

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование кафедры)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Модернизация конструкции главного тормозного цилиндра транспортного  
средства специального назначения БЕЛАРУС-3022

Обучающийся

А.Е. Нестеров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

канд. техн. наук, доцент А.С. Тизиллов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

## **Аннотация**

Дипломная работа посвящена исследованию и совершенствованию конструкции главного тормозного цилиндра для специализированного транспортного средства - колесного трактора БЕЛАРУС-3022. Ключевой целью проведенного исследования выступает повышение эффективности и надежности тормозной системы указанной модели сельскохозяйственной техники.

Пояснительная записка к проекту имеет структуру, включающую вводную часть, шесть глав, завершающие выводы, библиографический перечень и дополнительные приложения. Общий объем сопроводительной документации достигает 88 страниц печатного текста вместе с приложениями.

Визуальное представление проекта реализовано через 10 чертежей формата A1, которые были созданы с использованием средств автоматизированного проектирования, в частности программного комплекса КОМПАС-3D. Все разработанные материалы в полной мере соответствуют положениям утвержденного технического задания.

Начальный раздел исследования сосредоточен на комплексном анализе областей использования колесных тракторных агрегатов, их рабочих параметров и возможных путей оптимизации. Особое внимание уделено рассмотрению существующих типов тормозных систем и принципов их классификации. Последующий этап работы включает выполнение тягово-динамических расчетов. Далее представлена разработка инновационной конструкции гидрообъемного тормозного привода с выполнением необходимых расчетов его рабочих элементов. Далее рассматриваются технологические аспекты сборки усовершенствованной тормозной системы, включая разработку соответствующего технологического процесса.

## **Abstract**

Research and Improvement of the Main Brake Cylinder Design for a Specialized Vehicle - BELARUS-3022 Wheel Tractor

The graduation thesis focuses on researching and improving the design of the main brake cylinder for a specialized vehicle - the BELARUS-3022 wheel tractor. The key objective of the study is to enhance the efficiency and reliability of the brake system in this particular model of agricultural machinery.

The explanatory note for the project follows a structured format, comprising an introduction, six main chapters, concluding remarks, a bibliography, and supplementary appendices. The total volume of accompanying documentation amounts to 88 pages of printed text, including appendices.

The visual representation of the project is presented through 10 A1-format drawings, created using computer-aided design (CAD) tools, specifically the KOMPAS-3D software suite. All developed materials fully comply with the requirements outlined in the approved technical specifications.

The initial section of the research is dedicated to a comprehensive analysis of the applications of wheeled tractor units, their operational parameters, and potential optimization methods. Particular attention is given to examining existing types of brake systems and their classification principles.

The subsequent phase of the work involves performing traction and dynamic calculations. Following this, the development of an innovative hydrostatic brake drive design is presented, including the necessary calculations of its working components.

The study then explores the technological aspects of assembling the upgraded brake system, including the development of the corresponding manufacturing process.

Let me know if you would like me to refine or adjust any part of this translation.

## Содержание

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                                                                             | 5   |
| 1 Состояние вопроса .....                                                                                 | 7   |
| 1.1 Анализ использования транспортных средств.....                                                        | 7   |
| 1.2 Эксплуатационные свойства колесных тракторов и пути их повышения<br>.....                             | 9   |
| 1.3 Типы тормозных систем транспортных средств специального<br>назначения.....                            | 12  |
| 2 Тягово-динамический расчет транспортного средства.....                                                  | 23  |
| 3 Конструкторская часть .....                                                                             | 40  |
| 3.1 Исходные данные транспортного средства.....                                                           | 40  |
| 3.2 Анализ патентных исследований тормозных систем.....                                                   | 53  |
| 3.3 Рабочая схема и принцип работы трактора Беларусь-3022 с<br>модернизированной тормозной системой ..... | 58  |
| 3.4 Расчет элементов конструкции.....                                                                     | 62  |
| 4 Технологический раздел дипломного проекта .....                                                         | 69  |
| 4.1 Выбор технологического процесса сборки тормозной системы .....                                        | 71  |
| 4.2 Разработка технологического процесса сборки модернизированной<br>тормозной системы .....              | 76  |
| 5 Производственная и экологическая безопасность проекта .....                                             | 82  |
| 5.1 Характеристика технологического процесса .....                                                        | 83  |
| 5.2 Идентификация профессиональных рисков.....                                                            | 85  |
| 5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....                                              | 88  |
| 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....                                           | 95  |
| 6 Экономическая эффективность проекта.....                                                                | 103 |
| Заключение .....                                                                                          | 111 |
| Список используемой литературы и используемых источников.....                                             | 112 |

## **Введение**

Современные транспортные средства специального назначения, к которым относится колесный трактор БЕЛАРУС-3022, предъявляют высокие требования к надежности и эффективности тормозных систем. Тормозная система играет ключевую роль в обеспечении безопасности эксплуатации техники, особенно в условиях повышенных нагрузок и сложных дорожных условий. Одним из наиболее ответственных узлов тормозной системы является главный тормозной цилиндр (ГТЦ), от исправности которого напрямую зависит работоспособность всей системы.

В настоящее время развитие машиностроения направлено на повышение долговечности, ремонтпригодности и эффективности компонентов транспортных средств. Однако, несмотря на применение современных технологий, конструкции тормозных систем некоторых моделей спецтехники, включая БЕЛАРУС-3022, требуют дальнейшего совершенствования. Это связано с эксплуатацией в тяжелых условиях, приводящих к повышенному износу деталей, утечкам тормозной жидкости и снижению эффективности торможения.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью модернизации главного тормозного цилиндра с целью повышения его надежности, улучшения герметичности и увеличения срока службы. Существующая конструкция ГТЦ имеет ряд недостатков, таких как склонность к заклиниванию поршня, износ уплотнительных элементов и недостаточная коррозионная стойкость. Устранение этих недостатков позволит повысить безопасность эксплуатации трактора, снизить частоту обслуживания и уменьшить эксплуатационные затраты.

Целью дипломного проекта является разработка модернизированной конструкции главного тормозного цилиндра для трактора БЕЛАРУС-3022, обеспечивающей повышенную надежность и эффективность работы тормозной системы. Для достижения поставленной цели необходимо решить

следующие задачи: провести анализ существующих конструкций тормозных систем и главных тормозных цилиндров, применяемых в спецтехнике; выполнить расчеты основных параметров ГТЦ, включая усилия на педали, давление в системе и износостойкость деталей; разработать усовершенствованную конструкцию главного тормозного цилиндра с улучшенными эксплуатационными характеристиками; провести оценку технологичности и экономической эффективности предлагаемых решений; рассмотреть вопросы безопасности и экологичности модернизированной конструкции.

Объектом исследования выступает тормозная система колесного трактора БЕЛАРУС-3022, а предметом исследования – конструкция главного тормозного цилиндра и возможности ее совершенствования.

В процессе работы применялись методы инженерного анализа, компьютерного моделирования в КОМПАС-3D, а также расчетные методы определения нагрузок и напряжений в элементах конструкции. Результатом проекта стала оптимизированная конструкция ГТЦ, отличающаяся повышенной надежностью и адаптированная к условиям интенсивной эксплуатации.

Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения разработанных решений в производство, что позволит повысить безопасность и долговечность тормозной системы трактора БЕЛАРУС-3022. Кроме того, предложенные технические решения могут быть применены при модернизации аналогичных моделей спецтехники.

Таким образом, дипломный проект направлен на решение актуальной инженерной задачи, связанной с повышением эффективности тормозных систем транспортных средств специального назначения. Результаты работы могут быть использованы как на предприятиях-производителях, так и в сервисных центрах, занимающихся обслуживанием и ремонтом спецтехники.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Анализ использования транспортных средств**

Колёсные тракторы тяговых классов 2...5 занимают важное место в сельском хозяйстве, строительстве, промышленности и других сферах. Их отличает универсальность, высокая манёвренность и способность работать с различным навесным и прицепным оборудованием. Тяговый класс трактора определяет его мощность и сферу применения: модели классов 2...5 обладают достаточной силой тяги для выполнения широкого спектра задач, от пахоты и посева до дорожно-строительных работ.

Колёсные тракторы тяговых классов 2...5 широко применяются в агропромышленном комплексе. Они используются для выполнения основных сельскохозяйственных операций, таких как вспашка, боронование, посев, культивация и уборка урожая. Благодаря высокой скорости передвижения по дорогам общего пользования они обеспечивают быструю переброску между полями, что особенно важно в условиях крупных хозяйств.

Тракторы класса 2 (например, МТЗ-80/82) часто задействуются на легких почвах и при работе с малогабаритной техникой. Более мощные модели классов 3...5 (такие как John Deere 6000 серии или Case IH Magnum) применяются на тяжелых грунтах и при обработке больших площадей. Их оснащают широкозахватными орудиями, что повышает производительность.

Важным преимуществом колёсных тракторов является их совместимость с современными системами точного земледелия. Навигационное оборудование и автоматизированное управление позволяют оптимизировать маршруты движения, снижая расход топлива и повышая точность выполнения операций.

Помимо сельского хозяйства, колёсные тракторы тяговых классов 2...5 активно применяются в строительстве и дорожной отрасли. Они выполняют функции базовых машин для бульдозерного, погрузочного и транспортного

оборудования. Благодаря высокой манёвренности они эффективны на ограниченных пространствах строительных площадок.

Тракторы средних классов (3...4) часто оснащаются фронтальными погрузчиками, что делает их универсальными помощниками при погрузке сыпучих материалов, расчистке территорий и планировке грунта. В дорожном строительстве они используются для транспортировки дорожных катков, асфальтоукладчиков и другой техники.

Отдельное направление – коммунальное хозяйство, где колёсные тракторы применяются для уборки улиц, перевозки мусора и выполнения других работ. Их преимущество перед гусеничными моделями заключается в меньшем повреждении дорожного покрытия и возможности передвижения по асфальту без дополнительных ограничений.

В промышленности колёсные тракторы используются в качестве тягачей, а также для перемещения тяжелых грузов на складах и производственных площадках. В лесном хозяйстве они задействуются для трелевки древесины, особенно в условиях, где применение гусеничной техники затруднено.

Особую роль играют тракторы в специальных модификациях, например, оснащенные противопожарным оборудованием или системами для работы в болотистой местности. Их применяют в МЧС, нефтегазовой отрасли и других сферах, где требуется высокая проходимость и надежность.

Современные тенденции в развитии колёсных тракторов включают переход на более экологичные двигатели (электрические и гибридные), внедрение систем автономного управления и дальнейшее повышение энергоэффективности. Увеличение комфорта для оператора за счет улучшенной эргономики кабины также остается важным направлением.

Колёсные тракторы тяговых классов 2...5 являются незаменимой техникой в сельском хозяйстве, строительстве, промышленности и других отраслях. Их универсальность, манёвренность и способность работать с различным оборудованием делают их востребованными в самых разных

условиях. Дальнейшее развитие данной техники связано с автоматизацией, снижением экологической нагрузки и повышением производительности, что открывает новые перспективы для их применения.

## **1.2 Эксплуатационные свойства колесных тракторов и пути их повышения**

Колесные тракторы занимают важное место в современном сельском хозяйстве, строительстве и других отраслях благодаря своей универсальности, манёвренности и способности выполнять широкий спектр задач. Однако эффективность их использования напрямую зависит от эксплуатационных свойств, которые определяют производительность, надежность и экономичность техники.

Эксплуатационные свойства колесных тракторов включают в себя тягово-сцепные характеристики, топливную экономичность, проходимость, устойчивость, управляемость, долговечность, ремонтпригодность и комфортность работы оператора. Эти параметры оказывают непосредственное влияние на качество выполнения работ и себестоимость продукции. «Особое внимание уделяется инновационным решениям в области конструкции ходовой части, трансмиссии, двигателей и систем управления, которые позволяют повысить эффективность использования тракторов в различных условиях» [10, 19].

Эксплуатационные свойства колесных тракторов формируются под влиянием множества факторов, включая конструктивные особенности, качество изготовления и условия эксплуатации. «Одним из ключевых показателей является тягово-сцепная характеристика, которая определяет способность трактора эффективно передавать мощность двигателя на ведущие колеса» [7, 20].

Топливная экономичность, характеризующая расход топлива на единицу выполненной работы, это показатель напрямую влияет на

эксплуатационные затраты и экологическую составляющую работы техники. Современные тракторы оснащаются системами оптимизации режимов работы двигателя, позволяющими снизить расход топлива без потери мощности.

Проходимость и устойчивость трактора зависят от конструкции ходовой части, распределения веса по осям и типа используемых шин. Управляемость машины определяет точность выполнения операций и удобство работы оператора, что особенно важно при использовании трактора с различными видами навесного оборудования.

«Долговечность и ремонтпригодность являются критически важными свойствами, влияющими на срок службы техники и затраты на ее содержание. Современные производители уделяют особое внимание повышению ресурса деталей и упрощению процедур технического обслуживания» [21].

На эксплуатационные свойства колесных тракторов оказывают влияние как конструктивные, так и внешние факторы. К первым относятся параметры двигателя, трансмиссии, ходовой части и системы управления. Внешние факторы включают в себя условия эксплуатации, качество обслуживания и квалификацию оператора.

Особое значение имеет правильный выбор шин для колесных тракторов. «Шины должны обеспечивать оптимальное сцепление с почвой, минимальное уплотнение грунта и высокую износостойкость. Современные разработки в этой области позволяют значительно улучшить тяговые характеристики и снизить негативное воздействие на почву.

Качество и своевременность технического обслуживания также играют важную роль в поддержании эксплуатационных свойств. Регулярная замена фильтров, контроль уровня рабочих жидкостей и диагностика основных систем позволяют предотвратить преждевременный износ деталей и сохранить высокую производительность техники» [15, 18].

Современные тенденции в повышении эксплуатационных свойств

колесных тракторов связаны с внедрением инновационных технологий и материалов. «Одним из перспективных направлений является использование электронных систем управления, которые оптимизируют работу всех агрегатов трактора в зависимости от условий эксплуатации. Улучшение тягово-сцепных характеристик достигается за счет применения систем автоматического изменения давления в шинах и использования новых типов протекторов. Развитие технологий полного привода и блокировок дифференциалов позволяет значительно повысить проходимость тракторов без увеличения их массы. Повышение топливной экономичности осуществляется через совершенствование систем впрыска топлива, применение турбонаддува и использование гибридных силовых установок. Эти решения не только снижают расход топлива, но и уменьшают вредные выбросы в атмосферу» [16, 17].

Увеличение долговечности достигается за счет применения новых материалов с повышенной износостойкостью, улучшенных технологий термообработки деталей и использования защитных покрытий. Особое внимание уделяется упрощению конструкции узлов и агрегатов для облегчения их обслуживания и ремонта.

Будущее развитие колесных тракторов связано с дальнейшей автоматизацией процессов управления и внедрением элементов искусственного интеллекта. «Системы автономного вождения уже начинают применяться в некоторых моделях, что позволяет повысить точность выполнения операций и снизить утомляемость оператора. Еще одним перспективным направлением является разработка электрических и водородных тракторов, которые смогут полностью исключить вредные выбросы в атмосферу» [19, 27]. Эти технологии находятся на стадии активной разработки и в ближайшие годы могут получить широкое распространение.

Эксплуатационные свойства колесных тракторов являются комплексной характеристикой, определяющей их эффективность в

различных условиях работы. Современные методы повышения этих свойств включают в себя как усовершенствование традиционных конструктивных решений, так и внедрение принципиально новых технологий.

Дальнейшее развитие колесных тракторов будет направлено на повышение их производительности, экономичности и экологичности при одновременном улучшении условий труда операторов. Внедрение инновационных решений позволит создать технику нового поколения, способную решать самые сложные задачи в сельском хозяйстве и других отраслях.

Постоянное совершенствование эксплуатационных свойств колесных тракторов является важным фактором повышения эффективности механизированных работ и снижения их себестоимости, что имеет большое значение для развития агропромышленного комплекса и других сфер экономики.

### **1.3 Типы тормозных систем транспортных средств специального назначения**

Современные тракторы представляют собой сложные технические устройства, оснащенные различными системами, обеспечивающими их безопасную эксплуатацию. Одной из важнейших среди них является тормозная система, от надежности которой напрямую зависит не только производительность машины, но и жизнь оператора, а также сохранность перевозимых грузов.

Тормозные системы тракторов прошли длительный путь эволюции от простейших механических устройств до современных сложных гидравлических и пневматических систем. Сегодня существует множество разновидностей тормозных механизмов, каждый из которых обладает своими особенностями конструкции и сферой применения.

Тормозные системы тракторов по принципу действия подразделяются на несколько основных типов. Наиболее распространенными являются механические системы, где усилие от педали передается через систему тяг и тросов непосредственно к тормозным механизмам. Такие системы отличаются простотой конструкции, но требуют значительных физических усилий от оператора.

Гидравлические системы получили широкое распространение благодаря возможности передавать значительные усилия при минимальном воздействии на педаль. В таких системах используется принцип несжимаемости жидкости, что позволяет эффективно передавать усилие на все колеса машины. Современные гидравлические системы часто оснащаются усилителями, значительно облегчающими управление.

Пневматические тормозные системы преимущественно применяются на тяжелых тракторах и тракторных поездах. Их главное достоинство - возможность накопления энергии сжатого воздуха в специальных ресиверах, что обеспечивает стабильность работы даже при отказе двигателя.

