

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОУСДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УПРАВЛЕНИЯ»

На правах рукописи

НИКИТИН ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

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

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Карелина Мария Юрьевна

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Состояние вопроса, цель и задачи исследования.....	16
1.1. Особенности эксплуатации специальных автомобилей с щеткой центральной на аэродромах	16
1.2. Аэродромные специальные автомобили с щеткой центральной	37
1.3. Анализ существующих конструкций щеточных узлов, применяемых в составе специальных автомобилей	48
1.4. Выводы по главе.....	53
Глава 2. Метод определения изменения технического состояния специального автомобиля с установкой щёточного узла.....	54
2.1. Основные требования, предъявляемые к специальному автомобилю с щёткой цилиндрической.....	54
2.2. Определение базового шасси специального автомобиля с щеткой цилиндрической	62
2.3. Определение потока отказов базового шасси для определения эксплуатационных показателей надежности и долговечности специального автомобиля.....	72
2.4. Разработка расчётно-экспериментального метода определения изменения технического состояния специального автомобиля в результате установки навесного оборудования	78
2.5. Выводы по главе.....	83
Глава 3. Методика оценки эксплуатационных параметров специального автомобиля в результате износа ворса щеточного узла.....	84
3.1. Определение параметров ворса щеточного узла	84
3.2. Определение рабочих и конструкционных параметров щеточного узла специального автомобиля	87
3.3. Определение области применимости и режимы работы специального автомобиля при различных показателях износа ворса щеточного узла	92

3.4. Оценка эксплуатационных параметров специального автомобиля в результате установления степени влияния износа ворса щеточного узла...	98
3.5. Разработка конструкции щеточного узла специального автомобиля .	104
3.6. Выводы по главе.....	115
Глава 4. ТЭО. Проведение эксплуатационных испытаний.....	117
4.1. Определение экономической эффективности усовершенствованной установки рабочего органа.....	117
4.2. Экономический эффект от внедрения предлагаемой методики определения оптимального показателя износа ворса щетки центральной	119
4.3. Программа эксплуатационных испытаний щеточного узла специального автомобиля.....	122
4.4. Эксплуатационные испытания рабочего органа специального автомобиля.....	127
4.5. Выводы по главе.....	129
Заключение	131
Список сокращений	133
Список литературы	134
Приложение А	148
Приложение Б. Акты внедрения.....	149

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На гражданских и военных аэродромах для содержания взлетно-посадочной полосы (ВВП), рулёжных дорожек и смежных территорий, наиболее распространённым оборудованием являются 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 надёжность, 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, рулёжных 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 темы. Работы в области исследований влияния навесного оборудования и его параметров на эксплуатационные свойства специального автомобиля ведутся в ВУЗах, например: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 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.», ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (НИИАТ) и др. Весомый вклад в создание, оптимизацию и исследование влияния навесного оборудования на эксплуатационные параметры автомобилей специального назначения внесли следующие отечественные и зарубежные ученые: Асанов А. А., Баловнев В. И., Болдин А. П., Гайнутдинов В. Г., Гриб В. В., Доценко А. И., Ермилов А. Б., Желukeвич Р. Б., Куксов М.П., Мерданов Ш.М., Немков М. В., 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 получили должного развития.

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 состояние 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 закономерностей 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.

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.

Степень достоверности результатов, 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 результатов. 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 цивилизация и человечество», март 2022 года, Чеченская республика;

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

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. 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 проста и составляет 1,414.

В третьей главе описана методика расчета параметров эксплуатации транспортного средства под влиянием износа ворса щеточного узла, т.е. определены особенности рабочего процесса щеточного узла специального автомобиля и определена 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,

объединяющая ряд методов и математических моделей расчета щеточного узла в компоновке автомобиля, определения мощностного баланса, определения запаса мощности силовой установки, учета требуемых показателей эффективности и знаний конструкции и особенностей рабочего процесса.

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.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Особенности эксплуатации специальных автомобилей с щеткой центральной на аэродромах

Содержание летных полей в надлежащем состоянии — ключевая задача для обеспечения безопасности и эффективности авиационных операций. Специальные автомобили, оснащенные щеточными узлами, играют важную роль в этом процессе. Их эксплуатация требует внимательного подхода и учета ряда специфических особенностей.

Содержание летных полей включает в себя регулярное удаление снега, льда, мусора и других препятствий, которые могут негативно сказаться на безопасности полетов. Несоблюдение стандартов содержания может привести к:

- увеличению риска аварий. Наличие снега или льда на поверхности может значительно увеличить тормозной путь самолета, что в свою очередь может привести к аварийным ситуациям.

- задержкам рейсов. Загрязненные летные поля могут вызвать задержки в расписании, что негативно сказывается на пассажирах и экономической эффективности авиаперевозок.

- повышению износа инфраструктуры. Неправильное содержание может привести к быстрому ухудшению состояния покрытия, требуя более частых ремонтов и дорогостоящих восстановительных работ.

Летные поля часто подвергаются воздействию различных климатических факторов, таких как снегопады, дожди и сильные морозы. Специальные автомобили должны быть спроектированы так, чтобы выдерживать экстремальные температуры и влажность. Например, использование антикоррозийных материалов и систем обогрева позволяет предотвратить повреждения механизмов в зимний период.

Аэродромная техника, предназначенная для уборки и содержания ВВП, должна обеспечивать коэффициент сцепления за счет уборки снежного и ледяного покрова. Высокая маневренность также является важным аспектом, поскольку летные поля часто имеют ограниченные пространства, где требуется точная работа. Автомобили должны быть оборудованы современными системами управления, которые обеспечивают точность и надежность при работе щеточного узла.

Эффективная уборка летных полей начинается с предварительной оценки состояния покрытия. Важно учитывать толщину снежного покрова и наличие льда, чтобы выбрать оптимальную технологию уборки. Щеточные узлы должны быть настроены на правильный угол наклона и скорость вращения, чтобы минимизировать риск повреждения покрытия. После завершения уборки необходимо провести контроль качества, чтобы убедиться в отсутствии остатков снега или льда.

Эксплуатация специализированных автомобилей связана с определенными экономическими затратами, включая расходы на топливо, техническое обслуживание и возможные убытки от задержек рейсов. Оптимизация процессов уборки может снизить эти затраты и повысить общую эффективность работы аэропорта.

Область взлетно-посадочной полосы, рулёжных дорожек и вспомогательной территории, испытывает влияние со стороны экзогенных факторов, например, загрязнение людьми, осуществляющих перелеты и обслуживание воздушных судов. Чистота этих территорий имеет прямое влияние не только на качество оказываемых услуг и безопасность полетов, но и на временные затраты, возникающие из-за изменений климатических условий, например, при сильном снегопаде или образовании наледи.

РЭГА РФ согласно Приказу Министерства транспорта РФ № 15 от 28.01.2016 г не действует, но до 2016 года определяло все требования и регламент обслуживания аэродромов, которое сформировало перечень функционального оборудования машин по содержанию аэродромного

полотна, а также технологические параметры и режимы работы такого оборудования.

Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации устанавливает стандарты и рекомендуемую практику (технические требования) в отношении атрибутов аэродрома, включая физические характеристики, поверхности ограничения препятствий, необходимое оборудование, сооружения и стандарты технического обслуживания. Целью этих положений не является ограничение или регулирование производства полетов воздушных судов.

В Руководстве по обслуживанию аэропортов рассматриваются критические факторы, влияющие на сцепление. В нем исследуется взаимосвязь между измерительными приборами, используемыми на поверхностях с искусственным покрытием, описываются эти устройства, излагаются методики измерения и отчетности значений сцепления на покрытых снегом, обледенелых и затопленных поверхностях, а также приводится информация, относящаяся к состоянию поверхности с искусственным покрытием. Кроме того, это включает в себя очистку и удаление загрязняющих веществ и мусора из зон маневрирования.

Циркуляр 329 ИКАО содержит руководящие указания для национальных органов власти по осуществлению мер безопасности полетов и при необходимости служит справочным материалом для эксплуатантов аэродромов, аэронавигационных служб, эксплуатантов воздушных судов и их персонала. В циркуляре рассматриваются вопросы, связанные с безопасностью полетов воздушных судов во время эксплуатации, с особым акцентом на взаимодействие между воздушным судном и взлетно-посадочными полосами. В нем подчеркивается критическая зона контакта колес шасси с землей.

Руководство по эксплуатационному содержанию аэродромов экспериментальной авиации (РЭСА ЭА) [10] разработано в соответствии с действующим воздушным законодательством Российской Федерации.

Действие РЭСА ЭА распространяется на организации, летно-исследовательские и научно-исследовательские институты, имеющие в своем ведении аэродромы экспериментальной авиации.

РЭСА ЭА является основным нормативным документом, определяющим требования к эксплуатационному содержанию и ремонту аэродромов экспериментальной авиации, в целях обеспечения исправности и работоспособности всех элементов аэродромной инфраструктуры.

Для достижения максимальных эксплуатационных характеристик дорожных одежд, крайне важно добиться средней глубины текстуры поверхности не менее 1,0 мм. Обычно для достижения этой глубины необходимо применять специальные технологии обработки поверхности.

Основные требования к состоянию поверхности ВПП могут быть разделены на три ключевые цели:

- 1) Способствование снижению скорости воздушного судна после посадки или в ситуациях, когда взлет нужно прервать.
- 2) Обеспечение надежного наземного управления во время взлетно-посадочных маневров, особенно при наличии встречного ветра, неравномерной тяги двигателей или наличии технических неполадок.
- 3) Обеспечение возможности вращения колес во время приземления.

С точки зрения торможения и управления направлением, критически важно понимать, что несмотря на действия наземного контроля, воздушное судно подвергается значительным аэродинамическим воздействием и другим внешним факторам. Эти факторы могут негативно влиять на эффективность торможения или вызывать моменты по оси рыскания, что требует повышенного внимания к состоянию поверхности ВПП.

Асимметричная тяга двигателя (например, отказ двигателя во время взлета), неравномерное использование колесных тормозов или боковой ветер могут создавать такие моменты, существенно влияющие на курсовую устойчивость. Сцепление между поверхностью ВПП и самолетом играет ключевую роль в противодействии этим силам или моментам. Что касается

управления направлением, то у каждого воздушного судна есть заранее определенные пороговые значения для допустимых составляющих бокового ветра, которые уменьшаются по мере уменьшения сцепления с поверхностью ВПП.

Важность сцепления с поверхностью взлетно-посадочной полосы (ВПП) варьируется в зависимости от того, идет ли речь о посадке или прерванном взлете, что обусловлено различиями в динамике эксплуатации.

При посадке оптимальное сцепление критически важно для достижения полной скорости вращения колес, что необходимо для эффективного торможения, особенно при использовании противоскользящих систем с электронным управлением. Хорошее сцепление также важно для обеспечения точного контроля направления. Кроме того, автоматические спойлеры играют ключевую роль в уменьшении подъемной силы и увеличении аэродинамического сопротивления. Системы автоматического торможения активируются только при достижении достаточной скорости вращения колес. В практической авиации задержка в начале вращения колес из-за недостаточного сцепления с ВПП — распространенная проблема, часто вызванная избыточным накоплением резины на поверхности. В экстремальных условиях это может привести к остановке вращения отдельных колес, что создает потенциально опасные ситуации и риски разрывов колес.

Сертификационные критерии и руководства по эксплуатации воздушных судов в основном акцентируются на тяговых характеристиках на сухих ВПП, чтобы обеспечить максимальную эффективность торможения для воздушных судов.

Однако в этих условиях требуется большая посадочная дистанция.

Для решения данной проблемы могут быть внесены коррективы для улучшения возможностей торможения на сложных поверхностях взлетно-посадочной полосы. Могут быть рассмотрены такие меры, как увеличение длины ВПП или снижение веса при взлете и посадке. Для решения проблем с

ВПП необходимо ограничить составляющую бокового ветра, чтобы уменьшить проблемы с маневрированием самолета.

Существуют две стратегии устранения недостаточного сцепления с поверхностью ВПП:

1) предоставление точной информации о взлетно-посадочных характеристиках воздушного судна в отношении сцепления с поверхностью ВПП и возможностей торможения воздушного судна.

2) обеспечить стабильное сцепление с поверхностью ВПП в различных условиях окружающей среды.

Коэффициент сцепления μ (мю) является определяющим показателем, который определяет соотношение между касательной силой, необходимой для поддержания равномерного относительного перемещения между контактирующими поверхностями (такими как шасси самолета и искусственное покрытие), и перпендикулярной силой, поддерживающей их контакт.

В таблице 1.1 [1,2], составленной на основе данных о сцеплении, собранных на уплотненном снегу и льду, приведены значения μ , которые не обязательно применимы ко всем сценариям ВПП. Когда поверхность покрыта снегом или льдом, пилотам не следует ожидать таких же условий торможения, как на сухих, чистых взлетно-посадочных полосах, даже если эффективность торможения обозначена как "хорошая". Термин "хорошая" подразумевает, что пилоты могут сохранять направление и тормозить во время посадки без излишних трудностей.

Таблица 1.1 – Оценка эффективности торможения в зависимости от коэффициента сцепления, показываемого измеряемым устройством

Коэффициент сцепления, показываемый измерительным устройством	Оценка эффективности торможения
0,40 и выше	Хорошая
0,39–0,36	От средней до хорошей
0,35–0,30	Средняя
0,29–0,26	От средней до плохой
0,25 и менее	Неудовлетворительная

Эксплуатация специальных автомобилей с конструкцией щеточного узла на летных полях требует комплексного подхода, учитывающего климатические условия, технические характеристики машин и процессы уборки. Эффективное содержание летных полос не только обеспечивает безопасность полетов, но и способствует общей эффективности работы авиационных объектов, что в конечном итоге влияет на качество обслуживания пассажиров и грузов.

1.1.1. Особенности зимней эксплуатации специальных автомобилей с щеткой центральной

Эксплуатация специальных автомобилей, оснащенных щеточными узлами, в зимний период имеет свои уникальные особенности и требует учета различных факторов для обеспечения эффективности и безопасности работы.

Техника должна сохранять свою работоспособность при низких температурах и выполнять следующие критерии:

- Температурные ограничения. Некоторые материалы, используемые в щетках и механизмах, могут терять свои свойства при низких температурах. Важно выбирать материалы, устойчивые к морозам.
- Смазочные материалы. Необходимо использовать специальные смазочные жидкости, которые сохраняют свои характеристики при низких температурах, чтобы избежать заклинивания механизмов.
- Снежные и ледяные условия. Щеточные узлы должны быть адаптированы для эффективной уборки как свежеснежного, так и уплотненного или обледенелого. Это может потребовать использования различных типов щеток.
- Регулировка давления. Важно иметь возможность регулировать давление щеток на поверхность для предотвращения повреждений дорожного покрытия и повышения эффективности уборки.

- Управляемость на скользких поверхностях. Специальные автомобили должны быть оснащены системами, обеспечивающими хорошую сцепляемость с дорогой, что особенно важно на обледенелых участках.

- Освещение и видимость. В зимний период часто наблюдаются неблагоприятные погодные условия (снегопад, туман), поэтому необходимо обеспечить хорошее освещение и видимость для операторов.

Заранее определить, какие конкретные меры следует предпринять для увеличения коэффициента сцепления на маневровых площадях, охваченных льдом, снегом, слякотью, водой и другими загрязняющими факторами, невозможно. Это связано с тем, что каждое конкретное аэропортовое пространство подвержено разным метеорологическим условиям, которые могут вызывать различные ситуации и требовать совершенно разных подходов. Таким образом, для каждой ситуацией необходимо подбирать оптимальные меры, основываясь на наличии оборудования в аэропорту.

Некоторые погодные ситуации могут усложнить применение наиболее эффективного оборудования, которое может оказаться в дефиците (возможно, даже оно еще не создано), или же затраты ресурсов (временны, финансово и трудозатратно) могут обеспечить лишь незначительное улучшение сцепления. В подобной ситуации стоит сосредоточиться на поддержании существующего уровня сцепления. Неблагоприятные погодные условия могут проявляться, например, в случаях:

- 1) длительных периодов с переохлажденным дождем;
- 2) образования ледяной корки;
- 3) внезапного падения температуры верхнего слоя искусственного покрытия из-за тепловой радиации, превращающей влагу в лед;
- 4) неожиданных колебаний температуры около нуля во время осадков.

На практике такие изменения требуют внимательной профессиональной оценки текущих погодных условий в аэропорту, и выбор оборудования для этой диагностики играет ключевую роль.

Независимо от применяемой техники для удаления снега, слякоти, льда и стоячей воды, основной целью является оперативное и полное восстановление маневровых площадей и прилегающих сооружений, чтобы вернуть их в идеальное рабочее состояние. Поддержание безопасной поверхности для полетов является необходимым условием для обеспечения эффективных и экономически целесообразных коммерческих воздушных перевозок. Этот принцип актуален для всех аэропортов, не зависимо от их размеров или интенсивности рейсов.

Вопрос удаления снега, слякоти, льда и стоячей воды с маневровых площадей стоит решать с учетом безопасности полетов и регламентов. Обычно работа ведется в следующем порядке:

- 1) используемые взлетно-посадочные полосы (ВПП);
- 2) рулежные дорожки, ухаживающие за ВПП;
- 3) перроны;
- 4) площадки ожидания;
- 5) остальные территории.

При выборе необходимого оборудования для уборки загрязнений на искусственных покрытиях аэропортов следует учитывать множество факторов. Ключевыми из них являются: рельеф, климатические условия, географическое положение аэропорта, типы воздушных судов, уровень трафика, а также характеристики рабочих поверхностей и навигационного оборудования.

В аэропортах, расположенных в тропических или субтропических климатах, одной из главных проблем являются частые сильные дожди, после которых необходимо убирать стоячую воду. В большинстве аэропортов тропических и умеренных широт наблюдается наслоение резины, песка, пыли и грязи. В северных широтах трудности, связанные с уборкой снега и льда, предполагают постоянную занятость персонала и значительные эксплуатационные расходы на содержание аэропорта.

Удаление загрязнителей может осуществляться с помощью одного или нескольких методов, используя один или разные механизмы или комбинируя машины в колоннах, при этом некоторые из них могут выполнять сразу несколько функций.

Как правило, наиболее опасные загрязнители, такие как снег, слякоть и лед, удаляются с использованием механических, химических или тепловых методов с высокой эффективностью на ВПП или с умеренной скоростью в менее значимых зонах, где скопились большие объемы снега.

Для очистки снега на ВПП применяются различные технологии, такие как очистка ВПП механическим, химическим, тепловым методами.

Сравнительный анализ достоинств и недостатков существующих методов очистки ВПП представлено в таблице 1.2 [8].

Таблица 1.2 – Сравнительный анализ достоинств и недостатков существующих методов очистки ВПП от снега и обледенения

Способы очистки ВПП	Достоинства	Недостатки
Механический способ	Снегоуборочная техника, включая плужно-щеточные снегоочистители, фрезерные устройства и роторные машины, демонстрирует исключительную эффективность при удалении значительных скоплений снега даже при экстремальных температурах до -40°C. Рассматриваемое специализированное оборудование характеризуется экономичным обслуживанием с соблюдением строгих экономических соображений для обеспечения длительной эффективности эксплуатации.	Уборка снега может начаться только после прекращения снегопада, особенно в случае недавно скопившегося снега.
Химический способ	Химические соединения могут предотвращать образование льда и ускорять процесс таяния. Данные вещества могут помочь самолетам эксплуатироваться в различных погодных условиях и сохранять эффективность с течением времени.	Следует соблюдать осторожность при нанесении химикатов на поверхности, поскольку их использование в течение периода до 2 лет может ухудшить условия обледенения. Реагенты в жидком состоянии сопряжены с повышенным

Способы очистки ВПП	Достоинства	Недостатки
		риском обледенения.
Способы очистки ВПП	Достоинства	Недостатки
Тепловой способ	Тепловые машины плавят лед	Техническое обслуживание тепловых двигателей может быть дорогостоящим и рискованным из-за потенциальных проблем, таких как перегрев и выброс шпаклевки. Тепловые двигатели потребляют значительное количество энергии, что приводит к снижению КПД и увеличению расхода топлива.

1.1.2. Вариативность компоновки и режимов специального автомобиля с щеткой центральной в зимний период

В руководстве по эксплуатационному содержанию аэродромов экспериментальной авиации [10] изложены основные условия к содержанию искусственных покрытий аэродромов в зимний и летний периоды.

Исходя из требований к кондиционным параметрам подготовки к полетам ключевых элементов аэродрома, производится калькуляция средств аэродромной механизации для поддержания эксплуатационных характеристик аэродрома в зимний период.

Алгоритм подготовительных работ по очистке летного поля включает несколько этапов:

Первый этап: начинается с очистки взлетной полосы и боковой полосы безопасности, ширина которой составляет 10 метров от границ покрытия ВПП и основного маршрута рулѐжных дорожек. После этого необходимо тщательно обустроить коэффициент сцепления с поверхностью.

Второй этап: переходим к очистке и подготовке грунтовой взлетной полосы, мест для стоянки воздушных судов и всех остальных рулѐжных дорожек.

Третий этап: завершаем очистку боковой полосы безопасности на ширину до 50 метров. Также очищаются все специальные площадки аэродромного цеха, проводится планировка откосов ВПП и рулѐжных дорожек, а также производится очистка подъездных путей к объектам радиосветотехнического оборудования и горюче-смазочных материалов и другим необходимым объектам.

Считается, что наиболее используемыми для эксплуатации аэродромов в зимний период средствами механизации являются следующие три группы техники [10]:

- первая группа - плужно-щеточные снегоочистители;
- вторая группа - роторные снегоочистители, снегопогрузчики, автогрейдеры, бульдозеры, плужные снегоочистители;
- третья группа - тепловые машины, механизмы и машины для разбрасывания (розлива) антигололедных реагентов.

Согласно РЭСА ЭА [10] определено минимальное значения парка техники для каждой группы. Уборку снега на ВВП выполняют с помощью следующего навесного оборудования: отвал, щетка, шнекоротор.

Плужно-щеточное оборудование эффективно удаляет снег толщиной до 50 мм и перемещает его по всей ширине взлетно-посадочной полосы. Кроме того, данное оборудование перемещает снег от центральной оси взлетно-посадочной полосы к боковым полосам безопасности, формируя продольные валы по краям взлетной полосы. В то же время шнековые снегоочистители выполняют свою задачу, отбрасывая снег на расстояние до 25 метров от краев покрытия, чтобы предотвратить замерзание снега в желобах. Переходные поверхности с уклоном 0,1 устанавливаются грейдерами между расчищенными и заснеженными участками аэродрома в местах выпадения снега.

Расчистка снега глубиной более 50 мм обычно требует дополнительного смещения снега и последующей зачистки поверхности щеткой.

Динамика работы плужно-щеточных снегоочистителей в составе подразделения требует тщательной стратегии координации для обеспечения плавного движения, при этом отдельные машины располагаются на оптимальном расстоянии друг от друга в 30-35 м. Каждый последующий плужно-щеточный снегоочиститель должен расширять зону покрытия на 30-40 см, чтобы перекрывать предыдущий ряд.

Первый вариант организации уборки снега

Когда количество снега достигает 50 мм, для расчистки поверхности ВПП по всей ширине используются снегоочистители с плугом-щеткой или подметально-уборочной машиной. Эти машины перемещают снег от продольной оси ВПП к боковым полосам безопасности, создавая продольные валки по боковым краям ВПП (см. рис. 1.1). В то же время фрезерно-роторные снегоочистители работают одновременно, выбрасывая снег на расстояние 25 м от краев покрытия, чтобы предотвратить замерзание снега в валах.



Рисунок 1.1 – Пример круговой схемы очистки покрытия

Второй вариант организации уборки снега

Вторая технология уборки снега называется уборка “клином”, когда отряд уборочной техники выстраивается на всю ширину и ВПП убирается от осевой линии к обочинам за один проход. Тем самым время уборки сокращается (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Пример уборки снега “клином”

Количество машин, необходимых для уборки снега, зависит от ширины ВПП, ширины плугов и щеток, допустимого времени на проведение уборочных работ.

В работе Стукача А.В. [15] рассматривается технология зимнего содержания аэродромов; кратко описаны современные средства механизации для этих целей.

Снегоуборочные машины, оснащенные плугом-щеткой, работают последовательно, начиная движение от центра к краям ВПП, обеспечивая перекрытие для содействия эффективному удалению снега. Эти транспортные средства соблюдают минимальную дистанцию, эквивалентную половине их скорости во время движения. Траектория движения ведущей снегоуборочной машины зависит от преобладающих погодных условий, таких как ветер и интенсивность осадков, при этом последующие транспортные средства следуют на расстоянии 15-20 м.

Следующие друг за другом транспортные средства заполняют ранее расчищенные полосы движения с различной шириной перекрытия, каждое из которых перекрывает полосу движения на разную величину; например, второе транспортное средство на 0,25 м, а третье на 0,35-0,4 м. В определенных сценариях крайнее транспортное средство может работать исключительно с перекрытием, точно совпадающим с шириной захвата снегоочистителя.

Скорость работы снегоочистителей зависит от интенсивности снегопада. Скорости варьируются в диапазоне от 10 до 27 км/ч. Стандартные механизированные методы используются в районах, свободных от стоянок воздушных судов, в то время как снегоочистители меньшего размера предпочтительнее использовать вблизи воздушных судов. Обеспечение постоянной глубины ворса щетки 15-30 мм по всей ее длине и поддержание длины ворса щетки в пределах 90-220 мм имеет решающее значение для эффективного удаления снега с поверхности.

Приоритетности расчистки магистральных путей может способствовать использование круговой схемы движения для транспортных средств, выровненных по трассам воздушных судов. При толщине снега до 50 мм специальные транспортные средства уберут его со всей взлетно-посадочной полосы и переместят с центральной оси на боковые полосы безопасности. Шнековые снегоочистители будут работать в паре, отбрасывая снег на расстояние 25 м, предотвращая его замерзание.

Если глубина снежного покрова превышает 50 мм, потребуется дополнительное смещение снега и чистка покрытия щеткой. Специальные транспортные средства, работающие в рамках КАМ, должны двигаться последовательно, на расстоянии 30-35 м друг от друга, с перекрытием в 30-40 см, как показано на рисунке 1.3, который иллюстрирует схему круговой очистки поверхности взлетно-посадочной полосы.



Рисунок 1.3 – Пример круговой схемы очистки покрытия

Вторая технология уборки снега называется уборка «клином». В этом варианте отряд уборочной техники выстраивается на всю ширину и ВПП убирается от осевой линии к обочинам за один проход. Тем самым время уборки сокращается (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Пример уборки снега «клином»

Количество машин, необходимых для уборки снега, зависит от ширины ВПП, ширины плугов и щеток, допустимым временем на проведение уборочных работ.

Уборка снега специализированными транспортными средствами осуществляется в соответствии с определенными протоколами, зависящими от скорости бокового ветра:

1. При встречном ветре со скоростью от 3 до 5 м/с операции по расчистке должны начинаться с центральной оси взлетно-посадочной полосы, распространяясь наружу к ее периферии.

2. Скорость бокового ветра в диапазоне от 5 до 10 м/с требует деления ширины дорожного покрытия на асимметричные сегменты. Первоначальный зазор должен начинаться с более узкого сегмента, противоположного направлению ветра, постепенно расширяясь на большую часть ширины дорожного покрытия в соответствии с направлением ветра.

3. При скорости бокового ветра, превышающей 10 м/с, расчистка должна производиться исключительно по направлению ветра, чтобы предотвратить

простаивание оборудования на холостом ходу. Это требует регулировки лопастей в конце каждого ряда.

Использование специальных автомобилей в зимний период может быть осуществлено в следующих конфигурациях:

- отвал, щетка центральная, магнитная плита. Вариант предназначен для уборки снега, металлических частиц и помех. (см. рисунок 1.5);

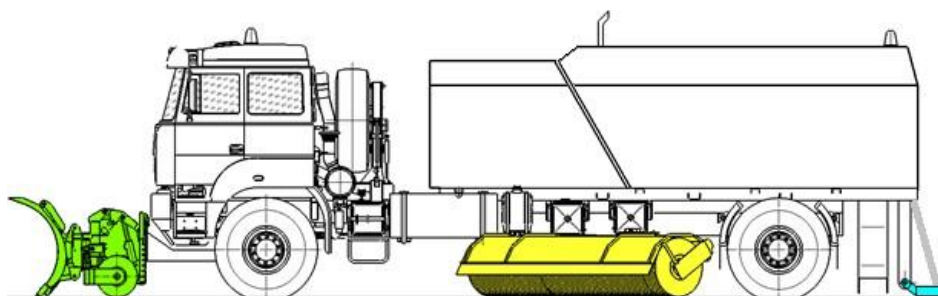


Рисунок 1.5 – Демонстрация навесного оборудования
(отвал, щетка центральная, магнитная плита)

- отвал, щетка центральная, продувочная установка, магнитная плита. Вариант предназначен для уборки и сдува снега, металлических частиц, мусора и помех. (см. рисунок 1.6).

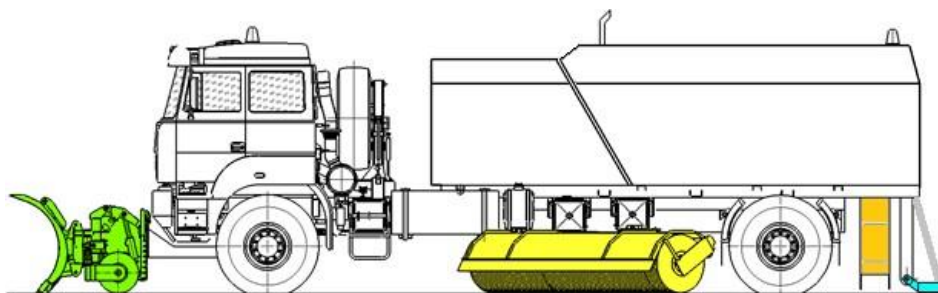


Рисунок 1.6 – Демонстрация навесного оборудования
(отвал, щетка центральная, продувочная установка, магнитная плита)

1.1.3. Вариативность компоновки и режимов специального автомобиля с щеткой центральной в летний период

Поддержание целостности искусственных покрытий аэродромов требует систематического ухода, включающего в себя подметальные работы и

использование специализированных транспортных средств для удаления воздушного покрытия. Частота этих процедурных вмешательств зависит от степени загрязнения, очевидной в различных сегментах основания аэродрома.

В летний период, когда условия эксплуатации изменяются под воздействием климатических факторов, необходимо оптимизировать режимы работы этих автомобилей для повышения их эффективности.

Основные режимы работы:

1. Режим активной очистки. Этот режим характеризуется максимальной скоростью вращения щеток и повышенной подачей воды для увлажнения поверхности. Применяется при значительных загрязнениях, таких как остатки растительности, песок или мусор, образующийся в результате интенсивного движения воздушных судов и наземного транспорта. В данном режиме щеточный узел эффективно удаляет твердые частицы и предотвращает их дальнейшее рассеивание в воздухе.

Система водяная предназначена для обработки искусственного покрытия аэродрома путем пылеподавления в летний период, за счет распыления воды, или для распыления жидких противообледенительных реагентов (далее - ПГР) в зимний период.

В состав системы водяной входят:

1) Передняя рейка, состоящая из механизма подъема и опускания, раскладывания, механизма поворота, высоконапорных форсунок и сопел, и гибких шлангов подачи воды, пистолета гидравлического высокого давления.

2) Боковые рейки, состоящие из механизма подъема, опускания, поворота, форсунок подачи воды или жидкого реагента.

3) Задняя рейка, состоящая из механизма подъема и опускания, раскладывания, форсунок и гибких шлангов подачи воды или жидкого реагента.

4) Баки, предназначенные для перевозки и хранения необходимого количества воды (или ПГР).

5) Водяной насос, обеспечивающий подачу воды (или ПГР) из бака на форсунки передней, задней и боковых реек и поддерживающий необходимое давление в водяной системе.

6) Система забора, состоящая из рукава заборного, фильтра грубой очистки, фильтра тонкой очистки, кран и клапан.

7) Система трубопроводов.

2. Режим поддерживающей очистки. Данный режим используется для регулярного обслуживания аэродромных территорий с минимальным уровнем загрязнений. Щеточный узел работает на средних оборотах, что позволяет поддерживать чистоту без избыточного износа рабочих элементов и снижения производительности. Рекомендуется применять этот режим в периоды между интенсивными уборками.

3. Режим полива. Учитывая особенности летнего климата, данный режим включает в себя увлажнение поверхности для предотвращения пылеобразования. Специальный автомобиль может быть оснащен системой полива, которая работает совместно с щеточным узлом. Это особенно актуально для аэродромов, где пыль может негативно сказаться на видимости и работе авиационных систем.

4. Комбинированный режим. В условиях сложных загрязнений или при наличии различных типов отходов целесообразно использовать комбинированный режим. Он сочетает элементы активной и поддерживающей очистки, что позволяет эффективно справляться с разнообразными загрязнениями, такими как остатки топлива, масла и другие химические вещества.

Выбор оптимального режима работы специального автомобиля зависит от следующих факторов:

Тип загрязнений. Различные виды мусора требуют применения соответствующих режимов. Например, для удаления листвы и растительности рекомендуется активный режим, тогда как для уборки пыли достаточно поддерживающего.

Климатические условия. Высокие температуры и низкая влажность способствуют образованию пыли, что требует более частого использования режима полива.

Интенсивность эксплуатации. Частота использования аэродрома влияет на накопление загрязнений и необходимость изменения режимов работы. В периоды высокой активности (например, в туристический сезон) может потребоваться более частая уборка.

Определение основных режимов работы специального автомобиля с конструкцией щеточного узла в летний период на аэродроме является критически важным для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации воздушного транспорта. Учет специфики загрязнений, климатических условий и интенсивности эксплуатации позволяет оптимизировать процесс очистки, повышая эффективность работы техники и продлевая срок службы ее компонентов. Таким образом, правильный выбор режимов работы способствует не только улучшению санитарного состояния аэродрома, но и повышению общей безопасности авиационных операций.

