первоначальной, производительность эксплуатации скачкообразно падает с 12 до 5 гектар в час и как следствие целесообразна замена щетки;

Проведена оценка эксплуатационных свойств специального автомобиля в результате определена зависимость эксплуатационных параметров и износа ворса щеточного узла и установлено, что своевременная замена ворса щеточного узла специального автомобиля способна обеспечить повышение средней производительности специального автомобиля с 10,8 до 12 гектар в час за весь срок эксплуатации транспортного средства, что составляет 10%.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. *Никитин Д.А.* Определение основных требований, предъявляемых к рабочему органу специального автомобиля / Гайдар С. М., Никитин Д. А. // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2023. – № 1(72). – С. 88-94. – EDN TMGZHY.
2. *Никитин Д.А.* Расчет параметров рабочего органа специального автомобиля /. Никитин Д. А, Гайдар С. М., Радченко Г. В.// Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 231-233. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_231. – EDN NYAYWE.
3. *Никитин Д.А.* Разработка математической модели рабочего органа специального автомобиля / Никитин Д. А.// Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-1(80). – С. 28-33. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-28-33.

В иностранном научном издании, входящем в международную базу цитирования Scopus

4. *Nikitin D. A.* Airfield Sweeping and Blowing Machine Reliability and Production Manufacturability Evaluation / Viktorov F. L., Zhuravlev E. S., Filatov V. V. and Pletnev M. G. // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). 2022. pp. 1-5. doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965474.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616523 Российская Федерация. Программное средство для

расчета линейной скорости и выбора частоты вращения щётки автотранспортной уборочной машины: № 2023615682: заявл. 29.03.2023: опубл. 29.03.2023 / Д. А. Никитин, М. Ю. Карелина.

Публикации в других изданиях:

6. *Никитин Д.А.* 3D-моделирование в программном комплексе Ansys Workbench на примере расчета конструкций аэродромной техники / Субачев Е. В., Никитин Д. А., Ершов В. С., Акулов А.А., Талдыкин Д.С. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16, № 12. – С. 32-38. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-12-32-38.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 09.07.2025. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 80.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А