Тормозные механизмы тракторов классифицируются по нескольким ключевым признакам. По месту расположения различают колесные и трансмиссионные тормоза. Колесные механизмы воздействуют непосредственно на ступицы колес, в то время как трансмиссионные устанавливаются на элементах трансмиссии.

По конструкции фрикционных элементов выделяют барабанные и дисковые тормоза. Барабанные механизмы, состоящие из колодок и вращающегося барабана, традиционно применяются на многих моделях тракторов благодаря своей надежности и простоте обслуживания. Дисковые тормоза, где сжатие осуществляется между вращающимся диском и неподвижными колодками, отличаются более стабильными характеристиками и лучшим теплоотведением.

Особую категорию составляют стояночные тормоза, предназначенные для удержания машины на стоянке. Они могут быть механическими или гидравлическими, с ручным или ножным приводом. Современные модели часто оснащаются системами автоматического включения стояночного тормоза при остановке двигателя.

На рисунке 1 представлены следующие виды тормозных систем: «рабочая, необходимая для регулирования скорости движения машины и ее плавной остановки; стояночная, которая служит для удержания машины на уклоне; запасная, срабатывающая при отказе рабочей и являющейся ее неотъемлемой частью (скомпонована с использованием общих тормозных механизмов и систем привода); вспомогательная, используемая для торможения на длинных пологих спусках (моторный тормоз, ретардер); аварийная, используется для снижения скорости или остановки прицепа в случае его обрыва» [15, 29].



Рисунок 1 – Виды тормозных систем

На сельскохозяйственных тракторах чаще всего применяются рабочая и стояночная тормозные системы.

Тормозная система состоит из тормозного механизма и его привода. Классификация тормозных механизмов приведена на рисунке 2.

Тормозной «механизм служит для создания искусственного сопротивления движению трактора или автомобиля. Наибольшее распространение получили фрикционные тормоза, принцип действия которых основан на использовании сил трения между неподвижными и вращающимися деталями. В барабанном тормозе силы трения создаются на

внутренней, цилиндрической поверхности вращения, в ленточном - на наружной, а в дисковом - на боковых поверхностях вращающегося диска» [15].



Рисунок 2 – Тормозные механизмы

Современные конструкции тормозных систем колесных транспортных средств представлены широким спектром технических решений, обладающих индивидуальными эксплуатационными характеристиками и областями использования. Основу их функционирования составляет процесс трансформации энергии движения транспортного средства в тепловую энергию посредством фрикционного взаимодействия.

С точки зрения конструктивного исполнения, все существующие тормозные устройства колесного типа можно классифицировать на две принципиально разные группы: системы барабанного и дискового типа. В случае барабанной конструкции ключевыми элементами выступают вращающийся совместно с колесом тормозной барабан и статично закрепленные колодки, оснащенные специальными фрикционными элементами. Активация тормозной системы приводит к плотному контакту рабочих поверхностей колодок с внутренней частью барабана, в результате чего возникает тормозящее усилие.

Дисковые тормозные механизмы включают в себя вращающийся диск, закрепленный на ступице, и неподвижный суппорт с тормозными колодками.

При торможении колодки сжимают диск с обеих сторон. Такая конструкция обеспечивает более эффективное охлаждение и стабильность характеристик при интенсивном использовании.

Тормозной привод служит для передачи усилия от органов управления к тормозным механизмам. В зависимости от используемого рабочего тела приводы делятся на механические, гидравлические и пневматические. Механические приводы, основанные на системе тяг и тросов, применяются в основном в стояночных тормозных системах.

Принцип работы колесных тормозных механизмов основан на создании силы трения между подвижными и неподвижными элементами системы. При нажатии на педаль тормоза в приводе создается усилие, которое передается на исполнительные механизмы. В барабанных тормозах это приводит к раздвижению колодок, а в дисковых - к сжатию колодками вращающегося диска. Эффективность торможения зависит от нескольких факторов: силы нажатия на педаль, состояния фрикционных элементов, температуры тормозных механизмов и коэффициента трения между сопрягаемыми поверхностями. Современные системы часто оснащаются устройствами, регулирующими тормозное усилие в зависимости от нагрузки на ось и условий движения.

К колесным тормозным механизмам и приводам предъявляется ряд важных требований, обеспечивающих их надежную работу. Главным из них является обеспечение необходимого тормозного момента при любых условиях эксплуатации. Система должна сохранять работоспособность при высоких температурах, попадании влаги и загрязнений.

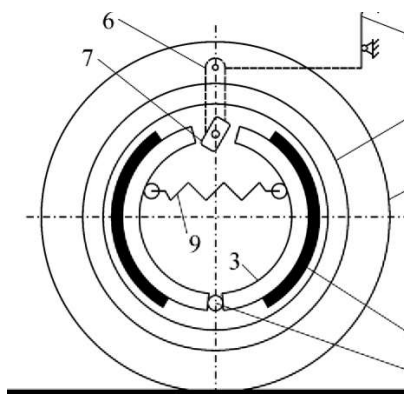
Не менее важным требованием является стабильность характеристик при многократных торможениях. Современные тормозные системы должны обладать высокой износостойкостью и длительным сроком службы фрикционных элементов. Особое внимание уделяется равномерности распределения тормозных усилий между правыми и левыми колесами, что исключает возникновение опасных ситуаций при торможении.

### Колодочные тормозные механизмы.

Колодочный тормоз состоит из «тормозного барабана 1 с ребрами охлаждения (рисунок 3), который вращается вместе с колесом 2, внутри барабана расположены две чугунные колодки 3 с фрикционными накладками 4. Колодки шарнирно укреплены на пальцах 5 опорного тормозного диска, неподвижно прикрепленного к фланцу балки заднего моста (задний тормоз) и к фланцу поворотной цапфы (передний тормоз). Тормозной барабан изготавливается из обычного или легированного чугуна» [4].

При нажатии «на педаль тормоза 8 поворотный кулак 7 (пневматический привод) или поршень колесного тормозного цилиндра (гидравлический привод) раздвигает верхние концы колодок и прижимает фрикционные накладки у внутренней поверхности тормозного барабана. При отпуске педали тормоза, пружина 9 сводит колодки в исходное положение и колесо растормаживается» [5].

Основным недостатком колодочного тормоза является значительный нагрев исполнительных механизмов при интенсивном торможении (от 20 до 100°C), что приводит к интенсивному изнашиванию тормозных накладок и ухудшению эффективности торможения из-за снижения коэффициента трения.

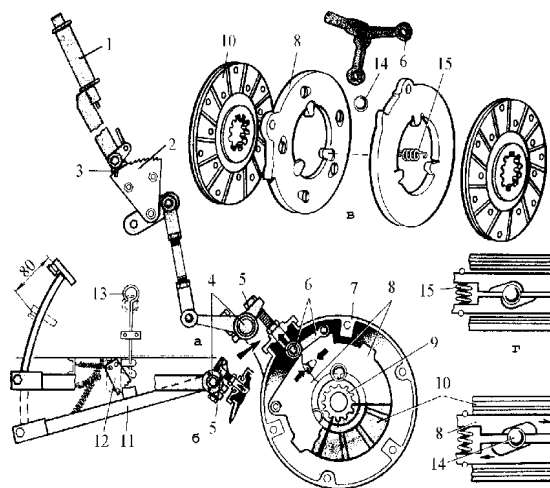


1 – тормозной барабан; 2 – колесо автомобиля; 3 – тормозные колодки; 4 – фрикционные накладки; 5 – ось опоры колодок; 6 – рычаг поворота; 7 – поворотный кулак; 8 – тормозная педаль; 9 – возвратная пружина

Рисунок 3 – Схема колодочного тормоза

Дисковые тормозные механизмы. «Дисковые тормозные механизмы обеспечивают наибольший тормозной эффект и надежнее в работе в отличие от колодочных тормозных механизмов. В соответствии с принятой классификацией дисковые тормозные механизмы могут быть с несколькими вращающимися дисками снабженными фрикционными накладками, которые прижимаются к неподвижному корпусу (тракторы «Беларус») и с одним вращающимся диском, который с обеих сторон зажимается неподвижными колодками (грузовые автомобили малого класса грузоподъемности).

Дисковый колесный тормоз трактора «Беларус» состоит из чугунного корпуса 7 (рисунок 4), внутри которого помещается тормозной механизм. Диски (два стальных соединительных 10 и два чугунных нажимных 8) стянуты пружинами 15 и расположены между трущимися поверхностями корпуса и крышки. Соединительные диски снабжены с обеих сторон фрикционными накладками. В наклонных канавках нажимных дисков размещаются стальные шарики 14» [5].



а – стояночный; б – основной; в – составные части; г – тормоз выключен; д – тормоз включен

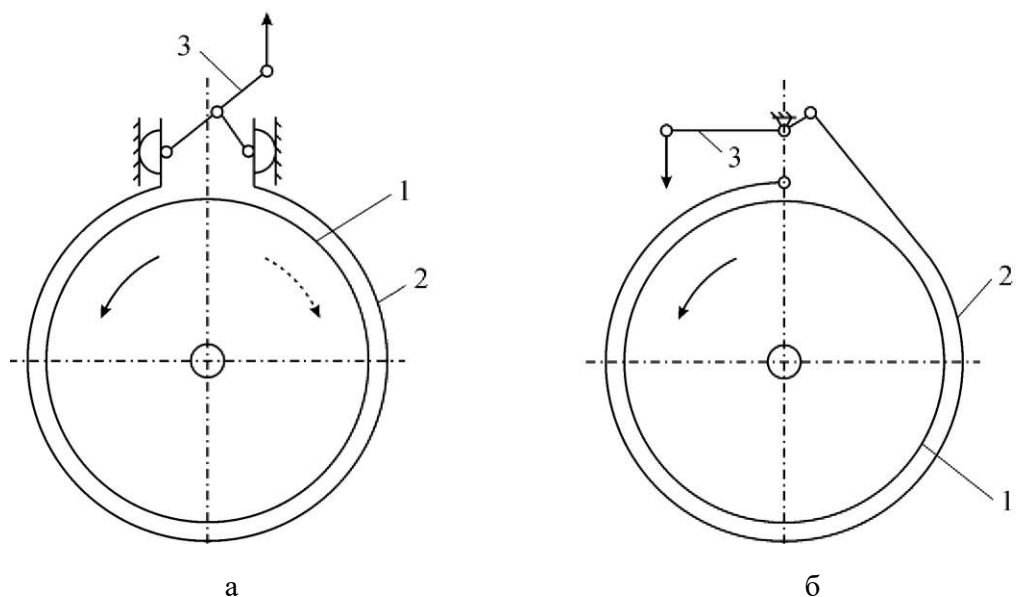
1 – рычаг; 2 – зубчатый сектор; 3 – защелка; 4 – ось промежуточного рычага; 5 – регулировочный болт; 6 – тяги; 7 – кожух; 8 – нажимные диски; 9 – хвостовик ведущей шестерни конечной передачи; 10 – соединительный диск; 11 – педаль; 12 – защелка педали; 13 – тяга включения защелки; 14 – шарик; 15 – пружина

Рисунок 4 – Тормоз дискового типа трактора МТЗ

Привод «тормозов может быть механическим (посредством системы рычагов) или гидравлическим (с помощью колесных тормозных цилиндров). Например, если переместить рычаг 1 стоячно-запасного тормоза на себя (по рисунку – вправо), то нажимные диски 8 поворачиваются тягами 6 в разные стороны, отходят один от другого и прижимают соединительные диски 10 к неподвижным плоскостям кожуха и крышке стакана подшипников. Под действием силы трения соединительные диски удерживают от вращения ведущую шестерню конечной передачи и колеса площади поверхности трения, можно уменьшить диаметр тормоза трактора путем увеличения числа дисков» [8].

Основные «тормоза (рисунок 4, б) служат для быстрой остановки трактора и для осуществления крутых поворотов. При движении трактора соединительные диски вращаются вместе с ведущими шестернями. Если нажать на педаль 11 тормоза, то нажимные диски прижмут вращающиеся соединительные диски к неподвижным стенкам кожуха. Под действием трения соединительные диски останавливаются вместе с ведущей шестерней конечной передачи, притормаживая соответствующее ведущее колесо. В этом положении педаль можно удерживать длительное время с помощью защелки 12.

Ленточные тормозные механизмы (рисунок 5) состоят из тормозного шкива, укрепленного на вращающемся валу силовой передачи, и огибающего его тормозной лентой с фрикционной накладкой» [9].



а – с плавающим креплением ленты; б – с неподвижным креплением ленты  
1 – тормозной шкив; 2 – тормозная лента; 3 – рычаг

Рисунок 5 – Схема ленточного тормоза транспортного средства

У простого «ленточного тормоза один конец ленты закреплен неподвижно, другой прикреплен к двухплечему рычагу, соединенному тягой с педалью. Провисание ленты ограничивается упором и пружинами. При нажатии на педаль тормоза, рычаг затягивает ленту на шкиве, а возникающие силы трения затормаживают шкив. Простые ленточные тормоза обеспечивают интенсивное торможение только при вращении шкива в одну сторону (сторону затяжки). Наибольшее распространение на гусеничных лесных тракторах получили плавающие ленточные тормоза.

Плавающий ленточный тормоз обеспечивает эффективное торможение трактора с изменяющимся направлением вращения барабана. При плавающем креплении ленты оба конца ее подвижны и соединены с рычагом, пальцы которого расположены в вырезах неподвижного кронштейна. При вращении шкива один из пальцев становится неподвижным, а второй затягивает ленту и тормозной шкив независимо от направления его вращения. При этом затягиваемой всегда будет сбегающая ветвь. В плавающем тормозе необходимое усилие затяжки меньше, чем в простом тормозе» [11].

Размеры тормозного барабана зависят от размеров агрегата в котором монтируется тормоз и принимаются по конструктивным соображениям. Ширина тормозной ленты принимается в зависимости от допустимого давления.

«Целесообразно принимать две узкие ленты, чем одну широкую, так как при большой ширине лента неравномерно прилегает к тормозному барабану. Толщина ленты принимается такой, при которой лента считается абсолютно гибкой – 1,5-3 мм» [11].

Анализ «литературных источников, информационных материалов сельскохозяйственных выставок и ярмарок, отзывы специалистов-аналитиков и производителей сельскохозяйственной техники позволяют оценить основные тенденции в развитии тракторов 2...5 тягового класса отечественного и зарубежного производства. По данным фирмы Grieger mallison consult gmbh (Германия) в Германии и Франции продажи тракторов мощностью 75...121 кВт и более постоянно растут. При этом доля тракторов в диапазоне мощностей 25..37 кВт и 37...59 кВт в этих странах с каждым годом снижается. Аналогичные тенденции замечены и в других развитых странах мира. В основном это связывают с укрупнением фермерских хозяйств.

Практически все наиболее известные тракторостроительные фирмы мира расширили мощностные ряды выпускаемых машин или обновили их модельные ряды за счёт предложения мощных колёсных тракторов. Средняя мощность в странах Европы колеблется в пределах 110-200 л.с.. При этом большое внимание уделяется безопасности и надежности этих тракторов. Соответственно и развитию тормозных систем, которые являются одним из важнейших показателей безопасности при выполнении транспортных работ на повышенных скоростях движения тракторно-транспортного агрегата» [8].

В рамках данного дипломного проекта были определены ключевые исследовательские задачи:

- научное обоснование необходимости усовершенствования тормозной системы трактора Беларусь-3022 для оптимизации его эксплуатационных характеристик при выполнении транспортных работ;

- проектирование гидрообъемной системы тормозного привода для указанной модели трактора с последующим инженерным расчетом её основных конструктивных элементов.

В данном разделе проведен комплексный анализ сфер применения различных типов тормозных механизмов в отношении колесных тракторов, эксплуатационных параметров тракторной техники и методов их улучшения, существующих разновидностей тормозных систем и принципов классификации тормозных устройств. Особое внимание уделено рассмотрению особенностей работы тормозных систем в условиях интенсивной эксплуатации сельскохозяйственной техники. Приведены сравнительные характеристики различных конструктивных решений, что позволило обосновать выбор оптимального варианта модернизации.

## 2 Тягово-динамический расчет транспортного средства

Рассмотри исходные данные для тягово-динамического расчёта трактора Беларус:

Трактор Беларус-2522 относится к тяговому классу 2 и предназначен для выполнения широкого спектра сельскохозяйственных работ. Его конструктивная масса составляет 4350 кг, а полная масса с балластом может достигать 5200 кг. Габаритные размеры трактора: длина 4270 мм, ширина 1970 мм, высота по кабине 2850 мм. База трактора равна 2450 мм, а колея регулируется в пределах от 1500 до 1800 мм.

Трактор оснащён дизельным двигателем Д-245.5S2 с турбонаддувом и промежуточным охлаждением воздуха. «Номинальная мощность двигателя составляет 95 л.с. (70 кВт) при 2200 об/мин. Максимальный крутящий момент 360 Н·м достигается при 1600 об/мин. Удельный расход топлива при номинальной мощности не превышает 220 г/кВт·ч» [4].

Трактор оборудован механической ступенчатой коробкой передач с синхронизаторами на высших передачах. Количество передач: 16 передних и 8 задних. Диапазон скоростей движения: от 1,8 км/ч (минимальная рабочая) до 35 км/ч (транспортная). Главная передача выполнена по колёсной схеме с коническими шестернями.

Ведущие колёса — задние, размер шин 18.4R38 (или 420/70R24 в зависимости от модификации). Давление в шинах регулируется в зависимости от условий работы: 0,08...0,14 МПа для задних и 0,12...0,18 МПа для передних колёс.