Специализированные транспортные средства должны работать последовательно во время операций по очистке поверхности. Они должны соблюдать расстояние 10-20 м друг от друга и обеспечивать минимальное перекрытие в 0,5 м на очищенных полосах движения. Щетинки цилиндрической щетки должны быть равномерно прижаты к поверхности и иметь деформацию 15-20 мм по всей длине щетки. Ворс щетки должен составлять от 60 до 180 мм.

Для обеспечения эффективной очистки оптимальная рабочая скорость этих транспортных средств зависит от уровня загрязнения поверхности. На сильно загрязненных участках рекомендуется использовать интервалы скорости между 5-6 км/ч, в то время как в стандартных условиях подходит скорость 10-15 км/ч.

Использование специальных автомобилей в летний период может быть осуществлено в следующих конфигурациях:

- центральный щеточный узел. Вариант предназначен для уборки снега, пыли и помех. (рисунок 1.7);

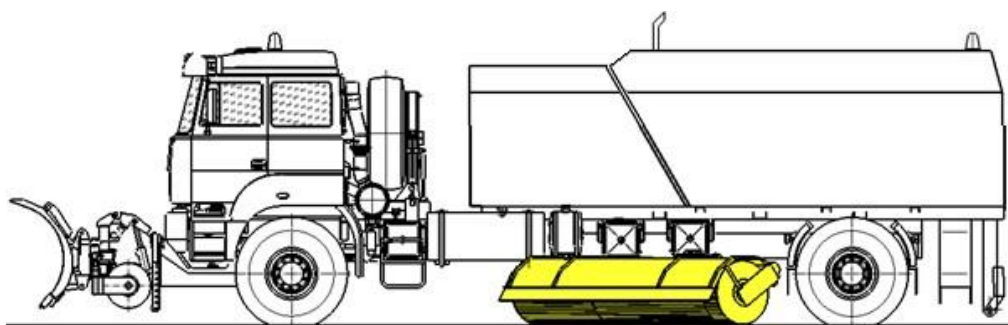


Рисунок 1.7 – Демонстрация навесного оборудования
(щетка центральная)

- центральный щеточный узел, продувочная установка, Вариант предназначен для уборки и продувки снега, пыли и помех, главным образом с территорий аэродромов с искусственными покрытиями (рисунок 1.8);

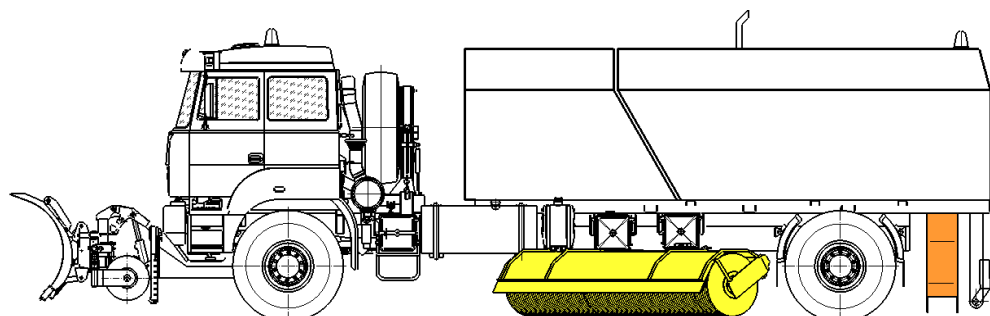


Рисунок 1.8 – Демонстрация навесного оборудования
(щетка центральная, продувочная установка)

- щетка центральная, продувочная установка, магнитная плита. Вариант предназначен для уборки и сдува умеренного слоя снега, металлических частиц, любого мусора и помех, в том числе металлического с помощью плиты магнитной и установки продувочной (рисунок 1.9).

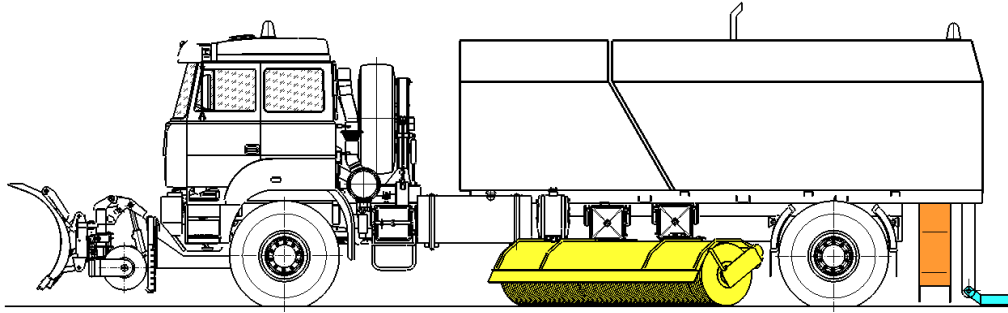


Рисунок 1.9 – Демонстрация навесного оборудования
(щетка центральная, продувочная установка, магнитная плита)

1.2. Аэродромные специальные автомобили с щеткой центральной

Специальные автомобили с конструкцией щеточного узла имеют следующие основные технические характеристики:

- Мощность двигателя: Обычно варьируется от 100 до 400 л.с., что позволяет обеспечивать необходимую производительность.
- Ширина рабочей зоны: Щеточные узлы могут иметь ширину от 1 до 4 метров, что позволяет эффективно очищать большие площади.
- Система управления: Современные машины оснащены электронными системами управления, которые позволяют точно настраивать угол наклона и скорость вращения щеток.
- Тип щеток: Используются как жесткие, так и мягкие щетки, что позволяет адаптироваться к различным условиям уборки.

К преимуществам специальной техники с подобной конструкцией можно отнести:

- Маневренность: Многие модели имеют компактные размеры, что облегчает работу в ограниченных пространствах.
- Устойчивость к климатическим условиям: Специальные материалы и конструкции защищают автомобили от коррозии и механических повреждений.
- Экономичность: Современные технологии позволяют снизить расход топлива и затраты на обслуживание.

Для реализации задач содержания в зимний и летний периоды покрытий взлетно-посадочных полос используются автотранспортные уборочные машины универсального типа.

Принцип функционирования специализированной машины в зимний период заключается в следующем: передний отвал или плуг эффективно удаляет основную массу снега, затем цилиндрическая щетка подметает оставшиеся снежные остатки. В завершение, воздушное сопло обеспечивает удаление оставшейся снежной пыли, используя мощный воздушный поток (см. рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Комбинированная подметально-продувочная машина

При использовании дорожных уборочных машин существуют различные методы уборки:

1. Выполнение подметальных работ исключительно с помощью подметальной щетки, в то время как продувочное устройство остается неактивным.
2. Использование системы продувки исключительно для очистных работ при установке подметальной щетки для транспортировки.
3. Использование комбинации лезвия и подметальной щетки для уборки снега.
4. Удаление снега с помощью лезвия вместе с активированным устройством очистки при подготовке щетки к транспортировке.
5. Удаление снега с помощью щетки и лезвия с одновременным обдувом холодным воздухом.

Несколько конфигураций оборудования подходят для этих методов очистки. Первоначальный тип включает в себя прицепную уборочную машину, по сути, прицеп, совместимый с надежными тракторами (см. рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Прицепная подметально-продувочная машина

Ко второму типу относится подметально-парковочное оборудование, которое крепится к тягачу. Каждый элемент этого оборудования крепится к шасси полуприцепа, что обеспечивает соединение с тягачом. Эти устройства оснащены регулируемой осью, гарантирующей систему с минимальным радиусом поворота (см. рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Полуприцепная подметально-продувочная машина с седельным тягачом

Третий тип – компактная автотранспортная уборочная машина с разнесенными мостами – удлиненная база, доработанными шасси (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Компактная подметально-продувочная машина с разнесенными мостами

Большой размер транспортного средства обеспечивает отличную устойчивость.

Следующая модель сгруппирована на едином шасси специального автомобиля. В него интегрировано различное коммунальное навесное оборудование для круглогодичного содержания территорий и площадок аэродромов. (см. рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Компактная аэродромная машина на базе специального автомобиля.

Следует отметить два основных вида аэродромных подметально-продувочных специальных машин (АППМ)

1) Прицепные подметально-продувочные машины, у которых функциональное оборудование расположено отдельно на прицепе или полуприцепе.

2) Компактные подметально-продувочные машины на базе единого шасси (стандартное шасси или доработанное шасси с разнесенными мостами.

Аэродромная уборочная машина SCHMIDT CJS предназначена для обслуживания взлётно-посадочных полос аэродромов (рис 1.15). Она оснащена кассетными щетками и разработана для выполнения интенсивной очистки территории взлетно-посадочных полос от снега и различного мусора.



Рисунок 1.15 – Аэродромная плужно-щеточно-продувочная машина SCHMIDT CJS

Машина сконструирована на стандартном шасси грузовика на компактной основе, что позволяет отлично выполнять развороты в узких местах. Она обеспечивает надежное удаление снега на высоких скоростях. Благодаря гидропневматическому шасси CJS обеспечивает водителю дополнительный комфорт при работе.

Таблица 1.3 – Характеристики аэродромной плужно-щеточно-продувочной машины Schmidt CJS

Наименование характеристики	Значение/Описание
Тягач	MB Actros 2032 4x4 или MAN TGS 20.320 4x4 или Volvo FE 320 4x4
Привод отвала	от КОМ на шасси, щетки и продувки – от вспомогательного двигателя
Вспомогательный двигатель	MB OM 501 LA, 260 кВт (350 л/с), топливный бак - 600 л
Длина отвала	4 800 мм
Количество секций отвала	6 / 7 / 8
Высота отвала (центр)	1 420 / 1 200 мм, (край) – 1 550 / 1 330 мм

Продолжение таблицы 1.3.

Ширина уборки отвалом (32град)	4 070 / 4 750 / 5 430 мм
Вес отвала (1 200 мм)	1 590 / 1 750 / 1 880 кг, (1 420 мм) – 1 660 / 1 840 / 1 980 кг
Диаметр щетки	4 200 мм
Количество рядов щетки	16 / 18 / 21
Длина щетки	4 200 мм
Ширина уборки щеткой (32 град.)	3 560 мм
Скорость вращения и прижим щетки	автоматически
Скорость выдуваемого воздуха	125 м/с
Производительность продувочной	530 м ³ /мин
Направление уборки	влево/вправо
Максимальная скорость уборки	60 км/ч
Максимальная производительность	210 000 м ² /ч

Интуитивное управление благодаря встроенной панели управления для (синхронного) управления плугом, щеткой, продувочной установкой и вспомогательным распределителем/опрыскивателем. Графический цветной дисплей и синхронное управление всеми компонентами обеспечивают быструю и надежную работу всех функций. Параметры могут быть скорректированы в соответствии с требованиями заказчика таким образом, что водителю остается только сконцентрироваться на вождении, и достигается наилучшая производительность очистки.

Для CJS используются стандартные транспортные средства. Шасси модифицировано для установки подметально-уборочной машины. Вспомогательный двигатель используется для привода гидравлических насосов и управления подметально-уборочной машиной и воздуходувкой высокого давления мощностью 260 кВт при 1800 об/мин.

Аэродромная подметально-продувочная машина VAMMAS CSB3600

Компактная подметально-продувочная машина **VAMMAS CSB3600** разработана для использования на перронах, рулежных дорожках и взлетно-посадочных полосах (рис 1.16).



Рисунок 1.16 – Аэродромная подметально-продувочная машина
VAMMAS CSB3600

Агрегат может работать одновременно как плуг, метла и продувочное устройство. Благодаря небольшой длине и задней управляемой оси CSB3600 отличается высокой маневренностью. CSB3600 построен на шасси MERCEDES BENZ 4 * 4, адаптированном соответствующим образом. Агрегат работает очень точно, а изменение скорости щетки и гидравлическое управление давлением на грунт обеспечивают быструю и эффективную работу. CSB3600 может работать одновременно как плуг, щетка и воздуходувка, также возможно индивидуальное управление каждой из этих функций. Агрегат также можно использовать для летней уборки. Изменить направление очистки очень быстро и просто. Достаточно одного движения джойстика на панели управления, чтобы изменить направление плуга, щетки и отверстия для выпуска воздуха.

Таблица 1.4 – Характеристики аэродромной подметально-продувочной машина VAMMAS CSB3600

Наименование характеристики	Значение/Описание
Колесная база, мм	5700
Общая длина рабочего режима, м	11,8
Рабочий режим щетки (35 °), м	3,44
Угол поворота щетки влево / вправо, °	35
Поддерживающие колеса	2 пары

Продолжение таблицы 1.4.

Максимальная скорость воздуха, км/ч	400
Рекомендуемая рабочая скорость, км/ч	40-60
Воздушный поток вентилятора, м ³ /с	8,5

Аэродромная подметально-продувочная машина Boschung JETBROOM

Многофункциональная высокопроизводительная машина **Jetbroom 10000-A** от компании Boschung. Концепция Jetbroom прекрасно зарекомендовала себя за многолетнюю эксплуатацию в различных регионах мира, предоставляя широкие возможности применения базового шасси.

Различные работы по зимнему и летнему содержанию (уборка снега, противогололедная обработка, продувка под высоким давлением) могут быть выполнены как отдельно, так и некоторые из них одновременно.

Поколение 10000 совмещает в себе самые последние технические разработки, а благодаря щетке с диаметром 1170 мм и системе Quattro-Jet гарантирует непревзойденную производительность. Jetbroom специально разработан для работы в суровых погодных и температурных условиях (рис 1.17).



Рисунок 1.17 – Аэродромная подметально-продувочная машина Boschung JETBROOM 10000-A

Устройство машины включает в себя несколько ключевых компонентов:

Мощное шасси: Оно может быть выполнено в двухосном или трехосном варианте и оснащено двумя продольными несущими балками, которые размещены между мостами на смещенной вверх позиции. Дополнительно имеются резьбовые или сварные поперечные балки, а также универсальная платформа.

Управляемые мосты: Передний и задний мосты являются полноприводными и оборудованы планетарными ступицами. Каждая ось шасси способна выдерживать нагрузку до 14 тонн, в то время как управляемая третья ось допускает нагрузку в 6 тонн.

Привод щетки, турбины и рабочего оборудования при помощи раздаточной коробки с соединенными фланцами гидравлическими насосами

Радиальная турбинная система двух типов:

- одна горизонтальная турбина для продувки перед щеткой и перед/за задней осью
- две комбинированные турбины для продувки перед щеткой и в задней части машины.

Таблица 1.5 – Габариты специальной машины Boschung JETBROOM 10000-A

Наименование характеристики	Показатель, мм
Длина базовой модели с 2 осями	10 500
Длина модели с 3 осями	10 800
Ширина базовой модели	2 570
Высота базовой модели	3 750



Рисунок 1.18 – Щетка центральная в составе специальной машины
Boschung JETBROOM 10000-A

С щетками длиной 6,24 метра, а также с наличием двух продувочных каналов, модель Jetbroom выделяется как единственная по-настоящему компактная плужно-продувочная машина, способная применять высокоэффективные методы очистки на взлетно-посадочных полосах [10].

Дополнительное оборудование:

В дополнение к уборке снега с помощью отвала, продувочного устройства и щетки возможно нанесение жидких, твердых или смешанных реагентов. При этом уборка снега и противогололедная обработка могут быть выполнены одновременно или по отдельности.

Рейка передняя машины аэродромной поливомоечной (далее – АПММ) предназначена для распыления воды перед АПММ по ходу движения. Распыл воды обеспечивается на всю ширину захвата щетки центральной и составляет не менее 3 метров при подаче воды через форсунки и не менее 18 метров при подаче воды через высоконапорные сопла.

В результате анализа конструкций существующих специальных автомобилей с щеточным узлом установлено, что перечень навесного оборудования, их параметры, размеры и особенности эксплуатации приближены к существующим коммунальным машинам, относящимся к классу комбинированных дорожных машин. Исключением и отличиями являются ограничения по ширине захвата рабочих органов коммунальных

машин в связи с содержанием дорог общего пользования, чего не отмечено у специальных автомобилей для содержания ВПП. Также стоит отметить повышенные требования к надежности, безотказности и производительности специальных автомобилей для обслуживания ВПП.

Определены основные типы конструкции специальных автомобилей с центральным щеточным узлом в результате чего установлено, что минимальной шириной щеточного узла является значение 4200 мм, диаметр 900 мм, что обеспечит требуемые конструктивные и рабочие параметры специального автомобиля при эксплуатационной ширине захвата около 3500 мм. Наиболее оптимальным и распространенным специальным автомобилем из рассмотренных аналогов является SCHMIDT CJS, являющийся оптимальным автомобилем, сочетающим в себе простоту конструкции и эффективность при низкой стоимости в сравнении с аналогами.

Таким образом, можно сделать вывод, что разрабатываемые в дальнейших главах данной диссертационной работы методы и методики применимы как к специальным автомобилям, предназначенным для содержания ВПП, так и к комбинированным дорожным автомобилям с щеточным узлом.

1.3. Анализ существующих конструкций щеточных узлов, применяемых в составе специальных автомобилей

Щеточные узлы являются важным и наиболее часто используемым видом навесного оборудования для содержания и уборки различных видов покрытий и дорожных одежд. Эффективность работы специальных автомобилей с интегрированной уборочной щеткой напрямую зависит от конструкции щеточных узлов, их материалов и технологий.

Типы щеточных узлов для аэродромов:

Роторные щеточные узлы:

- Конструкция: Включает один или несколько вращающихся валов с установленными на них щетками.
- Применение: Сметание снега и мусора, удаление наледи.
- Преимущества: Большая наработка за единицу времени, использование в сложных климатических условиях.

Линейные (параллельные) щеточные узлы:

- Конструкция: Щетки расположены параллельно друг другу и могут двигаться вдоль полосы.
- Применение: Эффективны для удаления пыли и мелкого мусора с асфальтовых и бетонных покрытий.
- Преимущества: Обеспечивают равномерное распределение давления на поверхность, что минимизирует риск повреждений.

Комбинированные щеточные узлы:

- Конструкция: Сочетают в себе роторные и линейные элементы.
- Применение: Позволяют выполнять несколько задач одновременно, например, удаление снега и последующую очистку поверхности.
- Преимущества: Универсальность и высокая эффективность при различных условиях эксплуатации.

Материалы щеток можно разделить по следующим типам:

Пластиковые щетки:

- Особенности: Легкие и устойчивые к воздействию химических реагентов.

- Преимущества: Не повреждают поверхность, [10] подходят для деликатных материалов, например, для очистки от соли после зимнего сезона.

Металлические щетки:

- Особенности: Прочные и долговечные.

- Преимущества: Эффективны для удаления крепких загрязнений, таких как лед и снег, но могут повредить поверхность.

Комбинированные щетки:

- Особенности: Сочетают пластиковые и металлические элементы.

- Преимущества: Обеспечивают баланс между эффективностью уборки и безопасностью для покрытия.

Приводы щеточных узлов принято разделять на:

Гидравлические приводы:

- Особенности: Обеспечивают мощность и высокую степень контроля над скоростью вращения щеток [10].

- Преимущества: Высокая эффективность, возможность регулировки под разные условия работы.

Электрические приводы:

- Особенности: Используются в компактных машинах для легких задач.

- Преимущества: Низкий уровень шума и отсутствие выбросов, что важно для соблюдения экологических норм.

Механические приводы:

- Особенности: Простота конструкции и надежность.

- Преимущества: Доступная стоимость и легкость в обслуживании.

Снегоочиститель со щеткой для уборки снега имеет щеточный узел как неотъемлемую часть своего рабочего механизма. Щеточный узел состоит из стержня, покрытого щетиной, и расположен в задней части снегоочистителя. Его основная функция заключается в удалении остатков снега с поверхности ВПП после работы отвала специального автомобиля.

Кассетные щетки, используемые на аэродромной технике, обеспечивают эффективную уборку и обслуживание аэродромов благодаря своей конструкции и материалам. Учитывая, что вал с кассетными щетками сбалансирован, это позволяет не только повышать скорость вращения до 1000 об/мин, но и минимизировать вибрации, что существенно увеличивает рабочую эффективность и срок службы оборудования.

Кассетная щетка состоит из полипропилена, этот материал обеспечивает отличную защиту от воздействия холодной окружающей среды и гарантирует долговечность.

Использование таких щеток значительно облегчает процесс очистки аэродромов от снега, льда и другого мусора, что важно для обеспечения безопасности и эффективности работы авиационной инфраструктуры.

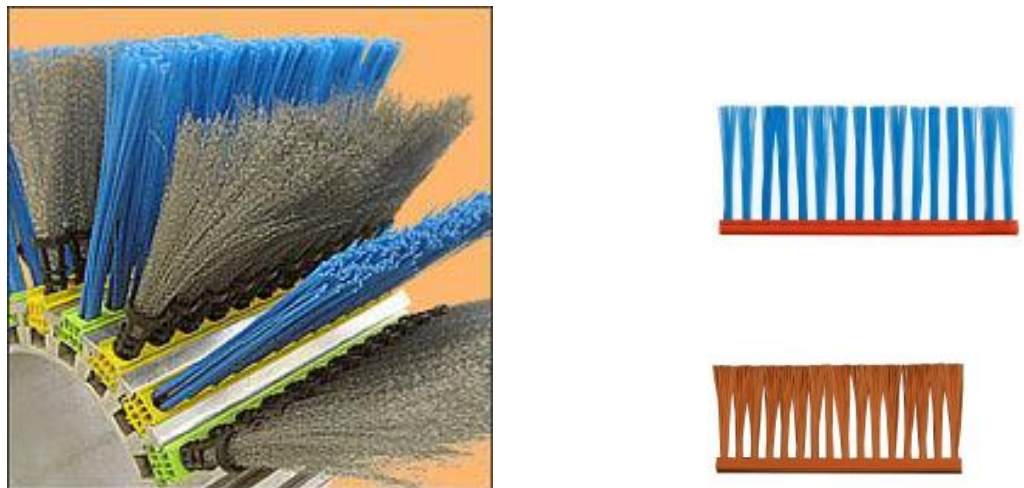


Рисунок 1.19 – Кассетные щетки

Дисковые щетки (рис. 1.19 а) — самый распространенный вид уборочных щеток для дорожной и коммунальной техники ЖКХ.

Для уборки пыли и мусора и почвы из стесненных пространств, таких как узкие участки дорог и канавы, подметально-уборочные машины оснащены специальными боковыми щетками, обозначаемыми как лотковые щетки (рис. 1.20 б). Деревянные щетки - основной компонент щеточного агрегата, облегчающий подачу и сбор мусора в процессе вакуумной уборки. В зависимости от требований оборудование для уборки может быть оснащено

одной, двумя или тремя древесными щетками для оптимизации эффективности очистки.



Рисунок 1.20 – Дисковые (а) и лотковые (б) щетки

Лепеш А.Г. в своей работе [62] подробно описывает авторскую методику и результаты исследования механических характеристик щеточного ворса, используемого в коммунальной уборочной технике. Ворс был изготовлен методом гидроэкструзии из полипропилена, учитывая материал, предоставленный различными поставщиками. В процессе исследования были проведены экспериментальные испытания, направленные на оценку таких характеристик, как прочность, гибкость и стойкость к износу, что является важным для надежности и эффективности работы уборочной техники. Результаты исследований могут помочь в выборе оптимальных материалов и технологий для производства щеточного ворса, что, в свою очередь, повысит качество и долговечность коммунальной техники. Разработана физическая модель контактного силового взаимодействия щёток техники коммунальных служб с дорожным покрытием. Рассчитаны показатели интенсивности износа, которые применяются для оценки ресурса щеток коммунальных машин. Получены зависимости для изменения коэффициента трения от скорости скольжения. Предложен способ повышения эффективности работы коммунальной щётки.

Исчерпывающий обзор методов расчёта элементов щёточных механизмов получен в диссертации Куксова М.П [61].

Ермилов А. Б. определил, что для эффективной работы щетки рекомендуется соблюдать соотношение[45]

$$V_2 = \omega R V_1 = 2 V_1 \quad (1.1)$$

где V_2 – линейная скорость щетки, м/с;

ω – угловая скорость щетки, рад/с;

R – радиус щетки, м;

V_1 – скорость подметально-уборочной машины, м/с.

Хоминич В. В. в своей публикации [46] соглашается с Ермиловым А. Б. и добавляет, что для эффективной уборки при работе машины с обратным забросом смета необходимо соблюдать соотношение $V_2 = 4,5 V_1$.

У современного специального автомобиля с щеткой центральной в качестве навесного оборудования стоит принять коэффициент эффективности, равный 2, т.е. скорость вращения щетки в точке контакта ворса с полотном должно быть не менее чем в 2 раза больше, чем скорость движения транспортного средства, так как используется способ смета снега, а не забрасывания.

Следовательно, при увеличении частоты вращения щеточного узла специального автомобиля, исходя из полученной зависимости, можно увеличивать скорость движения специального автомобиля при обеспечении требований по качеству. В процессе развития технологий производства аэродромной техники и навесного оборудования актуально встает вопрос установления корреляции показателей эксплуатации специального автомобиля и используемого навесного оборудования, в том числе по мере его износа.

Обычно считается, что на операции очистки влияют такие факторы, как ширина пятна контакта, скорость уборочной машины, скорость вращения щетки и конструктивные характеристики щетки. Однако среди исследователей имеются противоречивые выводы относительно оптимальных режимов работы, полученных на основе этих параметров.

На текущей стадии настоящей работы за основную конструкцию принята кассетная щётка, т.к. такой вариант представляется наиболее простым в обслуживании и замене изношенных щёточных элементов.

1.4.Выводы по главе

В результате, в рамках первой главы настоящего исследования проводится тщательное изучение предпосылок, регулирующих содержание аэродромов и специализированных устройств, предназначенных для очистки аэродромов. Это включает в себя оценку эксплуатационных условий, связанных с универсальными решениями для специализированных транспортных средств, их технических характеристик и переменных, влияющих на вывод основных эксплуатационных показателей. Исследование дополнительно выявляет корреляцию между эффективностью рабочего процесса и параметрами цилиндрических щеток, предоставляя рекомендации по определению оптимальной частоты вращения в зависимости от частоты вращения двигателя автомобиля.

Выявлено, что средняя наработка щеточного узла на конструктивный и производственный отказ не менее 300 часов, а средний срок сохраняемости не менее 1 года вне помещений при температуре от минус 60 °С до плюс 50 °С и относительной влажности до 85%, срок службы полипропиленового ворса составляет 375 часов.

Анализ конструкций щеточных узлов позволяет сделать вывод, что наиболее целесообразными для эксплуатации на базе специального автомобиля является применение цилиндрической щетки. При этом установлено, что для обеспечения качественного рабочего процесса скорость движения ворса в точке контакта с полотном должна быть минимум вдвое больше, чем скорость специального автомобиля.

ГЛАВА 2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ С УСТАНОВКОЙ ЩЁТОЧНОГО УЗЛА

2.1. Основные требования, предъявляемые к специальному автомобилю с щёткой цилиндрической

В общем случае, специальный автомобиль должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- стойкости к условиям эксплуатации;
- удобства эксплуатации, технического обслуживания и ремонта;
- надежности;
- назначения;
- эргономики и технической эстетики;
- безопасности.

При разработке специального автомобиля первоочередное внимание уделено выполнению указанных основных требований, как основных характеристик, обеспечивающих стабильность показателей качества изделия в условиях эксплуатации.

Щетка центральная предназначена для удаления легкого снега, слякоти, мусора, оставшегося песка и для очистки места вокруг вмонтированных в искусственное покрытие огней.

В качестве центральной щетки в специальных автомобилях используется щетка заимствованной конструкции с другой машины КАМ – аэродромной поливомоечной машины. Расчет основных параметров центральной щетки осуществляется в рамках разработки узла.

Прочностные характеристики конструкции рамы щетки центральной должны обеспечивать работоспособность всех установленных на нее узлов, агрегатов и оборудования в процессе эксплуатации. Вал и установленные на него щеточные кассеты с пластиковым или металлическим ворсом в сборе должны быть с диаметром не менее 800 мм. Гидромоторы с редукторами

привода щетки должны крепиться к валу щетки центральной с правой и с левой сторон. Корпусы гидромоторов должны быть защищены от внешних механических воздействий. В механизме подъема должны быть предусмотрены кронштейны для его крепления к лонжеронам рамы шасси. В механизме подъема должны быть предусмотрены проушины для крепления гидроцилиндров системы гидравлической, осуществляющих подъем и опускание щетки центральной. Перемещение щетки в вертикальном направлении должно происходить посредством качения роликов по внутренним вертикальным поверхностям швеллеров подвижной части механизма подъема. Захват и выравнивания направления подъема щетки должно обеспечиваться посредством крюков, расположенных на профилях механизма подъема щетки центральной. В механизме поворота должны быть предусмотрены проушины для крепления гидроцилиндра системы гидравлической, осуществляющего поворот щетки центральной. Лист центральный защитного кожуха должен иметь скребковую часть. Расстояние от между кожухом и ворсом щетки центральной может меняться с помощью механизма прижима, и должно быть не менее 20 мм. На листе центральном защитного кожуха должны быть предусмотрены места крепления для гидроцилиндров прижатия и отжатия скребковой части. Гидроцилиндры должны крепиться к раме щетки центральной через проушины. Допускается изготовление заднего листа защитного кожуха из эластичного материала. Все агрегаты привода щетки центральной, механизма поворота и подъема должны быть снабжены элементами защиты от попадания грязи и пыли без регламентирования степени защиты. Окраска металлических узлов и элементов щетки центральной должна осуществляться акриловыми эмалями.

Разрабатываемая щетка центральная АПММ должна обеспечивать средний срок сохраняемости не менее 1 года вне помещений при температуре от минус 60 °С до плюс 50 °С и относительной влажности до 85%.

Центральная щетка, изображенная на рисунке 2.1, оснащена гидравлическим приводом и устанавливается на опорной раме. Она

подвешивается с использованием механизма подъема, что позволяет ей опираться на аэродромное покрытие вне зависимости от движения транспортного средства и особенностей неровной поверхности. Такой подход обеспечивает стабильное и равномерное давление щетки на поверхность, что способствует более эффективному удалению загрязнений и поддержанию соответствующих стандартов чистоты на аэродромах. Гидравлический механизм также позволяет легко регулировать высоту и позицию щетки, обеспечивая ее адаптацию к различным условиям работы.

Конструкция центральной щетки включает в себя:

- 1) щётка;
- 2) механизм подъёма;
- 3) колёса;
- 4) кожух передний;
- 5) кожух задний;
- 6) рама;
- 7) гидромоторы.

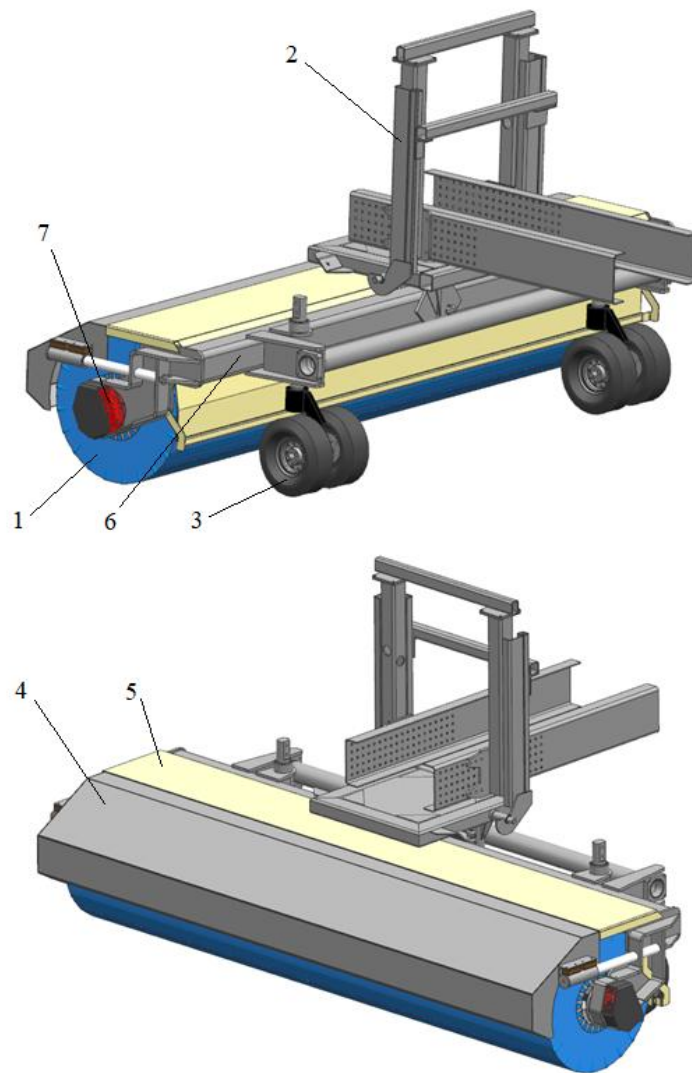


Рисунок 2.1 – Предварительная модель щётки центральной

Центральная щетка расположена между передним и задним мостами.

Такое размещение центральной щетки связано с наиболее рациональным распределением веса функционального оборудования и оптимальной нагрузкой на оси автомобильного шасси.

При разработке проекта специального автомобиля рассмотрено три схемы размещения щётки, которые наиболее часто встречаются у автомобилей аналогов. Эти схемы показаны на рисунке 2.2.