Номинальное тяговое усилие трактора составляет 14 кН (1,4 тс). Максимальное тяговое усилие на стерне средней плотности достигает 20 кН (2 тс). Коэффициент сцепления с почвой варьируется в пределах 0,4...0,6 в зависимости от типа грунта и состояния покрытия.

Коэффициент обтекаемости трактора принят равным 0,06...0,08. Сопротивление качению на стерне составляет 0,07...0,10, а на укатанной грунтовой дороге — 0,05...0,07.

КПД трансмиссии трактора — 0,88...0,92. Удельное давление на почву при работе с балластом не превышает 80 кПа.

Эти данные позволяют провести полный тягово-динамический расчёт, включая определение максимальной скорости на различных передачах, тяговый баланс, показатели топливной экономичности и другие эксплуатационные характеристики трактора Беларус-2522.

Тяговый диапазон «проектируемого трактора на основных передачах должен охватить всю сумму нагрузок в соответствии с агротехническими требованиями, предъявляемыми к трактору данного тягового класса, и некоторую часть нагрузок, относящихся к тяговой зоне соседних с ним классов. Перекрывание тяговых зон позволяет выполнять некоторые работы тракторами смежных классов, что расширяет сферу применения имеющихся в хозяйстве тракторов» [1].

Силу тяги  $P_{кр.н1}$  в кН, развиваемую «трактором на первой передаче при номинальной нагрузке двигателя, находим по формуле:

$$P_{кр.н1} = P_{кр.н} \cdot \varepsilon_1, \quad (1)$$

где  $P_{кр.н}$  — номинальная сила тяги на крюке по тяговому классу, кН;

$\varepsilon_1$  — коэффициент расширения тяговой зоны трактора» [5].

Сила тяги  $P_{кр.н}$ , развиваемая «трактором на высшей передаче основной группы передач при номинальной нагрузке двигателя, определяется по формуле:

$$P_{кр.н2} = \frac{P_{кр.н1}}{\delta_T}, \quad (2)$$

где  $\delta_T$  — диапазон тяги.

$$P_{кр.нз} = \frac{56,7}{2,1} = 27 \text{ кН.} \quad (2)$$

### Определение эксплуатационной массы трактора

Эксплуатационная масса трактора должна обеспечивать сцепление движителя с почвой, необходимое для реализации максимальной касательной силы  $P_{к.маx}$ , кН» [6]. Это условие может быть записано выражением:

$$P_{к.маx} \leq \varphi_{доп} \lambda_{сц} m_{э} g \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

«где  $\varphi_{доп}$  – допустимая величина коэффициента использования сцепного веса трактора, соответствующая допустимому буксованию его движителя, принимается равным 0,75;

$\lambda_{сц}$  – коэффициент перераспределения сцепной массы, показывающий долю эксплуатационной массы трактора, нагружающую ведущие колеса, принимается равным 1 для тракторов с формулой 4К4 [1];

$m_{э}$  – эксплуатационная масса трактора, кг.

В то же время, максимальная касательная сила  $P_{к.маx}$  должна соответствовать условию типажа» [6]:

$$P_{к.маx} \geq P_{кр.н1} 10^{-3} + f m_{э} g, \quad (4)$$

«где  $f$  – коэффициент сопротивления качению, принимается равным 0,08.

Минимальное значение эксплуатационной массы трактора должно быть выбрано таким образом, чтобы при работе трактора в соответствующих условиях с силой тяги, развиваемой трактором на первой передаче при

номинальной загрузке двигателя,  $\varphi_{дон}$  колес не превышало допустимых в этом случае пределов» [7].

$$m_{\ominus \min} \geq \frac{P_{кр.н1} 10^3}{(\varphi_{дон} \lambda_{цт} - f) g} \quad (5)$$

$$m_{\ominus \min} \geq \frac{56,7 \cdot 10^3}{(0,75 \cdot 1,0 - 0,08) \cdot 9,81} = 8627 \text{ кг.}$$

«Выбираем минимальный эксплуатационный вес трактора равный 8,6 тонны.

Выполним расчет основных рабочих скоростей

Для расчета ряда основных рабочих скоростей трактора определяется диапазон скоростей, который характеризуется отношением скорости на высшей передаче к скорости на первой передаче» [6]:

$$\delta_{v_{очн}} = \frac{V_z}{V_{T1}} = \delta_1, \quad (6)$$

где  $V_{T1}$  – теоретическая скорость на первой передаче, м/с;

$V_z$  – высшая рабочая скорость, м/с.

«При наличии ступенчатой коробки передач для более выгодного использования мощности двигателя на всех рабочих передачах основные рабочие скорости движения трактора должны образовывать геометрическую прогрессию. Знаменатель геометрической прогрессии определяется:

$$q = \sqrt[z]{\frac{V_z}{V_{T1}}} = \sqrt[z]{\delta_1}, \quad (7)$$

где  $z$  – количество передач.

Из условия число передач трактора равно 4. Следовательно, подставляя значения, получим:

$$q = \sqrt[4]{2,1} = 1,28.$$

Теоретические скорости  $V_{TK}$ , движения м/с на любой передаче определяются отношением» [1]:

$$V_{TK} = V_{T1} q^{k-1}, \quad (7)$$

где  $k$  – номер передачи.

Получим для каждой передачи следующие скорости.

На второй передаче:

$$V_{T2} = V_{T1} q^{2-1} = 2,95 \text{ м/с.}$$

На третьей передаче:

$$V_{T3} = V_{T1} q^{3-1} = 3,77 \text{ м/с.}$$

На четвертой передаче:

$$V_{T4} = V_{T1} q^{4-1} = 4,83 \text{ м/с.}$$

При проектировании трансмиссии окончательное распределение передаточных чисел уточняется в процессе кинематических вычислений с учётом технических ограничений при подборе зубчатых пар.

Расчёт динамического радиуса колёс ведущей оси.

Габаритные параметры ведущих колёс сельскохозяйственного трактора выбираются исходя из расчётной вертикальной нагрузки  $G_k$ , (кН),

приходящейся на каждую шину. Данный параметр определяется по следующей зависимости:

$$G_{\kappa} = \frac{\lambda_{\kappa} g m_{\text{э}}}{n_{\kappa}}, \quad (8)$$

где  $\lambda_{\kappa}$  – коэффициент нагрузки задних колес, принимается равным 0,55;

$n_{\kappa}$  – количество задних ведущих колес, принимается равным 2.

$$G_{\kappa} = \frac{0,55 \cdot 9,81 \cdot 8,627}{2} = 23,272 \text{ кН.}$$

Динамический радиус  $r_{\kappa}$  ведущих колес колесного трактора (в метрах) при обычных шинах определяется по следующей формуле:

$$r_{\kappa} = 0,0254 [0,5d + (0,8 \dots 0,85)B], \quad (9)$$

где  $d$  и  $B$  – соответственно диаметр посадочного обода и ширина профиля в дюймах.

$$r_{\kappa} = 0,0254 [0,5 \cdot 25 + 0,8 \cdot 28,1] = 0,888 \text{ м.}$$

Принимаем динамический радиус колеса трактора 88,8 см.

Расчет передаточных чисел трансмиссии.

Передаточное число трансмиссии на первой передаче определяется по формуле:

$$i_{mp1} = \frac{2\pi n_{\text{ен}} r_{\kappa}}{V_{mн1}}, \quad (10)$$

где  $n_{en}$  – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, об/с;

$V_{mn1}$  – теоретическая скорость на первой передаче при номинальной нагрузке двигателя, м/с.

$$i_{mp1} = \frac{2\pi n_{en} r_k}{V_{mn1}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 31,8 \cdot 0,888}{2,3} = 77,15.$$

Остальные числа трансмиссии рассчитываются по формуле:

$$i_{mp.k} = \frac{i_{mp1}}{q^{k-1}}. \quad (11)$$

На второй передаче:

$$i_{mp.k2} = \frac{77,15}{1,28^{2-1}} = 60,24.$$

На третьей передаче:

$$i_{mp.k3} = \frac{77,15}{1,28^{3-1}} = 47,04.$$

На четвертой передаче

$$i_{mp.k4} = \frac{77,15}{1,28^{4-1}} = 36,74.$$

Зная передаточные числа шестерен с постоянным зацеплением трактора-прототипа  $i_0$ , определяются передаточные числа коробки передач по формуле:

$$i_{kn} = \frac{i_{ep.k}}{i_o}, \quad (12)$$

$$i_0 = i_{zl} i_k, \quad (13)$$

где  $i_{zl}$  – передаточное число главной передачи, принимается равным 2,92;  
 $i_k$  – передаточное число конечной передачи, принимается равным 5,993.

$$i_0 = 2,92 \cdot 5,993 = 17,5.$$

На первой передаче:

$$i_{kn1} = \frac{77,15}{17,5} = 4,408.$$

На второй передаче:

$$i_{kn2} = \frac{60,24}{17,5} = 3,443.$$

На третьей передаче:

$$i_{kn3} = \frac{47,04}{17,5} = 2,688.$$

На четвертой передаче:

$$i_{kn4} = \frac{36,74}{17,5} = 2,099.$$

«Окончательные значения передаточных чисел трансмиссии устанавливаются при подборе чисел зубьев шестерен коробки передач и главной передачи.

Определение коэффициента полезного действия (КПД) трансмиссии

Механический КПД трансмиссии учитывает потери на трение, взбалтывание масла и тому подобное. Он зависит от числа пар зубчатых передач, находящихся в зацеплении, типа шестерен и способа их соединения между собой, от типа промежуточных соединений и муфт сцепления, вязкости и уровня заливаемого масла и других факторов. Часть потерь зависит от значения передаваемых моментов, а другая часть потерь а зависит в основном от скорости вращения деталей и почти не зависит от нагрузочного режима» [3].

Таким образом, механический КПД трансмиссии можно представить в формуле:

$$\eta_{mp} = \eta_{хол} \eta_n = (1 - \xi) \eta_{ц}^n \cdot \eta_{к}^m, \quad (14)$$

где  $\eta_{хол}$  и  $\eta_n$  – КПД, учитывающие потери соответственно холостого хода и при работе под нагрузкой;

$\eta_{ц}$  и  $\eta_{к}$  – КПД, соответственно цилиндрической, конической пар шестерен, принимается равным 0,985 и 0,975;

$m$  и  $n$  – соответственно число пар цилиндрических и конических шестерен, находящихся в зацеплении на данной передаче;

$\xi$  – коэффициент, учитывающий потери холостого хода в трансмиссии, принимается равным 0,05.

$$\eta_{mp} = (1 - 0,05) 0,985^{11} \cdot 0,975^1 = 0,746.$$

Коэффициент полезного действия трансмиссии равно 0,746.

«Определение номинальной эксплуатационной мощности двигателя трактора.

Эксплуатационная мощность двигателя для обеспечения заданных тягово-приводных и скоростных показателей трактора подсчитывается по формуле:

$$N_{\text{е.н}} = \frac{P_{\text{к.н1}} V_{\text{тн1}}}{\eta_{\text{тр}}} + \frac{N_{\text{вОМ}}}{\eta_{\text{вОМ}}}, \quad (15)$$

где  $P_{\text{к.н1}}$  – номинальная касательная сила тяги на 1 основной передаче, кН;

$N_{\text{вОМ}}$  – мощность, необходимая для привода рабочих машин от вала отбора мощности на расчетном тяговом режиме, кВт» [3].

Номинальная касательная сила тяги на 1-ой передаче определяется по формуле:

$$P_{\text{к.н1}} = P_{\text{кр.н1}} + P_f, \quad (16)$$

где  $P_f$  – сила сопротивления качению, кН.

Она определяется по формуле:

$$P_f = fG, \quad (17)$$
$$P_f = 0,08 \cdot 84,54 = 6,76 \text{ кН.}$$

Для колесных тракторов эксплуатационный вес получим по формуле:

$$G = m_{\text{эmin}} \cdot g, \quad (18)$$
$$G = 8,627 \cdot 9,81 = 84,54 \text{ кН.}$$

Получаем:

$$P_{к.н1} = 56,7 + 6,76 = 63,46 \text{ кН},$$

$$N_{e.н} = \frac{63,46 \cdot 2,3}{0,746} = 195,78 \text{ кВт}.$$

Энергонасыщенность трактора оценивается по величине удельной мощности по формуле:

$$N_y = \frac{N_{e.н}}{m_3}, \quad (19)$$

$$N_y = \frac{195,78}{8,627} = 0,019 \text{ кВт/кг}.$$

Для современных сельскохозяйственных тракторов значение  $N_y$  (удельной мощности) лежит в следующих пределах: 0,014...0,020 кВт/кг.

Согласно условию удельной мощности наши расчеты верны.

#### Расчёт тяговой характеристики трактора

«При расчёте тяговой характеристики трактора определяются для заданных значений коэффициент сцепления  $\varphi$  и коэффициент сопротивления качению  $f$ , величины теоретической и действительной скорости ( $V_t, V_d$ ), касательной силы тяги и крюкового усилия ( $P_k, P_{кр}$ ), крюковой или тяговой мощности  $N_{кр}$ , удельного крюкового расхода топлива  $g_{кр}$  в функции оборотов дизеля на каждой передаче и значения тягового КПД при номинальной нагрузке дизеля» [2, 6].

Расчётные формулы имеют вид:

$$V_t = \frac{2\pi r_k n_e}{i_{тр}}, \quad (20)$$

$$V_d = V_t (1 - \delta). \quad (21)$$

При расчёте коэффициента буксования использовались формулы, полученные путем аппроксимации усреднённых опытных кривых буксования для различных агрофонов.

Для колесных тракторов по формуле:

$$\delta = \frac{0,762y - 1,646y^2 + 1,404y^3}{10,167 - 32,5\varphi + 28,333\varphi^2}, \text{ при } y > 0,5, \quad (22)$$

$$\delta = \frac{0,29}{10,167 - 32,5\varphi + 28,333\varphi^2}, \text{ при } y \leq 0,5.$$

Касательная сила тяги (кН) по формуле:

$$P_k = \frac{\left( N_e - \frac{N_{\text{БОМ}}}{\eta_{\text{БОМ}}} \right)}{2\pi n_e r_k} \cdot \eta_{\text{тр}} i_{\text{тр}}. \quad (23)$$

Сила сопротивления качению трактора (кН) по формуле:

$$P_f = fgm_3. \quad (24)$$

Крюковое усилие (кН) по формуле:

$$P_{\text{кр}} = P_k - P_f. \quad (25)$$

Крюковая мощность (кВт) по формуле:

$$N_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} V_d. \quad (26)$$

Удельный расход топлива (г/кВт·ч) по формуле:

$$g_{кр} = \frac{10^3 G_T}{N_{кр}}. \quad (27)$$

Тяговый КПД по формуле:

$$\eta_T = \eta_{тр} \frac{P_{кр}}{P_K} (1 - \delta). \quad (28)$$

Результаты расчета сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Тяговые характеристики двигателя

| «№<br>передачи | $P_{кр}$ ,<br>кН | $P_K$ ,<br>кН | $N_{кр}$ ,<br>кВт | $g_{кр}$ ,<br>г/кВтч | $Vm$ ,<br>м/с | $V\partial$ ,<br>м/с | $\delta$ | $\eta_T$       |
|----------------|------------------|---------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------|----------------|
| 1              | 56,07            | 62,83         | 128,95            | 4472,37              | 2,30          | 1,83                 | 0,206    | 56,07          |
| 2              | 42,30            | 49,06         | 124,59            | 4594,86              | 2,95          | 2,62                 | 0,111    | 42,30          |
| 3              | 31,55            | 38,31         | 119,00            | 4765,92              | 3,77          | 3,14                 | 0,168    | 31,55          |
| 4              | 23,16            | 29,92         | 111,84            | 5023,31              | 4,83          | 4,02                 | 0,168    | 23,16<br>» [2] |

Произведём расчёт и графическое отображение тягово-эксплуатационных параметров сельскохозяйственного агрегата.

После выполнения расчётов основных технико-эксплуатационных характеристик машины переходим к графической интерпретации полученных данных путём построения теоретической тяговой диаграммы (рисунок 6).

Данная методика визуализации позволяет:

- комплексно оценить тяговые возможности техники;
- проанализировать топливную экономичность агрегата;
- определить оптимальные режимы эксплуатации;
- выявить рабочие характеристики в различных условиях.

Графическое представление обеспечивает наглядность при оценке взаимосвязи между:

- развиваемым тяговым усилием

- скоростными показателями
- удельным расходом топлива
- коэффициентом полезного действия

Полученная диаграмма служит основой для последующего анализа эксплуатационных возможностей тракторного агрегата при выполнении различных сельскохозяйственных операций. Особое внимание уделяется определению рабочих диапазонов с максимальной производительностью и оптимальной топливной эффективностью.

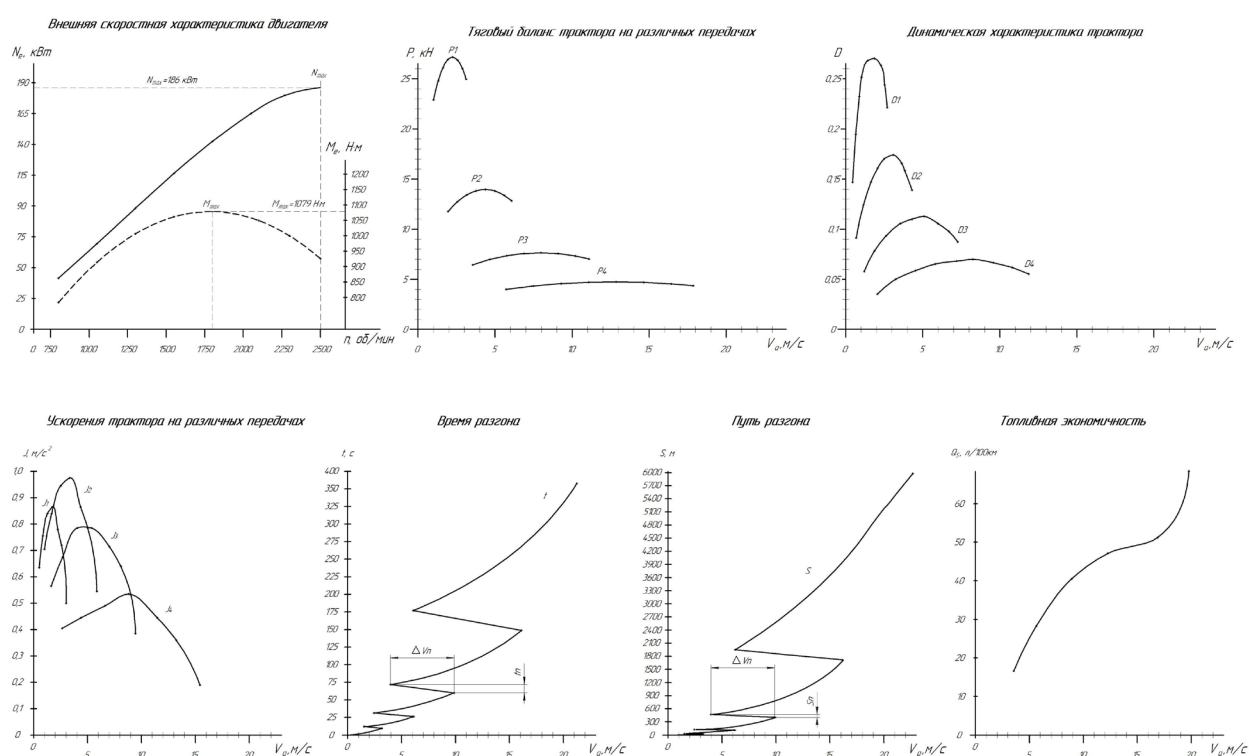


Рисунок 6 – Тяговая характеристика трактора при  $P_{кр}=56,7$  кН

Проведём комплексную оценку расчётных показателей и тягово-эксплуатационных свойств тракторного агрегата.

Важнейшим параметром, характеризующим тяговые возможности машины, является коэффициент запаса тягового усилия, который рассчитывается следующим образом:

$$\eta_3 = \frac{P_{кр\ max} - P_{кр\ н}}{P_{кр\ н}}. \quad (29)$$

Данный показатель позволяет оценить потенциал тяговой системы, определить резерв мощности агрегата, спрогнозировать работоспособность в сложных условиях, оптимизировать подбор сельхозорудий. Оптимальное значение коэффициента находится в диапазоне 1,15-1,25, что обеспечивает стабильную работу без перегрузок, достаточный запас для преодоления пиковых нагрузок, экономичную эксплуатацию, минимальный пробуксовочный эффект. Для точного расчёта необходимо учитывать, тип почвы и её состояние, климатические условия, техническое состояние ходовой системы и степень износа ведущих элементов

Результаты расчетных параметров и тяговых характеристик трактора при различных передачах и условиях работы занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Основные показатели тяговой характеристики трактора

| «Параметр      | Режим работы                 | Значения на передачах |        |        |        |
|----------------|------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|                |                              | 1                     | 2      | 3      | 4      |
| $N_{кр}$ , кВт | При номинальной загрузке ДВС | 128,95                | 124,59 | 119,00 | 111,84 |
| $P_{кр}$ , кН  |                              | 56,07                 | 42,30  | 31,55  | 23,16  |
| $V_d$ , м/с    |                              | 1,83                  | 2,62   | 3,14   | 4,02   |
| $\delta$ , %   |                              | 0,21                  | 0,11   | 0,17   | 0,17   |
|                |                              | 0,53                  | 0,57   | 0,51   | 0,48   |

Продолжение таблицы 2

| Параметр           | Режим работы                                   | Значения на передачах |         |         |           |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------------------|---------|---------|-----------|
|                    |                                                | 1                     | 2       | 3       | 4         |
|                    |                                                | 4472,37               | 4594,86 | 4765,92 | 5023,31   |
| $N_{кр}$ , кВт     | При максимальном крутящем моменте $M_{е\ max}$ | 103,52                | 103,52  | 103,52  | 103,52    |
| $P_{кр}$ , кН      |                                                | 75,01                 | 58,58   | 45,74   | 35,72     |
| $V_d$ , м/с        |                                                | 0,65                  | 1,35    | 1,98    | 2,63      |
| $\delta$ , %       |                                                | 0,53                  | 0,23    | 0,13    | 0,09      |
| $\eta_t$ , %       |                                                | 0,35                  | 0,57    | 0,65    | 0,68      |
| $g_{кр}$ , г/кВт·ч |                                                | 5571,11               | 5529,96 | 5478,51 | 5427,07   |
| $\eta_a$           | —                                              | 0,34                  | 0,38    | 0,45    | 0,54      |
| $\eta_{max}$       | —                                              | 0,53                  | 0,57    | 0,65    | 0,68» [3] |

Анализируя «потенциальную тяговую характеристику трактора мы видим, что рабочие передачи попадают в диапазон тягового усилия на крюке:  $P_{кр}=16,6...75,01$  кН.

При номинальном значении тягового усилия на крюке остальные составляющие характеристики будут иметь следующие значения:

- рабочая скорость движения:  $V=1,83$  м/с= $6,59$  км/ч;
- удельный тяговый расход топлива:  $g_{кр}=4472,37$  г/кВтч;
- коэффициент буксования:  $\delta=0,21$  %;
- мощность развиваемая трактором на крюке (тяговая мощность):  $N_{кр}=128,95$  кВт.

Анализ тяговой характеристики трактора показывает, что номинальное тяговое усилие на первой рабочей передаче:  $P_{н1}=56,07$  кН, номинальное тяговое усилие трактора прототипа:  $P_n=58,8$  кН. Номинальное тяговое усилие на пятой рабочей передаче:  $P_{н5}=56,07$  кН. Тяговые усилие на рабочих передачах попадают в диапазон от  $16,6$  кН до  $56,07$  кН.

Рабочая скорость движения на первой передаче:  $V_{p1}=2,37...6,59$  км/ч, на пятой передаче:  $V_{p5}=13,0...18,54$  км/ч, получаем диапазон изменения скоростей на рабочих передачах от  $2,37$  км/ч до  $18,54$  км/ч» [6].

Удельный «тяговый расход топлива при номинальном значении тягового усилия на крюке увеличивается с увеличением номера включенной передачи:  $g_{кр1}=4472,37$  г/кВт·ч,  $g_{кр5}=5419,87$  г/кВт·ч при номинальной нагрузке.

Тяговая мощность, в отличии от удельного тягового расхода топлива, уменьшается с увеличением номера включенной передачи:  $N_{кр1}=128,95$  кВт,  $N_{кр5}=102,67$  кВт. при номинальной нагрузке, а при максимальной нагрузке постоянна:  $N_{кр1}=N_{кр5}=103,52$  кВт» [5].

Выводы по разделу:

В результате проведённых тягово-динамических исследований модели Беларус-3022 была выполнена всесторонняя оценка рабочих качеств и энергетического потенциала данной сельскохозяйственной машины. Анализ полученных расчётных данных свидетельствует о наличии оптимально сбалансированных тяговых показателей, которые гарантируют высокую производительность при выполнении широкого спектра агротехнических работ. Особое внимание в ходе исследования уделялось анализу взаимосвязи между конструктивными особенностями трактора и его эксплуатационными возможностями в различных условиях сельскохозяйственного производства.

### **3 Конструкторская часть**

#### **3.1 Исходные данные транспортного средства**

В качестве базовых параметров для проведения расчетов использовались технико-эксплуатационные характеристики трактора Беларус-3022, систематизированные в таблице 3. Приведенные в табличном виде нормативные и фактические показатели работы агрегата включают как конструктивные особенности машины, так и ее эксплуатационные параметры, что позволяет проводить последующие инженерные расчеты с необходимой степенью точности.

В табличном материале отражены ключевые показатели, необходимые для выполнения последующих прочностных и динамических расчетов, включая параметры двигателя, трансмиссии и ходовой системы.

Особое значение при работе с табличными данными имеет корректная интерпретация нормативных показателей, которые регламентируют предельные значения эксплуатационных характеристик машины. Приведенные в таблице 3 значения служат основой для проведения верификации расчетных моделей и последующего анализа рабочих характеристик трактора в различных режимах эксплуатации.

Таблица 3 – Исходные данные и нормативные показатели трактора Беларус-3022

| «Показатель                                                                                                                          | Обозначение          | Значение       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| Максимально разрешенная масса трактора, кг                                                                                           | $m_{max}$            | 14000          |
| Минимальная масса трактора, кг                                                                                                       | $m_{min}$            | 11500          |
| Относительное распределение эксплуатационной массы по осям:<br>– на переднюю ось:<br>– на заднюю ось:                                | $q_1$<br>$q_2$       | 0,47<br>0,53   |
| База трактора, м                                                                                                                     | $L$                  | 3,01           |
| Координаты центра масс трактора, м<br>– горизонтальная, относительно задних колес:<br>– вертикальная, относительно поверхности пути: | $a_{цм}$<br>$h_{цм}$ | 1,415<br>1,215 |
| Радиусы качения колес, мм<br>– передних:<br>– задних:                                                                                | $R_1$<br>$R_2$       | 705<br>907     |
| Начальная скорость торможения (максимальная скорость движения), км/ч:                                                                | $V_0$                | 40,94          |
| Коэффициент сопротивления качению                                                                                                    | $f$                  | 0,02           |
| Максимальный коэффициент сцепления                                                                                                   | $\phi$               | 0,8            |
| Передаточное отношение участка трансмиссии от тормозного механизма до заднего колеса                                                 | $U_{кп}$             | 10,45          |
| КПД участка трансмиссии от тормозного механизма до задних колес                                                                      | $\eta_{кп}$          | 0,964          |
| Максимальный момент фрикционной муфты привода ПВМ, Н·м                                                                               | $M_{мвм}$            | 3800           |
| Передаточное отношение участка трансмиссии от муфты привода ПВМ до тормозных механизмов                                              | $U_{мт}$             | 2,731» [12]    |

Продолжение таблицы 3

| Показатель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Обозначение                                 | Значение                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| «Передачное отношение от муфты привода ПВМ до передних колес                                                                                                                                                                                                                                                                       | $n_{пвм}$                                   | 22.2545                                              |
| КПД участка трансмиссии от муфты привода ПВМ до передних колес                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\eta n_{пвм}$                              | 0.9126                                               |
| Время срабатывания привода, с                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $t_{ср}$                                    | 0.15...0,20                                          |
| Требуемый коэффициент запаса по тормозной силе                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $K_{тсн}$                                   | 1.25                                                 |
| Нормативные показатели:<br>– усилие на педали остановочного тормоза, не более, Н<br>– удельная тормозная сила, не менее<br>– установившееся замедление, не менее, м/с <sup>2</sup><br>– неподвижное состояние трактора с прицепом на уклоне, % / °:<br>– неподвижное состояние трактора с эксплуатационной массой на уклоне, % / ° | $P_{nn}$<br><br>$\gamma_{тн}$<br>$j_{устн}$ | 700<br><br>0,5<br>5<br><br>16 / 9,09<br><br>31/17.22 |
| Коэффициент, характеризующий время срабатывания тормозной системы                                                                                                                                                                                                                                                                  | $A$                                         | 0,15                                                 |
| Коэффициент учета вращающихся масс                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $K_m$                                       | 1,126                                                |
| Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $g$                                         | ≈10                                                  |
| Допустимая удельная работа трения, Дж/мм <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                              | $a_{уддоп}$                                 | 2,3                                                  |
| Допустимое удельное давление, МПа                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $q_{доп}$                                   | 3                                                    |
| Коэффициент трения фрикционных пар                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\mu$                                       | 0,08                                                 |
| Количество остановочных тормозов в заднем мосту                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $n$                                         | 2                                                    |
| Параметры тормозного механизма:                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                             |                                                      |
| Количество пар трения                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $Z_{np}$                                    | 8                                                    |
| Диаметры пар трения, мм:<br>наружный:<br>внутренний:                                                                                                                                                                                                                                                                               | $d_n$<br>$d_{вн}$                           | 285<br>224                                           |
| Коэффициент трения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\mu$                                       | 0,08                                                 |
| Угол наклона лунок, °                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $\alpha$                                    | 24                                                   |
| Радиус расположения распорных шариков, мм                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $r_{ш}$                                     | 127                                                  |
| Радиус расположения шарниров нажимных дисков, мм                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $r_{шд}$                                    | 183                                                  |
| Количество возвратных пружин тормоза                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $K_{np}$                                    | 4                                                    |
| Приведенное к подушке педали суммарное усилие возвратных пружин привода, Н                                                                                                                                                                                                                                                         | $P_{np}$                                    | 10,6                                                 |
| Рабочее усилие одной возвратной                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $P_{прт}$                                   | 160» [12]                                            |

Продолжение таблицы 3

|                                                  |            |         |
|--------------------------------------------------|------------|---------|
| «пружины тормоза, Н                              |            |         |
| КПД одного шарнира                               | $\eta_{ш}$ | 0,925   |
| Количество пар трения, работающих на сервоэффект | $Z'$       | 3       |
| КПД одного гидроцилиндра                         | $\eta_{г}$ | 0,95    |
| Длина соединительной тяги, мм                    | $l_m$      | 104     |
| Суммарный зазор между парами трения, мм          | $\Delta S$ | 0.8     |
| Расстояние между шарнирами нажимных дисков, мм   | $l_{шд}$   | 205     |
| Масса наиболее нагреваемой детали, кг            | $m_0$      | 0,88    |
| Удельная теплоёмкость стали и чугуна, ккал       | $c$        | 0,115   |
| Количество наиболее нагреваемых деталей          | $Z_n$      | 1       |
| Параметры привода:                               |            |         |
| Плечо педали, мм                                 | $r_n$      | 360     |
| Плечо регулировочной тяги, мм                    | $r_m$      | 45      |
| Плечо штока главного цилиндра, мм                | $r_{гц}$   | 55      |
| Плечо штока рабочего цилиндра, мм                | $r_{pc}$   | 102     |
| Диаметр главного цилиндра, мм                    | $d_{гц}$   | 25,4    |
| Диаметр рабочего цилиндра, мм                    | $d_{pc}$   | 25,4    |
| Количество шарниров привода                      | $\kappa$   | 5» [12] |

Приведем формулы для расчета тормозной системы и выполним расчет в MS Excel.

Нормативный тормозной путь, м [14]:

$$S_{TH} = A \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{26 \cdot j_{устн}}. \quad (30)$$

Тормозная сила по нормативу удельной тормозной силы, Н:

$$P_{TH} = m_{\max} \cdot g + \gamma_{TH}. \quad (31)$$

Тормозная сила, на передних ведущих колесах по условиям сцепления, Н:

$$P_{T1Ц} = \frac{\Phi \cdot m_{\max} \cdot g \cdot (q_1 \cdot L + \gamma_{TH} \cdot h_{цм})}{L}. \quad (32)$$

Осевое усилие и количество пар трения тормозного механизма  
«Расчетный средний радиус трения, мм» [12, 13]:

$$R_{cp} = \frac{2 \cdot a_{уд.дон} \cdot g \cdot \gamma_{TH} \cdot R_2 \cdot \eta_{кп} (q_1 \cdot L + h_{цм})}{K_M \cdot \left(\frac{V_0}{3,6}\right)^2 \cdot U_{кп} \cdot q_{дон} \cdot \mu}. \quad (33)$$

«Количество пар трения по удельному давлению:

$$z = \frac{T_{\max} \cdot g \cdot \gamma_{TH} \cdot R_2 \cdot \eta_{кп}}{1,1 \cdot U_{кп} \cdot q_{дон} \cdot \pi \cdot R_{cp}^3 \cdot \mu}. \quad (34)$$

Количество пар трения по удельной работе трения:

$$z = \frac{K_M \cdot T_{\max} \cdot \left(\frac{V_0}{3,6}\right)^2}{2,2 \cdot a_{уд.дон} \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot (R_{cp}^3 \cdot 10^{-3})^2}. \quad (35)$$

Осевое усилие на пары трения, Н:

$$Q = \frac{T_{TH}}{R_{cp} \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot Z_{np}}. \quad (36)$$

Радиус шарнира регулировочной тяги в исходном положении, мм» [13]:

$$r_{PT}' = \sqrt{r_{шд}^2 - \left(\frac{l_{шд}}{2}\right)^2} + \sqrt{l_T^2 - \left(\frac{l_{шд}}{2}\right)^2}. \quad (37)$$

«Центральный угол между шарниром нажимного диска и регулировочной тяги в исходном положении, °:

$$\Psi' = a \sin \left( \frac{l_{шд}}{2r_{шд}} \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (38)$$

Угол относительного поворота нажимных дисков для выбора зазора между парами трения, °:

$$\Delta\psi = a \tan \left( \frac{\Delta S}{\tan \left( \alpha \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r_{шд} \right)} \right) \cdot \frac{\pi}{180}. \quad (39)$$

Центральный угол между шарнирами нажимного диска и регулировочной тяги после выбора зазора между парами трения, °:

$$\Delta\psi = \frac{2 \cdot \psi' - \Delta\psi}{2}. \quad (40)$$

Радиус шарнира регулировочной тяги после выбора зазоров между парами трения, мм:

$$r_{PT} = r_{шд} \cos \left( \psi \cdot \frac{\pi}{180} \right) + \sqrt{l_T^2 - \left( r_{шд} \sin \left( \psi \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2}. \quad (41)$$

Угол между тягой и радиусом шарнира после выбора зазоров» [13], °:

$$\lambda = a \cos \left( \frac{r_{шд}^2 + l_T^2 - r_{PT}^2}{2r_{шд}l_T} \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (42)$$

«Угол между тягой регулировочной тягой после выбора зазоров, °

$$\beta = 180 - (\varphi + \gamma). \quad (43)$$

Ход регулировочной тяги, мм

$$S_{PT} = r_{PT} - r'_{PT}. \quad (44)$$

Кинематическое передаточное отношение педального механического привода:

$$U_{III} = \frac{r_{II}}{r_{ГЦ}} \cdot \frac{r_{PC}}{r_{PT}}. \quad (45)$$

Кинематическое передаточное отношение педального гидростатического привода:

$$U_{III} = \left( \frac{d_{ГЦ}}{d_{PC}} \right)^2. \quad (46)$$

Кинематическое передаточное отношение привода:

$$U_{прив} = U_{nn} \cdot U_{нз}. \quad (47)$$

Усилия, моменты и работа тормозного привода и тормозных механизмов.