в задней части

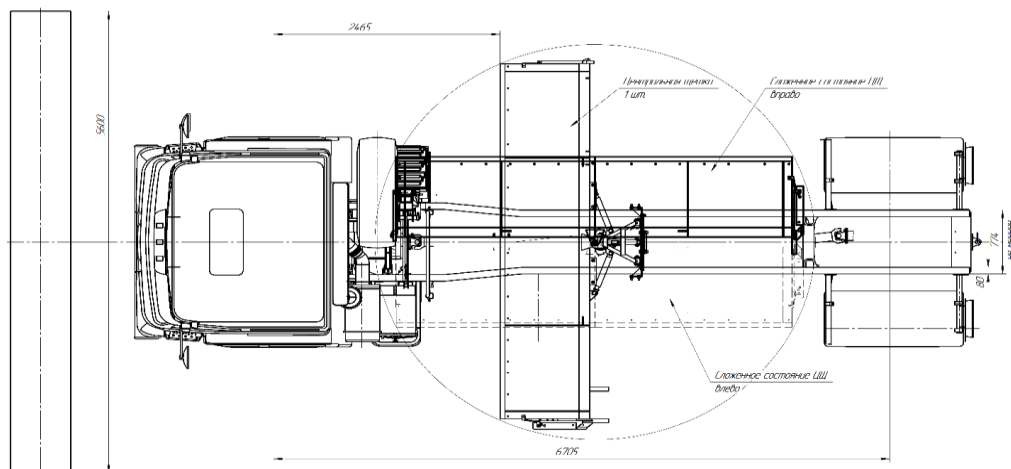
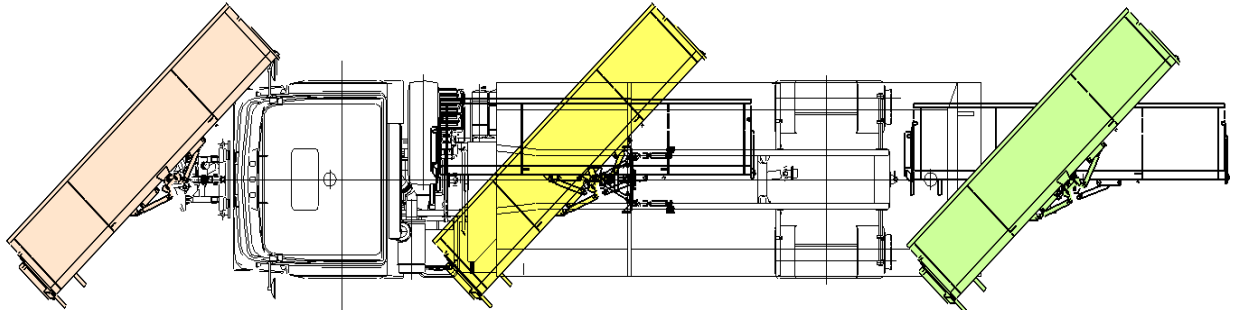


Рисунок 2.3 – Рабочая зона щетки центральной

Центральная щетка представляет собой вал с кассетными щетками с полипропиленовым ворсом. Благодаря этому способу размещения и крепления кассет на валу, а также благодаря жесткой и выдержанной по весу конструкции самой кассетной щетки, валы имеют лучшую балансировку (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Центральная щетка

В результате скорость вращения вала может достигать до 850 об/мин, что, в свою очередь, и гарантирует высокую скорость уборки.

Восстановление изношенной щётки выполняется заменой отдельных кассет.

На рисунке 2.5 показаны возможные для установки на специальный автомобиль варианты кассетных щёток с различными компоновочными схемами.

Высокопроизводительная щётка, показанная на рисунке 2.5а, с повышенной плотностью (28 рядов) кассет и большим внешним диаметром (1170 мм).

Стандартная (наиболее популярная) щётка с 20 кассетами большим диаметром щетки получила наибольшее распространение в связи с высокой производительностью.

а)
28/1170 мм

б)
20/1170 мм

в)
16/955 мм



Рисунок 2.5 – Возможные варианты установки кассетных щёток

Компактная щётка с 16 кассетами и внешним диаметром 955мм получила наиболее часто применяется в небольших уборочных машинах.

Каждая из приведённых щёток может оснащаться кассетами как со стальным (рисунок 2.6), так и с полипропиленовым (рисунок 2.7) ворсом.

а)
Средняя плотность
ворса диаметром 0,45



Универсальная

б)
Высокая плотность
ворса диаметром 0,45



Рекомендуется для
тяжёлого смёта, на
пример уборки мокрого
снега

в)
Высокая жёсткость
ворса диаметром 0,60



Рекомендуется для
очистки покрытий от
наледи

Рисунок 2.6 – Кассеты со стальным ворсом

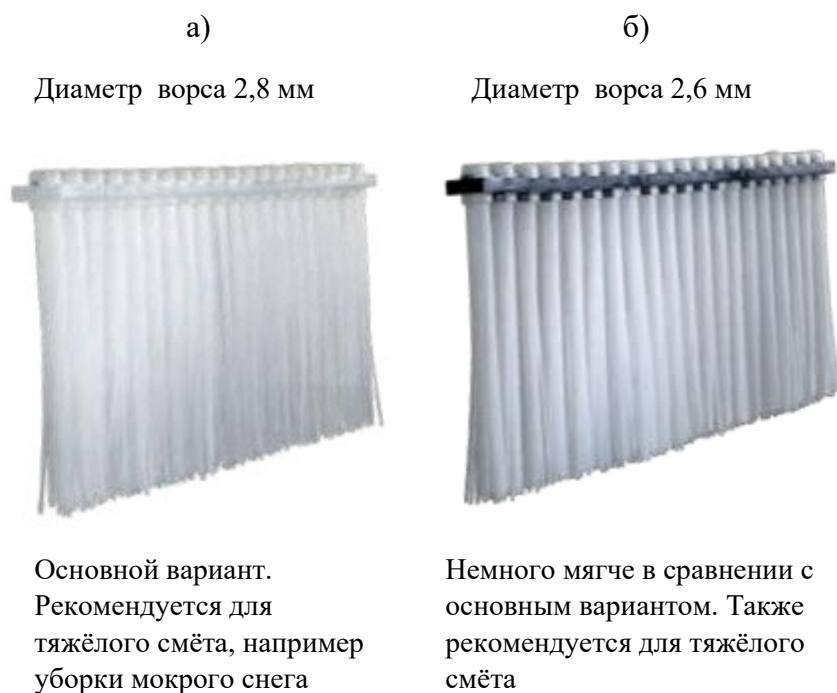


Рисунок 2.7 – Кассеты с полипропиленовым ворсом

На сегодняшний день в конструкции уборочной техники коммунальных хозяйств наиболее распространены дисковые щётки. Основные типы дисковых щёток представлены ассортиментом компании ТрансТех приведённым в таблице 2.1 (см. рисунок 2.8).

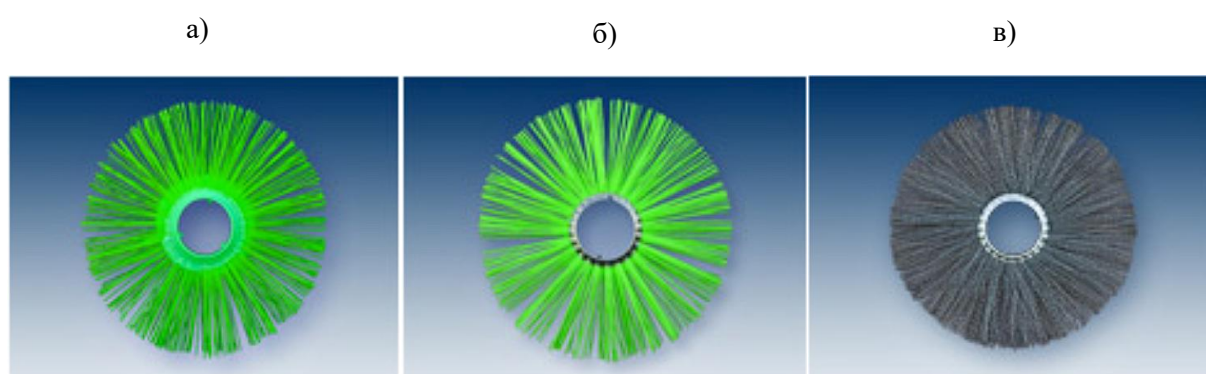


Рисунок 2.8 – Дисковые щётки: а) и б) – полипропиленовые и в) - стальная

Почти все уборочные машины отечественных и зарубежных производителей комплектуются щеточными дисками с металлическим или

полипропиленовым ворсом. Ворс щеточного диска может быть завальцован в стальной или вплавлен в полипропиленовый (беспроставочный щеточный диск) сердечники прямого или гнутого профиля.

Таблица 2.1 – Основные типы дисковых щёток представлены ассортиментом компании ТрансТех

Тип машины	Щетки дисковые полипропиленовые		Щетки дисковые проволочные	
	Внутренний диаметр, мм	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Внешний диаметр, мм
Мотоблок	78	300 - 500	78	315 - 350
Кролл, Бухер	101	350 - 400	101	400
ПМ-130, КДМ, МТЗ	110	400 - 550	110	500 - 550
ПМ-130, КДМ, МТЗ	117	400 - 550	117	500 - 550
ПМ-130, КДМ, МТЗ	120	400 - 550	120	500 - 550
ПМ-130, КДМ, МТЗ	130	400 - 550	130	500 - 550
Боб Кэт (гнутые)	164	550 - 650	164	550 - 650
Боб Кэт	164	550 - 650	164	550 - 650
Унимог	180	800 - 900		
ПУМ, Унимог	180	600 - 700	180	600 - 700
Бродвей Васса	203	800	203	800
Скандия, Нордик	220	900	220	900
Скандия, Нордик (гнутые)	220	900	220	900
Боб Кэт (гнутые)	254	800	254	800
Унимог, Бродвей	254	600 - 900	254	900
ДЭ-224-235 (пучковые)	254	900	254	900
Джет Брум (пучковые)	274	900	274	900
ПУ-61	280	700	274	900
Спец. заказы	290	900	290	900
Спец. заказы	300	1100		

Так за основную конструкцию принята кассетная щётка, т.к. такой вариант представляется наиболее простым в обслуживании и замене изношенных щеточных элементов.

2.2. Определение базового шасси специального автомобиля с щеткой цилиндрической

Базовое шасси специального автомобиля является основным фактором, полностью характеризующим эксплуатационные параметры всего

транспортного средства, но навесное оборудование, особенно, щетка цилиндрическая центральная, способно значительно влиять на характеристики автомобиля. Так, навесное оборудование и базовое шасси являются взаимосвязанными параметрами.

Базовое шасси специального автомобиля с цилиндрической щеткой — это основа, на которой строится конструкция автомобиля, предназначенного для уборки снега, листвы или другого мусора с дорожных покрытий. Оно включает в себя ключевые элементы, обеспечивающие функциональность, надежность и безопасность эксплуатации. Рассмотрим основные аспекты определения базового шасси:

1. Тип шасси

- Легковые и грузовые. Базовые шасси могут быть основаны на легковых автомобилях или грузовиках. Выбор зависит от предполагаемых условий эксплуатации и объема работы.

- Проходимость. Для работы в сложных условиях (например, в снежных или горных районах) предпочтение отдается шасси с повышенной проходимостью (грузовые или полноприводные автомобили).

2. Грузоподъемность

- Нагрузка. Базовое шасси должно соответствовать требованиям по грузоподъемности, чтобы выдерживать вес щеточного узла и возможного дополнительного оборудования (например, контейнеров для сбора мусора).

- Распределение нагрузки. Важно учитывать распределение нагрузки по осям для предотвращения перегрузки и обеспечения устойчивости автомобиля.

3. Размеры и габариты

- Длина колеи и база. Эти параметры влияют на маневренность автомобиля и его способность проходить через узкие участки.

4. Технические характеристики

- Двигатель. Мощность двигателя должна быть достаточной для работы с щеточным узлом и обеспечивать необходимую скорость.

- Трансмиссия. Наличие автоматической или механической трансмиссии, а также возможность блокировки дифференциала для повышения проходимости.

5. Системы управления

- Управляемость. Базовое шасси должно обладать хорошими системами управления, включая рулевое управление и тормоза, что особенно важно при работе в зимних условиях.

Панель оператора должна предоставлять водителю-оператору следующие функции информационного характера:

- представление на панели значений контролируемых технологических параметров в единицах физических величин;

- представление на панели оператора мнемосхем с указанием значений измеряемых параметров, состояния оборудования и положений исполнительных механизмов;

- отображение панели оператора отклонений технологических параметров от заданных значений с предупредительной и аварийной звуковой сигнализацией;

- отображение на панели оператора и сигналов о неисправностях и значений основных технологических параметров при срабатывании аварийных защит для возможности ретроспективного анализа;

- формирование и представление на панели оператора информации о невыполнении управления исполнительными механизмами;

- неисправностях цепей управления;

- формирование журнала событий.

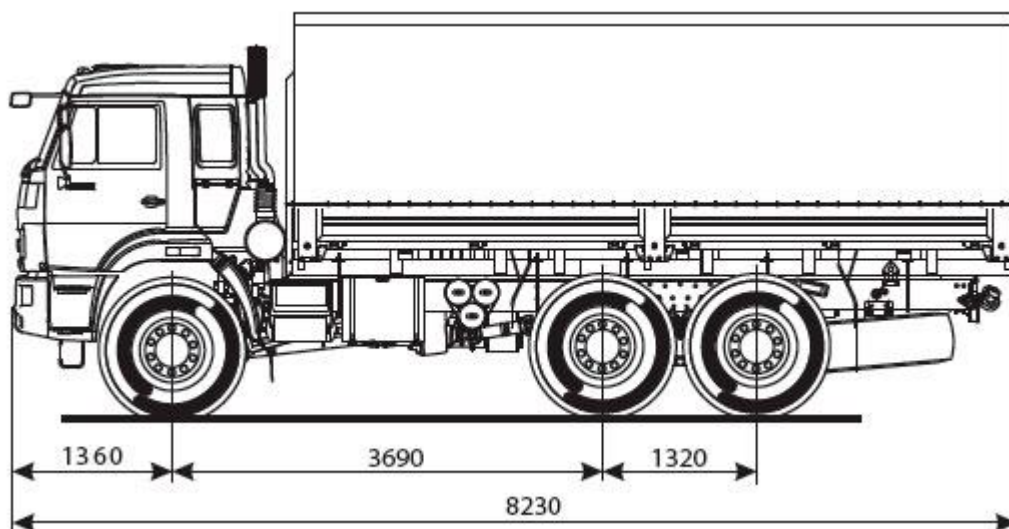
6. Подвеска и ходовая часть

- Тип подвески. Необходима надежная подвеска, способная справляться с нагрузками и обеспечивать комфорт при движении по неровным поверхностям.

- Шины. Использование зимних или всесезонных шин с хорошим сцеплением для обеспечения безопасности на скользких дорогах.

В диссертационной работе изучались в качестве базового шасси отечественные модели производства автозаводов КАМАЗ и УРАЛ, исходя из параметров силовых установок и балансировки масс, показанных на рисунке.

а) КАМАЗ-43118-6013-50



б) Урал 63704-0111

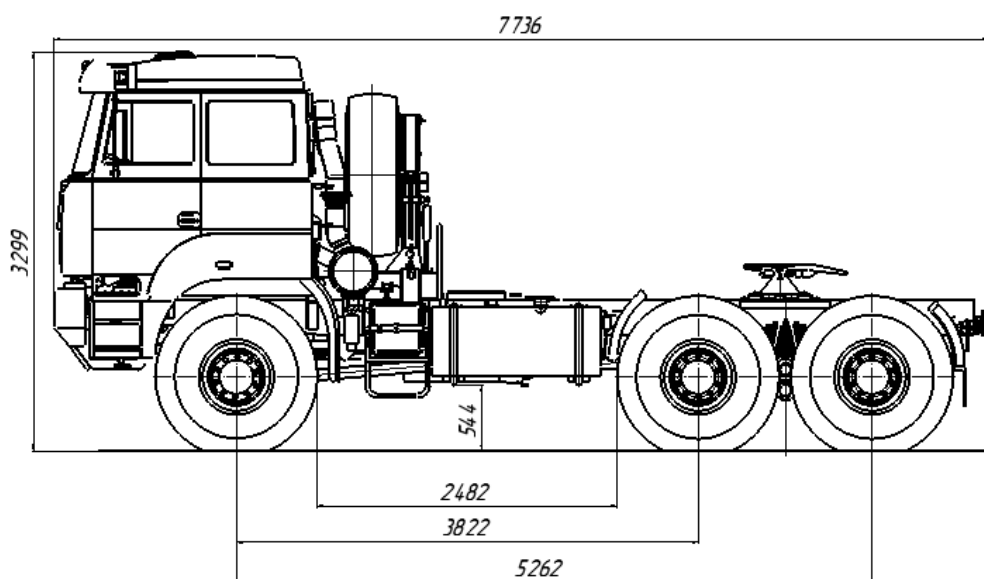


Рисунок 2.9 – КАМАЗ а) и УРАЛ б) варианты бескапотных базовых шасси специального автомобиля

Наиболее приемлемым вариантом является Урал-6370 бескапотного исполнения с кабиной водителя, расположенной над двигателем. Конструктивная схема трактора аналогична другим моделям марки Урал и аналогичных производителей. Он построен на раме переменной ширины и

включает лонжероны переменного профиля для размещения его основных компонентов. Двигатель и трансмиссия трактора расположены в передней части рамы, кабина также прикреплена в этой области. 500-литровый топливный бак расположен с левой стороны в центральной части рамы.

Тягач оснащен дизельным двигателем ЯМЗ-650 с турбонаддувом мощностью 412 лошадиных сил. В зависимости от предпочтений клиента доступны настраиваемые варианты двигателей с аналогичными техническими характеристиками. Для облегчения работы в сложных условиях в систему питания включен предпусковой жидкостный подогреватель.

Мощность двигателя передается непосредственно на 16-ступенчатую механическую коробку передач (ZF 16S2220TD), которая затем передается на механическую двухступенчатую раздаточную коробку ZF VG2000. Эта раздаточная коробка имеет цилиндрический блокируемый межосевой дифференциал. Урал-63704 имеет колесную базу 6х6 и три ведущих моста RABA MAXS с разнесенными главными передачами и блокирующими колесными дифференциалами. Средняя ось имеет блокировку межосевого дифференциала. Шасси оснащено трехконтурной пневматической тормозной системой с ABS.

Тягач оснащен колесами 11.25x20 с шинами 16.00R20 и системой контроля давления в шинах для повышения его проходимости по бездорожью. Седельный тягач "Урал-63704" оснащен датчиками и автоматикой, которые могут обнаруживать повреждение колес, потерю давления и автоматически накачивать шины.

Двухместная кабина седельного тягача была переработана для улучшения эргономики салона, в ней применена компоновка без капота. Специально отведенная зона отдыха расположена в задней части кабины, за сиденьями водителя и обслуживающего персонала. Кабина крепится к раме машины и может быть наклонена вперед для обслуживания двигателя и других фронтальных агрегатов. Кроме того, на задней стенке кабины имеются крепления для транспортировки запасного колеса.

Предложены компоновочные варианты конструкции специальных автомобилей капотного бескапотного исполнения, общий вид которых показан на рисунке 2.10.

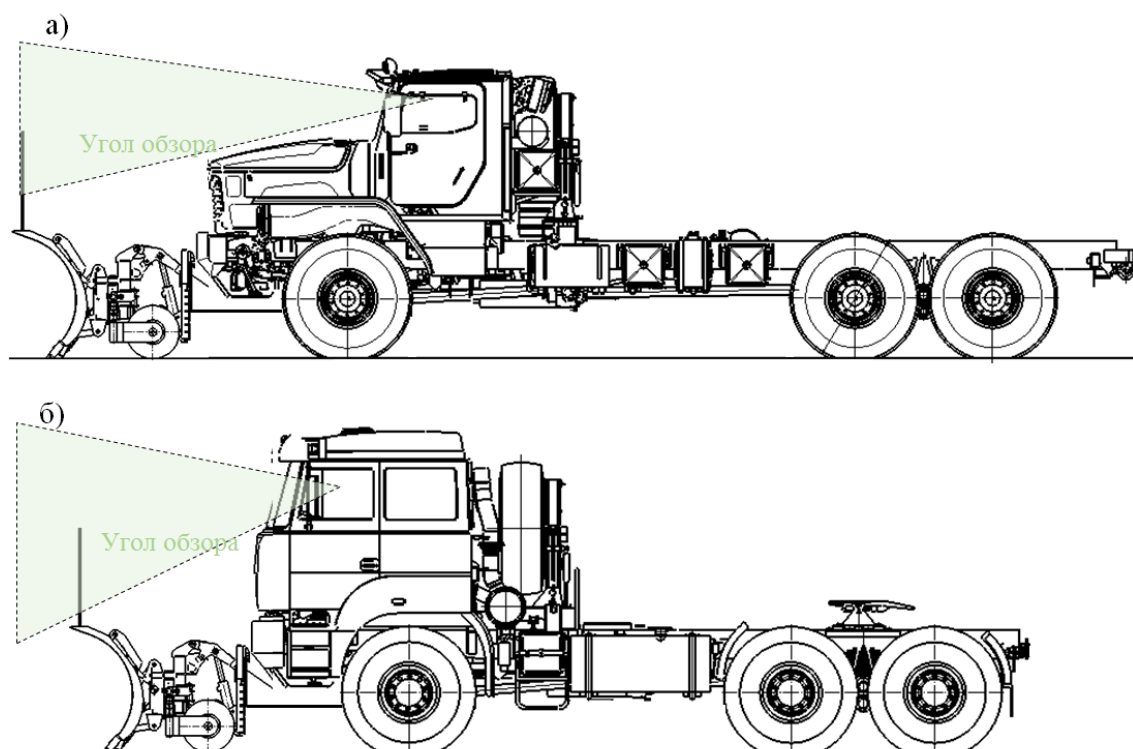


Рисунок 2.10 – Компоновочные варианты специального автомобиля с капотным а) и бескапотным б) шасси

В соответствии с требованиями к специальным автомобилям, щёточный узел в транспортном положении должен полностью убираться под шасси. Ни один из вариантов не позволяет обеспечить это требование без доработок шасси:

- Урал «Торнадо» - убрать вторую ось;
- Урал 63704-0110 - убрать вторую ось и увеличить межосевое расстояние на 1443мм до 6705мм.

Несмотря на то, что для Урал 63704-0111 требуется увеличение межбазового расстояния этот вариант всё равно остаётся короче капотного варианта на базе Урал «Торнадо» примерно на 400 мм. Дополнительным преимуществом Урал 63704-0111 является лучший обзор водителя,

позволяющий лучше контролировать качество уборки снега отвалом. Поэтому, в дальнейшем, для проектирования принимается шасси Урал 63704-0111.

Диаметр щётки $D_{щ}=800\text{мм}$, что также ведёт к модификации шасси, связанной с увеличением высоты лонжеронов до 1150мм, как показано на рисунке 2.11.

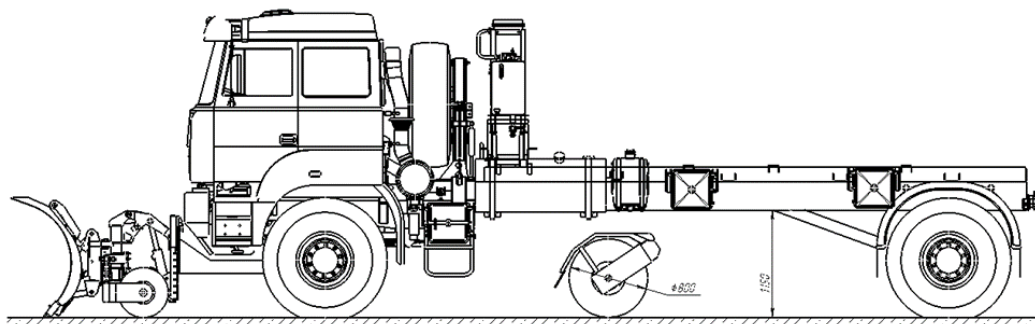


Рисунок 2.11 – Компонировочный вариант специального автомобиля на шасси с поднятыми лонжеронами

При работе специального автомобиля предусматриваются следующие работы:

- подъём-опускание центральной щётки;
- поворот щётки;
- вращение щётки;
- подъём-опускание магнитной плиты;
- подъём-опускание отвала;
- поворот отвала;
- подъём-опускание капота;
- вращение вентилятора.

Результаты расчётов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Потребления мощности агрегатами специального автомобиля

Режим работы	Действие	Потребляемая мощность, кВт
Режим настройки и сервисный режим (отбор мощности от основной ДУ)	Подъём щётки	0,47
	Поворот щётки	0,34
	Подъём-опускание магнитной плиты	0,15
	Подъём-опускание отвала	1,1
	Поворот отвала	0,7
	Подъём-опускание капота	2,45

Продолжение таблицы 2.3.

Режим уборки (автономная ДУ)	Вращение щётки в опущенном положении	180
	Работа вентилятора	248
	Итого:	433

Принимая во внимание общий энергетический баланс равный 440 кВт потребуется в дополнение к двигателю транспортного средства УРАЛ 63704 установка дополнительной силовой установки с рациональным распределением потоков мощностей между потребителями (функциональным оборудованием).

Расчёт нагрузок на оси проведены для транспортного и рабочего положений функционального оборудования.

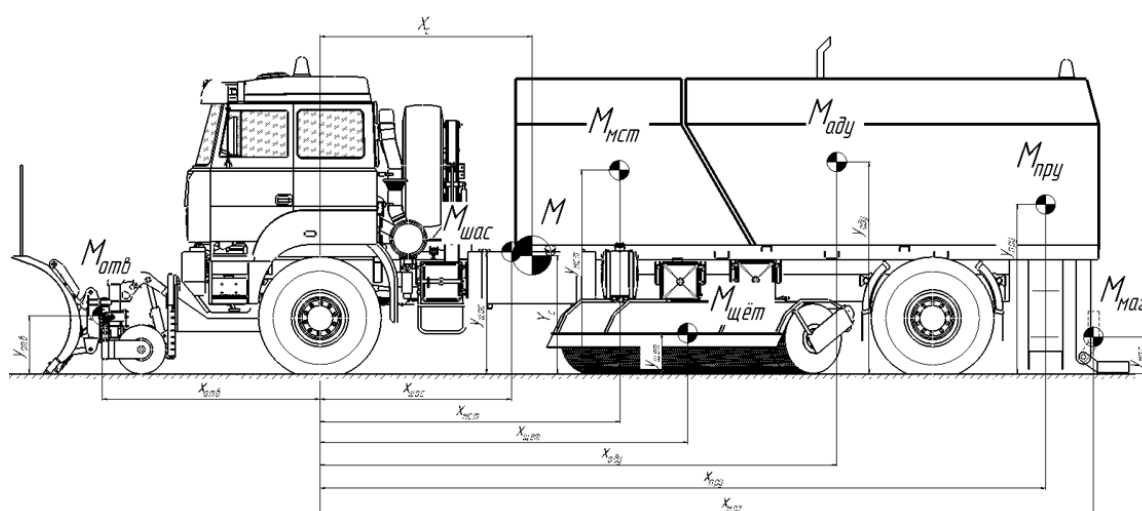


Рисунок 2.12 – Схема расположения центров масс оборудования специального автомобиля

Таблица 2.3 – Выстраивание массы конструкции в транспортном положении

Элемент конструкции	Масса, кг	Координата центра масс, м		
		x	y	z
Силовая установка	2000	5,66	2,32	0
Отвал	1550	-2,1	0,64	0
Продувочное устройство	500	7,94	1,86	0
Щёточный узел	650	4	0,45	0,27
Гидравлическая система (маслостанция)	300	3,3	2,23	0

Продолжение таблицы 2.4.

Шасси	12200	2,1	1,40	0
Магнитный подборщик	300	8,5	0,41	0
Итого	17500	2,5	1,40	0

Таблица 2.4 –Выстраивание массы конструкции в положении эксплуатации

Элемент конструкции	Масса, кг	Координата центра масс, м		
		x	y	z
Силовая установка	2000	5,66	2,34	0
Отвал	1550	-2,8	0,64	0,1
Продувочное устройство	500	7,86	1,86	0
Щёточный узел	650	3,6	0,45	0,2
Гидравлическая система (маслостанция)	300	3,3	2,23	0
Шасси	12200	2,1*	1,34*	0
Магнитный подборщик	300	8,7	0,2	0
Итого	17500	2,4	1,35	0

В работе для оптимизации весовых нагрузок на оси приняты крайние значения расположения навесного оборудования.

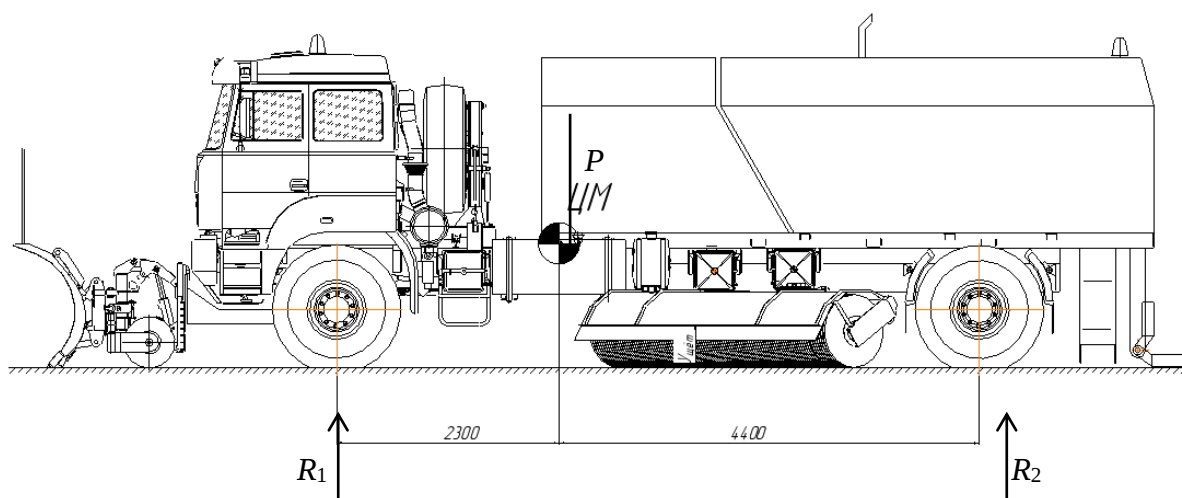


Рисунок 2.13– Оптимизация весовых нагрузок на оси специального автомобиля

Расчет проводился исходя из соотношений:

$$R_1 = \frac{P_{aem}}{1 + \frac{l_1}{l_2}}, H \quad (2.1)$$

$$R_2 = M_{aem} - R_1, H. \quad (2.2)$$

Исходя из полученных нагрузок на оси следует осуществить подбор переднего и заднего мостов, удовлетворяющих указанным нагрузкам.

Для расчёта коэффициентов сцепления колёс специального автомобиля с дорожным или аэродромным покрытием рассмотрена схема, показанная на рисунке 2.14.

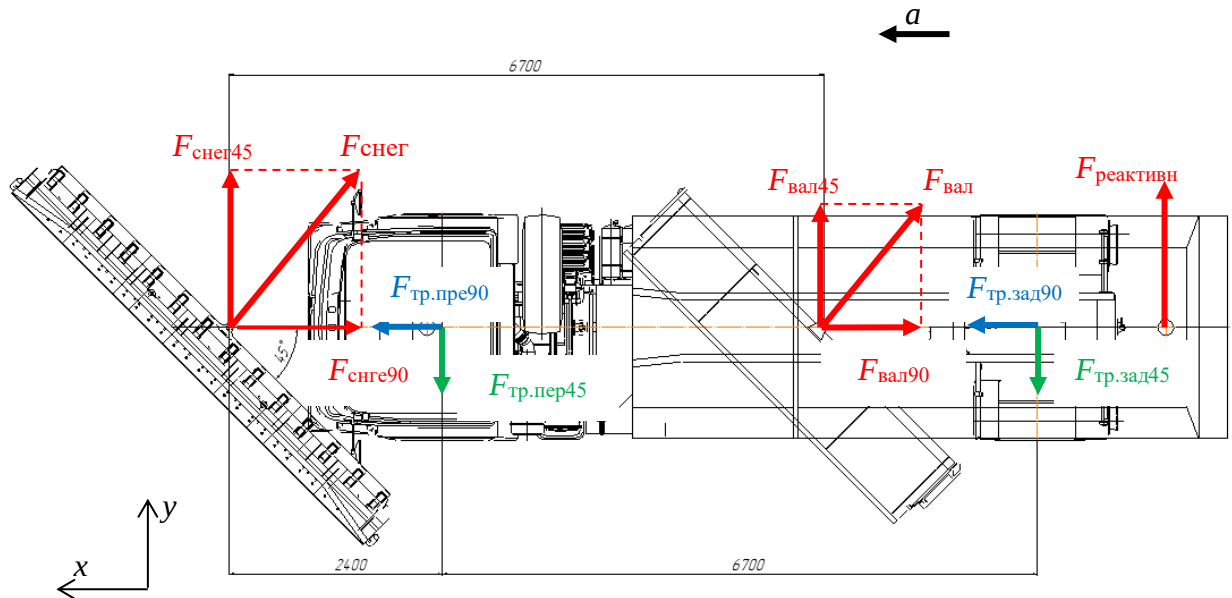


Рисунок 2.14 – Схема распределения нагрузок на оси

Таблица 2.5 – Значения сил для расчётов сцепления специального автомобиля с аэродромным покрытием

Вектор силы для поперечного(45°)и продольного направления (90°)	Обозначение на рисунке 2.14	Сила, Н	Запас сцепления, коэф-нт
Сила от снега	$F_{\text{снег}}$	14890	—
Сила вала	$F_{\text{вал}}$	2430	
Сила реактивная	$F_{\text{реактив}}$	2026	
Сила от снега (отвала в положении 45°)	$F_{\text{снег}45}$	10820	4,8
Сила вала (щётка в положении 45°)	$F_{\text{вал}45}$	1660	

Продолжение таблицы 2.5.

Сила трения передней оси спец шасси	$F_{\text{тр.пер}45}$	43900	4,0
Сила трения задней оси спец шасси	$F_{\text{тр.зад}45}$	24350	
Сила от снега (отвала в положении 90^0)	$F_{\text{снег}90}$	14950	
Сила вала (щётка в положении 90^0)	$F_{\text{вал}90}$	2520	
Сила трения передней оси спец шасси	$F_{\text{тр.пер}90}$	44280	
Сила трения задней оси спец шасси	$F_{\text{тр.зад}90}$	23460	

Показатели сцепления в обоих направлениях больше 1. Таким образом, сцепление колёс специального автомобиля с дорожным и аэродромным покрытием обеспечивается в полной мере.

2.3. Определение потока отказов базового шасси для определения эксплуатационных показателей надежности и долговечности специального автомобиля

Специальные автомобили для уборки аэродромов играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности операций на авиационных объектах. Одним из критически важных аспектов их эксплуатации является надежность базового шасси, которая напрямую влияет на эксплуатационные показатели и долговечность всего транспортного средства. Для оценки надежности необходимо определить структуру отказов, что позволит прогнозировать возможные неисправности и оптимизировать техническое обслуживание.

Поток отказов представляет собой количество отказов, происходящих в единицу времени (например, за час или за сутки). Он может быть представлен в виде функции времени, учитывающей различные факторы, такие как:

- Интенсивность нагрузки. Влияние эксплуатационных условий, включая тип выполняемых работ и режимы работы.
- Качество материалов. Использование высококачественных компонентов, способствующих снижению вероятности отказов.
- Техническое обслуживание. Регулярность и качество проводимых профилактических мероприятий.

При анализе потока отказов специализированной техники для уборки ВПП и территории аэродрома традиционно используют следующие показатели:

- Среднее время наработки на отказ. Показатель, отражающий среднее время работы автомобиля до первого отказа. Высокое значение показателя свидетельствует о высокой надежности шасси.

Среднее время восстановления. Параметр, характеризующий среднее время, необходимое для устранения неисправности. Минимизация данного параметра способствует повышению доступности автомобиля.

- Коэффициент использования. Определяет долю времени, когда автомобиль находится в эксплуатации по сравнению с общим временем. Высокий коэффициент использования указывает на эффективную организацию процессов технического обслуживания.

Вместе с тем, анализ приведенных выше показателей является проблематичным ввиду труднодоступности статистической информации от официальных производителей специальной техники, в ином случае проводится аккумуляция статистики уже в процессе эксплуатации на объекте.

В качестве основной базы данных может быть принята структура отказов автомобилей КАМАЗ, которая была сформирована исходя из статистики грузовых автомобильных шасси завода КАМАЗ на основании значений из информационной системы ООО «Инновационный центр КАМАЗ».

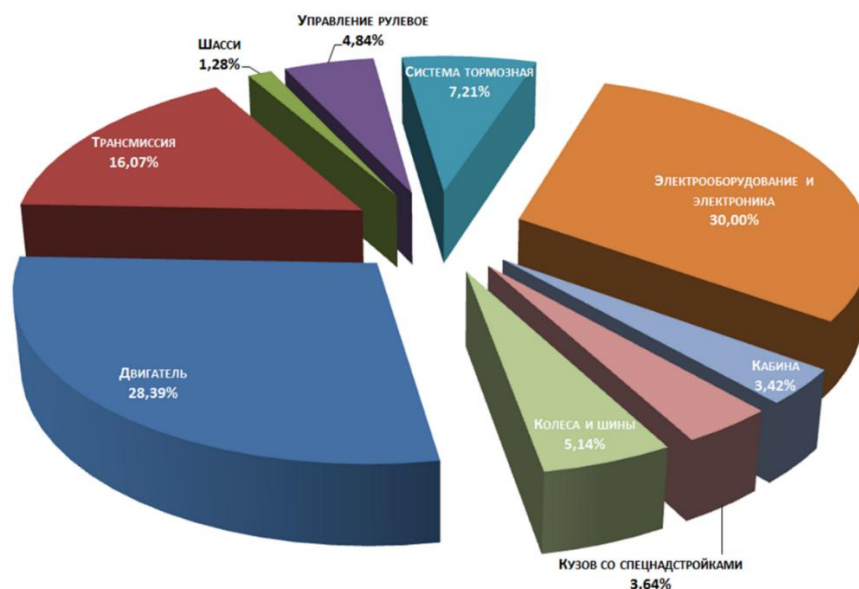


Рисунок 2.15 – Причины и их структура потери работоспособности грузовой техники КАМАЗ в первый год эксплуатации.

Отдельному анализу подверглась выборка о причинах потери работоспособности двигателя и электрооборудование.



Рисунок 2.16 – Причины и их структура потери работоспособности электрооборудования и систем двигателя грузовой техники КАМАЗ в первый год эксплуатации.

Условия эксплуатации автомобиля оказывают влияние на распределение отказов. Например, средняя наработка на отказ основных агрегатов автомобилей КАМАЗ, эксплуатирующихся в Дальневосточном регионе России, составляет от 8,5 тыс. км [7]. Распределение отказов по агрегатам, узлам и системам представлено в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Распределение отказов по агрегатам, узлам и системам

Наименование агрегатов, систем и деталей	Общее количество отказов	Миним . Пробег тыс. км	Макс пробег тыс. км.	Средняя наработка на отказ	Удельный вес отказов систем в автомобиле	Удельный вес систем в агрегате, %
1. Двигатель в т.ч.	197				18,94	
Система смазки	18	50	170	95		9,11
Система охлаждения	43	47	227	35,8		21,83
Система питания	67	34	236	49		34,12
Коленчатый вал	28	51	180	48,8		14,72
Цилиндро-поршневая группа	23	70	191	34,7		11,66
Распределительный вал	3	51	132	75		2,03
Головка блока	9	76	186	57		4,57
2. Трансмиссия в т.ч	151				14,62	
Коробка передач и делитель	12	22	223	115,6	1,15	7,6
Главная передача дифференциал	43	5	228	130	4,13	28,4
Карданная передача	45	1	194	85,3	4,52	30,9
Сцепление и его привод	51	32	202	75,54	4,82	32,7
3. Рулевое управление	126					
Рулевой механизм с гидроусилителем	65	2	1690	66,9	6,45	
Подвеска	71	2	167	63,3	6,7	44,4
Тормозное управление	124	1	1590	46,4	11,92	
Рулевой привод	54	20	181	70,7	5,1	55,3
Электрооборудование	193	1	137	36,4	18,8	
Остальное (ступицы колес, несущая система, кузов, крылья и т.п.)						17,23

По другим данным, например, для пожарного автомобиля АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ на базе шасси УРАЛ-43206 основными узлами и системами, наиболее часто выходящими из строя, являются сцепление, тормозная система, пневмогидравлический усилитель, редуктор заднего моста и пожарный насос (рисунок 2.18) [10].

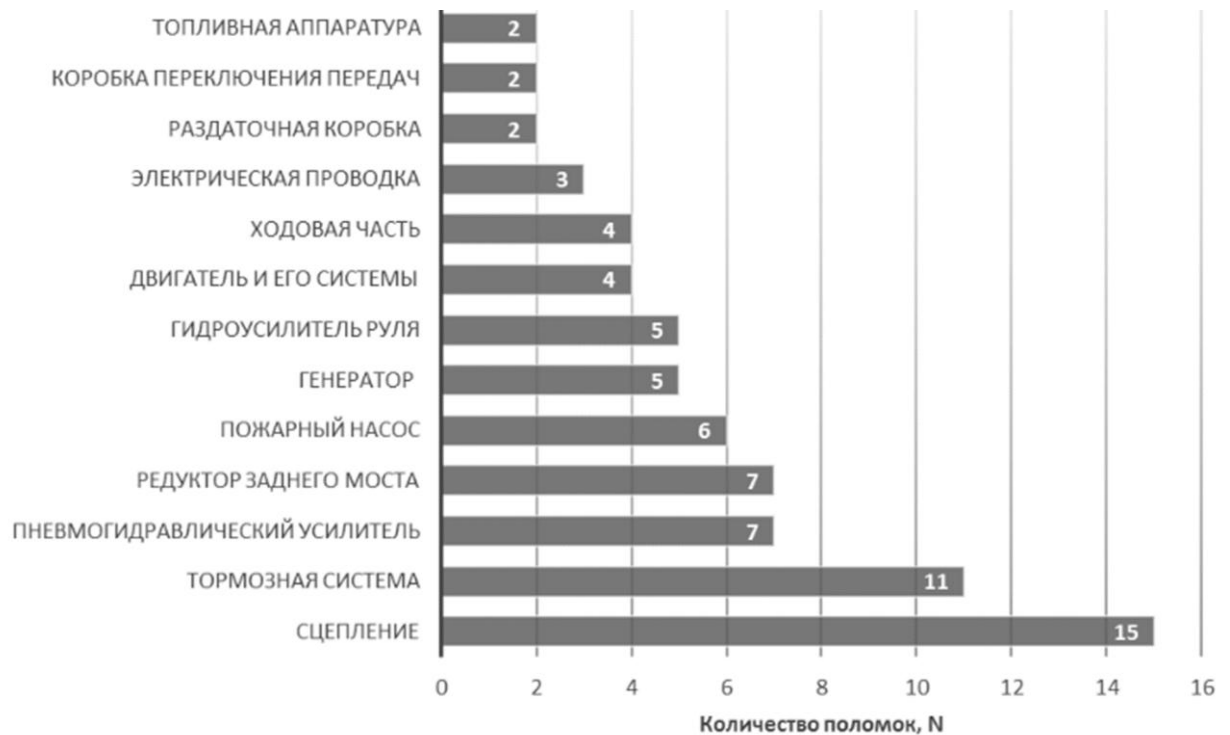


Рисунок 2.18 – Число отказов узлов и систем АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ

В рамках диссертационной работы определены предельные состояния разрабатываемой щетки центральной:

1) отказ всей конструкции щетки центральной, восстановление или замена которой на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах;

2) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность его дальнейшей эксплуатации [78].

В рамках диссертационного исследования были выявлены факторы, способствующие функциональной дисфункции пожарной машины,

обусловленной ее динамическим поведением. Данные показатели включают повторяющиеся случаи ускорения, замедления и переключения передач с полной нагрузкой. Кроме того, квалификация водителя и преобладающие погодные условия были признаны дополнительными переменными, способными оказать влияние на состояние составляющих компонентов и агрегатов, входящих в состав пожарной машины. В результате обработки статистических данных авторы получили наработку до отказа сцепления машины АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ около 52 тыс. км приведённого пробега.

В соответствии с РЭ ресурс автомобилей УРАЛ-6370 и его модификаций, шасси которого рассматривается в качестве базового для специального автомобиля, составляет 500 000 км при первой категории условий эксплуатации. Для других категорий условий эксплуатации это значение может быть скорректировано в соответствии с рекомендациями «Положения о ТО и Р автомобильного транспорта».

Это значение ресурса можно рассматривать и как срок службы автомобиля, поскольку в течении указанного периода заводом-изготовителем допускается замена узлов и агрегатов, прошедших установленный пробег, а также покупных изделий, ресурс которых меньше ресурса автомобиля. Приняв во внимание, что 1 моточас = 36 км пробега, получаем ресурс шасси специального автомобиля до капитального ремонта 13 889 м/ч. Данное значение является средним и превышает требуемое значение ресурса базового автомобильного шасси.

2.4. Разработка расчётно-экспериментального метода определения изменения технического состояния специального автомобиля в результате установки навесного оборудования

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.

Важнейшими показателями в системах поддержания и восстановления работоспособности автомобиля являются показатели трудоёмкости ТО и ТР автомобиля. В системе ТО и ТР для автомобилей общего назначения и специализированных автомобилей на их шасси, определение удельного показателя трудоёмкость ТР (чел-час /1000 км) производится суммированием всего объёма работ по ТР в течение пробега до капитального ремонта (КР) с последующим делением на величину пробега автомобиля до КР:

$$y_{\text{норм}} = \frac{\sum_{j=1}^m y_{\text{тр } j}}{x_{\text{кр}}} \cdot 1000, \text{ чел-час/1000 км,} \quad (2.3)$$

где $y_{\text{тр } j}$ - трудоёмкость j -го отказа, чел-час;

$x_{\text{кр}}$ – пробег до КР, км;

m – количество отказов

Необходимость адаптации существующего метода определения трудоемкости работ для специальных автомобилей в системе объяснима следующим: ТО и ТР специального автомобиля должны производиться с учетом условий эксплуатации автомобиля, его модификации, конструктивными изменениями, специфическим регламентом производимых работ по ТО и ТР. Основным недостатком, не позволяющим решать данную задачу, является то, что значение трудоемкости работ по ТР усредняется с начала эксплуатации до проведения, планируемого КР. Формула существующего метода имеет следующий вид:

$$Y_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{j=1}^m y_{\text{тр}ji} \cdot 1000, \text{ чел-час/1000 км,} \quad (2.4)$$

где n – количество интервалов ТО;

Усовершенствование существующей методологии определения конкретных показателей, относящихся к ТР и ТО, предполагает основополагающее допущение. В нем постулируется, что фаза, характеризующаяся уменьшением объема работ, значения ТР и ТО совпадают с интервалом эксплуатации транспортного средства. Такой подход облегчает дифференциацию конкретных значений трудоемкости для ТР на различных этапах эксплуатации специализированного транспортного средства. Следовательно, он проясняет показатели, связанные с реализованным качеством на всех этапах срока службы указанных специализированных транспортных средств. Аналитическое обоснование, поддерживающее эту модификацию, основано на установленной характеристике непрерывной неубывающей функции $f_{\text{тр}}(x)$:

$$\frac{\int_0^{x_i} f_{\text{тр}}(x) dx}{x_i} < \frac{\int_{x_{(i-1)}}^{x_i} f_{\text{тр}}(x) dx}{[x_i - x_{(i-1)}]}, \quad (2.5)$$

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

Тогда формула для разработанного метода имеет:

$$Y_{\text{тпи}} = \frac{1}{\Delta x_i} \sum_{j=1}^m x_{\text{тп}ji}, \quad (2.6)$$

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 достижения пробега x_i , чел-час.

Пусть показатель трудоёмкость ТР аппроксимируются линейной функцией в зависимости от пробега автомобиля (рисунок 2.19).

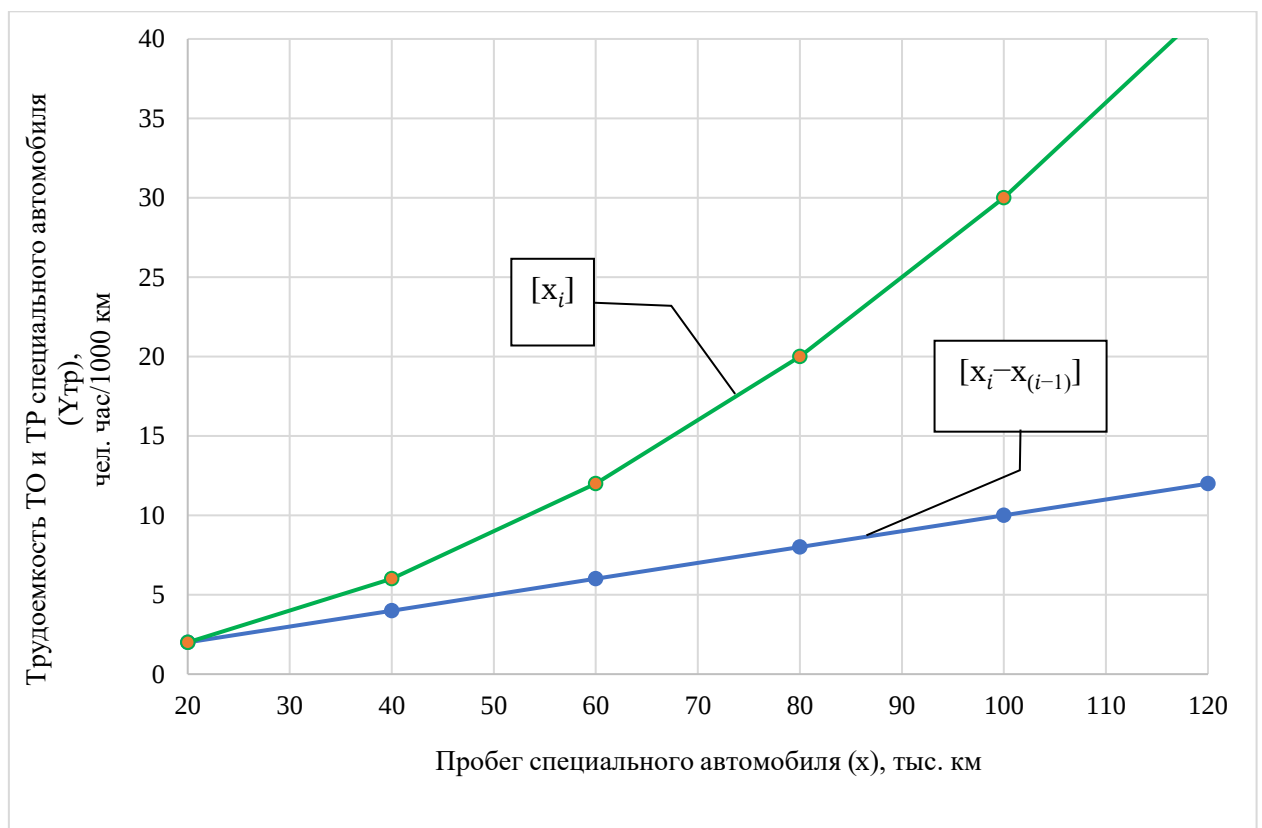


Рисунок 2.19 - Аппроксимация показателя трудоёмкость ТР

$$y_i = a \cdot x_i + b, \quad (2.7)$$

$$a = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x}. \quad (2.8)$$

Тогда пробег автомобиля [78], соответствующий i -му ТО, определяется как

$$x_i = i \cdot \Delta x, \quad (2.9)$$

а, суммарная трудоёмкость ТР, соответствующая пробегу l_i :

$$y_i^\Sigma = \sum_{j=1}^i y_j = \sum_{j=1}^i (a \cdot x_j + b) = a \sum_{j=1}^i x_j + b \cdot i. \quad (2.10)$$

Поскольку

$$\sum_{j=1}^i x_j = \frac{x_1 + x_i}{2} \cdot i = \frac{\Delta x + i \cdot \Delta x}{2} \cdot i = \frac{\Delta x}{2} \cdot i \cdot (i + 1), \quad (2.11)$$

тогда

$$y_i^\Sigma = a \cdot \frac{\Delta x}{2} \cdot i \cdot (i + 1) + b \cdot i. \quad (2.12)$$

Определим величину ТР между двумя последовательными ТО ($Y_{\text{три}}$) в соответствии с разработанным методом:

$$Y_{\text{три}} = \frac{y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y_i}{\Delta x} = \frac{a \cdot x_i + b}{\Delta x} = a \cdot \frac{x_i}{\Delta x} + \frac{b}{\Delta x} = a \cdot \frac{i \cdot \Delta x}{\Delta x} + \frac{b}{\Delta x} = a \cdot i + \frac{b}{\Delta x}, \quad (2.13)$$

тогда

$$Y_{\text{три}} = a \cdot i + \frac{b}{\Delta x} \quad (2.14)$$

В соответствии с существующими методами [78] показатель трудоёмкость ТР определяется по формуле:

$$Y_{\text{три}}^\Sigma = \frac{y_i^\Sigma}{x_i} = \frac{\Delta x \cdot i \cdot (i+1) \cdot a}{2 \cdot i \cdot \Delta x} + \frac{b \cdot i}{i \cdot \Delta x} = \frac{a}{2} (i + 1) + \frac{b}{\Delta a} \quad (2.15)$$

Можно определить аналитическую связь между значениями $Y_{\text{три}}$ и $Y_{\text{три}}^\Sigma$, то есть между классическим и предлагаемым методами определения трудоемкости ТР:

$$Y_{\text{три}} - Y_{\text{три}}^\Sigma = a \cdot i + \frac{x}{\Delta x} - \frac{a}{2} (i + 1) - \frac{l}{\Delta x} = a \cdot i - \frac{a}{2} \cdot i - \frac{a}{2} = a \left(\frac{i-1}{2} \right) = \frac{a}{2} (i - 1) \quad (2.16)$$

$$Y_{\text{три}} - Y_{\text{три}}^\Sigma = \frac{a}{2} (i - 1). \quad (2.17)$$

Введём начальные условия, если метод применяется для оценки трудоемкости автомобиля с начала эксплуатации: $b = 0$, а $Y_{\text{три}} = Y_{\text{три}}^\Sigma$, тогда:

$$Y_{\text{три}} = a \cdot i; \quad (2.18)$$

$$Y_{\text{три}}^\Sigma = \frac{a}{2} (j + 1). \quad (2.19)$$

В результате получим:

$$a \cdot i = \frac{a}{2} (j + 1) > 2i = j + 1 > j = 2i - 1. \quad (2.20)$$

Подведем итоги: между классическим и предлагаемым методом определения значения показателя удельной трудоёмкости ТР существует аналитическая связь:

$$Y_{\text{три}} = Y_{\text{три}}^{\Sigma}, \quad (2.21)$$

На рисунке (2.20) представлены изменения трудоёмкости технического обслуживания и текущего ремонта, как основных индикаторов оценки эффективности для сопоставимых вариантов:

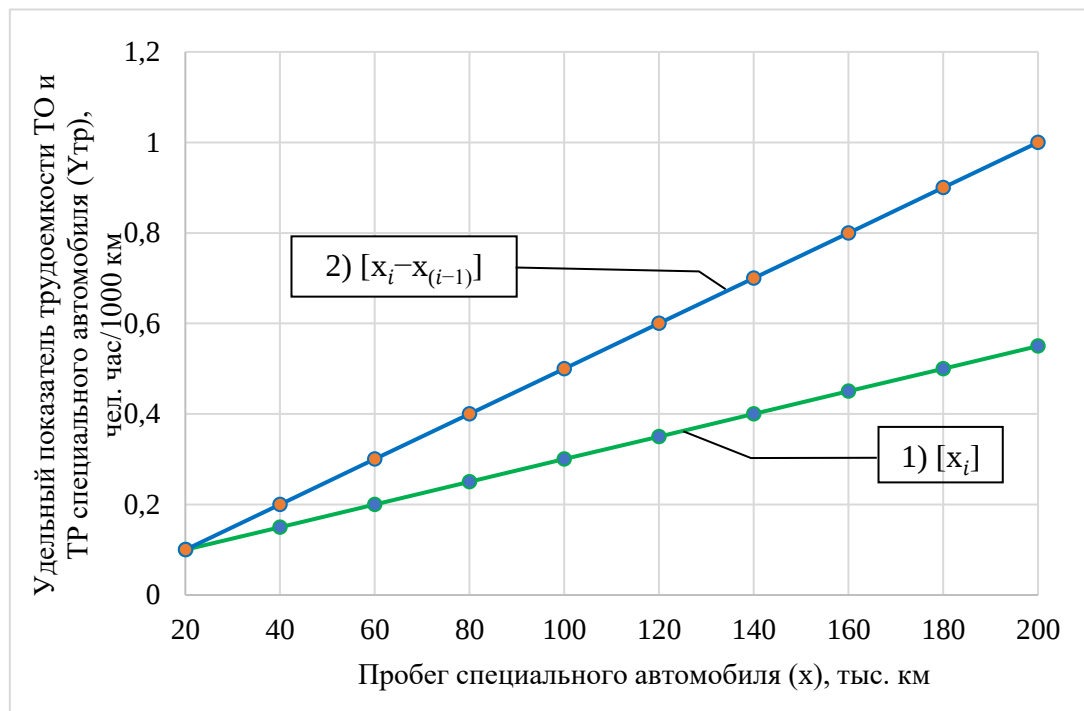


Рисунок (2.20) – Корреляция трудоёмкости ТО и ТР
по двум вариантам для одинаковых условиях

В соответствии с установленной аналитической связью между двумя методами (классическим и предлагаемым) оценочная зависимость достаточно проста и вычисляется следующим образом:

$$TOi_{(1)} = TOi_{(2)} \cdot \sqrt{2} \quad (2.22)$$

2.5. Выводы по главе

В результате исследования основных требований, предъявляемых к специальным автомобилям с конструкцией щеточного узла, должен удовлетворять ряду требований к назначению, надежности, стойкости к условиям эксплуатации, удобству эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту, а также безопасности.

Результаты определения требований позволили определить в качестве базового шасси автомобиль УРАЛ-63704-0111 как наиболее подходящий по ряду основных эксплуатационных и конструкционных характеристик.

Определены эксплуатационные параметры базового шасси специального автомобиля и проанализирована периодичность ТО и ТР, а также поток отказов основных узлов и систем, что позволяет на дальнейшем этапе разработать аналитический метод определения закономерностей влияния внешних связей на специальный автомобиль, изменяющих показатели работоспособности его в течение всего срока эксплуатации.

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 моделью связь между двумя методами (классическим и предлагаемым) оценочной зависимости достаточно проста:

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

Данный метод позволяет в дальнейшем определять вероятностные значения коэффициента оперативной готовности (КОГ) в целях оценки состояния работоспособности специального автомобиля в конкретный момент времени (для конкретного интервала ТО).

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗНОСА ВОРСА ЩЕТОЧНОГО УЗЛА

3.1. Определение параметров ворса щеточного узла

Специальная уборочная техника, оснащенная щеточными узлами, играет ключевую роль в обеспечении чистоты взлетно-посадочных полос. Одним из важных аспектов работы таких машин является оптимизация параметров ворса щеточного узла, что позволяет повысить эффективность удаления снега и минимизировать повреждения поверхности аэродрома.

Щеточный узел является основным элементом уборочной техники, предназначенным для механического удаления снега и льда. Эффективность работы щеточного узла зависит от следующих параметров:

- **Материал ворса.** Ворс может быть выполнен из различных материалов, включая нейлон, полипропилен и натуральные волокна. Каждый материал имеет свои характеристики жесткости и износостойкости.

- **Длина ворса.** Оптимальная длина ворса влияет на способность щетки захватывать снег и очищать поверхность. Слишком короткий ворс может не справляться с большими снежными массами, тогда как слишком длинный может повредить покрытие.

- **Жесткость ворса.** Жесткость определяет, насколько эффективно ворс будет удалять снег и лед, а также защищать поверхность от повреждений.

Для определения оптимальных параметров ворса щеточного узла обычно проводится серия испытаний, анализов или сбора статистической информации из баз данных производителей:

- **Лабораторные испытания.** Исследование различных материалов ворса на износостойкость, жесткость и эффективность удаления снега в контролируемых условиях.

- **Полевые испытания.** Оценка работы щеточного узла в реальных условиях эксплуатации на аэродромах. Это включает в себя мониторинг

эффективности удаления снега при различных погодных условиях и типах снежного покрова.

- Моделирование. Применение компьютерных моделей для анализа взаимодействия ворса с поверхностью взлетно-посадочной полосы. Моделирование позволяет предсказать поведение щеточного узла при различных параметрах ворса.

Во время уборки ВПП щетки используются для удаления снега с территории. Скорость движения важна для создания необходимого усилия для удаления снега и мусора. Наиболее эффективные щетки имеют нити, равномерно расположенные на цилиндрическом барабане, и их лучше всего использовать с транспортирующим устройством. С другой стороны, щетки с 6-8 нитями лучше подходят для подачи материалов непосредственно в бункер. Щетки, используемые для аэродромного применения, обычно содержат 52 нити в одном пучке. Для обеспечения эффективного процесса очистки важно равномерно распределить нити по барабану.

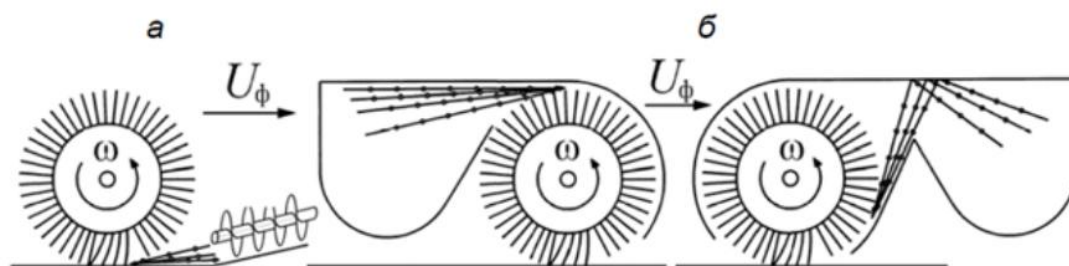


Рисунок 3.1 – Варианты подачи мусора в накопительный бункер:

При отсутствии фактических скоростей вращения щетки для их определения можно использовать оценочные значения. Кинематический коэффициент, связанный со щеткой, приводимой в движение конвейером, обычно варьируется от 2 (для щетинок в новом состоянии) до 1,1 (для щетинок, подверженных износу), тогда как для щетки, используемой в операциях литья, диапазон простирается от 5 до 4 соответственно. Снижение кинематического коэффициента объясняется корреляцией между окружной

скоростью на конце щетинок и их уменьшающейся длиной с течением времени из-за износа. Крайне важно обеспечить достаточное количество ударов по барабану щетки, чтобы поддерживать контакт с целевой чистящей поверхностью. В идеале это необходимое количество должно составлять от трех до пяти пучков щетинок.

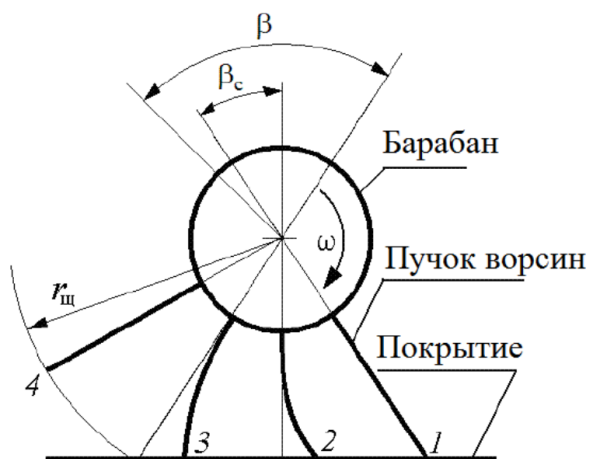


Рисунок 3.2 – Схема взаимодействия с покрытием и характерные размеры цилиндрической щетки

Как отмечает Павлова С.А. в своей работе: «Количество пучков ворсин $i_{п}$, которое можно разместить на цилиндрической поверхности барабана щетки, рассчитывают по формуле:

$$i_{п} = \frac{L \cdot K_{рп}}{d_{п}}, \quad (3.1)$$

где $d_{п}$ – характерный размер пучка ворсин; $K_{рп}$ – коэффициент, учитывающий характер распределения пучков ворсин по поверхности барабана: шевроном, по спирали, в шахматном порядке ($K_{рп} = 4 \dots 6$) (рис. 3.2).

Очевидно, что при наиболее плотной упаковке ворсин одинакового диаметра $d_{в}$ в пучок (рис. 3.3) характерный размер последнего составит в зависимости от ориентации оси поперечного сечения пучка относительно продольной оси барабана. Алюминиевые прутки набивают по 200–280 в

пучок, для них $d_{\text{п}} = 3 \cdot d_{\text{в}}$. Для полимерного ворса, когда в пучке 52 ворсины – $d_{\text{п}} = 11,5 \cdot d_{\text{в}}$.

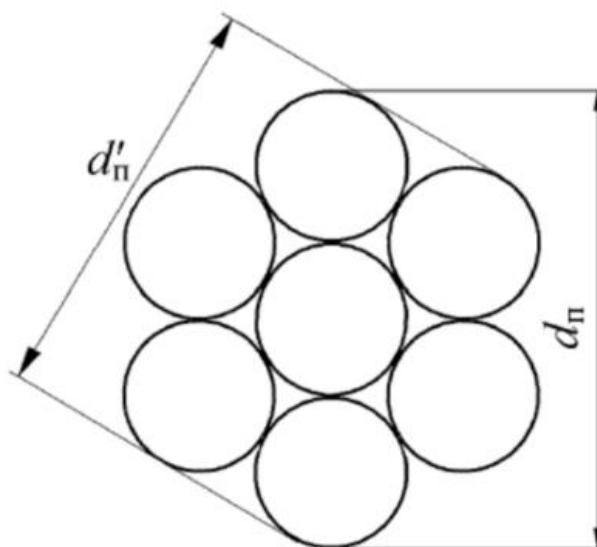


Рисунок 3.3 – Характерные размеры пучка ворсин

Также очевидно, что в последнем случае количество пучков, размещаемых вдоль образующей цилиндрической поверхности барабана щетки, будет наибольшим, что должно способствовать повышению качества уборки.» [78]

3.2. Определение рабочих и конструкционных параметров щеточного узла специального автомобиля

Расчет щеточного оборудования производится с целью определения основных параметров данного узла, а также для определения работоспособности уборочной техники в разных режимах работы (различная плотность убираемого снега, наличие бокового ветра и пр.)

Все расчеты ведутся для максимальных значений и проверки работоспособности для пограничных условий работы.

Исходные данные:

Физико-механические свойства снега при различных условиях:

– $\rho_{\text{сн}}$ – плотность снега, кг/м^3 (для свежеснегавшего и слабо-

уплотненного после прохода отвала снега $\rho_{сн}=50\ldots300 \text{ кг/м}^3$),

Характеристики щетки:

- B – ширина уборки, м ($B=3,6\ldots4,2$)
- φ_0 – угол поворота щетки от центрального перпендикулярного движению направления ($\varphi=\pm36^\circ$)
- n – частота вращения щетки, об/мин ($n=950 \text{ об/мин}$);
- R – радиус щетки, ($R = 457 \text{ мм}$);
- R_6 – радиус барабана щетки, ($R_6 = 200 \text{ мм}$ из аналогов щеточного оборудования).

$h_{сн}$ – высота снега 1 см.

Определение параметров щетки

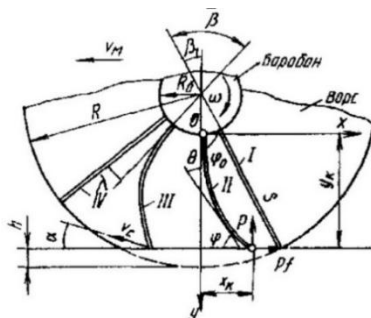


Рисунок 3.4 – Расчетная схема щетки.