Усилие на регулировочной тяге» [13], Н

$$P_{PT} = \left( \frac{P_{ПН}}{2} - P_{ПН} \right) U_{прив} \cdot \eta_{ш} \cdot \eta_z^2. \quad (48)$$

«Силовое передаточное отношение нажимного устройства вытяжного действия:

$$U_{HV} = \frac{r_{шд} \cdot \sin\left(\gamma \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{2 \cos\left(\beta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \left(r_{ш} \cdot \tan\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \mu \cdot R_{CP} \cdot Z\right)} \cdot \eta_{ш}^3. \quad (49)$$

Осевое усилие на парах трения, Н:

$$Q_o = P_{PT} \cdot U_{HV}. \quad (50)$$

Крутящий момент для создания тангенсальной силы на нажимном устройстве «шарики-диски», Н·м:

$$M_{HV} = Q_J \cdot r_{ш} \cdot 10^{-3} \cdot \tan\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right). \quad (51)$$

Сервомомент, Н·м:

$$M_{сэ} = Q_o \cdot R_{CP} \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot Z. \quad (52)$$

Крутящий момент, затрачиваемый на преодоление возвратных пружин нажимных дисков при торможении, Н·м:

$$M_{ПР} = P_{ПРТ} \cdot r_{ш} \cdot 10^{-3} \cdot \tan\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot K_{ПР}. \quad (53)$$

Максимальный тормозной момент при  $P_n$  равной 700 Н, Н·м» [13]:

$$M_T = Q_o \cdot R_{CP} \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot Z_{ПР}. \quad (54)$$

«Силовое передаточное отношение тормозного механизма [13]:

$$U_{TM} = U_{HY} \cdot \mu \cdot Z_{IP}. \quad (55)$$

Силовое передаточное отношение тормозной системы:

$$U_{TC} = U_{ПРИВ} \cdot \eta_{Ш}^k \cdot \eta_{Г}^2 \cdot U_{TM} \cdot \frac{U_{КП}}{\eta_{КП}} \cdot \frac{R_{CP}}{R_2}. \quad (56)$$

Максимально возможная тормозная сила на колесах, Н:

$$P_{Tmax} = P_{ПН} \cdot U_{TC}. \quad (57)$$

Тормозная сила, на передних ведущих колесах по условиям привода, Н:

$$P_{T1ПВМ} = \frac{M_{МПВМ} \cdot U_{ППВМ}}{\eta_{ППВМ} \cdot R_1 \cdot 10^{-3}}. \quad (58)$$

Реализуемая тормозная сила на передних колесах, Н:

$$P_{T1} = \text{if} \left( P_{T1СЦ} < P_{T1ПВМ}, P_{T1СЦ}, P_{T1ПВМ} \right). \quad (59)$$

Тормозная сила, реализуемая задними ведущими колесами по условиям сцепления, Н» [13]:

$$P_{T2} = \frac{m_{max} \cdot g \cdot \phi}{L + h_{ЦМ} \cdot \phi} \cdot \left[ L - a_{ЦМ} - h_{ЦМ} \cdot \left( f + \frac{P_{T1}}{m_{max} \cdot g} \right) \right]. \quad (60)$$

«Суммарная тормозная сила, реализуемая передними и задними колесами по условиям сцепления, Н:

$$P_T = P_{T1} + P_{T2}. \quad (61)$$

Момент трения тормоза по условиям сцепления, Н·м:

$$T_T = \frac{P_T \cdot R_2 \cdot 10^{-3} \cdot \eta_{\text{КП}}}{U_{\text{КП}} \cdot n}. \quad (62)$$

Сила сопротивления движению трактора, Н:

$$P_f = m_{\text{max}} \cdot g \cdot f. \quad (63)$$

Удельная тормозная сила, реализуемая по условиям сцепления:

$$\gamma_{T\_Ц} = \frac{P_T}{m_{\text{max}} \cdot g}. \quad (64)$$

Осевое усилие на пары трения по условиям норматива тормозного пути, Н:

$$Q_{\text{min}} = \frac{T_{\text{TH}}}{R_{\text{CP}} \cdot \mu \cdot Z_{\text{ПР}}}. \quad (65)$$

Площадь одной поверхности трения» [13], мм<sup>2</sup>:

$$F_T = \frac{\pi \cdot (d_H^2 - d_{\text{BH}}^2)}{4}. \quad (66)$$

«Удельное давление на пары трения, Н/мм<sup>2</sup>:

$$q = \frac{Q_0}{F_T}. \quad (67)$$

Работа трения за одно включение одного тормоза, Дж:

$$A = \frac{\frac{m_{\max} \cdot \left(\frac{V_0}{3.6}\right)^2}{2} \cdot K_M - m_{\max} \cdot g \cdot f \cdot S_T}{2}. \quad (68)$$

Удельная работа трения за одно включение, Дж/мм<sup>2</sup>:

$$a_{\text{уд}} = \frac{A}{F_T \cdot Z_{\text{ПП}}}. \quad (69)$$

Доля работы трения, идущая на нагрев наиболее нагреваемой детали:

$$\gamma_a = \frac{Z_H}{Z_{\text{ПП}}}. \quad (70)$$

Прирост температуры наиболее нагреваемой детали, °:

$$\Delta t = \frac{\gamma_a \cdot A \cdot 10^{-3}}{4,1868 \cdot c \cdot m_d}. \quad (71)$$

Основные показатели тормозной системы трактора Беларус-3022.

Установившееся замедление по условиям сцепления» [13], м/с<sup>2</sup>:

$$j_{\text{уст}} = \frac{P_T + P_f}{K_M \cdot m_{\max}}. \quad (72)$$

Тормозной путь по условиям сцепления, м [14, 20]:

$$S_T = \frac{V_0}{3,6} \cdot t_{CP} + \frac{V_0^2}{26 \cdot j_{УСТН}}. \quad (73)$$

«Где  $t_{cp}$  – время срабатывания тормозного привода – время от начала приведения в действие органа управления тормозной системы до момента времени, когда давление в исполнительном органе тормозного привода, находящимся в наименее благоприятных условиях, достигает 75% давления, которое должно установиться в этом исполнительном органе при полном приведении в действие органа управления.

$t_{cp (сер)}$  – время срабатывания тормозного привода серийного трактора, принимается равным 0,2 с ;

$t_{cp}$  – время срабатывания тормозного привода трактора с модернизированной тормозной системой, принимается равным 0,15 с» [11].

Тормозной путь по условиям сцепления (серийный трактора), м:

$$S_{T(сер)} = \frac{\Delta V}{3,6} \cdot t_{CP(сер)} + \frac{\Delta V^2}{26 \cdot j_{УСТ}}. \quad (74)$$

Заносим результаты расчета в таблицу 4.

Таблица 4 – «Результаты расчета тормозного пути по условиям сцепления (серийный трактор)

|                     |       |       |       |       |       |               |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| « $\Delta V$ , км/ч | 30,00 | 32,00 | 34,00 | 36,00 | 38,00 | 40,94         |
| $S_T (сер)$ , м     | 6,92  | 7,76  | 8,64  | 9,57  | 10,54 | 12,06»<br>[2] |

Тормозной путь по условиям сцепления (трактор с модернизируемой тормозной системой), м:

$$S_{T(cep)} = \frac{\Delta V}{3,6} \cdot t_{cp} + \frac{\Delta V^2}{26 \cdot j_{yem}}. \quad (75)$$

Заносим результаты расчета в таблицу 5.

Таблица 5 – «Результаты расчета тормозного пути трактора с модернизируемой тормозной системой

|                   |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta V$ , км/ч | 30,00 | 32,00 | 34,00 | 36,00 | 38,00 | 40,94 |
| $S_T$ , м         | 6,50  | 7,31  | 8,17  | 9,07  | 10,01 | 11,49 |

Коэффициент запаса по тормозной силе» [20]:

$$K_{TC} = \frac{P_T}{P_{TH}}. \quad (76)$$

Коэффициент запаса прочности по нормативному тормозному пути:

$$K_{TH} = \frac{S_{TH}}{S_T}. \quad (77)$$

Анализ «тормозного пути по условиям сцепления движителя с опорной поверхностью трактора Беларус-3022 с серийной и модернизируемой тормозной системой, построенный для заданного почвенного фона, показывает, что использование модернизируемой тормозной системы улучшает ее тормозные свойства и в целом повышает эффективность использования трактора Беларус-3022 на транспортных операциях, за счет возможного увеличения скорости движения при соблюдении требований безопасности движения.

Наблюдается значительное уменьшение тормозного пути трактора Беларус-3022 на разных скоростях движения, за счет более эффективной работы модернизируемой тормозной системы» [17].

«Таким образом, в соответствии с полученными данными (таблицы 4 и 5), а также исходя из того, что изменение тормозного пути  $\Delta S_m$  приблизительно пропорционально изменению квадрату скорости  $\Delta V^2$  можно сделать вывод о том, что модернизация тормозной системы трактора Беларус-3022 позволяет повысить среднюю скорость движения при выполнении транспортных операций на 5-10% при соблюдении необходимых требований безопасности или уменьшить среднее время рейса  $t_{pc}$  – на 5-10 % соответственно.

Таким образом, результатами расчета оценочных показателей тормозных свойств колесного трактора Беларус-3022 обоснована целесообразность модернизации его тормозной системы» [17].

### **3.2 Анализ патентных исследований тормозных систем**

«Основными направлениями повышения надежности и эффективности использования тормозных систем и устройств является конструктивное усовершенствование механической части и привода существующих тормозов и создание новых конструктивных разновидностей, разработка и применение новых материалов с повышенными фрикционными свойствами.

В связи с этим с целью повышения эксплуатационных свойств трактора Беларусь-3022 в данном дипломном проекте модернизируется его тормозная система. Ведь при использовании трактора на транспортных работах сильно увеличивается частота торможений. Особенно при работе на холмистой местности, а также на затяжных спусках дорог. Таким образом, в дипломном проекте разрабатывается и устанавливается на трактор 5-го тягового класса на примере трактора Беларусь-3022 гидрообъемный привод тормозов, что позволяет увеличить их энергоемкость и надежность по сравнению со штатными тормозами.

Модернизация тормозной системы как способ повышения эффективности использования трактора 5-го тягового класса на

транспортных работах имеет ряд плюсов:

- нет необходимости в специальной подготовке трактора;
- простота в использовании не требующая больших навыков от тракториста;
- повышение безопасности и надежности трактора;
- самое главное то, что тормозная система может сочетаться с любыми другими способами повышения эффективности использования на транспортных работах.

Для выбора наиболее рациональной конструкции устройства проведен патентный поиск и информационный анализ существующих технических решений» [19].

В таблице 6 представлена информация о патентном поиске.

Таблица 6 – Патентный поиск

| «Предмет поиска                                            | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационные индексы | Сущность заявленного технического решения и цели его создания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Узел главных тормозных цилиндров транспортного средства | СССР авторское свидетельство № 934903<br>B60T11/22                        | Узел главных цилиндров включает два главных цилиндра, которые являются идентичными по конструкции, и каждый содержит корпус, снабженный продольным расчетным отверстием, в котором установлен поршень, имеющий расположенные на определенном расстоянии друг от друга. Поршень соединяется на своем заднем конце с частично сферической головкой на приводимом в действие педалью толкателе. Ограничитель для головки образуется кольцевой узкой втулкой, удерживаемой в определенном положении зажимным кольцом или пружинным кольцевым замком, располагаемым в кольцевой канавке в отверстии. Осевое отверстие в »<br>[19] |

Продолжение таблицы 6

| «Предмет поиска                                           | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационные индексы | Сущность заявленного технического решения и цели его создания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |                                                                           | поршне находится в связи через радиальные отверстия с кольцевой выемкой в окружной поверхности поршня, проходящей между уплотнениями. Длина выемки в каждом главном цилиндре является такой, что во всех аксиальных положениях поршня она находится в связи через отверстие и радиальное отверстие перепускного канала в стенке корпуса с соответствующей выемкой в другом главном цилиндре.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2. Узел главного цилиндра тормозной системы               | СССР<br>авторское св-во.<br>№ 431660<br>B60T11/22                         | В предлагаемом узле главного цилиндра клапан, закрывающий резервуар, выполнен в виде расположенного соосно с поршнем и частично размещенного в нем стержня с головкой. Конец стержня взаимодействует с седлом, предусмотренным в отверстии, сообщающем камеру сжатия с резервуаром, причем головка обращена к поршню и размещена в .колпачке, подпружиненном к поршню возвратной пружиной. В колпачке выполнено направляющее отверстие для стержня. Кроме того, узел может быть снабжен дополнительным колпачком, поджатым возвратной пружиной к внутреннему торцу камеры сжатия.<br>В корпусе выполнено сквозное отверстие с расточкой. закрытое на одном конце пробкой, а с другого конца в нем установлен ступенчатый поршень, состоящий из части меньшего диаметра, помещений в отверстие и части большего диаметра. выполненной в форме стакана. В расточке находится камера сжатий, соединенная с резервуаром для жидкости осевым отверстием. Камера сжатия сообщается также каналом со вспомогательным цилиндром, воздействующем па тормозную систему. |
| 3. Сдвоенный главный цилиндр для гидравлической тормозной | СССР<br>авторское св-во.<br>№ 610481<br>B60T11/16                         | Недостатком известных цилиндров является то, что в пружине, расположенной между поршнями, возникают большие усилия, которые снижают надежность работы устройства» [19]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Продолжение таблицы 6

| «Предмет поиска                                                                  | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационные индексы | Сущность заявленного технического решения и цели его создания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| системы транспортного средства                                                   |                                                                           | В данном цилиндре между пружиной и поршнем большего диаметра установлен стакан с торцовым отверстием, образующим буртик для взаимодействия с выступом головки поршня меньшего диаметра, а ограничитель перемещения поршня меньшего диаметра выполнен в виде винта, расположенного радиально в ступенчатом отверстии и входящего в выполненный на поршне меньшего диаметра продольный паз                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4. Блок главных цилиндров гидравлической тормозной систем транспортного средства | СССР<br>авторское св-во.<br>№1178319<br>B60T11/20                         | Блок главных цилиндров гидравлической тормозной системы транспортного средства, содержащий два отдельных главных цилиндра, полости сжатия которых сообщены перепускным каналом, в котором у каждого главного цилиндра установлено по перепускному клапану с седлом, выполненным в корпусе соответствующего главного цилиндра, и запорным элементом, отличающийся тем, что, с целью повышения его надежности, запорный элемент каждого перепускного клапана посредством промежуточного элемента кинематически связан с профилированной поверхностью поршня главного цилиндра, обеспечивающий закрытое, дросселированное и открытое состояния перепускного клапана при различных положениях поршня. |
| 6. Рабочий орган гидравлических тормозных систем                                 | Патент РФ<br>№ 2263593<br>B60T11/16                                       | Изобретение относится к технике, включающей гидравлические устройства, в частности к гидравлическим цилиндрам тормозных систем транспортных средств. Известен силовой гидроцилиндр, содержащий корпус цилиндра, в котором установлена тонкостенная втулка, а зазоры между втулкой и цилиндром заполнены затвердевающим композитным наполнителем.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 7. Главный тормозной цилиндр» [12]                                               | «Патент РФ<br>№ 2251503<br>B60T11/16, B60T11/28                           | «Изобретение относится к области транспортного машиностроения, а именно к главным тормозным цилиндрам гидравлических тормозных систем. Главный тормозной цилиндр содержит корпус, во внутреннем канале которого                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Продолжение таблицы 6

| Предмет поиска                    | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационные индексы | Сущность заявленного технического решения и цели его создания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   |                                                                           | расположен, по меньшей мере, один поршень. Поршень образует со стенками канала сзади своего пояска камеру подачи жидкости и перед последним, со стороны своей носовой части, камеру ее сжатия. Периферийный клапан поршня содержит уплотнитель, подпружиненный относительно носовой части поршня к разделительному кольцу, внутри которого расположен поясок поршня» [17]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8. Главный гидравлический цилиндр | Патент РФ<br>№ 3158337<br>B60T11/16, F15B15/00                            | «Главный гидравлический цилиндр предназначен для применения в гидравлической тормозной системе транспортного средства, содержит корпус цилиндра, поршень, клапан, стопор, первый и второй упоры. Поршень скользит в корпусе цилиндра с возможностью совершения рабочего хода и сжимает текучую среду в камере давления. Клапан перемещается поршнем. Гнездо клапана и клапанный элемент выполнены подвижными относительно друг друга с возможностью открытия и закрытия клапана и взаимодействия друг с другом. Стопор закреплен в корпусе цилиндра» [17]                                                                                                                                                                                                                 |
| 9. Главный тормозной цилиндр      | Патент РФ<br>№ 1136988<br>B60T11/16                                       | «Главный тормозной цилиндр, содержащий корпус со сквозным отверстием, с одной стороны которого установлена крышка, а с другой - два последовательно расположенных поршня, внутренний из которых подпружинен и выполнен с осевым отверстием и оборудован окружающим указанное отверстие уплотнительным элементом, имеющим возможность контакта с внутренней торцевой поверхностью наружного поршня, с которым жестко связан ограничитель перемещения внутреннего поршня от наружного, проходящий в осевое отверстие внутреннего поршня, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности работы путем увеличения быстродействия срабатывания, он снабжен дополнительными подпружиненными поршнями, расположенными в выполненных в крышке отдельных отверстиях » [17] |

Выводы по результатам анализа патентной документации.