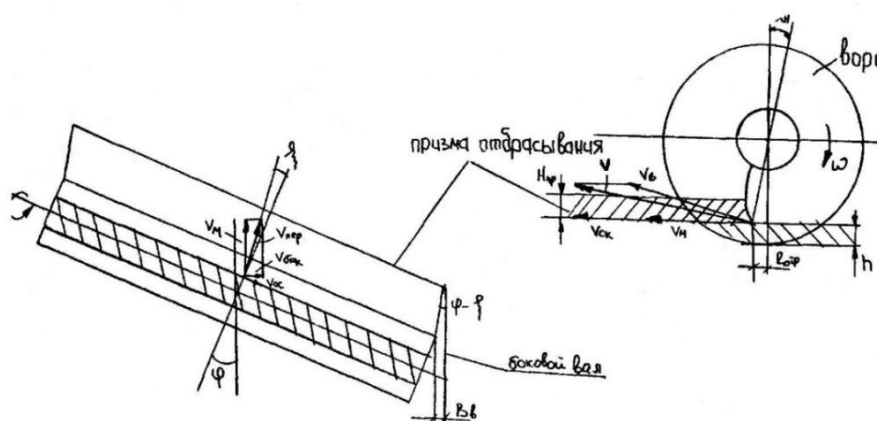


Рисунок 3.5 – Расчетная схема косо установленной цилиндрической щетки

Радиус вращения щётки R определяется по формуле:

$$R = S + R_6 \quad (3.4)$$

S – свободная длина ворса, м;

R_6 – радиус барабана щетки, м.

$$S = 457 - 200 = 257 \text{ мм.}$$

Расстояние между ободом барабана и горизонтальной поверхностью дороги:

$$y_k \leq 0,85 \cdot S = 0,85 \cdot 257 = 218,45 \text{ мм} \quad (3.5)$$

Значение деформации ворса щётки h определяется по формуле

$$h_d = S - y_k = 257 - 218,45 = 38,55 \text{ мм} \quad (3.6)$$

Максимальная конечная относительная скорость скольжения ворса по дороге будет:

$$v_{ck} = v_B \cdot \cos \alpha_H = 66,2 \cdot 0,97 = 64,1 \text{ м/с} \quad (3.7)$$

где v_B - скорость перемещения конца прутка, м/с

α_H - угол прутка к горизонту, $\alpha_H = 14,32$ град.

Вектор скорости v_B перемещения конца прутка в момент отрыва, складывающийся из скоростей вращения щетки и выпрямления ворса, также направлен под углом α_H к горизонту.

Скорость v_B :

$$v_B = 1,5 \cdot \omega \cdot R + 1,6 = 1,5 \cdot 94,2 \cdot 0,457 + 1,6 = 66,2 \text{ м/с} \quad (3.8)$$

ω -угловая скорость вращения щетки, c^{-1} :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 900}{30} = 94,2 \text{ } c^{-1} \quad (3.9)$$

где n – количество оборотов щетки, об/мин;

Абсолютная величина скорости скольжения при установке щетки под углом $\varphi = 36$ град:

$$\begin{aligned} v_{cka} &= \sqrt{v_{ck}^2 + v_M^2 + 2 \cdot v_{ck} \cdot v_M \cdot \cos \varphi} = \\ &= \sqrt{64,1^2 + 16,7^2 + 2 \cdot 64,1 \cdot 16,7 \cdot 0,588} = 75,18 \text{ м/с} \end{aligned} \quad (3.10)$$

где v_M – скорость машины, м/с.

Величина функции угла ζ (рис. 3.2) между направлением отбрасывания снега и радиальной плоскостью вращения рассчитывается:

$$\cos \zeta = \frac{v_{\text{СК}} + v_{\text{М}} \cdot \cos \varphi}{v_{\text{СК}_A}} = \frac{64,1 + 16,7 \cdot 0,588}{75,18} = 0,984, \quad (3.11)$$

$$\cos(\varphi - \zeta) = \frac{v_{\text{М}} + v_{\text{СК}} \cdot \cos \varphi}{v_{\text{СК}_A}} = \frac{16,7 + 64,1 \cdot 0,588}{75,18} = 0,725, \quad (3.12)$$

Несмотря на изгиб прутка ворса, проекции его скоростей скольжения по дороге $v_{\text{СК}}$ и выпрямления $v_{\text{В}}$ остаются неизменными в результате изменения угла $\alpha_{\text{Н}}$ при повороте щетки в горизонтальной плоскости. Поэтому действует равенство $\cos \alpha'_{\text{Н}} = \cos \alpha_{\text{Н}} \cdot \cos \zeta$.

В плоскости изгиба прутка ворса и отбрасывания снега отрыв ворса от дороги происходит раньше, если угол поворота щетки в горизонтальной плоскости больше. С учетом того, что отбрасывание снега происходит под углом $\alpha'_{\text{Н}}$ к горизонту в поворотном движении конца прутка ворса, можно найти абсолютную начальную скорость отбрасывания (рис. 3.1):

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_{\text{В}}^2 + v_{\text{М}}^2 \cdot \cos^2(\varphi - \zeta) + 2 \cdot v_{\text{В}} \cdot v_{\text{М}} \cdot \cos(\varphi - \zeta) \cdot \cos \alpha_{\text{Н}} \cdot \cos \zeta} = \\ &= \sqrt{66,2^2 + 16,7^2 \cdot 0,725^2 + 2 \cdot 66,2 \cdot 16,7 \cdot 0,725 \cdot 0,97 \cdot 0,984} = 77,8 \text{ м/с} \end{aligned} \quad (3.13)$$

и абсолютный начальный угол отбрасывания:

$$\begin{aligned} \alpha &= \arccos \left(\frac{v_{\text{В}} \cdot \cos \zeta \cdot \cos \alpha_{\text{Н}} + v_{\text{М}} \cdot \cos(\varphi - \zeta)}{v} \right) = \\ &= \arccos \left(\frac{66,2 \cdot 0,984 \cdot 0,97 + 16,7 \cdot 0,725}{77,8} \right) = 14,9 \text{ град.} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \cos \zeta &= \frac{v_{\text{В}} \cdot \cos \alpha_{\text{Н}} + v_{\text{М}} \cdot \cos \varphi}{\sqrt{v_{\text{М}}^2 + v_{\text{В}}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\text{Н}} + 2 \cdot v_{\text{М}} \cdot v_{\text{В}} \cdot \cos \alpha_{\text{Н}} \cdot \cos \varphi}} = \\ &= \frac{66,2 \cdot 0,97 + 16,7 \cdot 0,588}{\sqrt{16,7^2 + 66,2^2 \cdot 0,97^2 + 2 \cdot 16,7 \cdot 66,2 \cdot 0,97 \cdot 0,588}} = 0,984 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \cos(\varphi - \zeta) &= \frac{v_{\text{М}} + v_{\text{В}} \cdot \cos \alpha_{\text{Н}} \cos \varphi}{\sqrt{v_{\text{М}}^2 + v_{\text{В}}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\text{Н}} + 2 \cdot v_{\text{М}} \cdot v_{\text{В}} \cdot \cos \alpha_{\text{Н}} \cdot \cos \varphi}} = \\ &= \frac{16,7 + 66,2 \cdot 0,97 \cdot 0,588}{\sqrt{16,7^2 + 66,2^2 \cdot 0,97^2 + 2 \cdot 16,7 \cdot 66,2 \cdot 0,97 \cdot 0,588}} = 0,725 \end{aligned} \quad (3.16)$$

Средняя высота призмы отбрасывания у заднего конца щетки равна средней высоте бокового вала в его поперечном сечении $H_{\text{з.пр}} = H_{\text{В}}$:

$$H_{\text{В}} = \frac{B \cdot h_{\text{СН}} \cdot K_{\text{Рых}}}{B_{\text{В}}} = \frac{4,176 \cdot 0,01 \cdot 1,3}{1,488} = 0,036, \text{ м} \quad (3.17)$$

Момент сопротивления вращению косо установленной щетки в результате трения ворса о дорогу:

$$M' = P_B \cdot [f \cdot (y_K + R_6) + x_6] \cdot \cos \zeta = M \cdot \cos \zeta = 880,2 \cdot 0,984 = 866,12 \text{ Нм} \quad (3.18)$$

где M - момент сопротивления вращению при только относительном движении, когда R_6 - радиус барабана или сердечника щетки; ζ - угол между радиальной плоскостью и направлением абсолютной скорости скольжения ворса;

$$M = P_B \cdot f \cdot (R - h) = 10517,4 \cdot 0,2 \cdot (0,457 - 0,03855) = 880,2 \text{ Нм} \quad (3.19)$$

P_B - интегральное вертикальное усилие взаимодействия ворса с дорогой; f - коэффициент трения о дорожное покрытие, для полипропилена $f=0,2$; i_K - количество ворса, находящегося в контакте с дорогой:

$$i_K = \frac{i_{\text{щ}} \cdot \beta}{2 \cdot \pi} = \frac{117936 \cdot 1,08}{2 \cdot 3,14} = 20284 \text{ шт.} \quad (3.20)$$

β - центральный угол контакта ворса с дорогой, рад:

$$\beta = 2,6 \cdot \arccos \frac{R-h}{R} = 2,6 \cdot 0,415 = 1,08 \text{ рад} = 61,9 \text{ град} \quad (3.21)$$

$i_{\text{щ}}$ - фактическое количество ворса щетки, может быть определено из условия перекрытия следов ворса на дорожном покрытии:

$$i_{\text{щ}} = \frac{L \cdot n_T \cdot 2\pi \cdot i_B}{(d_T \cdot n_T + c_T \cdot (n_T + 1)) \cdot \beta_c} = \frac{4176 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 52}{(25 \cdot 18 + 12,95 \cdot (18 + 1)) \cdot 0,299} = 117946 \text{ шт.} \quad (3.22)$$

d_T - диаметр одной тупсы с пропиленовым ворсом; $d_T = 25$ мм; i_B - количество ворса в одной тупсе; $i_B = 52$ шт.; c_T - расстояние между тупсами, мм:

$$c_T = \frac{L_K - n_T \cdot d_T}{n_T + 1} = \frac{696 - 18 \cdot 25}{18 + 1} = 12,95 \text{ мм} \quad (3.23)$$

L_K - длина щеточной кассеты; $L_K = 696$ мм; n_T - количество тупс в одной кассете, $n_T = 18$.

L – длина щетки; $L=4176$ мм ; β_c – угол между кассетами на диске щетки;

$$\beta_c = 0,6 \cdot \arccos \frac{y_k + R_6}{R} = 0,6 \cdot \arccos \frac{218,45 + 200}{457} = 0,299 \text{ рад} \quad (3.24)$$

Интегральное вертикальное усилие взаимодействия ворса всей щетки в контакте с дорогой:

$$P_B = 0,422 \cdot E \cdot J \cdot f^{-0.5} \cdot \frac{S^6}{y_k^8} \cdot i_k \cdot \arccos \cdot \left(\frac{y_k + R_6}{R} \right) = 0,422 \cdot 1,3 \cdot 10^9 \cdot 1,84 \cdot 10^{-11} \cdot 0,2^{-0.5} \cdot \frac{0,257^6}{0,21845^8} \cdot 20284 \cdot 0,41 = 10517,4 \text{ Н} \quad (3.25)$$

где E - модуль упругости ворса; $E = 1,3 \cdot 10^3$ МПа для полипропиленового ворса; J - момент инерции поперечного сечения прутка ворса относительно оси, перпендикулярной к плоскости сердечника щетки:

$$J = 0,25 \cdot \pi \cdot r_B^4 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,0022^4 = 1,84 \cdot 10^{-11}, \quad (3.26)$$

f - коэффициент трения ворса о дорогу; $f = 0,2$; S - свободная длина ворса; y_k - высота расположения барабана или сердечника щетки над дорогой.

3.3. Определение области применимости и режимы работы специального автомобиля при различных показателях износа ворса щеточного узла

В таблицах 3.1-3.3 сведены расчеты, выполненные на основании определенных в разделе 3.2 значений коэффициента эффективности (K_9), подтверждающие работоспособность щетки при разной частоте вращения и скорости движения машины. Область, выделенная зеленым цветом, означает, что вращательное движение щетки достаточно быстрое, чтобы предотвратить накопление смещенного снега, обеспечивая тем самым необходимый коэффициент сцепления и эффективность очистки. И наоборот, во всех альтернативных сценариях оптическое качество очистки поверхности не гарантируется, так как щетка захватывает выброшенный снег.

Таблица 3.1 – Проверка работоспособности щетки с новым ворсом

$n \backslash V_M$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
50	1,8	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
100	3,4	1,8	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
150	5,1	2,6	1,7	1,3	1,0	0,9	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
200	6,8	3,4	2,3	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6
250	8,5	4,3	2,9	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
300	10,3	5,1	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9
350	12,0	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
400	13,7	6,8	4,6	3,4	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2
450	15,4	7,7	5,1	3,8	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
500	17,1	8,5	5,7	4,3	3,5	2,9	2,5	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4
550	18,8	9,4	6,3	4,7	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	1,7	1,6
600	20,5	10,3	6,8	5,1	4,2	3,5	3,0	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
650	22,2	11,1	7,4	5,6	4,5	3,8	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0	1,9
700	23,9	12,0	8,0	6,0	4,9	4,0	3,5	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0
750	25,6	12,8	8,5	6,4	5,2	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	2,3	2,2
800	27,3	13,7	9,1	6,8	5,6	4,6	3,9	3,5	3,1	2,8	2,5	2,3
850	29,0	14,5	9,7	7,3	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	2,9	2,7	2,4
900	30,8	15,4	10,3	7,7	6,2	5,2	4,4	3,9	3,4	3,1	2,8	2,6
950	32,5	16,2	10,8	8,1	6,6	5,5	4,7	4,1	3,6	3,3	3,0	2,7

Анализируя результаты таблицы, видно, что работа щеточного оборудования с новым ворсом возможна при скорости не более 20 км/ч с частотой вращения щетки с 100 до 950 об/мин, не более 25 км/ч с частотой вращения щетки с 250 до 950 об/мин, не более 30 км/ч при частоте вращения щетки от 550 до 950 об/мин.

Для щетки с износом ворса до 50% требуется соблюдать скоростной режим при скорости не более 20 км/ч с частотой вращения щетки с 100 до 950 об/мин, в 25 км/ч при частоте вращения щетки 300-950 об/мин, и 30 км/ч при частоте вращения щеточного узла 600-950 об/мин

Таблица 3.2 – Работоспособность щетки с изношенным на 50% ворсом

$n \backslash V_M$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
50	1,3	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
100	2,6	1,3	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
150	3,8	1,9	1,3	1	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
200	5	2,6	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
250	6,3	3,2	2,2	1,6	1,4	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6

300	7,5	3,8	2,6	1,9	1,6	1,3	1,2	1	0,9	0,8	0,8	0,7
350	8,7	4,4	3	2,3	1,9	1,6	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8
400	9,9	5	3,4	2,6	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,9
450	11,1	5,5	3,7	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9
500	12,3	6,2	4,1	3,1	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
550	13,5	6,8	4,5	3,4	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1
600	14,8	7,4	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
650	16,0	8,0	5,3	4,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3
700	17,2	8,6	5,7	4,3	3,5	2,9	2,5	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4
750	18,5	9,2	6,2	4,6	3,7	3,1	2,7	2,3	2,1	1,9	1,7	1,6
800	19,7	9,8	6,6	4,9	4,0	3,3	2,8	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7
850	20,9	10,5	7,0	5,2	4,2	3,5	3,0	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8
900	22,1	11,1	7,4	5,5	4,5	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0	1,9
950	23,4	11,7	7,8	5,8	4,7	3,9	3,4	3,0	2,6	2,4	2,1	2,0

Таблица 3.3 – Работоспособность щетки с максимально изношенным ворсом

$n \backslash V_M$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
50	1	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
100	1,8	1	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
150	2,7	1,4	1	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
200	3,5	1,8	1,3	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
250	4,4	2,3	1,5	1,2	1	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
300	5,3	2,7	1,8	1,4	1,2	1	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
350	6,1	3,1	2,1	1,6	1,3	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6
400	7	3,5	2,4	1,8	1,5	1,3	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7
450	7,8	4	2,7	2	1,7	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8
500	8,7	4,4	3	2,3	1,8	1,6	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8
550	9,6	4,8	3,3	2,5	2	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,9
600	10,3	5,2	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9
650	11,2	5,6	3,7	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9
700	12,0	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
750	12,9	6,5	4,3	3,2	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
800	13,8	6,9	4,6	3,4	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2
850	14,6	7,3	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
900	15,5	7,7	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3
950	16,3	8,2	5,4	4,1	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	1,5	1,4

Красная зона, выделенная в таблицах 3.4-3.6, свидетельствует о резком снижении сопротивления при работе щеточного узла. Это говорит о том, что появляются дополнительные силы, направленные в ту же сторону, что и сила сопротивления при вращении щетки с высокой частотой оборотов и при движении машины на скоростях выше 30 км/ч. Для определения направления силы и ее значений требуется дополнительный эксперимент.

Данные расчета мощности для новой щетки приводятся в таблице 3.4, расчет мощности привода щеточного узла с износом ворса до 50% - в таблице 3.5, расчет мощности привода щеточного узла с износом ворса до 100% - в таблице 3.6. В данных таблицах значения мощности привода щеточного узла, превышающие 200 кВт выделены желтым цветом, так как превышают установленный запас мощности двигателя внутреннего сгорания, предназначенный для работы данного навесного оборудования.

Таблица 3.4 – Расчет мощности с учетом работоспособности щетки с новым ворсом

$\begin{matrix} V_M \\ n \end{matrix}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
50	7,4	7,2	7,1	7,0	7,2	7,9	11,3	0,6	2,8	3,2	3,6	3,8
100	15,1	15,0	14,9	14,8	14,9	15,3	16,5	21,5	2,5	6,8	8,7	9,5
150	22,7	22,8	22,8	22,8	22,9	23,3	24,3	26,6	36,2	4,4	12,4	14,1
200	30,4	30,5	30,7	30,8	31,1	31,6	32,5	34,4	39,8	69,2	7,4	17,3
250	38,1	38,4	38,7	39,0	39,4	40,1	41,0	42,8	46,7	56,5	144,2	15,8
300	45,8	46,3	46,7	47,3	47,9	48,7	49,9	51,7	55,1	62,3	85,9	5,8
350	53,5	54,2	54,8	55,6	56,4	57,5	58,8	60,8	64,0	69,6	85,5	189,7
400	61,2	62,1	63,0	64,1	65,1	66,4	67,9	70,2	73,4	79,0	90,0	138,1
450	69,0	70,1	71,2	72,4	73,7	75,4	77,3	79,8	83,2	88,7	98,1	125,3
500	76,7	78,0	79,4	81,1	82,6	84,6	86,7	89,5	93,3	98,7	107,3	127,3
550	84,5	86,1	87,8	89,7	91,5	93,6	96,3	99,6	103,6	109,2	117,5	134,3
600	92,3	94,3	96,2	98,3	100,4	103,0	106,3	109,8	114,1	120,1	129,4	143,8
650	100,1	102,3	104,7	107,2	109,6	112,7	116,0	120,0	124,9	131,0	140,3	154,4
700	108,0	110,5	113,2	116,2	118,8	122,3	126,1	130,4	135,9	142,7	151,5	165,9
750	115,8	118,6	121,6	125,1	128,2	132,0	136,3	141,1	146,9	153,9	163,7	178,1
800	123,7	126,9	130,3	134,0	137,6	141,8	146,7	152,0	158,0	166,4	175,8	190,0
850	131,7	135,2	139,2	143,4	147,1	151,8	157,2	163,1	170,2	178,2	188,7	203,4
900	139,6	143,5	147,8	152,1	156,9	162,1	167,7	174,3	181,4	190,9	201,4	215,6
950	147,4	151,7	156,7	161,5	166,5	172,2	178,8	186,2	193,4	202,8	214,4	229,6

В результате расчета значения получаем для привода щеточного узла с новым ворсом при скорости 30 км/ч и частоте вращения 950 об/мин предельное значение мощности 172,2 кВт.

Таблица 3.5 – Расчет мощности с учетом работоспособности щетки с изношенным ворсом на 50%

$\begin{matrix} V_M \\ n \end{matrix}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
50	11,2	10,7	10,3	10,0	10,0	10,6	15,5	4,4	5,9	6,5	6,5	6,8
100	22,7	22,2	21,7	21,2	21,0	21,1	22,2	38,4	12,7	14,6	15,4	15,7
150	34,1	33,7	33,3	32,8	32,5	32,4	33,0	36,3	90,8	21,0	24,3	25,1
200	45,6	45,4	44,9	44,5	44,2	44,1	44,4	46,0	53,8	12,1	31,7	34,3
250	57,1	57,0	56,7	56,4	56,1	56,0	56,2	57,3	61,6	92,1	33,3	43,5
300	68,6	68,6	68,5	68,2	68,1	68,0	68,3	69,2	72,0	82,0	23,2	49,4
350	80,1	80,2	80,2	80,2	80,0	80,1	80,5	81,3	83,4	90,1	128,4	49,7
400	91,7	91,8	91,9	92,0	92,2	92,3	92,8	93,7	95,7	100,3	121,9	16,2
450	103,2	103,5	103,8	104,0	104,2	104,5	105,1	106,1	108,1	112,5	123,2	200,6
500	115,8	116,3	116,6	117	117,4	117,8	118,6	119,8	121,8	125,5	133,7	163,3
550	127,3	127,9	128,5	129,1	129,6	130,2	131,2	132,5	134,5	138,2	144,9	170,6

600	138,8	139,7	140,3	141,1	141,7	142,7	143,7	145,2	147,3	151	157,1	175
650	150,5	151,4	152,3	153,2	154,1	155,1	156,2	158,1	160,3	163,8	169,9	184,1
700	162,1	163	164,2	165,3	166,4	167,6	169,2	170,8	173,5	176,9	182,8	193,4
750	173,6	174,9	176,1	177,3	178,7	180,1	181,7	184,1	186,6	190,2	196,4	205,6
800	184,1	185,6	186,9	188,4	189,9	191,6	193,5	195,8	198,8	202,6	208,5	218,1
850	195,7	197,3	198,9	200,5	202,2	204,4	206,4	209,1	212,2	216,4	222,1	231,5
900	207,2	209,0	211,0	212,9	214,7	217,1	219,3	222,0	225,6	229,8	235,8	245,3
950	218,8	220,9	222,9	225,1	227,5	229,6	232,5	235,2	239,5	244,0	250,1	259,5

В результате расчета значения получаем для привода щеточного узла с изношенным ворсом на 50% при скорости 30 км/ч и частоте вращения 950 об/мин предельное значение мощности 229,6 кВт.

Предельно допустимым износом ворса считается износ в 90 %. Результаты расчета для максимально изношенного ворса представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Проверка работоспособности щетки с максимально изношенным ворсом

V_m п	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
50	42,4	40,1	38,1	36,6	35,6	35,3	43,8	29,1	29,7	29,8	29,7	29,3
100	86,4	83,5	80,5	77,9	75,8	74,4	74,6	38,5	64,7	65,1	64,3	63,5
150	130,4	127,7	124,3	121,1	118,2	116,0	114,4	119,0	99,5	101,9	101,6	100,5
200	174,6	172,0	168,5	165,1	161,9	159,0	156,9	156,2	102,3	138,1	140,2	139,5
250	218,7	216,2	213,1	209,6	206,1	202,9	200,2	198,8	206,0	157,0	180,0	179,7
300	263,0	260,5	257,6	254,1	250,8	247,3	244,1	242,0	243,4	308,0	216,5	219,5
350	306,8	304,9	302,0	298,7	295,3	291,9	288,7	286,1	285,2	295,8	239,5	260,8
400	351,0	349,2	346,4	343,2	340,1	336,8	333,8	330,8	329,6	334,8	2581,7	299,8
450	394,9	393,3	390,9	388,1	385,0	381,7	378,2	375,6	373,8	375,5	423,5	330,0
500	438,8	437,4	435,2	432,6	429,7	426,4	423,3	420,3	418,4	418,8	432,6	302,3
550	483,2	481,8	479,9	477,5	474,7	471,6	468,7	465,7	463,3	463,3	469,8	58,4
600	527,1	526,2	524,1	522,1	519,0	516,1	513,5	510,7	508,5	507,6	511,5	564,9
650	571,1	570,0	568,4	566,3	564,1	561,7	558,7	556,1	554,2	552,9	555,6	578,4
700	615,1	614,6	612,9	611,3	609,0	606,2	603,7	601,6	599,3	598,2	600,1	614,3
750	659,0	658,6	657,5	655,8	654,0	651,1	649,1	646,7	644,2	643,5	645,2	654,7
800	703,0	703,3	702,2	700,3	698,4	696,1	693,9	692,1	690,0	688,8	689,3	695,5
850	747,0	747,4	746,2	745,1	743,2	741,4	739,1	737,1	735,6	734,1	735,2	739,9
900	791,8	791,4	791,1	789,8	787,9	786,0	784,5	782,4	780,6	779,8	780,5	785,3
950	835,8	835,4	835,1	833,9	832,6	830,7	829,2	827,7	826,8	825,8	826,4	830,1

В результате расчета значения получаем для привода щеточного узла с максимально изношенным ворсом при скорости 30 км/ч и частоте вращения 950 об/мин предельное значение мощности 830,74 кВт.

3.4. Оценка эксплуатационных параметров специального автомобиля в результате установления степени влияния износа ворса щеточного узла

Тогда, приняв ограничения в виде минимально необходимого для обеспечения качества рабочего процесса коэффициент эффективности, равный $K_9=1,5$, а максимальную мощность привода щеточного узла, равную $N_{щ}=200$ кВт, можем построить зависимости, характеризующие рабочие характеристики специального автомобиля и щеточного узла. Анализ полученных путем математического моделирования рабочего процесса данных позволяет построить зависимость скорости движения специального автомобиля и мощности щеточного узла от износа щетки (рисунок 3.7).

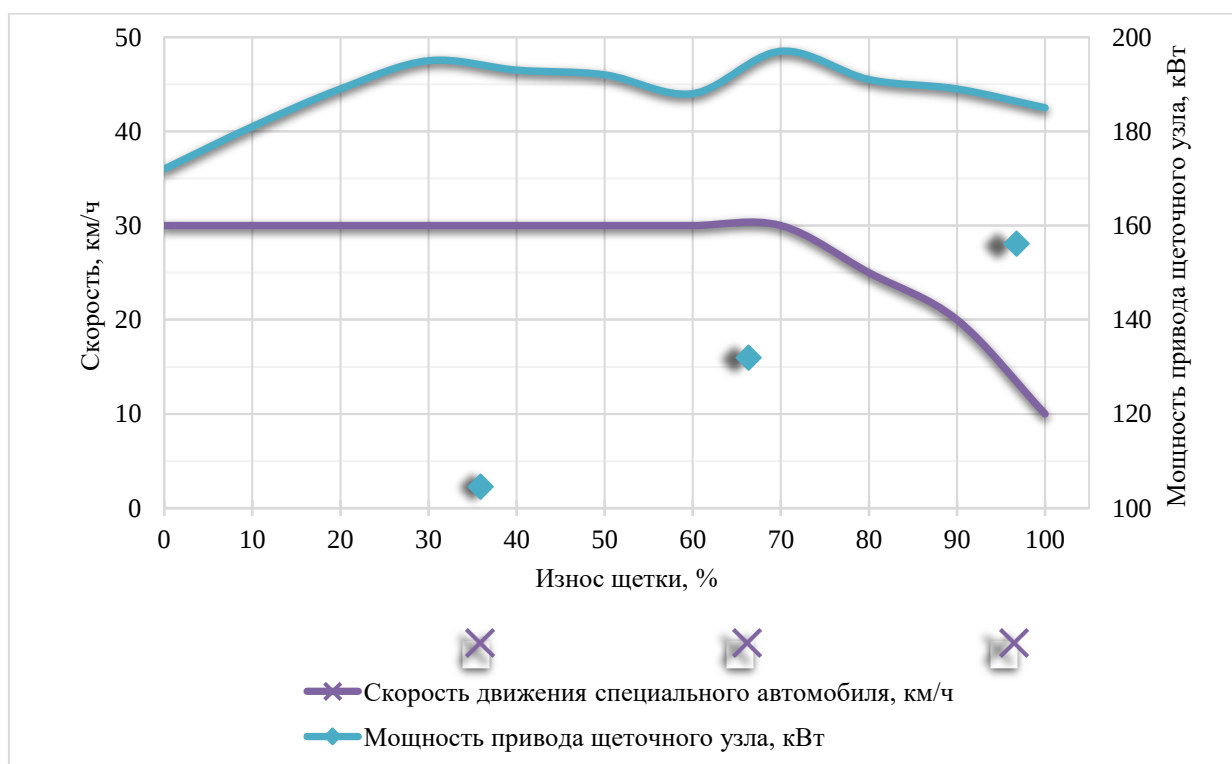


Рисунок 3.7 - Зависимость скорости движения специального автомобиля и мощности привода щеточного узла от износа щетки

Установлено, что износ щетки более 70% приводит к значительному возрастанию требуемой мощности привода щеточного узла. Таким образом, исходя из данной зависимости, в связи с ограниченным запасом мощности силовой установки необходимо снижение скорости движения специального автомобиля для обеспечения условий по качеству рабочего процесса и запасу мощности.

Представленный метод позволяет также оценить скорость движения специального автомобиля и частоту вращения щеточного узла от степени износа щетки (рисунок 3.8).

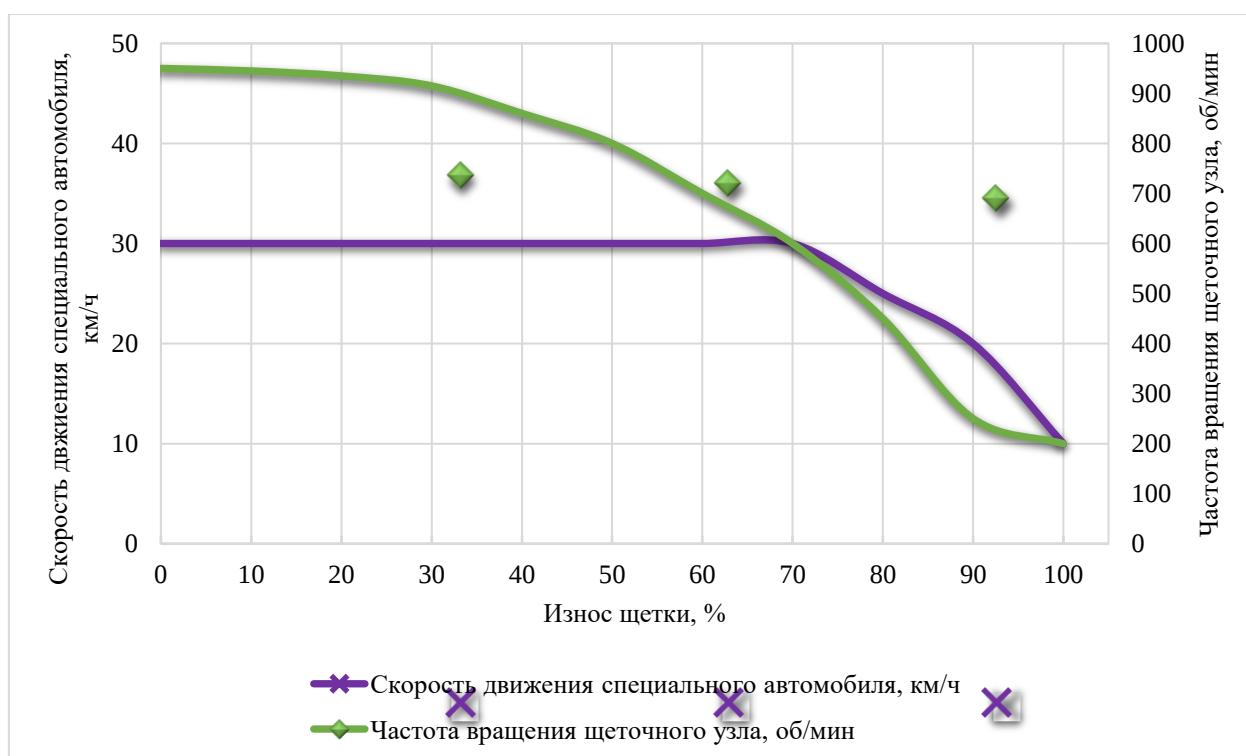


Рисунок 3.8 - Зависимость скорости движения специального автомобиля и частоты вращения щеточного узла от износа щетки

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.

Представленные в разделе 3.2. настоящего исследования зависимости также позволяют определить зависимость коэффициента эффективности от основных параметров специального автомобиля. Так, зависимость коэффициента эффективности от скорости движения транспортного средства и износа щетки представлена на рисунке 3.9.

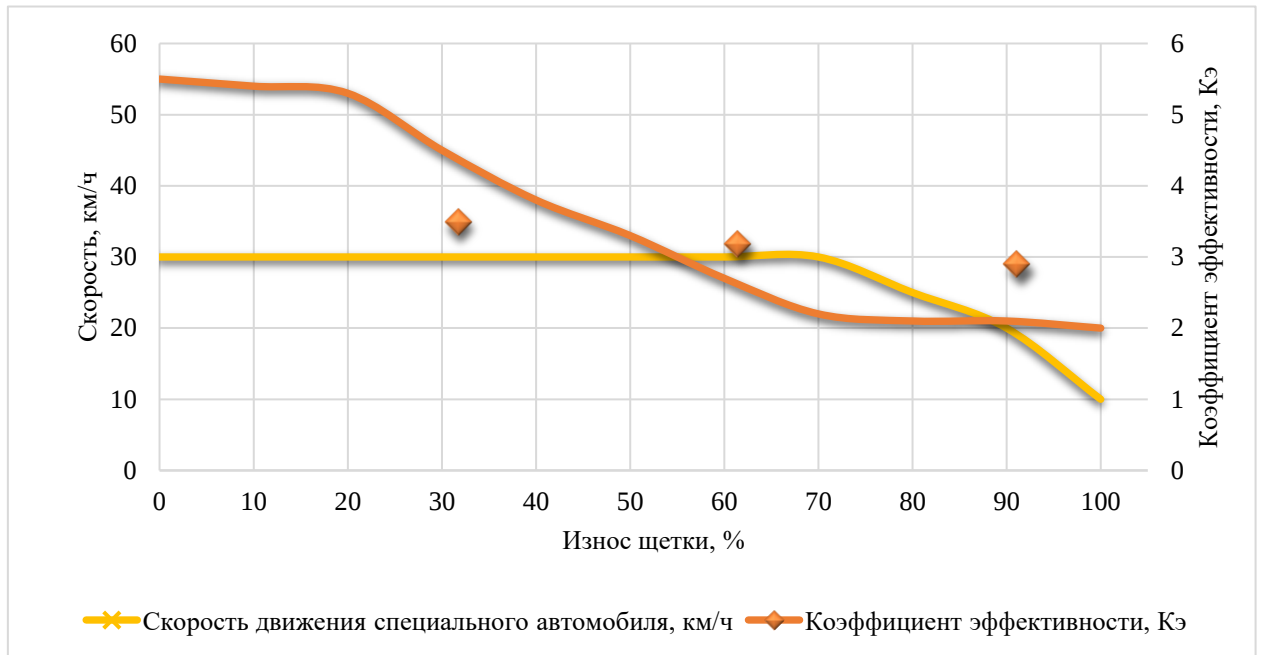


Рисунок 3.9 - Корреляция коэффициента эффективности от скорости с учетом износа щетки

Установлена зависимость снижения коэффициента эффективности работы щеточного узла в зависимости от параметра износа ворса щеточного узла. Анализ зависимости позволяет оценить влияние скорости движения транспортного средства на коэффициент эффективности. Так, можно выделить три основные зоны: 1 – область износа ворса щеточного узла от 0 до 30%; 2 – область износа ворса щеточного узла от 30 до 70%; 3 – область износа ворса щеточного узла от 70 до 100%. Первая область характерна постепенным снижением коэффициента эффективности в связи с износом ворса. Вторая область характерна некоторым снижением скорости падения коэффициента эффективности, что связано с уменьшением скорости вращения щеточного

узла. Третья область характерна сохранением коэффициента эффективности более 2, что обеспечивается снижением скорости движения специального автомобиля и приводит к падению производительности при граничных показателях значения коэффициента эффективности.

Таким образом, исследования характеристик щеточного узла и влияния износа ворса на основные характеристики аэродромного автомобиля на базе специального шасси позволяют оценить корреляцию производственной эффективности в зависимости от износа щетки (рисунок 3.10).

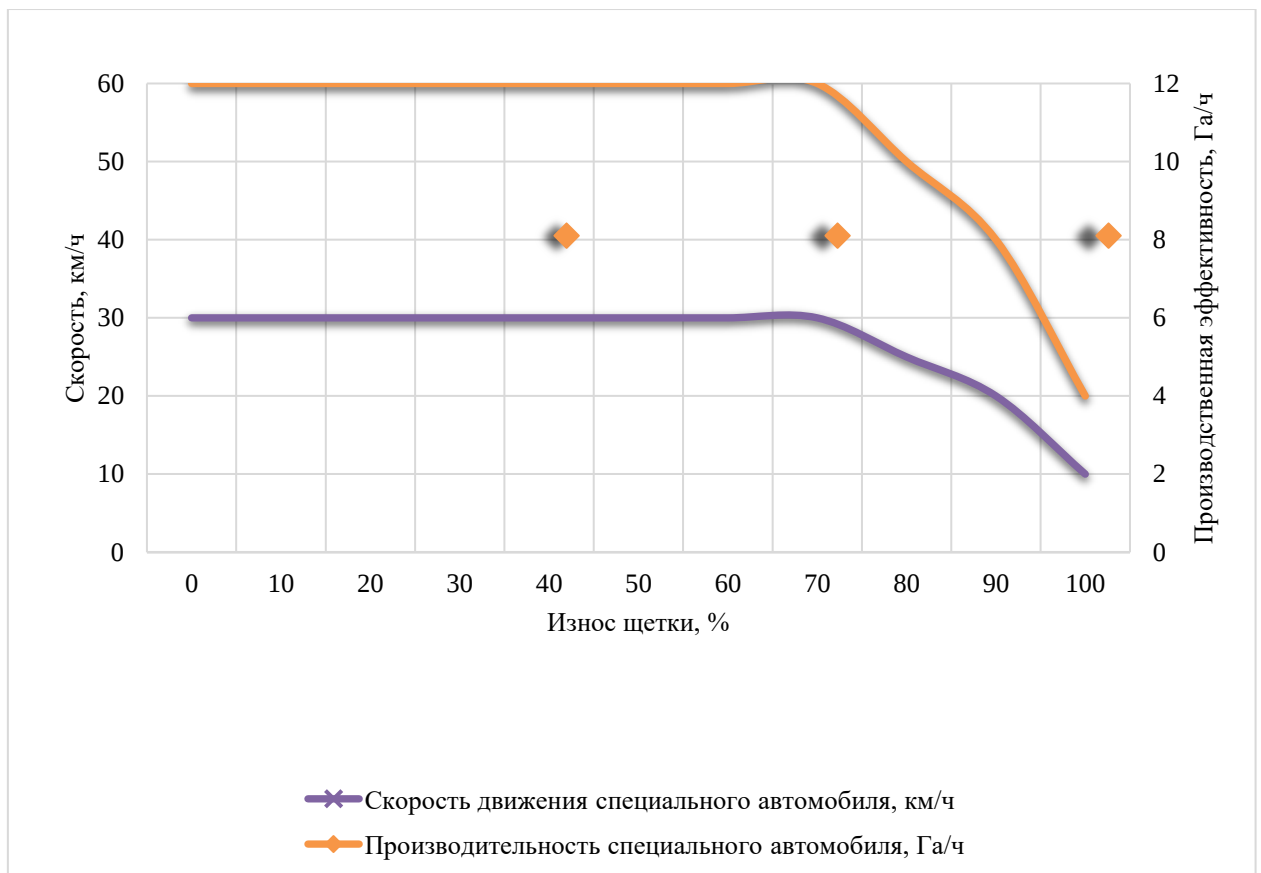


Рисунок 3.10 – Корреляция скорости и производственной эффективности с учетом износа щетки.

Установленные зависимости основных параметров работы навесного оборудования и характеризующие степень влияния щеточного узла на эксплуатационные параметры специального автомобиля позволяют определить оптимальный износ ворса, при котором обеспечиваются

требуемые показатели эффективности без снижения показателей производительности аэродромного автомобиля на базе специального шасси.

Предельно эффективным является износ ворса до 70%. При дальнейшем износе в связи с недостатком мощности и снижением коэффициента эффективности рабочего процесса ниже требуемого показателя необходимо снижение скорости движения транспортного средства с отметки в 30 км/ч до 10 км/ч при 100% износе.

Установлено, что щеточное оборудование оказывает отрицательный эффект на энергетический баланс специального автомобиля из за увеличения потребления мощности, так в процессе износа требуемая мощность привода возрастает со 172,2 до 830,7 кВт. Для обеспечения работоспособности специального автомобиля в процессе износа ворса необходимо снижать частоту вращения щетки и, после 70% износа, скорость специального автомобиля. Таким образом, установлено, что при определенных для предлагаемой конструкции щеточного узла параметрах и свойствах базового шасси оптимальным является износ ворса до 70%.

Таким образом, данный метод определения влияния износа ворса щеточного узла на эксплуатационные свойства специального автомобиля позволяет оптимизировать режимы работы путем своевременной замены ворса на функциональном оборудовании, что позволит обеспечить высокий уровень эффективности и производительности транспортного средства.

Предлагаемая методика заключается в определении оптимального периода времени и режима работы специального автомобиля с конструкцией щеточного узла для повышения эксплуатационного показателя автомобиля путем сохранения производительности в виду сохранения допустимой скорости движения транспортного средства.

В результате определения оптимального показателя износа ворса щеточного узла разработана зависимость эксплуатационных параметров специального автомобиля от износа ворса щеточного узла, представленная на рисунке 3.11.

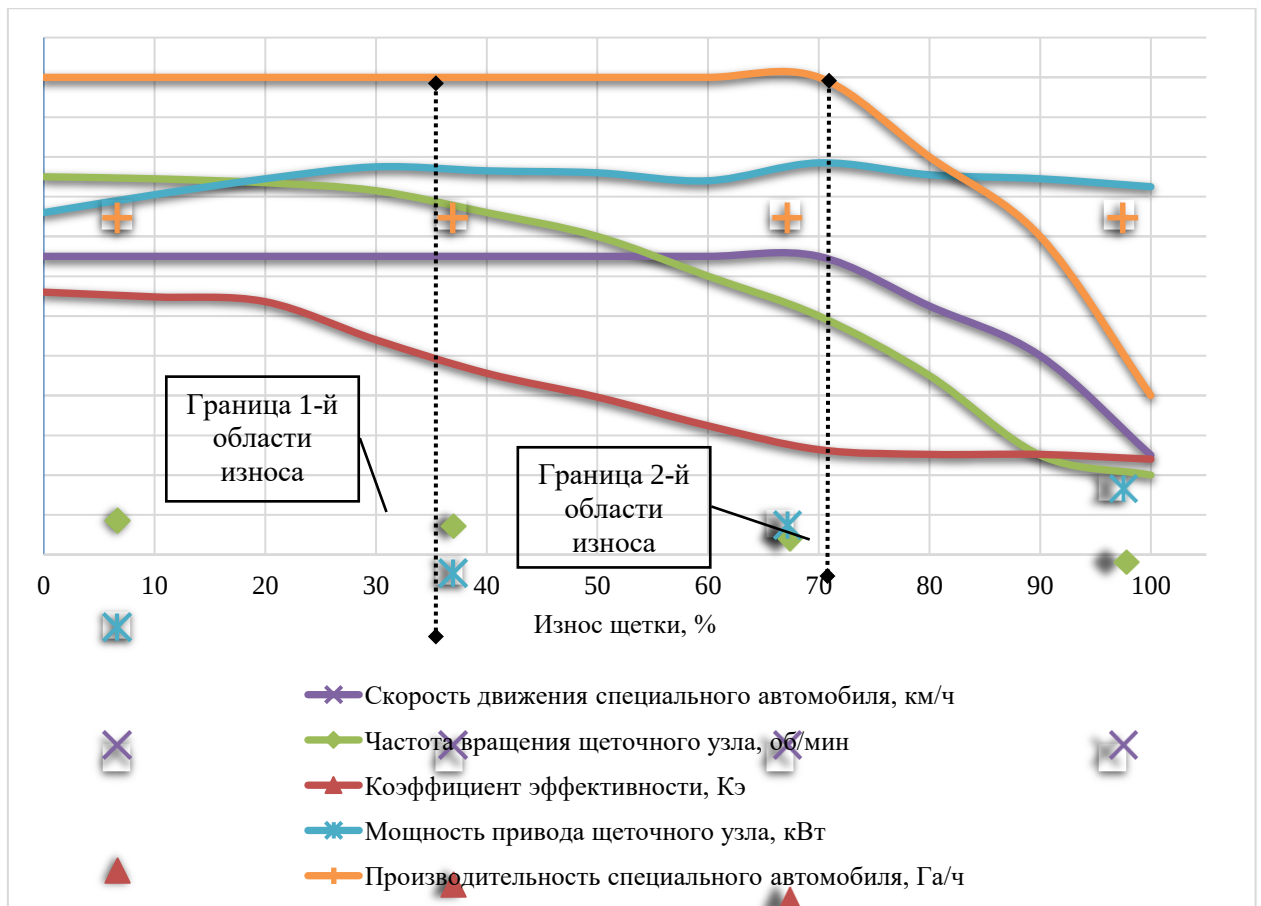


Рисунок 3.11 – Зависимость эксплуатационных параметров специального автомобиля от износа щеточного узла

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 $Kэ=5,5$ 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 ворса щетки.

Согласно рекомендациям по определению технической производительности специальных автомобилей, средняя производительность специального 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:

$$P_{до} = \frac{4 \cdot 30 \cdot 0,7 + 4 \cdot 15 \cdot 0,3}{10} = 10,8 \text{ Га / ч} \quad (3.47)$$

При этом производительность специального автомобиля при ширине захвата 4 метра и скоростью движения 30 км/ч после внедрения предлагаемой методики составляет:

$$P_{после} = \frac{4 \cdot 30}{10} = 12 \text{ Га / ч} \quad (3.48)$$

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

3.5. Разработка конструкции щеточного узла специального автомобиля

Формирование 3D моделей компонентов и сборной модели конструкции щетки, включая полимерные картриджи щетки производился в программном продукте Inventor на основе обмера геометрических параметров эталонного изделия, а также результатов анализа и расчетов главы 3.1. и 3.2. данной диссертационной работы,

Щетки цилиндрического исполнения являются самыми распространёнными при эксплуатации в аэродромных службах.

Для вышеуказанных щеточных узлов используются кассетные щетки. Использование кассет позволяет легко и быстро производить замену при изнашивании ворса.

Использование металлического ворса при очистке взлетно-посадочных полос повреждает покрытие аэродрома, поэтому для уборки снега зимой, грязи, пыли и удаления прочих загрязнений летом используется щетка с полипропиленовым ворсом.

Щетка центральная используется для уборки снега низкой интенсивности, жидкой грязи, мусора, оставшегося песка и площади вокруг установленных в искусственное покрытие огней.

Конструкция на рис. 3.13, имеет механизм подъёма/поворота, приводимый в движение гидромоторами и цилиндрами, а также механизм прижима к поверхности для качественной уборки и содержания ВПП.

При центральном расположении щетка может поворачиваться вправо и влево на угол 36 градусов относительно поперечной оси специального автомобиля, и на 70 градусов вправо в транспортном режиме.

Цилиндрические щетки – один из основных типов оборудования для подметания, которое применяется для механизации ухода за твёрдыми искусственными покрытиями взлётных полос, рулёжных дорожек и перронов аэродромов.

Для аэродромов применяют кассетные щетки, так как использование кассет позволяет легко и быстро производить замену при изнашивании ворса.

Использование металлического ворса при очистке взлетно-посадочных полос повреждает покрытие аэродрома, поэтому для уборки снега зимой, грязи, пыли и удаления прочих загрязнений летом используется щетка с полипропиленовым ворсом.

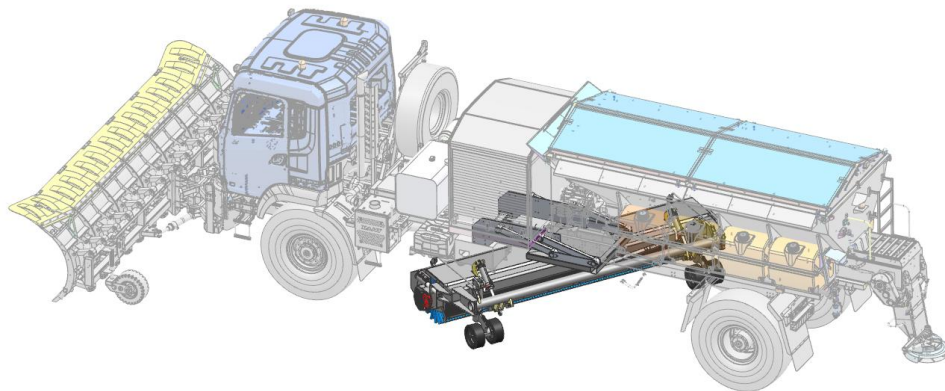


Рисунок 3.12 – Щетка центральная в составе специального автомобиля

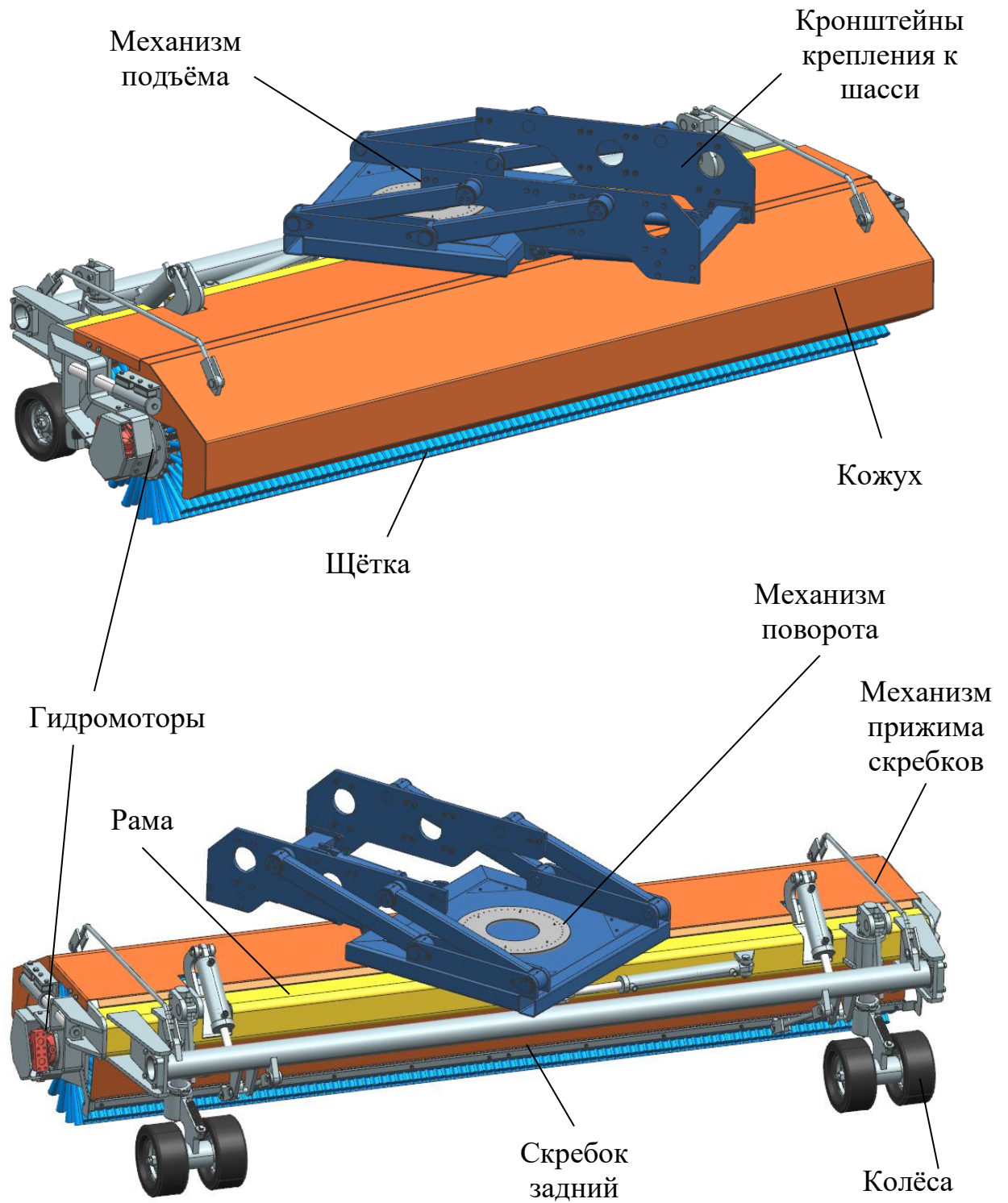


Рисунок 3.13 – Конструкция щётки центральной

Рабочее и транспортное положения щётки показано на рисунке 3.14.

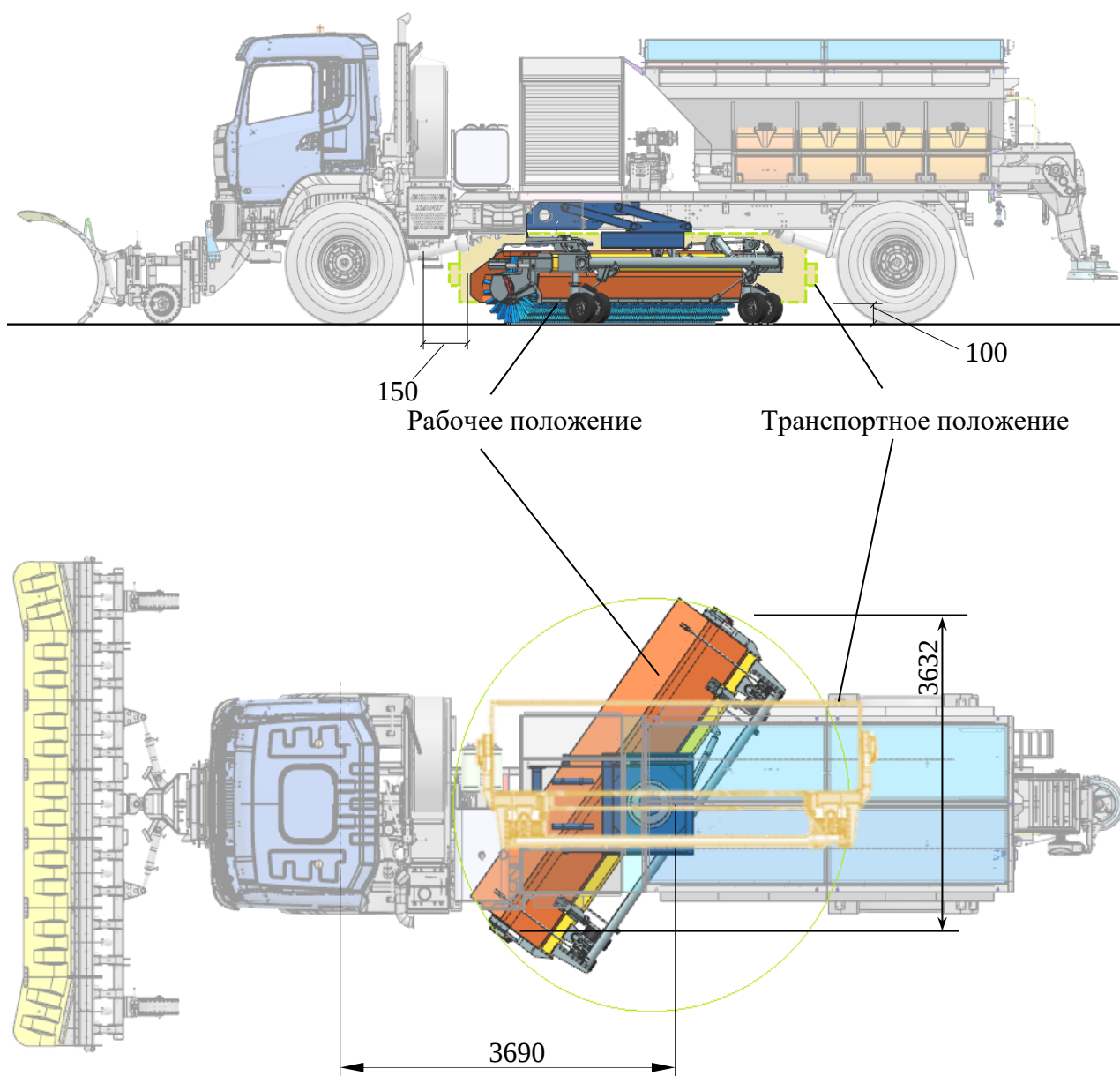


Рисунок 3.14 – Положения щётки центральной в специальном автомобиле

Рама щеточного узла

Основным назначением рамы, показанной на рисунке 3.15, является обеспечение несущей способности и прочности конструкции щетки центральной, а также размещение на себе дополнительных конструктивных элементов и узлов.

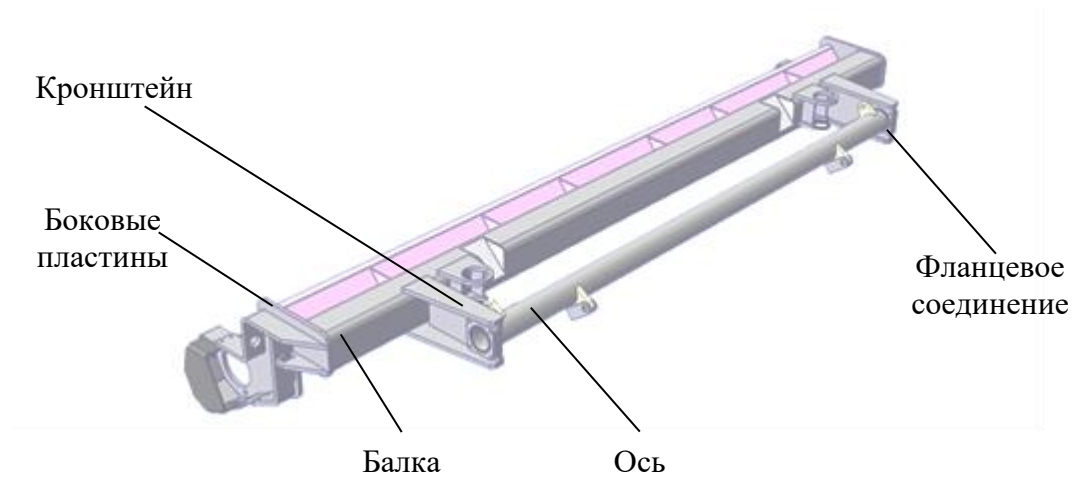


Рисунок 3.15 – Общий вид рамы щётки центральной

Силовая часть Рамы щетки представлена балкой, с приваренными боковыми пластинами, предназначенными для закрепления оси цилиндрической щетки.

На балке приварены консольные кронштейны крепления оси (круглой трубы) щеточного узла.

Ось предназначена для придания дополнительной поперечной жесткости силовой конструкции щетки. На ней располагаются четыре круговые проушины для крепления верхних и нижних тяг щетки а также штоковых частей боковых ГЦ.

Крепление оси к кронштейнам происходит через болтовые фланцевые соединения.

Вал и установленные на него щеточные кассеты с ворсом.

Щётка, показанная на рисунке 3.16, предназначена для очистки поверхности дорожного полотна.

Соосно с валами гидравлических моторов привода располагается основная силовая часть цилиндрической щетки – горизонтальный вал, выполненный из прочного алюминиевого сплава.

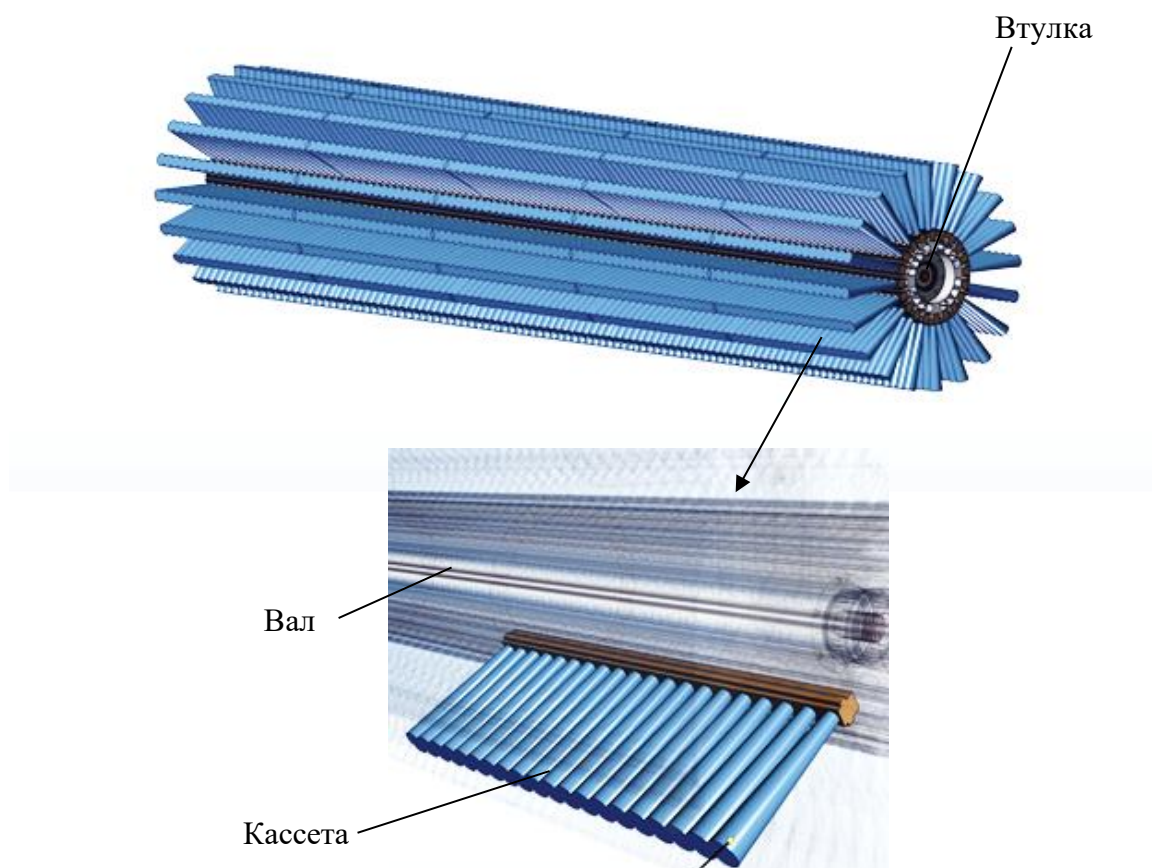


Рисунок 3.16 – Общий вид щётки

Соединение редукторных элементов привода щетки с валом происходит посредством двух консольных симметричных втулок.

Цилиндрическая форма очистной щетки обеспечивается наборными рядами кассет с ворсом, которые устанавливаются в пазы цилиндрического горизонтального вала и обеспечивают очистку поверхности дорожной одежды.

Механизм привода

Привод на основе гидравлических моторов, редукторов и передаточных механизмов обеспечивает вращение щетки центральной с заданной угловой скоростью и усилием в процессе очистки дорожного полотна (рис. 3.17).

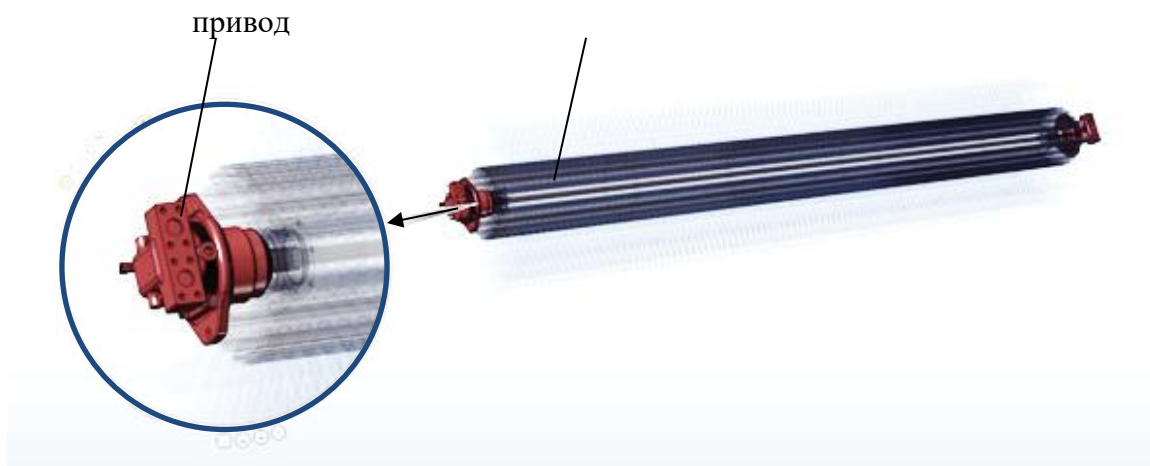


Рисунок 3.17 – Гидравлический привода щётки

Механизм подъема/ поворота

Механизм подъема цилиндрической щетки, показанный на рисунке 3.18, обеспечивает вертикальное перемещение (подъем и опускание) её элементов при смене рабочего и транспортного режимов эксплуатации, а также служит для регулирования величины прижатия ворса щетки (площади поверхности контакта) при очистке дорожного полотна.

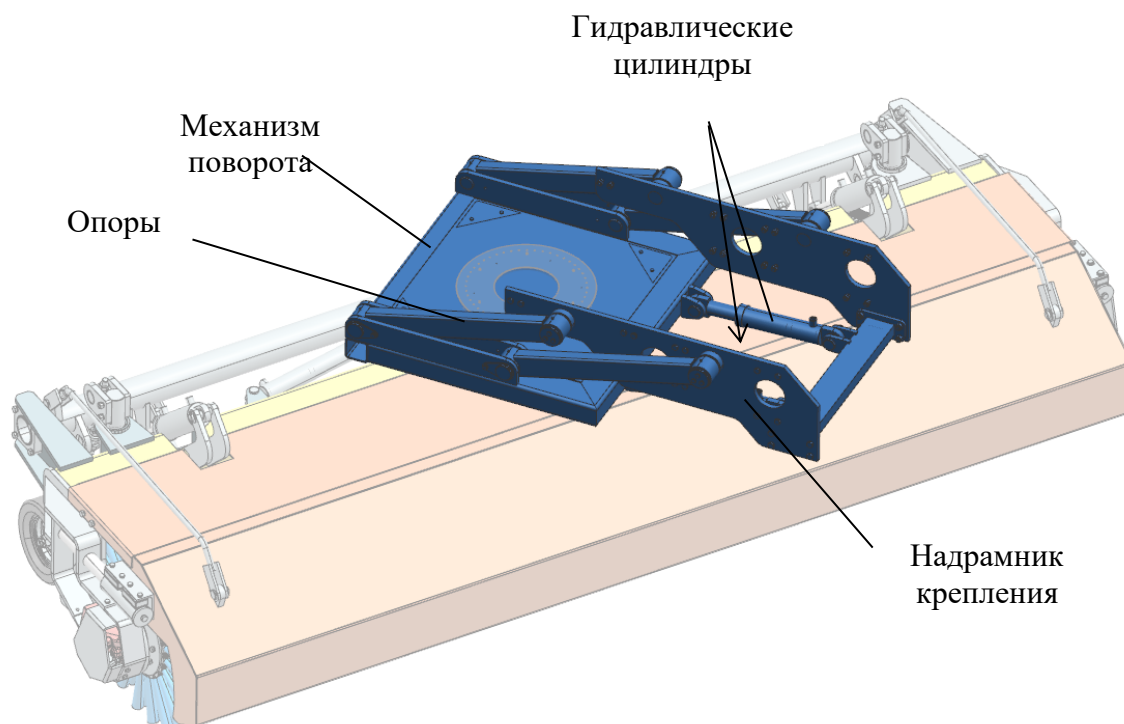


Рисунок 3.18 – Общий вид блока подъёма/поворота

Движение навесного оборудования в вертикальном направлении происходит посредством гидравлических цилиндров.