«Справка по патентному поиску содержит основные конструкции устройств тормозных систем.

На основании проведенного патентного поиска, следует, что все нововведения в основном направлены на повышение эффективности главных цилиндров, либо на повышение их ресурса и уменьшение размеров рабочих органов тормозов на рабочих режимах.

Патентный поиск проведен как и по наиболее ранним разработкам на глубину более пятнадцати лет, так и по наиболее поздним разработкам, представленных за пятнадцать последних лет. Таким образом, этот патентный поиск можно считать исчерпывающим.

В данном дипломном проекте за прототип разрабатываемой конструкции было принято изобретение (Патент РФ № 3158337, МПК В60Т11/16, F15В15/00). Этот выбор основан на практической значимости данной конструкции и наиболее рациональном исполнении.

Более подробно работа проектируемого устройства описана в следующем разделе» [17].

### **3.3 Рабочая схема и принцип работы трактора Беларус-3022 с модернизированной тормозной системой**

Модернизированная тормозная система трактора Беларус-3022 представляет собой комбинированную гидравлическую систему с отдельными контурами передних и задних тормозов, что значительно повышает надежность и безопасность эксплуатации. В основе системы лежит двухсекционный главный тормозной цилиндр, каждая секция которого обслуживает независимый гидравлический контур.

Принцип работы системы начинается с воздействия оператора на педаль тормоза, которое через систему рычагов передается на толкатели главного тормозного цилиндра. В цилиндре создается давление тормозной

жидкости, которое по отдельным магистралям передается к колесным тормозным механизмам переднего и заднего мостов. Особенностью модернизированной системы является применение дисковых тормозных механизмов на всех колесах, что обеспечивает более стабильное и эффективное торможение по сравнению с ранее применявшимися барабанными механизмами.

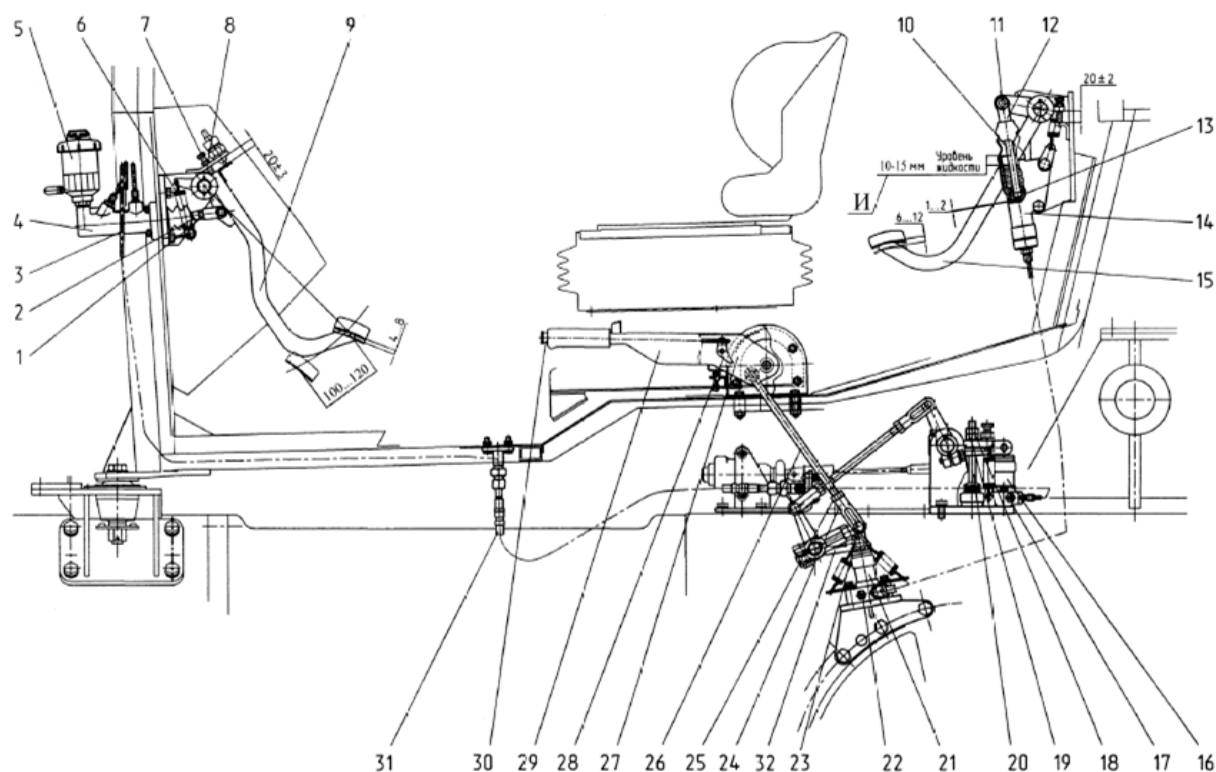
Гидравлический привод дополнен вакуумным усилителем, который существенно снижает усилие на педали тормоза при сохранении высокой эффективности торможения. В системе предусмотрен регулятор тормозных сил, автоматически изменяющий давление в задних тормозах в зависимости от нагрузки на задний мост, что предотвращает преждевременную блокировку колес.

Важным элементом модернизированной системы является стояночный тормоз, выполненный по схеме с отдельным механическим приводом на задние колеса. Он обеспечивает надежную фиксацию трактора на стоянке даже при значительных уклонах местности. В отличие от базовой модели, в модернизированной системе реализована возможность аварийного торможения при выходе из строя одного из контуров, что соответствует современным требованиям безопасности.

Работа системы контролируется датчиками износа колодок и уровнем тормозной жидкости, информация от которых выводится на панель приборов в кабине оператора. Все соединения в гидравлической системе выполнены с использованием быстросъемных фитингов, что упрощает обслуживание и ремонт. Применение современных материалов в тормозных механизмах позволило увеличить ресурс фрикционных пар в 1,5 раза по сравнению с базовой моделью.

Привод «тормозов» предназначен для управления тормозами, как на прямом ходу трактора, так и на реверсе. Тип привода тормозов гидростатический с подвесными педалями. Привод (рисунок 7) состоит из главных цилиндров 4 (для прямого хода) и 14 (в режиме реверса), подвесных

педаль 9 (для прямого хода) и 15 (в режиме реверса), рабочих цилиндров 16 (для прямого хода) и 21 (в режиме реверса), бачков 5. В системе привода тормозов в качестве рабочей жидкости применяется тормозная жидкость «Нева М» ТУ 2451-053-36732629-2003» [4].



- 1 – контргайка; 2 – толкатель; 3 – трубопровод; 4 – главный цилиндр; 5 – бачок;  
 6 – пружина; 7 – болт; 8 – гайка; 9 – педаль; 10 – толкатель; 11 – палец; 12 – вилка;  
 13 – поршень; 14 – главный цилиндр; 15 – педаль реверса; 16 – рабочий цилиндр;  
 17 – перепускной клапан; 18 – контргайка; 19 – регулировочная гайка; 20 – тяга;  
 21 – рабочий цилиндр реверса; 22 – перепускной клапан; 23 – палец; 24 – вилка;  
 25 – контргайка; 26 – тяга; 27 – сектор; 28 – фиксатор; 29 – рычаг; 30 – кнопка; 31 – рукав  
 гибкий; 32 – рычаг

Рисунок 7 – Схема управления тормозной системы

«Механизмы привода тормозов являются общими как для привода гидроцилиндрами от педалей (на прямом ходу и реверсе), так и для механического ручного привода от рычага управления 29 через систему тяг и рычагов на оба колеса» [5]. «При управлении педалями 9 на прямом ходу обеспечивается раздельное (по бортам) управление тормозами и управление

на оба тормоза при блокировании педалей. При управлении педалью реверса 15 и при ручном управлении торможение осуществляется двумя задними колёсами одновременно от рабочего цилиндра реверса 21 и рычага 32 (для реверса) и от рычага управления 29, через тягу 26 (для ручного управления).

Главный тормозной цилиндр (рисунок 8) предназначен для создания необходимого давления рабочей жидкости в тормозной системе трактора» [8]

«При воздействии на педаль тормоза толкатель 1 главного тормозного цилиндра, связанный с рычагом педали, перемещается вперед. При этом закрывается запорный клапан 4, через который в корпус 2 поступает тормозная жидкость из бачка. Поршень 3 перемещается вперед, толкая уравнивательный клапан 5 при этом часть жидкости под давлением поступает в уравнивательную камеру 7, что обеспечивает выравнивание давления жидкости в магистралях рабочих цилиндров правого и левого тормозов при воздействии на заблокированные педали. Рабочая жидкость при этом подается под давлением через выходное отверстие 6 по трубопроводу в рабочий цилиндр тормоза. Поршень рабочего цилиндра давлением жидкости перемещается и через шток поворачивает рычаг, который через сферическую шайбу, зафиксированную на тяге, поднимает ее, затягивая нажимными дисками тормоз. При снятии усилия с педали поршень рабочего цилиндра возвращается в исходное положение» [22].

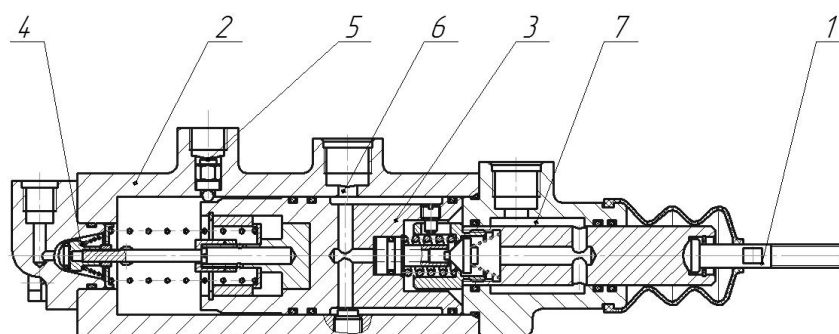


Рисунок 8 – Главный тормозной цилиндр

Конструктивное исполнение приводных механизмов для левого и правого тормозных устройств выполнено по единому принципу, однако

имеет ряд отличительных особенностей. Основные различия заключаются в геометрических параметрах приводных валиков, их пространственной ориентации и конфигурации наружных рычажных элементов.

Применение дифференцированного торможения (раздельного воздействия на левое и правое ведущие колеса) находит свое практическое применение при выполнении специальных технологических операций. Данный принцип управления позволяет существенно повысить маневренные характеристики тракторного агрегата, обеспечивая выполнение разворотов с минимальным радиусом за счет избирательного торможения соответствующего (внутреннего по отношению к центру поворота) колеса.

Особенностью такой системы управления является возможность точного позиционирования агрегата, снижение нагрузки на ходовую систему при маневрировании, минимизацию площади разворота, повышение безопасности выполнения работ. При этом сохраняется возможность одновременного задействования обоих тормозных механизмов для экстренного торможения или остановки агрегата.

### **3.4 Расчет элементов конструкции**

Выполним расчет толкателя главного гидроцилиндра тормозной системы.

«Расчет толкателя главного цилиндра тормозной системы трактора Беларусь-3022 выполним с помощью пакета программы APM WinMachine, представляющей собой систему для расчета и проектирования валов и осей APM Shaft» [11].

Для этого составим расчетную схему приложения сил и момента к толкателю (рисунок 9) и заполним таблицы 7, 8.

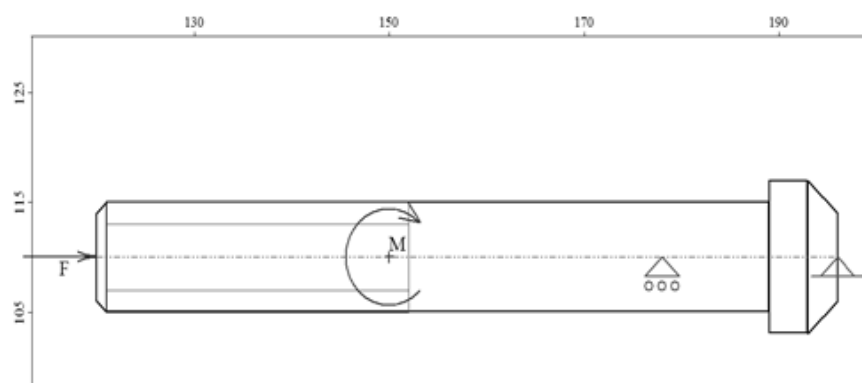


Рисунок 9 – Расчётная схема (толкатель главного цилиндра)

Таблица 7 – Исходные данные

|                                     |                         |                           |                   |            |                 |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|------------|-----------------|
| «Нагрузки                           |                         |                           |                   |            |                 |
| Моменты изгиба                      |                         |                           |                   |            |                 |
| Расстояние от левого конца вала, мм |                         | Модуль, Н·м               |                   | Угол, град |                 |
| 30,00                               |                         | 50,00                     |                   | 0,00       |                 |
| Осевые силы                         |                         |                           |                   |            |                 |
| Расстояние от левого конца вала, мм |                         | Значение, Н               |                   |            |                 |
| 0,00                                |                         | 500,00                    |                   |            |                 |
| Реакции в опорах                    |                         |                           |                   |            |                 |
| Расстояние от левого конца вала, мм | Реакция вертикальная, Н | Реакция горизонтальная, Н | Реакция осевая, Н | Модуль, Н  | Угол, град» [7] |
| 58,00                               | -2777,78                | 0,00                      | 0,00              | 2777,78    | -90,00          |
| 76,00                               | 2777,78                 | 0,00                      | -500,00           | 2777,78    | 90,00           |

Таблица 8 – Собственные частоты

| «Поперечные колебания |                  |
|-----------------------|------------------|
| №                     | Частота, рад/с   |
| 0                     | 11460,868        |
| 1                     | 74569,243        |
| 2                     | 211792,318       |
| 3                     | 402088,057       |
| 4                     | 530244,322       |
| Крутильные колебания  |                  |
| №                     | Частота, рад/с   |
| 0                     | 111170,955       |
| 1                     | 237722,977       |
| 2                     | 376051,525       |
| 3                     | 517102,438» [17] |

«По полученным данным в результате расчета толкателя главного цилиндра тормозной системы трактора Беларусь-3022 (таблица 8), было определено, что максимальный момент изгиба в наиболее опасном сечении равен  $50 \text{ Н}\cdot\text{м}$ » [2, 7].

Для точного определения рабочих характеристик пружины сжатия, применяемой в главном цилиндре тормозной системы трактора Беларусь-3022, целесообразно выполнить комплексный инженерный расчет с применением специализированного программного обеспечения. Наиболее рациональным подходом является использование возможностей автоматизированного проектирования, предоставляемых программным комплексом КОМПАС-3D.

Методика выполнения расчета:

1. Подготовка исходных данных:
  - Анализ конструктивных особенностей существующей тормозной системы
  - Определение рабочих нагрузок и условий эксплуатации пружины
  - Учет требований к надежности и долговечности элемента
2. Создание параметрической модели:
  - Разработка 3D-модели пружины с учетом посадочных размеров
  - Задание основных геометрических параметров (диаметр проволоки, шаг витков, количество рабочих витков)
  - Учет характеристик материала (модуль упругости, предел текучести)
3. Проведение инженерных расчетов:
  - Анализ напряженно-деформированного состояния
  - Расчет коэффициента запаса прочности
  - Определение рабочего хода и жесткости пружины

- Проверка на устойчивость (возможность потери продольной устойчивости).

Исходные данные:

|                                                                   |                |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|
| «Материал.....                                                    | Сталь 51ХФА-Ш. |
| Сила при рабочей деформации, Н.....                               | 183,62.        |
| Сила при предварительной деформации, Н.....                       | 0.             |
| Рабочий ход пружины, мм.....                                      | 6,5.           |
| Класс пружины.....                                                | 2.             |
| Разряд пружины.....                                               | 2.             |
| Наружный диаметр пружины, мм.....                                 | 35.            |
| Число рабочих витков.....                                         | 6.             |
| Число опорных витков.....                                         | 1.             |
| Диаметр проволоки, мм.....                                        | 5,5.           |
| Длина пружины в свободном состоянии, мм.....                      | 42.            |
| Длина пружины при максимальной деформации, мм.....                | 35,5.          |
| Максимальное касательное напряжение, МПа.....                     | 118,52.        |
| Длина развернутой пружины, мм.....                                | 696.           |
| Модуль сдвига материала, МПа.....                                 | 785.           |
| Жёсткость пружины, Н/мм.....                                      | 58,29.         |
| Масса пружины, кг.....                                            | 0,132» [7]     |
| На рисунке 10 представлен эскиз пружины сжатия главного цилиндра. |                |

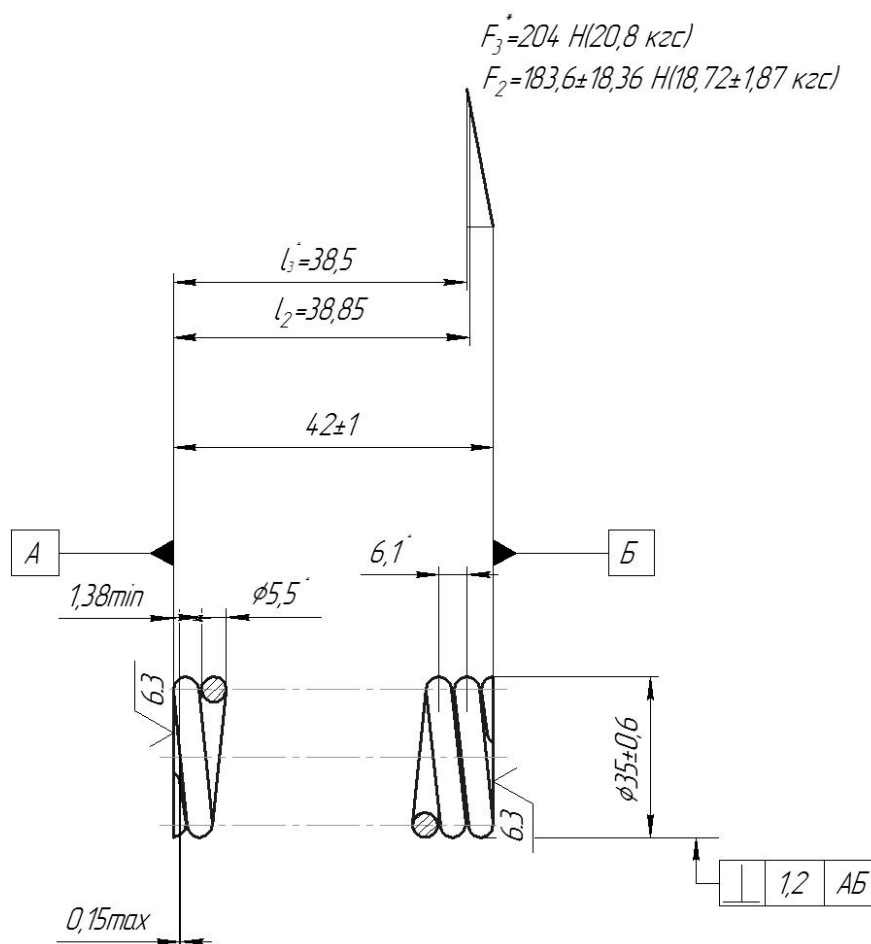


Рисунок 10 – Эскиз пружины сжатия главного цилиндра

Выполним расчет болтового соединения крепления кронштейна рабочего цилиндра тормозной системы, представляющего собой комплексный инженерный анализ, направленный на обеспечение надежной и безопасной работы тормозного механизма в различных условиях эксплуатации. Расчёт болтового соединения проведен с помощью пакета программы Komras 3D – APM FEM.

Выбираем тип болтового соединения с зазором, тип расчёта проектировочный [1].

Исходные данные для расчёта приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные для расчёта болтового соединения

| «Касательные силы                            |       |      |              |         |
|----------------------------------------------|-------|------|--------------|---------|
| Координаты [мм]                              |       |      | Проекция [Н] |         |
| x                                            | y     | z    | на x         | на y    |
| 205,00                                       | 42,00 | 0,00 | 750,00       | 0,00    |
| 133,00                                       | 7,00  | 0,00 | -0,00        | -450,00 |
| Постоянные параметры                         |       |      |              |         |
| Предел текучести материала деталей крепления |       |      | 250,00       | МПа     |
| Количество поверхностей среза/трения» [12]   |       |      | 1            |         |

Результаты расчета сводим в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчета

| «Показатель                                        | Единица измерения | Значение           |
|----------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Центр масс поверхности стыка                       | мм                | X=145,48; Y= 31,60 |
| Площадь поверхности стыка                          | мм <sup>2</sup>   | 9734,257           |
| Момент инерции стыка относительно центральных осей |                   |                    |
| – относительно горизонтальной оси                  | м <sup>4</sup>    | 4355048,047        |
| – относительно вертикальной оси                    | м <sup>4</sup>    | 22423903,265       |
| Угол наклона главных центральных осей              | рад               | 12,095             |
| Максимальная сдвигающая нагрузка на болт           | Н                 | 3076,347           |
| Диаметр стержня болта                              | мм                | 9,800              |
| Момент трения на торце гайки                       | Н·м» [15]         | 2,414              |

Из конструктивных соображений принимаем диаметр болта 10 мм [1].

Выводы по разделу.

В рамках данного раздела проведена комплексная разработка конструкции гидрообъемного тормозного привода для колесного трактора Беларус-3022, включающая как концептуальное проектирование системы в целом, так и детальный расчет ее ключевых функциональных элементов. Особое внимание уделялось обеспечению высоких эксплуатационных характеристик создаваемого устройства, в частности таким параметрам, как долговечность и ремонтпригодность, что подтверждается проведенными расчетами и анализом.

Проведенные расчеты основных элементов системы демонстрируют их соответствие действующим нормативным требованиям по прочности, надежности и работоспособности в различных режимах эксплуатации.

Конструктивные особенности разработанного привода обеспечивают возможность его эффективного использования в широком диапазоне рабочих условий, характерных для сельскохозяйственного производства.

Особенностью предложенного технического решения является оптимальное сочетание проверенных конструктивных решений с современными материалами и технологиями производства, что в совокупности обеспечивает достижение высоких показателей технико-экономической эффективности. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о значительном потенциале применения разработанной конструкции в серийном производстве модернизированных моделей тракторной техники.

#### **4 Технологический раздел дипломного проекта**

Расчет элементов конструкции тормозной системы является важнейшим этапом проектирования, обеспечивающим безопасность и надежность работы сельскохозяйственной техники. Для тракторов, включая модели Беларус-3022, такие расчеты выполняются с целью гарантировать эффективное торможение при различных нагрузках и условиях эксплуатации. Особое значение имеет расчет толкателя главного тормозного цилиндра, так как этот элемент непосредственно преобразует усилие от педали в гидравлическое давление в системе.

Основные причины проведения расчетов, это обеспечение безопасности - правильный расчет гарантирует, что тормозная система сможет остановить трактор с максимальной нагрузкой на предельно допустимом расстоянии, даже в экстренных ситуациях. Оптимизация энергозатрат оператора - расчет толкателя позволяет определить оптимальное соотношение между усилием на педали и создаваемым давлением, обеспечивая комфортное управление без излишней усталости водителя. Долговечность системы - точные расчеты предотвращают перегрузки элементов, что увеличивает срок службы всей тормозной системы.

При расчете толкателя учитывают несколько критически важных параметров: передаточное число педального узла, определяющее соотношение между усилием ноги оператора и силой, действующей на толкатель. Обычно составляет 4:1 - 6:1 для сельскохозяйственной техники.

Ход толкателя, который должен обеспечивать полное срабатывание тормозных механизмов при допустимом ходе педали (обычно 120-150 мм).

Прочностные характеристики - толкатель рассчитывают на сопротивление усталостным нагрузкам при многократных циклах срабатывания.

Тепловые нагрузки - учитывают возможный нагрев от трения в уплотнениях.

Методика расчета включает определение требуемого тормозного момента, расчет необходимого давления в системе, определение усилия на толкателе, проверку на прочность и устойчивость к деформациям, анализ теплового режима работы. Особое внимание уделяют выбору материалов - чаще всего используют легированные стали с последующей термообработкой для достижения требуемой твердости поверхности (HRC 50-55).

При модернизации тормозной системы Беларус-3022 точные расчеты позволяют улучшить эффективность торможения на 20-30%, снизить усилие на педали при сохранении характеристик, увеличить ресурс деталей в 1,5-2 раза, обеспечить совместимость с другими элементами модернизированной системы.

В «автотракторостроении преобладает массовое и крупносерийное производство. По сравнению с другими отраслями машиностроения здесь имеются более благоприятные условия для механизации и автоматизации процессов сборки и сокращения на этой основе ручного труда. Между тем, трудоемкость работ в заготовительных и обрабатывающих цехах большинства автомобильных и тракторных заводов снижается более быстрыми темпами, чем в сборочных. В связи с этим относительное значение трудоемкости сборки очень часто не сокращается, а растет.

Удельный вес сборочных работ в общей трудоемкости изготовления автомобилей и тракторов составляет в настоящее время 25-30%» [13].

Исходными данными для «проектирования технологического процесса сборки являются:

- сборочные чертежи (изделия, узла или машины);
- технические условия на сборку;
- рабочие чертежи деталей, входящих в изделие;
- заданная годовая программа или общая программа выпуска.

Также при проектировании технологического процесса сборки необходимо пользоваться вспомогательными материалами, такими как: каталоги, паспорта, характеристики сборочного оборудования и механизированного сборочного инструмента; ГОСТ и нормы на немеханизированный сборочный инструмент, технологические процессы сборки типовых узлов» [22].

#### **4.1 Выбор технологического процесса сборки тормозной системы**

Сборка тракторов представляет несколько этапов: подготовку компонентов, узловую сборку, агрегатную сборку и общую сборку машины. В зависимости от типа производства (крупносерийное, среднесерийное или мелкосерийное) применяются различные методы организации труда – от конвейерных линий до стационарных постов. На крупных заводах, таких как Минский тракторный завод (МТЗ), применяется поточная сборка, где трактор перемещается от одного рабочего места к другому, а на каждом этапе монтируются определенные узлы (двигатель, трансмиссия, ходовая часть, кабина и т. д.). В мелкосерийном производстве чаще используется фиксированная сборка, когда трактор собирается на одном месте, а к нему последовательно подвозятся необходимые компоненты.

Такт выпуска – это временной интервал, через который с конвейера сходит готовая продукция. Он определяется по формуле:

$$\text{Такт выпуска} = \frac{\text{Фонд рабочего времени}}{\text{Плановый объём выпуска}}$$

Чем меньше такт выпуска, тем выше производительность. Однако слишком жесткий график может снижать качество сборки, поэтому в мелкосерийном производстве такт обычно больше, но зато выше контроль над каждым этапом.

Мелкосерийное производство (от 10 до 1000 единиц в год) имеет несколько ключевых преимуществ перед массовым выпуском, а именно гибкость производства – проще вносить изменения в конструкцию, адаптировать тракторы под требования заказчика (специальные модификации для сельского хозяйства, лесной промышленности, коммунальных служб). более высокое качество – поскольку сборка ведется небольшими партиями, каждый трактор проходит тщательный контроль, а рабочие имеют больше времени на точную подгонку деталей. Меньшие складские затраты – нет необходимости хранить огромные запасы комплектующих, что снижает логистические издержки. Быстрая адаптация к новым технологиям – проще внедрять инновации (например, новые тормозные системы, электронные блоки управления) без остановки всего конвейера. Экономическая эффективность для нишевых рынков – мелкосерийное производство выгодно при выпуске специализированных тракторов (например, для горной местности или болотистых почв), где массовый выпуск нерентабелен.

Рассчитаем такт выпуска по формуле:

$$T_d = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (78)$$

где  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным 2070 ч. для стационарной сборки на необорудованном оборудовании;

$m$  – количество смен, принимается равным 1;

$N$  – годовой объем выпуска, принимается равным 120 шт.

$$T_d = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{120} = 1035 \text{ ч.}$$

Далее составляем технологическую схему сборки.

Технологическая схема сборки – это «графическое представление последовательности операций, необходимых для производства конечного продукта. Она описывает порядок выполнения всех этапов производства, начиная с получения исходных материалов и заканчивая готовым изделием.

Основные элементы технологической схемы сборки:

- получение исходных материалов;
- подготовительные операции – разметка материалов, нарезка, обработка и так далее;
- сборочные операции – сборка изделия из отдельных деталей;
- окончательная обработка – шлифовка, полировка, окраска и так далее;
- контроль качества – проверка соответствия готового изделия заданным требованиям;
- упаковка и хранение готового изделия.

Перечень сборочных работ узловой и общей сборки модернизированной тормозной системы колесного трактора» [20] Беларус-3022 представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень сборочных работ

| Содержание основного и вспомогательного перехода                   | Время на выполнение операции, мин. |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| «Взять корпус позиция 5                                            | 0,1                                |
| Осмотреть корпус на наличие повреждений и дефектов                 | 1                                  |
| Взять пружину позиция 19                                           | 0,1                                |
| Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов                | 1                                  |
| Установить пружину в корпус                                        | 0,5                                |
| Взять проставку позиция 17                                         | 0,1                                |
| Установить проставку на пружину                                    | 0,5                                |
| Взять кольцо 003*005-25 позиция 18                                 | 0,1                                |
| Установить кольцо 003*005-25 в корпус                              | 0,3                                |
| Взять крышку заднюю позиция 6                                      | 0,1                                |
| Осмотреть крышку заднюю на наличие повреждений и дефектов          | 1                                  |
| Запрессовать крышку заднюю в корпус                                | 0,8                                |
| Взять шайбы 8 Л позиция 28 (2 шт.), болт М8×1-6058.35Х.16 (2 шт.)  | 0,2                                |
| Зафиксировать крышку при помощи шайб 8 Л и болтов М8×1-6058.35Х.16 | 4                                  |
| Взять пружину позиция 15                                           | 0,1                                |
| Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов                | 1                                  |
| Установить пружину в корпус                                        | 0,5                                |
| Взять втулку позиция 18                                            | 0,1                                |
| Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов                 | 1                                  |
| Запрессовать втулку в корпус                                       | 2                                  |
| Взять шток позиция 16                                              | 0,1                                |
| Осмотреть шток на наличие повреждений и дефектов                   | 1                                  |
| Установить шток в корпус                                           | 2                                  |
| Взять стакан позиция 20                                            | 0,1                                |
| Осмотреть стакан на наличие повреждений и дефектов                 | 1                                  |
| Установить стакан в корпус                                         | 2                                  |
| Взять втулку позиция 14                                            | 0,1                                |
| Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов                 | 1                                  |
| Запрессовать втулку в корпус                                       | 2                                  |
| Взять тарелку позиция 13                                           | 0,1                                |
| Осмотреть тарелку на наличие повреждений и дефектов                | 1                                  |
| Установить тарелку в корпус                                        | 2                                  |
| Взять упор позиция 12                                              | 0,1                                |
| Осмотреть упор на наличие повреждений и дефектов                   | 1                                  |
| Установить упор в корпус                                           | 2                                  |
| Взять кольцо 003*009-40 позиция 25                                 | 0,1                                |
| Установить кольцо 003*009-40 в корпус                              | 0,3                                |
| Взять поршень позиция 11» [7]                                      | 0,1                                |

Продолжение таблицы 11

| Содержание основного и вспомогательного перехода                        | Время на выполнение операции, мин. |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| «Осмотреть поршень на наличие повреждений и дефектов                    | 1                                  |
| Установить поршень в корпус                                             | 3                                  |
| Взять винт стопорный позиция 21                                         | 0,1                                |
| Закрутить винт стопорный в корпус                                       | 1                                  |
| Взять пружину позиция 10                                                | 0,1                                |
| Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов                     | 1                                  |
| Установить пружину в корпус                                             | 0,5                                |
| Взять шток позиция 22                                                   | 0,1                                |
| Осмотреть шток на наличие повреждений и дефектов                        | 1                                  |
| Установить шток в корпус                                                | 2                                  |
| Взять втулку позиция 9                                                  | 0,1                                |
| Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов                      | 1                                  |
| Запрессовать втулку в корпус                                            | 2                                  |
| Взять палец стопорный позиция 8                                         | 0,1                                |
| Осмотреть палец стопорный на наличие повреждений и дефектов             | 1                                  |
| Установить палец стопорный в корпус                                     | 2                                  |
| Взять кольцо 003*005-42 позиция 27                                      | 0,1                                |
| Установить кольцо 003*005-42 в корпус                                   | 0,5                                |
| Взять пружину позиция 23                                                | 0,1                                |
| Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов                     | 1                                  |
| Установить пружину в корпус                                             | 0,5                                |
| Взять крышку переднюю позиция 4                                         | 0,1                                |
| Осмотреть крышку заднюю на наличие повреждений и дефектов               | 1                                  |
| Запрессовать крышку заднюю в корпус                                     | 2                                  |
| Взять толкатель позиция 2                                               | 0,1                                |
| Осмотреть толкатель на наличие повреждений и дефектов                   | 1                                  |
| Установить толкатель в корпус                                           | 2                                  |
| Взять чехол грязезащитный позиция 3                                     | 0,1                                |
| Осмотреть чехол грязезащитный на наличие повреждений и дефектов         | 1                                  |
| Установить чехол грязезащитный на корпус                                | 1                                  |
| Взять клапан ОСТ 24.125.12-89 позиция 29                                | 0,1                                |
| Осмотреть клапан ОСТ 24.125.12-89 на наличие повреждений и дефектов     | 1                                  |
| Установить клапан ОСТ 24.125.12-89 в корпус и затянуть с моментом 5 Н·м | 2                                  |
| Проверить качество выполненных операций и выполнить регулировку» [7]    | 10                                 |
| Итого:                                                                  | 70,1                               |

Рассчитаем общее оперативное время на все виды работ по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}, \quad (79)$$

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}$$

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{ит}^{общ} = t_{он}^{общ} + t_{он}^{общ} \cdot \left( \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (80)$$

где  $\alpha$  – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 3%;  
 $\beta$  – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 5%» [23].

$$t_{ит}^{общ} = 70,1 + 70,1 \cdot \left( \frac{3+5}{100} \right) = 75,7 \text{ мин.}$$

## **4.2 Разработка технологического процесса сборки модернизированной тормозной системы**

В рамках организации производственного процесса разрабатывается детальная технологическая карта, содержащая полный перечень необходимых операций по изготовлению и сборке узлов. Каждая операция сопровождается указанием применяемого технологического оснащения, включая специализированные приспособления, контрольные устройства и рабочий инструмент. Параллельно осуществляется нормирование временных затрат на выполнение каждой технологической операции с учетом квалификации исполнителей и применяемого оборудования.