Крепление механизма подъема к лонжеронам шасси выполнено при помощи болтовых соединений М14 через два листовых кронштейна прикреплённых к стержням пантографа.

Механизма поворота

Функционалом механизма поворота, изображенного на рисунке 3.19, является изменение положения в пространстве центральной щетки относительно вертикальной оси за счет усилия от гидравлического цилиндра при ее нахождении в рабочем положении при очистке, а также для складывания центральной щетки внутрь кузова при ее переводе в транспортное положение.

Механизм поворота щетки центральной конструктивно включает в себя силовой каркас и опорный подшипниковый узел;

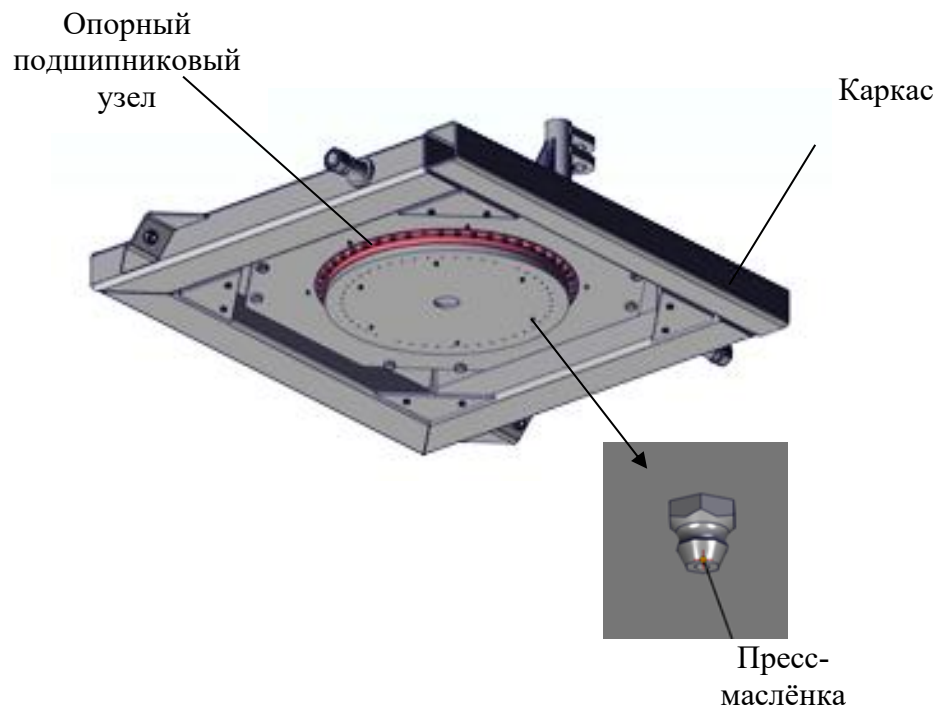


Рисунок 3.19 – Общий вид механизма поворота (вид снизу)

Для выполнения поворота в конструкции щётки предусмотрен гидроцилиндр, показанный на рисунке 3.20.

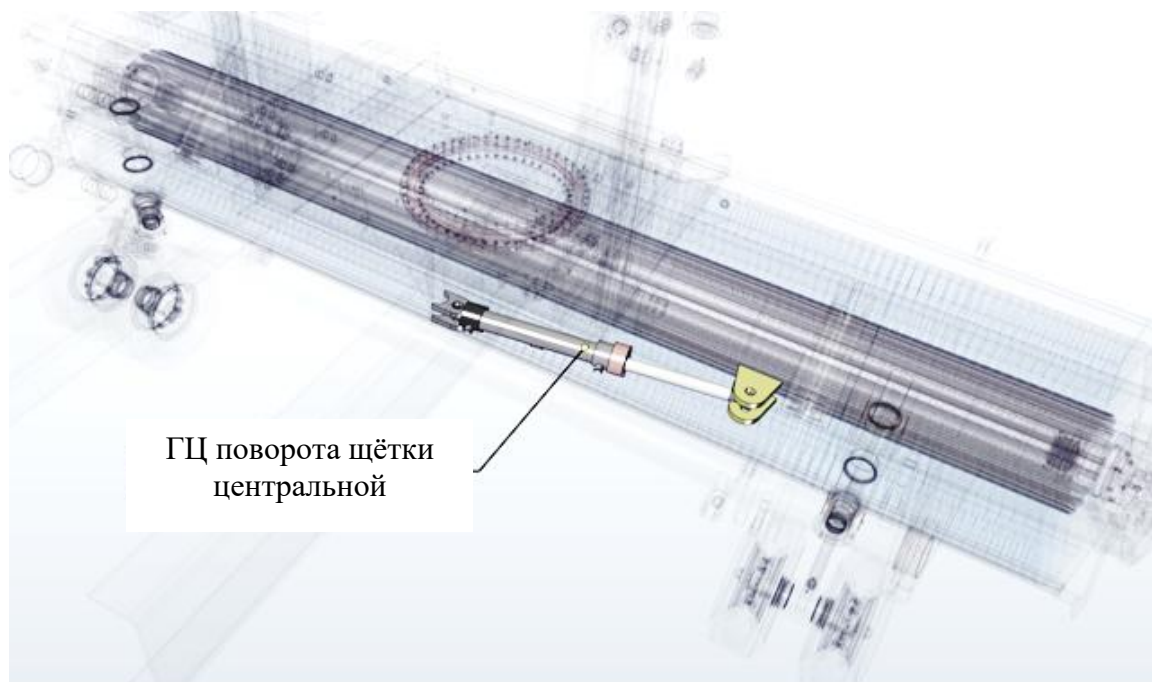


Рисунок 3.20 – Положение ГЦ поворота щётки центральной в составе щётки центральной

Угол поворота узла щеточного $\pm 36^\circ$ при работе и на угол до 70° при транспортировке.

Защита конструкции

Защитный кожух, показанный на рисунке 3.21, в сборе с листом центральным и листом резиновым защитным предназначен для ограничения разбрасывания продуктов очистки при вращении цилиндрической щетки по всем направлениям при движении автотранспортного средства, а также для скребковой очистки ворса щетки при его обледенении и загрязнении в эксплуатации.

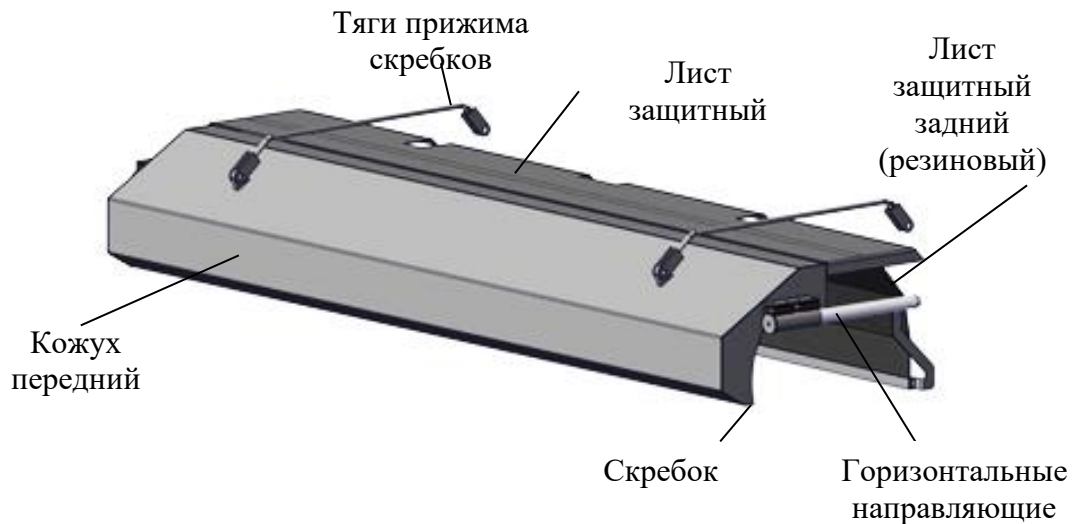


Рисунок 3.21 – Устройство защитного кожуха щётки центральной

Состав защитного кожуха представляет собой: лист защитный верхний, кожух передний, лист задний защитный, из резинового материала.

Защитный лист позволяет не допустить соприкосновение с профилем и компонентами очистки при работе центральной щетки в вертикальном направлении.

Передний наклонный кожух защищает от взаимодействия с профилем и грязью работающей центральной щетки во фронтальном направлении.

Для размещения двух симметрично установленных гидроцилиндров прижима скребковой части кожуха переднего на раме щетки размещены четыре силовых проушины, расположенных под заданными углами для выдерживания направления прижима к щётке (рис.3.22).

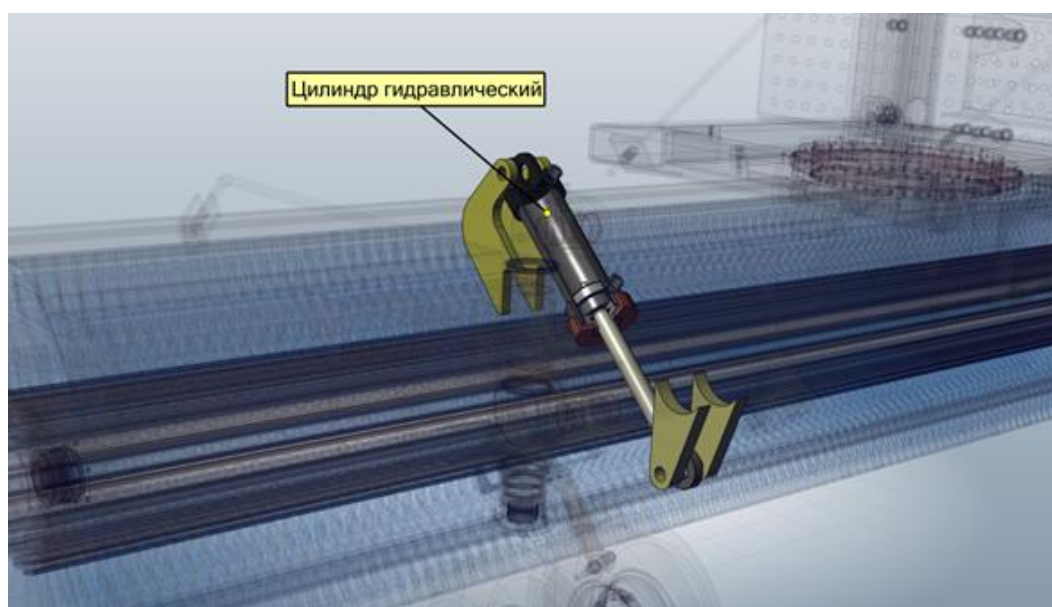


Рисунок 3.22 – Общий вид гидроцилиндра прижима скребков

При этом продольное перемещение при прижатии и отжатии скребковой части Листа центрального от профиля щетки происходит вдоль Осей направляющих (рис. 3.23), расположенных во Втулках направляющих, закрытых с обеих торцевых зон шайбами.

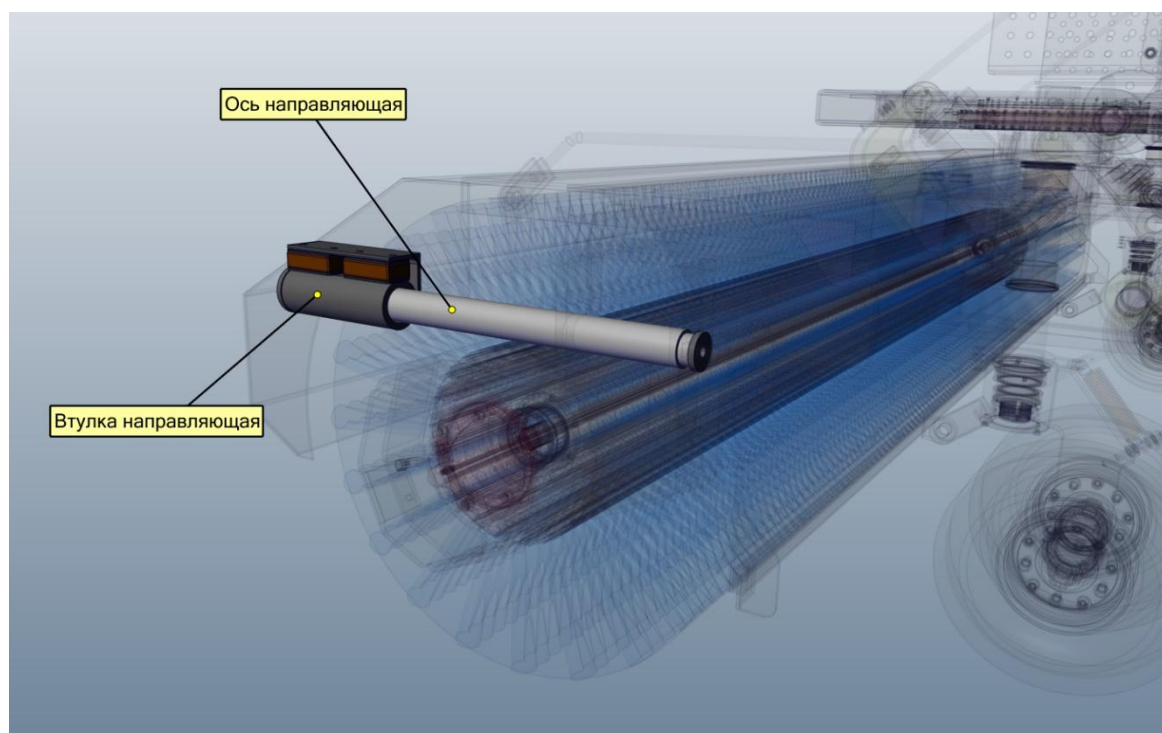


Рисунок 3.23 – Направляющие оси и втулки скребка защитного кожуха

Колеса поворотные

Как изображено на рисунке 3.24, в качестве вертикальных опор элементов центральной щетки на поверхности дорожного покрытия использованы узлы колес поворотных, с целью смягчения колебаний и вибраций в вертикальном направлении при осуществлении движения специализированной техники во время очистки, а также для автоматизации процесса выравнивания направления своего продольного движения при поворотах щетки в рабочем режиме.

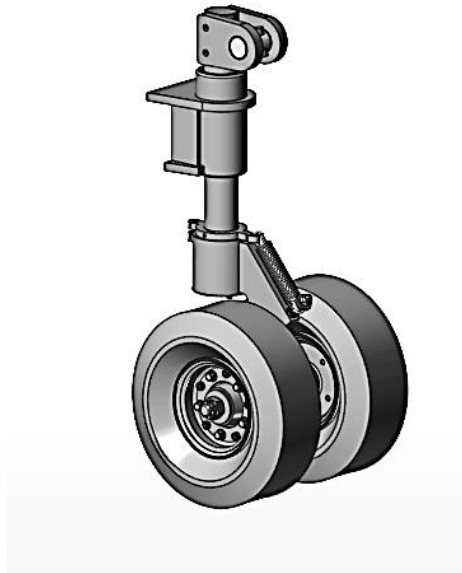


Рисунок 3.24 – Узел колеса поворотного

3.6. Выводы по главе

С целью разработки трехмерной модели щеточного узла специального автомобиля проведены расчеты конструктивных размеров щеточного узла для зимнего содержания твердых дорожных и аэродромных покрытий, по результатам которых длина щетки составила 4200 мм, диаметр 914 мм, а диаметр барабана 200 мм.

Определены параметры эффективности уборки снега с учетом скорости вращения щетки и скорости движения машины, а также мощности привода щетки в зависимости от указанных параметров работы щеточного узла.

Выявлено, что износ щеточного узла напрямую влияет на показатель качества проводимых работ, скорость движения специального автомобиля и частоту вращения щеточного узла. Так, при минимальном износе ворса щеточного узла оптимальным является скорость движения специального автомобиля равная 30 км/ч, а частота вращения щетки 950 об/мин. При этом обеспечиваются высокие показатели качества проводимых работ, так $K_9=5,5$.

Постепенный износ ворса щеточного узла с 0 до 30% приводит к постепенному снижению качества проводимых работ и повышению требуемой мощности привода.

Далее, при износе с 30 до 70% требуемая мощность привода стремится превысить показатель 200 кВт, что приводит к необходимости снижения частоты вращения щеточного узла.

После превышения показателя 70% возрастание мощности требует снижения частоты вращения, что приводит к падению коэффициента эффективности и требует компенсации путем снижения скорости движения специального автомобиля.

Так, установлено, что эксплуатация специального автомобиля при износе ворса щеточного узла более 70% приводит к значительному снижению коэффициента эффективности, снижению скорости движения специального автомобиля, частоты вращения щеточного узла и приводит к неэффективной эксплуатации ввиду значительного снижения объема выполняемых работ за единицу времени до 3,75 раз.

ГЛАВА 4. ТЭО. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

4.1. Определение экономической эффективности усовершенствованной установки рабочего органа

Среди основных технических и экономических эксплуатационных показателей аэродромного специального автомобиля можно отметить:

- удельная производительность спецавтомобиля;
- мощность силовой установки;
- энергоемкость навесного оборудования;
- уровень передела конструкции и расходы на сертификацию;
- стоимость базового шасси.

Усовершенствование установки рабочего органа может позволить снизить эксплуатационные затраты:

1) Снижение затрат на обслуживание. Использование современных материалов и технологий, таких как износостойкие щетки и надежные механизмы, может снизить частоту и стоимость технического обслуживания.

2) Уменьшение расходов на запчасти. Современные технологии могут уменьшить износ компонентов, что приводит к снижению потребности в замене деталей.

В составе установки щетки центральной приобретаются на изготовление несущей конструкции щетки: механизм подъема, механизм вращения, рама в сборе и составляют 58 500 рублей.

Стоимость покупаемых комплектующих щетки центральной:

- Втулка свертная фланцевая 60х65х75х60 тип FB090, втулка свертная цилиндрическая 80х85х40 тип SF2Y, втулка свертная цилиндрическая тип FB092 60х65х80, втулка свертная цилиндрическая тип SF2Y 120х125х60, подшипник ISB YRT460, подшипник SKF 33012, подшипник SKF 33013 - 650 000 рублей;

- Демпфер АПММ-04.01.05.103 – 50 000 рублей;

- Муфта зубчатая АПММ-04.01.04.220 - 125 000 рублей;

- Щетка кассетная в сборе (КОТИ) (L=4198мм, D=36”) - 2 762 000 рублей;

- Крепёжный материал - 29 500 рублей;
- Компоненты гидравлики - 750 000 рублей.
- ФОТ персонала и страховые взносы -162 000 рублей,
- прочие расходы –85 000 рублей.

Главными эксплуатационным показателем оценки эффективности работы машины служит ее производительность и удельная производительность уборки, на которую влияет целый ряд факторов.

Указанные показатели производительности специального автомобиля позволяет транспортному средству конкурировать с аналогами европейского производства (таблица 4.2).

Как отмечалось ранее (раздел 1), мощность основного двигателя, базового шасси УРАЛ 63704-0110 ниже расчетного баланса мощности и как следствие необходима дополнительная силовая установка.

В комплектации рассматриваемы АППМ также предусмотрены две силовые установки: основная, находящаяся на базовом шасси, и дополнительная.

В таблице 4.1 представлены характеристики основной и дополнительной двигательной установки.

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ силовых установок

Марка	Основной двигатель	Дополнительный двигатель	Расход топлива основного двигателя, л/100 км (л/час)	Расход топлива дополнительного двигателя, л/100 км (л/час)
Специальный автомобиль УРАЛ	ЯМЗ-653	ЯМЗ-652	35 (60)	35 (60)
SCHMITD CJS	Mercedes Benz OM 501 LA	Mercedes Benz OM 501 LA	30,2	30,2
OVERASSEN RSC-250	Mercedes Benz OM 473	MTU 6R1000	28,5	(34,6)
Zaugg AG Eggwil P21C	Mercedes Benz OM 473	Mercedes Benz OM 473	28,5	28,5

Ниже приведено сравнение стоимости функционального оборудования (таблица 4.2), разрабатываемого в условиях производства ООО «Завод СпецАгрегат» и на основе отечественных комплектующих, и стоимости оборудования зарубежных аналогов, полученной из коммерческих предложений организаций-поставщиков.

Таблица 4.2 – Сравнение стоимости навесного оборудования

Оборудование, компоненты	Рыночная цена, руб.		
	шасси УРАЛ 63704	SCHMITD CJS	Boschung
Страна производства	Россия	Германия	Швейцария
Шасси	8 500 000 (спецшасси)	14 000 000 (Mercedes Actros)	26 000 000 (спецшасси)
- Силовой агрегат	779 000	3 200 000	6 700 000
- Щеточный узел	4 088 000	6 300 000	8 000 000
Всего:	13 367 000	23 500 000	40 700 000

Из таблицы видна актуальность собственной разработки функционального оборудования. Если все компоненты закупать за рубежом, то итоговая цена машины из-за пошлин приблизится к цене импортных, при наличии вероятности ухудшения качества. 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.

4.2. Экономический эффект от внедрения предлагаемой методики определения оптимального показателя износа ворса щетки центральной

Определим экономический эффект от применения предлагаемой методики определения степени износа ворса щеточного узла при котором обеспечивается сохранение показателей производительности.

Определим средний показатель производительности специального автомобиля до и после применения предлагаемой методики. Так, средняя производительность специального 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% ресурс 15 км/ч до внедрения предлагаемой методики составляет:

$$P_{до} = \frac{4 \cdot 30 \cdot 0,7 + 4 \cdot 15 \cdot 0,3}{10} = 10,8 \text{ Га / ч} \quad (4.1)$$

При этом производительность специального автомобиля при ширине захвата 4 метра и скоростью движения 30 км/ч после внедрения предлагаемой методики составляет:

$$P_{после} = \frac{4 \cdot 30}{10} = 12 \text{ Га / ч} \quad (4.2)$$

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

Оценим экономическую эффективность от применения предлагаемой методики определения оптимального значения ресурса щеточного узла¹.

Расчет минимального парка спецавтомобилей с интегрированной центральной щеткой, производится по следующей формуле:

$$N_{nc} = \frac{S}{T \cdot П \cdot K_{ТГ} \cdot K_{ИСП}}, \quad (4.3)$$

где: S – площадь первоочередных элементов, м²; T – время очистки, час; $П$ – площадь работы за единицу времени, м²/час.; $K_{ТГ}$ – коэффициент технической готовности техники, $K_{ТГ}=0,95$, $K_{ИСП}$ – коэффициент использования техники, $K_{ИСП}=0,85$.

Затраты времени на очистку территории летного поля с применением специальных автомобилей:

$$T = \frac{L}{V \cdot K_{ИСП} \cdot K_{ТГ}} \cdot n + t_{разв} \cdot (n-1), \text{ с} \quad (4.4)$$

где: L – длина очищаемого элемента, м; V – рабочая скорость, м/с; n – количество рабочих проходов машины; $t_{разв}$ – время разворота машины, с.

Рассчитаем минимально необходимый парк техники и эксплуатационные параметры при проведении работ по ВПП при условии

¹ При расчетах применяется ВПП размером 3200х60 метров

применения своевременной замены ворса щеточного узла. Расчеты приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Основные параметры специального автомобиля в результате определения оптимизации ресурса ворса щеточного узла

№ п/п	Показатель	Спецавтомобиль при своевременной замене ворса щетки по методике	Спецавтомобиль без использования методики
1	Объем содержания за единицу времени, м ³ /ч	71 371,44	58 305 24
2	Прогоны (n), шт	15	15
3	Время (T), минут (часов)	82,9 (1,38)	83,1 (1,39)
4	Спецавтомобилей в парке, шт	2,41	2,95

Расчеты подтверждают, что применение аэродромной уборочной техники со своевременной заменой ворса щетки центральной в предлагаемой конструкции позволяет сократить парк техники практически в два раза (1/2). Для аэродромов с двумя взлетно-посадочными полосами снизить парк техники на один специальный автомобиль, так экономический эффект в денежном эквиваленте составляет 21 500 000 рублей при использовании наиболее близкого с экономической точки зрения аналога SCHMITD CJS.

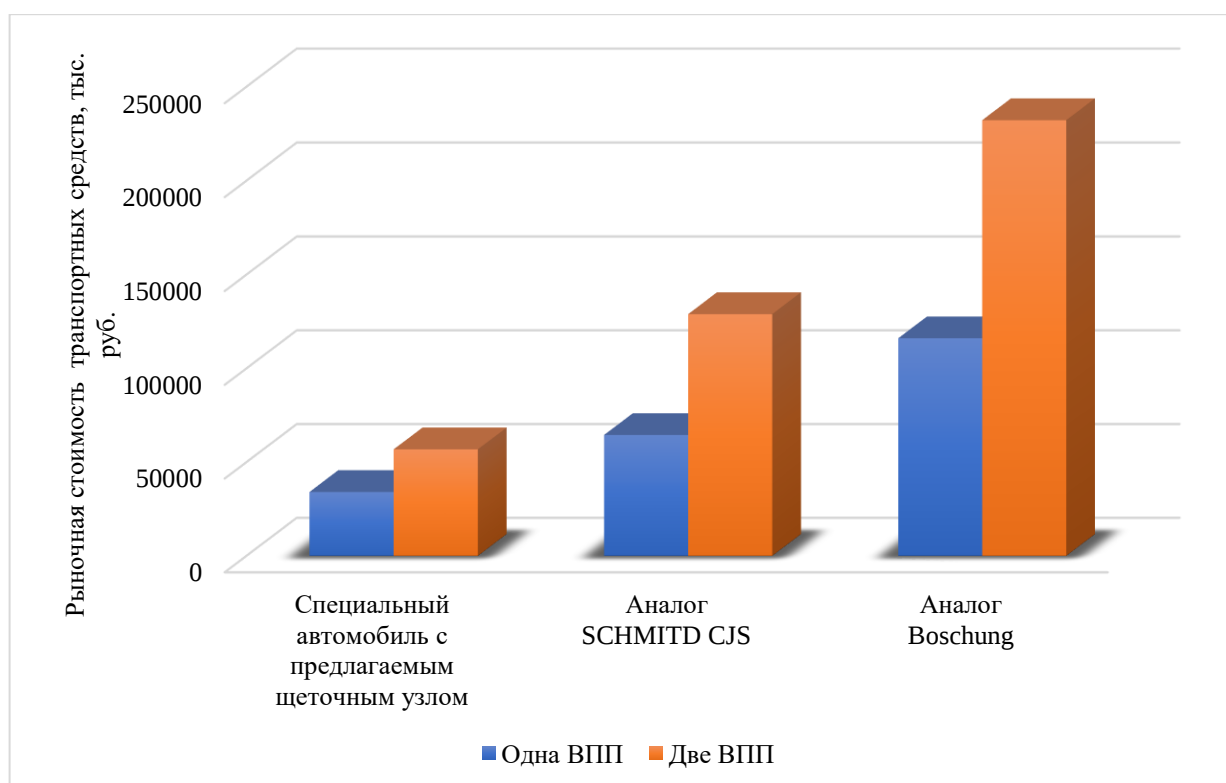


Рисунок 4.1 – Экономический эффект от оптимизации ресурса

Таким образом, экономический эффект от внедрения предлагаемой конструкции щеточного узла для 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 летных полей составляет до 2,27 раз или 72 164 тыс. руб.

4.3. Программа эксплуатационных испытаний щеточного узла специального автомобиля

Проверка щеточного узла аэродромного уборочного автомобиля осуществляется путем проведения ряда испытаний, направленных на выявление дефектов и недостатков конструкции. Таким образом, к основным факторам, влияющим на работоспособность ТС можно отнести механизмы подъема-опускания и поворота щетки, систему привода, также управления и прижима кожуха щетки. В случае корректного выполнения ОИ поставленных задач, ему присваивается статус «выдержавший проверку».

Данные испытаний проводятся на специальной площадке, имитирующей условия работы уборочного автомобиля, схожие с работой на ВПП аэропорта.

Высота подъема щеточного узла в транспортном положении проверяется по следующей методике.

На начальном этапе щеточный узел должен находиться в транспортном положении. На данном этапе проверяется надежности и прочность конструкции. ОИ считается выдержавшим проверку, если в сочленениях и

узлах отсутствуют смещения и люфты в сочленениях и узлах, где они не предусмотрены разработчиком

Затем производится опускание узла в рабочее положение и его обратное возвращение в транспортное положение. На данном этапе производится корректность выполнения данной задачи системой привода, а также оценивается точность работы ГЦ. ОИ считается выдержавшим проверку, если в процессе работы системы опускания щетки движение узла было плавным, отсутствовали подклинивания системы, заломы конструкции и подтеки масла.

В верхнем положении после выполнения операции подъема-опускания конструкции проверяется расстояние от покрытия измерительной площадки до нижней поверхности щетки центральной (рис. 4.2) с помощью рулетки. ОИ считается выдержавшим проверку, если расстояние от покрытия измерительной площадки до нижней поверхности щетки центральной не менее 100 мм.

Результаты проверки занесены в таблицу результатов испытаний, представленную в Приложении А.

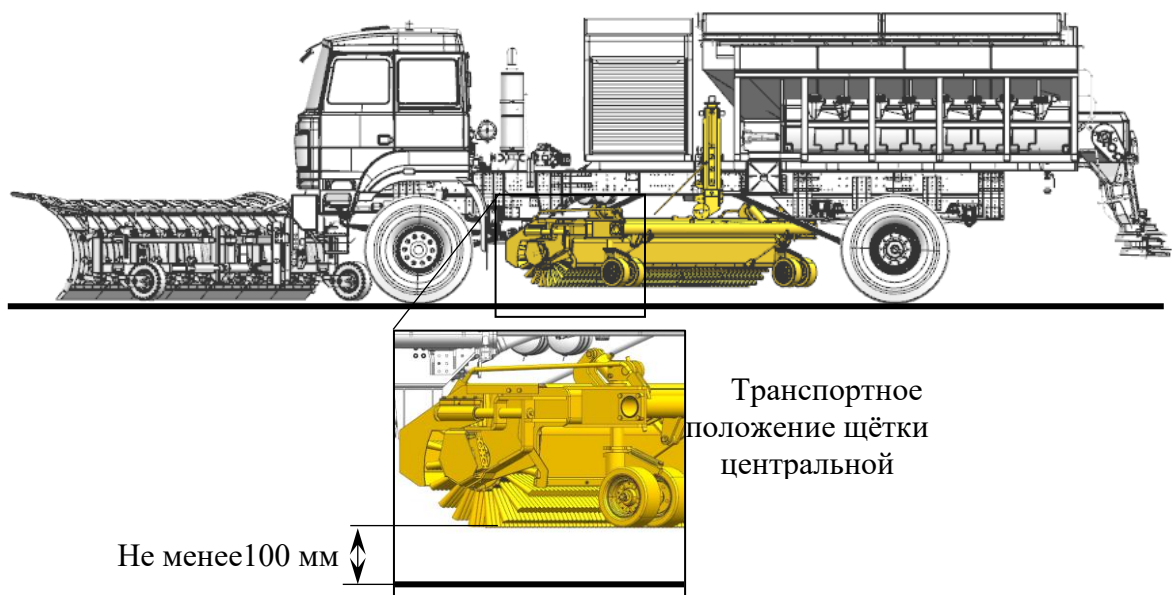


Рисунок 4.2 – Измерение высоты транспортного положения щетки центральной

Проверка системы управления и функционирования подъем-опускания и поворота щетки центральной. Данная проверка проводится в целях определения корректности и выявления недостатков работы электронной системы управления, установленной в кабине оператора (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Система управления навесным оборудованием, установленная в кабине оператора уборочного автомобиля

Опускание центральной щетки проводится путем нажатия соответствующей кнопки на панели управления системы привода центральной щетки.

Подъем центральной щетки проводится путем нажатия соответствующей кнопки на панели управления системы привода центральной щетки.

Поворот центральной щетки уборочного автомобиля в крайнее левое положение проводится путем нажатия соответствующей кнопки на панели управления, расположенной в кабине оператора.

Поворот центральной щетки в транспортное положение (рис. 4.4) осуществляется путем нажатия соответствующей кнопки на панели управления.

ОИ считается выдержавшим проверку, если при последовательном нажатии кнопок на панели управления щетка центральная осуществляет опускание в рабочее положение, затем подъем из рабочего положения в транспортное и осуществляет поворот в рабочее крайнее левое положение и возврат в транспортное положение.

Результаты проверки занесены в таблицу результатов испытаний, представленную в приложении А.

Проверка угла поворота щетки центральной осуществляется с целью выявления соответствия ее углов поворота заявленным показателям. Необходимо, чтобы щетка центральная осуществляла поворот на 126° в каждую из сторон в соответствии с рисунком 4.4. Порядок проведения данного испытания включает в себя несколько пунктов.

Для этого из транспортного положения щетка переводится в рабочее положение путем нажатия соответствующей кнопки на панели управления в кабине оператора уборочной машины.

Затем осуществляется перевод щетки центральной в крайнее левое положение и крайнее правое.

В процессе перевода щетки в данные положения определяется точность и качество работы системы управления и системы привода. Исключено наличие закусываний деталей, узлов или элементов системы привода щетки.

В каждом из крайних положений необходимо измерить угол поворота с помощью угломера. Должен обеспечиваться поворот щетки центральной не менее чем на 126° относительно продольной оси кузова автомобиля.

ОИ считается выдержавшим проверку, если угол поворота щетки центральной в двух случаях (транспортное положение, рабочее крайнее левое положение) не менее 126° град.

Результаты проверки занесены в таблицу результатов испытаний, представленную в Приложении А.

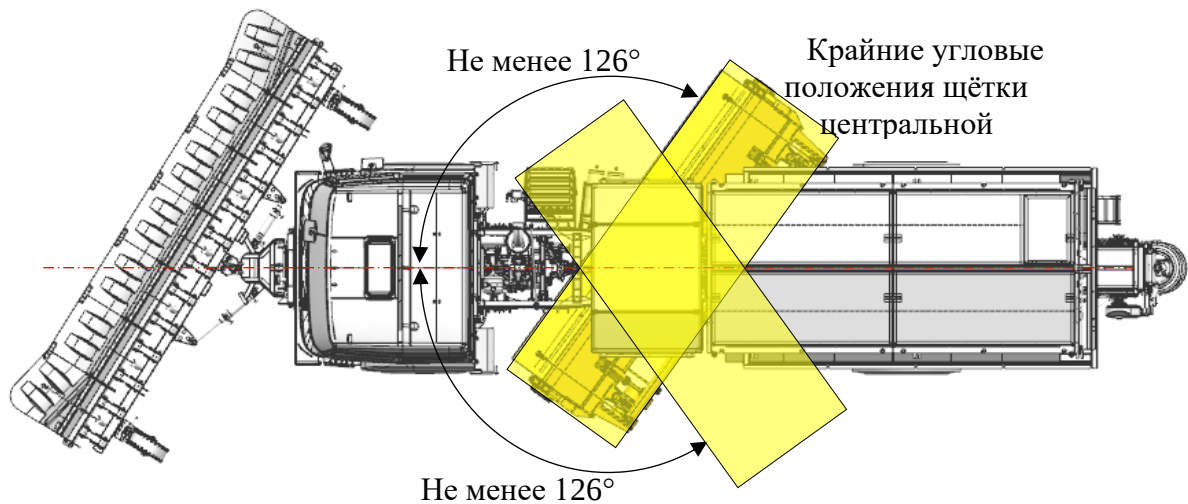


Рисунок 4.4 – Измерение угла поворота щетки центральной

Проверка система управления и функционирования прижима кожуха щетки центральной осуществляется с целью определения работоспособности конструкции в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уборочным автомобилям. Порядок определения работоспособности следующий.

Перевод кожуха щетки центральной в рабочий режим очистки осуществляется путем нажатия на соответствующую кнопку на панели управления уборочного оборудования, находящейся в кабине оператора ТС.

ОИ считается выдержавшим проверку, если при нажатии на кнопку на панели управления кожух щетки центральной осуществляет перемещение в рабочее положение.

Результаты проверки занесены в таблицу результатов испытаний, представленную в Приложении А.

Проверка системы управления и функционирования вращения щетки центральной осуществляется с целью определения работоспособности щетки центральной аэродромного уборочного автомобиля. Определение работоспособности щетки имеет ключевое значение, так как именно этот показатель является ключевым при прохождении эксплуатационных испытаний при выявлении возможности допуска уборочного автомобиля к эксплуатации на ВПП, РД, местах стоянки и прилегающих территориях аэропорта.

Для определения работоспособности щетки центральной аэродромной уборочной машины необходимо нажать на соответствующую кнопку на панели управления навесным оборудованием, расположенной в кабине оператора ТС.

На пульте управления необходимо установить частоту вращения щетки центральной на отметке 200 об/мин. После этого необходимо проверить частоту вращения данного узла. Частота вращения не должна отличаться от заявленного значения более чем на 15%.

Далее на пульте управления необходимо установить частоту вращения щетки центральной на отметке 500 об/мин. После этого необходимо проверить частоту вращения данного узла. Частота вращения не должна отличаться от заявленного значения более чем на 15%.

После замера данных показателей необходимо остановить вращение щетки центральной путем нажатия соответствующей кнопки на панели управления навесного оборудования. Проверяется выполнения данной команды со стороны системы управления.

ОИ считается выдержавшим проверку, если щетка центральная осуществляет вращение, и частота вращения регулируется с пульта управления.

Результаты проверки занесены в таблицу результатов испытаний, представленную в Приложении А.

4.4. Эксплуатационные испытания рабочего органа специального автомобиля

В процессе проведения эксплуатационных испытаний были определены ключевые факторы, определяющие работоспособность разработанной конструкции. Определение этих факторов носит ключевой характер, так как они напрямую влияют на допуск уборочной машины к работе на ВПП, РД, местах стоянки ВС и прилегающих территорий.

Испытания щеточного узла аэродромного уборочного автомобиля показаны на рисунке 4.5. В результате данных испытаний была установлена работоспособность конструкции, системы привода и системы управления, а также определена скорость и угол поворота щетки.



Рисунок 4.5 – Проведение эксплуатационных испытаний по определению частоты вращения щетки центральной аэродромного уборочного автомобиля

На рисунке 4.6 показана щетка центральная, установленная на базе автомобиля Урал 63704-0111, при движении по испытательному полигону в рабочем положении щеточного узла. Результаты проведения эксперимента позволяют с уверенностью сказать о работоспособности и эффективности работы щеточного узла аэродромного уборочного автомобиля.



Рисунок 4.6 – Рабочее положение щетки центральной при движении по испытательному полигону

По результатам проведения эксплуатационных испытаний для определения работоспособности конструкции и выявления недостатков была определена высота подъема щеточного узла в транспортном положении, угол поворота щетки центральной, а также проверена работоспособность системы управления и функционирования подъем-опускания и поворота щетки центральной, системы управления и функционирования прижима кожуха и системы управления и функционирования вращения щетки центральной.

Щеточный узел аэродромного уборочного автомобиля, установленного на базе автомобиля Урал 63704-0111, является полностью работоспособным, о чем свидетельствуют результаты проведенных испытаний. Помимо этого, работоспособность конструкции подтверждается и тем, что щеточный узел успешно выполняет уборочные работы по смету снега на испытательном полигоне, что отображено на рисунке 4.5.

4.5. Выводы по главе

Анализ технико-эксплуатационных показателей специального автомобиля на базе УРАЛ-63704-0111, оборудованного щеткой центральной и дополнительной силовой установкой позволил определить, 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.

Экономический эффект от покупки парка специальных автомобилей на базе УРАЛ-63704-0111 при обслуживании одной ВПП составляет 1,89 раз или до 30,399 тыс. руб в сравнении с наиболее выгодным с экономической точки зрения аналогом, так как в таком случае требует одинаковое количество специальных автомобилей. Экономический эффект при покупке парка специальных автомобилей, необходимого для обслуживания двух летных полей составляет до 2,27 раз или 72 164 тыс. руб.

Разработана программа и проведены эксплуатационные испытания усовершенствованного щеточного узла в составе специального автомобиля по результатам которых установлено соответствие конструкции всем предъявляемым требованиям.

По результатам испытаний можно сделать однозначный вывод о работоспособности щеточного узла в связи с прохождением всех этапов проверки работоспособности системы и выявления недостатков. Аэродромный уборочный автомобиль на базе Урал 63704-0111 с установленным на нем навесным оборудованием в виде щетки центральной с успехом прошел все этапы испытаний, а также осуществил уборку испытательного полигона с помощью щеточного узла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены наиболее распространенные 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. 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 $K_{\text{э}}=5,5$ 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 СОКРАЩЕНИЙ

АППМ-аэродромная подметально-продувочная машина

АПЩМ – аэродромная плужно-щеточная машина

ВПП – взлетно-посадочная полоса

РЭГА РФ Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов
Российской Федерации

РЭСА ЭА – руководство по эксплуатационному содержанию
аэродромов экспериментальной авиации

ТО – техническое обслуживание

ТР – текущий ремонт

ВС РФ – Вооруженные силы Российской Федерации

ГЦ – гидравлический цилиндр

ОИ – объект испытаний

ПГМ – противогололедные материалы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cășeriu, Bianca & Blaga, Petruta. (2023). ANALYSIS OF INTERIOR NOISE IN SPECIAL PURPOSE VEHICLES. Review of the Air Force Academy. XXI. 33-46. 10.19062/1842-9238.2023.21.1.5.
2. Eruslankin, S. A. The Analysis of Properties and Functions of Power Fluids for Hydraulic Systems of Special Purpose Vehicles / S. A. Eruslankin, O. A. Valyaev, G. S. Mazlumyan // 2021 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED 2021 - Conference Proceedings, Moscow, 11–12 ноября 2021 года. – Moscow, 2021. – DOI 10.1109/TIRVED53476.2021.9639169. – EDN SLYZZI.
3. Gallas, Dawid & Stobnicki, Paweł & Jakuszko, Wojciech & Urbański, Patryk & Kikut, Justyna. (2023). Application of alternative drive systems in modern special-purpose rail vehicles. WUT Journal of Transportation Engineering. 136. 23-33. 10.5604/01.3001.0016.3417.
4. Luo, Hongqi & Liu, Xia & Wang, Po. (2021). Analysis on safety status of special purpose motor vehicles in defined fields. Journal of Physics: Conference Series. 1965. 012133. 10.1088/1742-6596/1965/1/012133.
5. Sainati, Tristano & Locatelli, Giorgio & Smith, N. J & Brookes, Naomi & Olver, Graham. (2020). Types and functions of special purpose vehicles in infrastructure megaprojects. International Journal of Project Management. 38. 10.1016/j.ijproman.2020.05.002.
6. Viktorov, F. Airfield Sweeper-Brush Machine Design Operability and Reliability Estimation / E. Zhuravlev, V. Ershov, A. 3v, V. Erpulev // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). 2022. pp. 1-8. doi:10.1109/TIRVED56496.2022.9965471.
7. Zhuravlev, E. New Generation Aerodrome Washing Machine Technological Indicators Estimation / E. Zhuravlev, F. Viktorov, V. Ershov, D. Taldykin // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). 2022. pp. 1-4, doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965500.

8. Автомобиль Урал-6370 и его модификации 6370-3902035 РЭ (издание второе). – Миасс: УралАЗ, 2013. – 24 с.
9. Акулов, А. А. Конструкция продувочной установки специального автомобиля / А. А. Акулов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2023. – № 1(75). – С. 41-42.
10. Акулов, А. А. Определение рабочих параметров продувочной установки специального автомобиля / А. А. Акулов, М. Ю. Карелина, В. В. Гулый // Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 267-269. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_267.
11. Арифиллин, И. В. Оптимизация технического обслуживания автомобилей (на примере аэродромных машин) с использованием основ логистических принципов доставки запасных частей / И. В. Арифиллин // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 3(56). – С. 218-220. – EDN WHFEFV.
12. Арифиллин, И. В. Оптимизация технического обслуживания автомобилей (на примере аэродромных машин) с использованием основ логистических принципов доставки запасных частей / И. В. Арифиллин // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 3(56). – С. 218-220.
13. Артемьев К. А. Дорожные машины. Т. 2: Машины для устройства дорожных покрытий. / К. А. Артемьев, Т. В. Алексеева, В. Г. Белокрылов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 324 с.
14. Артюнин, А. И. Моделирование и оптимизация динамики аэродромной уборочной машины / А. И. Артюнин, В. П. Жаров, А. Т. Рыбак // Проблемы механики современных машин: Материалы третьей международной конференции, Улан-Удэ, 21–27 июня 2006 года. Том 3. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 2006. – С. 130-136.
15. Асанов, А. А. Технологии и оборудование для содержания зимних дорог и аэродромов в Арктике / А. А. Асанов, С. П. Ереско, В. Г. Жубрин, С. А. Трофимова // Арктика 2019: традиции, инновации, экология, безопасность,

проблемы коренных малочисленных народов : Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 17–18 мая 2019 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – С. 42-45.

16. Аэродромная плужно-щеточная – продувочная машина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstats.aero/bsa2r.pdf> (дата обращения 12.12.2022).

17. Базров, Б. М. Наукоемкие технологии в машиностроении / Б. М. Базров, В. Ф. Безъязычный, Ю. С. Авраамов [и др.]. – М.: Научно-техническое издательство "Машиностроение", 2012. – 528 с.

18. Баловнев, В. И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины (определение параметров и выбор): учеб. пособие для вузов / В. И. Баловнев. – Омск: Омский дом печати, 2006. – 320 с.

19. Баловнев, В. И. Подметально-уборочные машины / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 9. – С. 13-20.

20. Баловнев, В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы: учеб. для ВУЗов по специальности «Строительные и дорожные машины» / В. И. Баловнев, А. Б. Ермилов, А. Н. Новиков [и др.]; Под общ. ред. В. И. Баловнева. – М.: Машиностроение, 1988. – 384 с.

21. Баловнев, В.И. Обработка и планирование эксперимента при исследовании дорожных машин: учебное пособие / В.И. Баловнев, Ю.В. Завадский, В.Ю. Мануйлов. – М.: МАДИ, 1983. – 59 с.

22. Баловнев, В.И. Подметально-уборочные машины. Устройство, основы расчёта: учеб. пособие / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, Н.Д. Селиверстов; под общ. ред. Г.В. Кустарёва. – М.: МАДИ, 2016. – 144 с.

23. Баурова, Н. И. Технологическая наследственность и идентификация технологических процессов / Н. И. Баурова, В. А. Зорин, В. М. Приходько // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2015. – № 2. – С. 2-7.

24. Белов, А. И. Анализ рынка подметательно-уборочных машин / А. И. Белов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2017 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 2550-2555.

25. Белякова, Е. В. Развитие наземной авиатранспортной инфраструктуры аэропортов Красноярского края / Е. В. Белякова, А. А. Рыжая, Ю. В. Маховикова // Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 23 октября 2020 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2020. – С. 153-157.

26. Болдин, А. П. Особенности технической эксплуатации автомобилей специального назначения / А. П. Болдин, В. И. Сарбаев, А. С. Чусова // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий : Сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 95-летию юбилею доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ Авдоськина Фёдора Николаевича (1923-1996), Саратов, 01–03 ноября 2018 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2018. – С. 75-79.

27. Бояркина, Е. Ф. Расход топлива снегоуборочными автомобилями аэропортов при работе навесного оборудования / Е. Ф. Бояркина, И. Ф. Шакиров // Научное обозрение. – 2016. – № 2. – С. 70-73.

28. Вахламов, В. К. Автомобили: конструкция и элементы расчета : учебник : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" направления подготовки "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / В. К. Вахламов ; В. К. Вахламов. – 2-е изд.. – Москва :

Академия, 2008. – (Высшее профессиональное образование. Транспорт). – ISBN 978-5-7695-5267-0. – EDN QNVKUJ.

29. Вольская, Н. С. Конструкции приводов и распределительных механизмов современных автомобилей : учебно-методическое пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" / Н. С. Вольская, Е. Ю. Ширяева, О. И. Чудаков ; Н. С. Вольская, Е. Ю. Ширяева, О. И. Чудаков ; Федеральное агентство по образованию, Московский гос. индустриальный ун-т. – Москва : Изд-во МГИУ, 2010. – 32 с. – ISBN 978-5-276-01927-7. – EDN QNXJDZ.

30. Вшивков, Ю. Ф. Методика вычислительного эксперимента на основе ANSYS по определению аэродинамических характеристик тела при отрывном обтекании / Ю. Ф. Вшивков, Е. А. Галушко, С. М. Кривель // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 7(138). – С. 207-222. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-7-208-222.

31. Гайнутдинов, В. Г. Поиск рациональных конструктивных параметров с применением метода конечных элементов / В. Г. Гайнутдинов, Е. В. Касумов // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности : Международная научно-практическая конференция, Казань, 05–08 августа 2014 года. Том I. – Казань: Изд-во Казанского государственного технического университета-КАИ, 2014. – С. 67-70.

32. Ганькин, Ю. А. Основы теории автотракторных двигателей: Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям "Механизация сельского хозяйства", "Сервис и техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования в сельском хозяйстве" / Ю. А. Ганькин, М. Ю. Карелина, В. А. Кравченко, В. Г. Яровой. – Москва : Издательство РГАЗУ, 1997. – 304 с.

33. Генсон, Е. М. Повышение эффективности перевозки твердых коммунальных отходов путем улучшения топливной экономичности специальных автомобилей в технологическом режиме эксплуатации : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Генсон Евгений Михайлович, 2017. – 128 с. – EDN QKXPQN.

34. Гриб, В. В. Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем / В. В. Гриб, М. Ю. Карелина, И. М. Петрова, М. А. Филимонов // Современные проблемы теории машин. – 2013. – № 1. – С. 77-79.

35. ГСН 81-05-02-2007 Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время [Текст]. – Взамен ГСН 81-05-02-2001. – Рекомен. к примен. 28.03.07. – М.: Росстрой, 2007. – 66 с. – (Государственные сметные нормы).

36. Гусев Л.М. Борьба со скользкостью обледеневших дорог. Издание второе, переработанное и дополненное. – Москва, 1959. – 121 с.

37. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980. – 595 с.

38. Дмитриев, А. Ю. Вакуумная подметально-уборочная машина на шасси Scania / А. Ю. Дмитриев // Твердые бытовые отходы. – 2011. – № 10(64). – С. 46-47.

39. Дорожные машины: в 2-х частях. Часть 2. Машины для устройства дорожных покрытий / К.А. Артемьев, Т.В. Алексеева, Р.И. Бромберг [и др.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 414 с.

40. Доценко, А. И. Коммунальные машины и оборудование: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 653500 "Стр-во" / А. И. Доценко. – М.: Архитектура-С, 2005. – 343 с.

41. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М.: Академия, 2009. – 496 с.

42. Евграфов, А. Н. Расчет параметров нижнего обтекателя моторного отсека автомобиля / А. Н. Евграфов, А. Б. Журов, Е. В. Ильин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 2(11). – С. 76-78.
43. Евтюков, С. А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог [Электронный ресурс] / С. А. Евтюков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – Режим доступа: <http://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=6099> (дата обращения: 12.01.2023).
44. Ейвин, П. С. К вопросу о методике аэродинамического расчета нагнетающих пневмотранспортных установок / П. С. Ейвин, Т. П. Турчанинова // . – 2014. – № 5. – С. 15-17.
45. Ермилов, А. Б. Расчет и проектирование машин для летнего содержания дорог: Учеб. пособие / А. Б. Ермилов // Моск. автомоб.-дор. ин-т. - Москва: МАДИ, 1988. - 89 с.
46. Ермилов, А.Б. Расчет и проектирование снегоочистителей / А.Б. Ермилов. – М.: МАДИ, 1989. – 106 с.
47. Жданов, А.В. Обоснование основных конструктивных параметров гидравлических рулевых механизмов строительных и дорожных машин с шарнирно сочлененной рамой: автореф...дис. кан. техн. наук. – Омск: 2007. – 21 с.
48. Железнов, Е. И. Автомобили. Анализ конструкций и основы расчета / Е. И. Железнов. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 96 с. – ISBN 978-5-9948-2862-5. – EDN ХМКЕGL.
49. Желукевич, Р. Б. Машины и агрегаты для содержания аэродромов: учебное пособие / Р. Б. Желукевич [и др.] // Сиб. федер. ун-т, Ин-т нефти и газа. - 2-е изд., перераб. и доп. - Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
50. Жулай, В. А. Строительные машины. сборник расчетных работ : учеб. пособие / В. А. Жулай. – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 2009. – 97 с.

51. Ильичев, В. Ю. Визуализация масштабируемых 3D-моделей с помощью модуля Matplotlib для Python / В. Ю. Ильичев, Н. В. Гридчин // Системный администратор. – 2020. – № 12(217). – С. 86-89.

52. Карелина, М. Ю. Импортотамещающая технология восстановления и упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин / М. Ю. Карелина, Н. В. Титов, А. В. Коломейченко [и др.] // . – 2015. – № 8. – С. 34-37.

53. Карелина, М. Ю. Основные направления повышения эксплуатационных характеристик продувочной установки специального автомобиля / М. Ю. Карелина, А. А. Акулов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2023. – № 1(72). – С. 95-101.

54. Карелина, М. Ю. Повышение долговечности и экономичности силовых установок и передач модифицированием соединений поверхностно-активными веществами: специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Карелина Мария Юрьевна. – Москва, 2016. – 22 с.

55. Карелина, М. Ю. Электронные системы управления работой дизельных двигателей / М. Ю. Карелина, И. Н. Кравченко, А. В. Коломейченко [и др.]. – М.: Издательский Дом "Инфра-М", 2017. – 160 с. – ISBN 978-5-16-012067-6.

56. Касаткин, Т. А. Сравнение аналитических методик аэродинамического расчета / Т. А. Касаткин // Инновации в науке, производстве и образовании. ИНПО - 2014 : сборник трудов III Международная научно-практическая конференция, Рязань, 13–14 октября 2014 года / Ответственный редактор: К.Н. Гаврилов, В.А. Степанов. – Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 2014. – С. 74-77.

57. Касумов, Е. В. Методика поиска рациональных конструктивных параметров с применением метода конечных элементов / Е. В. Касумов // Ученые записки ЦАГИ. – 2015. – Т. 46, № 2. – С. 63-79.

58. Конструкция, технология и производство автомобильной техники : Межвузовский сборник научных трудов. – Москва : Московский автомобилестроительный институт, 1990. – 148 с. – EDN PVBKOR.

59. Корчагин, А. В. Динамика аэродромной уборочной машины: специальность 01.02.06 "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корчагин Андрей Валерьевич. – Ростов-на-Дону, 2007. – 18 с.

60. Ксенович, И. П. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет: учебник для вузов / И. П. Ксенович, В. В. Гуськов, Н. Ф. Бочаров. – М.: Машиностроение, 1991. – 544 с.

61. Куксов, М.П. Определение рациональных режимов работы малогабаритной коммунальной машины для летнего содержания территорий с твердым покрытием: диссертация ... кандидата Технические науки: 05.05.04 / Куксов Максим Петрович; [Место защиты: ФГБОУ ВО Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)], 2017.- 127 с.

62. Лепеш А.Г. Имитационное моделирование рабочего процесса коммунальной уборочной техники // Техничко-технологические проблемы сервиса. №3(17), 2011г. с. 32-41.

63. Лобов, А. О. Разработка подметально-уборочной машины на базе автомобиля газ 3307 для уборки придорожных территорий / А. О. Лобов, И. М. Фархутдинов, М. М. Ямалетдинов // Приоритетные направления инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений в АПК : Материалы международной студенческой научно-практической конференции, Рязань, 17 февраля 2021 года. – Рязань: Рязанский

государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 74-77.

64. Ложкин, В. Н. Совершенствование методов обеспечения безопасности при эксплуатации транспортных средств специального назначения / В. Н. Ложкин, Б. В. Гавкалюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. – № 3(55). – С. 85-89.

65. Мальцев, С. А. Совершенствование технологии диагностирования щеточного узла тяговых электродвигателей / С. А. Мальцев // Труды 78-й студенческой научно-практической конференции РГУПС, Воронеж, 19 апреля 2019 года. Том Часть 4. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2019. – С. 58-59. – EDN OPVLQQ.

66. Мамбеталин, К. Т. Практикум по конструкции автомобилей : учебное пособие / К. Т. Мамбеталин, С. С. Сайдуллозода, Д. В. Козьминых ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Факультет Автотракторный, Кафедра Колесные и гусеничные машины. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 138 с. – EDN IYKKZP.

67. Проектирование конструкции автомобиля на основе поиска оптимальных путей нагружения с помощью топологической оптимизации распределения материала / Р. Р. Фасахов, Н. А. Харалдин, М. В. Алешин [и др.] // Неделя науки СПбПУ : Материалы научной конференции с международным участием. Институт передовых производственных технологий, Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – С. 32. – EDN YQHGEV.

68. Мандровский, К. П. Технико-экономическая оценка и анализ эффективности эксплуатации отечественных и зарубежных машин для

распределения противогололёдных реагентов / К. П. Мандровский, Я. С. Садовникова // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 1(56). – С. 63-70.

69. Машина CJS – это сочетание непревзойденной производительности... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aebi-schmidt.com/ru/produktsiya/schmidt/podmetalno-produvochnye-mashiny/cjs/> (дата обращения 03.12.2022).

70. Мерданов, Ш.М. Разработка комплекса снегоуборочных машин. / Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, Н.В. Петелина // В сборнике: Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов, посвященной 50-летию создания Тюменского индустриального института. ответственный редактор А. Л. Портнягин. 2013. С. 145-147.

71. Мещеряков, В. И. Инновационные подходы выбора способа подготовки взлетно-посадочной полосы / В. И. Мещеряков, В. Н. Черных, В. С. Заплешников, В. И. Назарова // Организационно-экономические и управленческие аспекты функционирования и развития социально-экономических систем в условиях инновационной экономики: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 16 мая 2017 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2017. – С. 94-99.

72. Мнишко, В. В. Проблемы развития наземной инфраструктуры гражданской авиации / В. В. Мнишко // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2011. – № 170. – С. 79-88.

73. Немков М. В. Корректирование нормативов ресурса двигателей специальных автомобилей в зависимости от режимов эксплуатации: автореф...дис. кан. техн. наук. – Тюмень: 2005. – 19 с.

74. Немков, М. В. Влияние режимов эксплуатации на ресурс двигателей специальных автомобилей / М. В. Немков // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин: Доклады международной научно-технической конференции, Тюмень, 19 апреля 2006 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2006. – С. 141-143.

75. Новиков, М. А. Совершенствование методов снижения вибрационной нагруженности (активности) сложных уборочных машин, работающих в системе "человек-машина-окружающая среда" / М. А. Новиков, Д. В. Бутусов, П. О. Артюшин, А. Н. Перекопский // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 4-й научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25–26 мая 2005 года. Том 2. – Санкт-Петербург: Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005. – С. 282-287.

76. Основы конструкции автомобилей / В. А. Сологуб, Е. В. Бондаренко, И. И. Любимов, С. Б. Цибизов. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2008. – 167 с. – ISBN 978-5-7410-0842-3. – EDN SXRXEV.

77. Гончаров, Р. Б. Совершенствование конструкций кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования для обеспечения требований пассивной безопасности при ударе и минимизации массы / Р. Б. Гончаров, В. Н. Зузов // Труды НАМИ. – 2019. – № 4(279). – С. 28-37. – EDN XXVGQA.

78. Павлов, С. А. Техника и технология содержания аэродромов в зимний период: учебное пособие / С. А. Павлов, А. М. Погонина. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – 246 с.

79. Паршина, С. Л. Анализ перспективных технологий обслуживания взлетно-посадочных полос аэродромов / С. Л. Паршина, И. О. Князева, Д. В.

Макаренко, М. В. Сафронов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 3, № 13. – С. 92-94.

80. Плетнев, М. Г. Расчет геометрических характеристик конструкции отвала комплекса аэродромных машин нового поколения / М. Г. Плетнев, Е. В. Субачев, Е. С. Смолко // XVI Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : Материалы Всероссийской научной конференции. В 3-х томах, Вологда, 29 ноября 2022 года / Главный редактор М.М. Караганова. Том 1. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 110-114.

81. Погонина, А. М. Обзор рынка аэродромных щёточно-продувочных машин / А. М. Погонина, А. В. Горшков, В. А. Долженков //. – 2021. – № 12. – С. 26-30.

82. Приходько, В. М. Инновационные разработки МАДИ для транспортного строительства / В. М. Приходько, Ю. Э. Васильев // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 12. – С. 37-40.

83. Пузанков, А. Г. Автомобили. Конструкция, теория и расчет : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / А. Г. Пузанков ; А. Г. Пузанков. – 2-е изд., перераб.. – Москва : Издат. центр "Академия", 2010. – (Среднее профессиональное образование. Транспортные средства). – ISBN 978-5-7695-7281-4. – EDN QNWSSR.

84. Руководство по аэропортовым службам. Часть 2. Состояние поверхности покрытия. Дос 9137 AN/898 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostrf.com/normativ/1/4293835/4293835984.htm> (дата обращения 11.12.2022).

85. 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.

86. 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.

87. 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.

88. 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.

89. 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты проведения эксплуатационных испытаний щеточного узла

Испытание	Этап испытания	Требования	Соответствие предъявляемым требованиям
Высота подъема щеточного узла в транспортном положении	Транспортное положение	Высота не менее 200 мм от щетки до поверхности	✓
	Рабочее положение	Прижим к дорожному полотну	✓
	Транспортное положение	Высота не менее 200 мм от щетки до поверхности	✓
Проверка системы управления и функционирования подъем-опускания и поворота щетки центральной	Транспортное положение	Щетка должна находиться в транспортном положении	✓
	Рабочее положение	Система управления перевела щетку в рабочее положение	✓
	Поворот щетки влево	Система управления совершила поворот щетки влево	✓
	Поворот щетки вправо	Система управления совершила поворот щетки вправо	✓
	Транспортное положение	Система управления перевела щетку в транспортное положение	✓
Проверка угла поворота щетки центральной	Транспортное положение	Щетка должна находиться	✓
	Поворот щетки влево	Поворот влево не менее чем на 126°	✓
	Поворот щетки вправо	Поворот вправо не менее чем на 126°	✓
Проверка система управления и функционирования прижима кожуха	Транспортное положение	Кожух не прижат	✓
	Рабочее положение	Кожух прижат	✓
Проверка системы управления и функционирования вращения щетки центральной	Транспортное положение	Щетка не вращается	✓
	Рабочее положение при 200 об/мин	Щетка вращается 200 об/мин $\pm 15\%$	✓
	Рабочее положение при 500 об/мин	Щетка вращается 500 об/мин $\pm 15\%$	✓
	Транспортное положение	Щетка не вращается	✓

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акты внедрения



Бесплатный номер: 8-800-550-7377
(3513) 265-005 факс: 265-005
sp.agregat@zavodsa.ru www.zavodsa.ru

ООО "Завод СпецАгрегат" Россия, 456304, г. Миасс, ул. 8 Июля 10а,
Производственная площадка: г. Миасс, Обьездная дорога 2/17
ИНН 7448069375, КПП 741501001
р/с 40702810872090107345 в Отделении №8597
Сбербанка России г. Челябинск к/с 30101810700000000602
БИК 047501602 ОГРН 1057422041005

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Никитина Дмитрия Александровича

на тему: «Повышение эксплуатационных показателей специального автомобиля за счет совершенствования навесного оборудования»

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационной работы Никитина Дмитрия Александровича на тему «Повышение эксплуатационных показателей специального автомобиля за счет совершенствования навесного оборудования» были использованы при подготовке отчетов за 2020-2022 года в рамках постановления Правительства РФ № 218 «Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств» при выполнении НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства комплекса аэродромных машин нового поколения» (Заявка №2020-218-12-8882, № соглашения 075-11-2020-037 от 18.12.2020г., заключенного с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации). Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Грантодатель) выделило денежные средства ООО «Завод СпецАгрегат» (Получателю субсидии) на выполнение работ в целях создания высокотехнологичного производства комплекса аэродромных машин нового поколения.

Личный вклад соискателя Никитина Дмитрия Александровича заключается в разработке раздела 4.3 «Расчет щетки» пояснительной записки к договору №175/20 от 19.10.2020 г. «Машина аэродромная поливомоечная АПММ-00.00.00.000 ПЗ01». На основе главы 2 и главы 3 диссертационной работы, в которых предложен метод повышения эксплуатационных параметров специального автомобиля и оптимизации режимов работы щеточного узла специального автомобиля, определены параметры трудоемкости ТО и ТР при установке на базовое шасси навесного оборудования и рациональное значение износа ворса щеточного узла при своевременной замене которого обеспечивается сохранение производительности и эффективности рабочего процесса.

Генеральный директор



— Е.В. Субачев

20.11.2023



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УПРАВЛЕНИЯ (ГУУ)
STATE UNIVERSITY OF MANAGEMENT

109542, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 99
ИНН 7721037218 КПП 772101001
+7 (495) 377-89-14, inf@guu.ru
guu.ru

99 Ryazansky Prospekt, Moscow, 109542
+7 (495) 377-89-14, inf@guu.ru
guu.ru

8415 / УА от 21.12.2023
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор

Государственного университета
управления,
кандидат экономических наук, доцент
Д.Ю. Брюханов



« 21 » 12 2023 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Никитина Дмитрия Александровича

на тему «Повышение эксплуатационных показателей специального автомобиля
за счет совершенствования навесного оборудования»
по научной специальности

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)

Настоящим актом подтверждаем, что полученные в диссертационной работе Никитина Д.А. на тему «Повышение эксплуатационных показателей специального автомобиля за счет совершенствования навесного оборудования» результаты с 2022 года по настоящее время были внедрены и используются в учебном процессе на кафедре управления транспортными комплексами при подготовке бакалавров по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» образовательная программа «Управление транспортными системами» в рамках дисциплины «Основы технологий», а также при подготовке магистров по направлению подготовки 38.04.02 «Менеджмент», образовательная программа «Транспорт и логистика» в рамках дисциплины «Современные транспортно-логистические технологии».

В частности результаты работы используются в проектной и практической работе студентов в части подготовки тематических проектов и выполнению

семестровых заданий по разработке рекомендаций по повышению эффективности управления парком специализированного подвижного состава, совершенствованию системы эксплуатации автомобильной техники, выявлении особенностей механизма взаимодействия в системе «специальный автомобиль-внешняя среда», что позволило повысить вовлеченность студентов в практико-ориентированные проекты и обеспечить высокий уровень подготовки специалистов для задач реального сектора экономики.

Заведующий кафедрой управления
транспортными комплексами,
доктор экономических наук,
профессор



А.А.Степанов

УТВЕРЖДАЮ

Проректор федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Государственный
университет управления», к.э.н., доцент



Д.Ю.Брюханов

2025 г.

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационного исследования
в учебный процесс**

Основные положения и методические разработки диссертационного исследования Никитина Дмитрия Александровича на тему «Повышение эксплуатационных показателей специального автомобиля за счет совершенствования навесного оборудования», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.9.5. - Эксплуатация автомобильного транспорта, внедрены в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет управления».

Результаты диссертационной работы были использованы 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»).

Заместитель заведующего кафедрой
управления транспортными комплексами

А.А. Степанов