Полученные данные систематизируются в табличной форме (таблица 12).

Таблица 12 – «Технологический процесс сборки модернизированной тормозной системы колесного трактора Беларус-3022» [18]

| «Номер операции | Наименование операции | Номер позиции | Содержание операции, перехода                                      | Оборудование, инструмент, приспособление                                       | Затрачиваемое время, мин. |
|-----------------|-----------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 005             | Сборочная             | 1             | Взять корпус позиция 5                                             | «Тиски, набор головок, рожковые ключи, отвертка, молоток, плоскогубцы, вороток | 60,1                      |
|                 |                       | 2             | Осмотреть корпус на наличие повреждений и дефектов                 |                                                                                |                           |
|                 |                       | 3             | Взять пружину позиция 19                                           |                                                                                |                           |
|                 |                       | 4             | Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов                |                                                                                |                           |
|                 |                       | 5             | Установить пружину в корпус                                        |                                                                                |                           |
|                 |                       | 6             | Взять проставку позиция 17                                         |                                                                                |                           |
|                 |                       | 7             | Установить проставку на пружину                                    |                                                                                |                           |
|                 |                       | 8             | Взять кольцо 003*005-25 позиция 18                                 |                                                                                |                           |
|                 |                       | 9             | Установить кольцо 003*005-25 в корпус                              |                                                                                |                           |
|                 |                       | 10            | Взять крышку заднюю позиция 6                                      |                                                                                |                           |
|                 |                       | 11            | Осмотреть крышку заднюю на наличие повреждений и дефектов          |                                                                                |                           |
|                 |                       | 12            | Запрессовать крышку заднюю в корпус                                |                                                                                |                           |
|                 |                       | 13            | Взять шайбы 8 Л позиция 28 (2 шт.), болт М8×1-6058.35Х.16 (2 шт.)  |                                                                                |                           |
|                 |                       | 14            | Зафиксировать крышку при помощи шайб 8 Л и болтов М8×1-6058.35Х.16 |                                                                                |                           |
|                 |                       | 15            | Взять пружину позиция 15                                           |                                                                                |                           |
|                 |                       | 16            | Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов                |                                                                                |                           |
|                 |                       | 17            | Установить пружину в корпус» [22]                                  |                                                                                |                           |

Продолжение таблицы 12

| «Номер операции | Наименование операции | Номер позиции | Взять втулку позиция 14                                   | Оборудование, инструмент, приспособление | Затрачиваемое время, мин. |
|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
|                 |                       | 18            | Взять втулку позиция 18                                   |                                          |                           |
|                 |                       | 19            | Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов        |                                          |                           |
|                 |                       | 20            | Запрессовать втулку в корпус                              |                                          |                           |
|                 |                       | 21            | Взять шток позиция 16                                     |                                          |                           |
|                 |                       | 22            | Осмотреть шток на наличие повреждений и дефектов          |                                          |                           |
|                 |                       | 23            | Установить шток в корпус                                  |                                          |                           |
|                 |                       | 24            | Взять стакан позиция 20                                   |                                          |                           |
|                 |                       | 25            | Осмотреть стакан на наличие повреждений и дефектов        |                                          |                           |
|                 |                       | 26            | Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов        |                                          |                           |
|                 |                       | 27            | Запрессовать втулку в корпус                              |                                          |                           |
|                 |                       | 28            | Взять тарелку позиция 13                                  |                                          |                           |
|                 |                       | 29            | Осмотреть тарелку на наличие повреждений и дефектов       |                                          |                           |
|                 |                       | 30            | Установить тарелку в корпус                               |                                          |                           |
|                 |                       | 31            | Взять упор позиция 12                                     |                                          |                           |
|                 |                       | 32            | Осмотреть упор на наличие повреждений и дефектов          |                                          |                           |
|                 |                       | 33            | Установить упор в корпус                                  |                                          |                           |
|                 |                       | 34            | Взять кольцо 003*009-40 позиция 25                        |                                          |                           |
|                 |                       | 35            | Установить кольцо 003*009-40 в корпус                     |                                          |                           |
|                 |                       | 36            | Взять поршень позиция 11                                  |                                          |                           |
|                 |                       | 37            | Осмотреть поршень на наличие повреждений и дефектов» [22] |                                          |                           |

Продолжение таблицы 12

| Номер операции | Наименование операции | «Номер позиции | Взять втулку позиция 14                                     | Оборудование, инструмент, приспособление | Затрачиваемое время, мин. |
|----------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
|                |                       | 38             | «Установить поршень в корпус                                |                                          |                           |
|                |                       | 39             | Взять винт стопорный позиция 21                             |                                          |                           |
|                |                       | 40             | Закрутить винт стопорный в корпус                           |                                          |                           |
|                |                       | 41             | Взять пружину позиция 10                                    |                                          |                           |
|                |                       | 42             | Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов         |                                          |                           |
|                |                       | 43             | Установить пружину в корпус                                 |                                          |                           |
|                |                       | 44             | Взять шток позиция 22                                       |                                          |                           |
|                |                       | 45             | Осмотреть шток на наличие повреждений и дефектов            |                                          |                           |
|                |                       | 46             | Установить шток в корпус                                    |                                          |                           |
|                |                       | 47             | Взять втулку позиция 9                                      |                                          |                           |
|                |                       | 48             | Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов          |                                          |                           |
|                |                       | 49             | Запрессовать втулку в корпус                                |                                          |                           |
|                |                       | 50             | Взять палец стопорный позиция 8                             |                                          |                           |
|                |                       | 51             | Осмотреть палец стопорный на наличие повреждений и дефектов |                                          |                           |
|                |                       | 52             | Установить палец стопорный в корпус                         |                                          |                           |
|                |                       | 53             | Взять кольцо 003*005-42 позиция 27                          |                                          |                           |
|                |                       | 54             | Установить кольцо 003*005-42 в корпус                       |                                          |                           |
|                |                       | 55             | Взять пружину позиция 23                                    |                                          |                           |
|                |                       | 56             | Осмотреть пружину на наличие повреждений и дефектов         |                                          |                           |
|                |                       | 57             | Установить пружину в корпус» [22]                           |                                          |                           |

Продолжение таблицы 12

| Номер операции | Наименование операции | Номер позиции | «Взять втулку позиция 14                                                | Оборудование, инструмент, приспособление | Затрачиваемое время, мин. |
|----------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
|                |                       | 58            | Взять крышку переднюю позиция 4                                         |                                          |                           |
|                |                       | 59            | Осмотреть крышку заднюю на наличие повреждений и дефектов               |                                          |                           |
|                |                       | 60            | Запрессовать крышку заднюю в корпус                                     |                                          |                           |
|                |                       | 61            | Взять толкатель позиция 2                                               |                                          |                           |
|                |                       | 62            | Осмотреть толкатель                                                     |                                          |                           |
|                |                       |               | на наличие повреждений и дефектов                                       |                                          |                           |
|                |                       | 63            | Установить толкатель в корпус                                           |                                          |                           |
|                |                       | 64            | Взять чехол грязезащитный позиция 3                                     |                                          |                           |
|                |                       | 65            | Осмотреть чехол грязезащитный на наличие повреждений и дефектов         |                                          |                           |
|                |                       | 66            | Установить чехол грязезащитный на корпус                                |                                          |                           |
|                |                       | 67            | Взять клапан ОСТ 24.125.12-89 позиция 29                                |                                          |                           |
|                |                       | 68            | Осмотреть клапан ОСТ 24.125.12-89 на наличие повреждений и дефектов     |                                          |                           |
|                |                       | 69            | Установить клапан ОСТ 24.125.12-89 в корпус и затянуть с моментом 5 Н·м |                                          |                           |
| 010            | Регулировочная        | 1             | Проверить качество выполненных операций и выполнить регулировку» [22]   | —                                        | 10                        |

Технологическая схема сборки модернизированной тормозной системы колесного трактора Беларус-3022 представлена в графической части ВКР.

В рамках данного раздела проведено исследование, направленное на научное обоснование выбора оптимального технологического процесса сборки модернизированной тормозной системы для колесного трактора Беларус-3022. В ходе исследования был выполнен анализ существующих технологических решений, на основании которого разработана рациональная схема организации сборочных операций, учитывающая особенности конструкции модернизированного тормозного механизма.

Спроектированный технологический процесс сборки включает этапы от подготовки компонентов до окончательного контроля собранного узла. Каждый этап технологической цепочки проработан с учетом требований к точности сборки, последовательности операций и применяемому оборудованию.

Графическая часть выпускной квалификационной работы содержит наглядное представление разработанного технологического процесса в виде схем операций и технологических карт. Графические материалы выполнены в соответствии с действующими стандартами ЕСКД.

## **5 Производственная и экологическая безопасность проекта**

В современной экономической парадигме наблюдается значительная трансформация подходов к управлению персоналом, что выражается в повышенном внимании к человеческому капиталу как ключевому фактору производственной эффективности. Параллельно с этим отмечается существенная эволюция систем охраны труда, проявляющаяся в совершенствовании нормативной базы, внедрении инновационных защитных технологий и повышении стандартов безопасности на производственных объектах.

Согласно данным международных исследований, «экономические последствия производственного травматизма и профессиональной заболеваемости составляют значительную долю в структуре валового национального продукта развитых стран, достигая показателей от 2,6 до 3,8 процентов» [22]. Эти цифры наглядно демонстрируют масштаб потенциальных потерь, связанных с недостаточным вниманием к вопросам промышленной безопасности.

Особую значимость приобретает принцип вовлеченности персонала в процессы управления профессиональными рисками. Активное участие работников в формировании системы охраны труда позволяет достичь синергетического эффекта, сочетающего практический опыт непосредственных исполнителей с профессиональными знаниями специалистов по технике безопасности. Такой подход способствует созданию системы идентификации и минимизации производственных опасностей.

Концепция партисипативного управления охраной труда предполагает «реализацию следующих ключевых аспектов:

- систематическое информирование сотрудников о существующих профессиональных рисках
- организацию регулярных консультаций по вопросам улучшения условий труда

- создание механизмов обратной связи для выявления потенциально опасных ситуаций
- вовлечение персонала в процесс разработки и совершенствования инструкций по безопасности
- проведение совместных проверок рабочих мест с участием представителей трудового коллектива

Эмпирические исследования подтверждают, что предприятия, внедрившие принципы партисипативного управления охраной труда, демонстрируют на 30-40% более высокие показатели производственной безопасности по сравнению с организациями» [22], использующими традиционные авторитарные модели управления.

Работники должны иметь возможность выражать свое мнение и предлагать свои идеи по улучшению охраны труда в организации. Это позволит улучшить культуру безопасности и создать атмосферу ответственности и заботы о здоровье друг друга.

### **5.1 Характеристика технологического процесса**

Для всестороннего анализа эксплуатационно-технических характеристик и особенностей функционирования тормозной системы колесного трактора Беларусь-3022 требуется разработка технологического паспорта. Данный нормативно-технический документ должен отражать как конструктивные особенности системы, так и организационные аспекты ее технического обслуживания.

С конструктивно-технологической точки зрения, паспорт должен содержать детализированное описание кинематической схемы работы тормозного механизма, включая параметры взаимодействия составных элементов.

Организационно-технический раздел документа требует детализации последовательности операций технического обслуживания с указанием:

- перечня необходимого диагностического оборудования;
- требований к квалификации обслуживающего персонала;
- нормативов временных затрат;
- рекомендуемых периодичностей контроля;
- особенностей сезонного обслуживания;

Разработка паспорта позволит стандартизировать процессы технического обслуживания, минимизировать субъективный фактор при оценке технического состояния системы и оптимизировать ресурсное обеспечение ремонтных мероприятий. Документ учитывает специфику эксплуатации техники в различных климатических зонах и при различных нагрузочных режимах (таблица 13).

Таблица 13 – Технологический паспорт технологического процесса обслуживания тормозной системы колесного трактора Беларус-3022

| «Технологический процесс                                       | Технологическая операция, вид выполняемых работ                                                                                                                                                           | Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию | Оборудование, техническое устройство, приспособление                                                                | Материалы, вещества                           |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Обслуживание тормозной системы колесного трактора Беларус-3022 | 1. Проверить уровень тормозной жидкости в расширительном бачке.<br>2. Проверить состояние колодок тормозных механизмов. Визуально оценить их состояние, проверить толщину и наличие трещин или подрезаний | Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда                                    | Рожковые ключи, специальный ключ, плоскогубцы, набор ключей №10, 12, 14, 17, 19, 24, 32, отверток, линейка манометр | Перчатки, ветошь, тормозная жидкость» [4, 22] |

### Продолжение таблицы 13

| «Технологический процесс | Технологическая операция, вид выполняемых работ                                                                                                                                                                              | Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию | Оборудование, техническое устройство, приспособление | Материалы, вещества |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|
|                          | 3. Проверить состояние тормозных дисков на наличие трещин или значительных износов.<br>4. Проверить состояние тормозных шлангов.<br>5. Проверить состояние тормозных цилиндров.<br>6. Проверить работу ручного тормоза» [22] |                                                                                  |                                                      |                     |

## 5.2 Идентификация профессиональных рисков

Ключевым элементом системы управления охраной труда выступает процедура идентификации профессиональных рисков, направленная на поддержание и совершенствование комплексной оценки эффективности профилактических мероприятий. Процесс оценки профессиональных рисков предполагает детальный анализ всех потенциально опасных ситуаций, включая как допустимые, так и недопустимые производственные факторы. Особую значимость приобретает необходимость выделения организацией критических рисков, приближающихся к предельным значениям контролируемых параметров, требующих систематического анализа и корректировки. При этом степень тяжести возможных последствий характеризует масштаб негативного воздействия, которое может возникнуть

в результате неблагоприятного события. Определение вероятности наступления таких событий должно осуществляться с учетом эффективности существующих механизмов управления рисками.

Процедура идентификации рисков охватывает комплекс мероприятий по обнаружению существующих опасных факторов в производственной среде, анализу ранее выявленных угроз, а также оценке потенциальных последствий от воздействия установленных опасностей, которые могут привести к производственному травматизму, профессиональным заболеваниям или аварийным ситуациям. В обязанности работодателя входит реализация принципа замещения опасных производственных факторов менее вредными аналогами или их полное устранение, а также организация трудового процесса в соответствии с требованиями безопасной производственной среды.

Существенное значение имеет принцип адаптации рабочих мест к антропометрическим и психофизиологическим особенностям персонала. Учет индивидуальных характеристик работников при проектировании рабочих мест и распределении производственных заданий позволяет оптимизировать трудовой процесс и минимизировать профессиональные риски.

При анализе экологического воздействия рассматриваемой «конструкции трактора выделяются как положительные, так и отрицательные аспекты взаимодействия с окружающей средой. К негативным факторам относятся потенциальное загрязнение биосферы смазочными материалами из шарнирных соединений и гидравлических систем, образование загрязняющих частиц в процессе абразивного износа режущих элементов, а также экологические последствия коррозионных процессов на металлических поверхностях.

Работодатель также должен заменять опасные элементы на менее опасные или совсем неопасные, а также организовывать работу и условия

труда таким образом, чтобы создать безопасную атмосферу на рабочем месте.

Еще один важный аспект – это адаптация работы к личности работника. Каждый человек уникален и его индивидуальные потребности и возможности должны учитываться при создании рабочего места и установки задач.

Для данной конструкции трактора можно выделить негативные и позитивные проявления взаимодействия с окружающей средой.

К негативным относятся:

- возможное попадание смазочного материала от шарниров и гидроцилиндров в биосферу;
- загрязнение в результате истирания металлического ножа;
- загрязнение в результате коррозии металлических поверхностей.

Таблица 14 содержит результаты идентификации профессиональных рисков в процессе обслуживания тормозной системы колесного трактора Беларусь-3022» [22].

Результаты идентификации профессиональных рисков представляют собой систематизированные данные, полученные в ходе комплексного анализа потенциально опасных факторов производственной среды. Проведённая оценка позволяет выявить и классифицировать существующие угрозы для здоровья и безопасности персонала, учитывая как физические, так и психофизиологические аспекты трудовой деятельности.

Научно обоснованная идентификация рисков включает количественную и качественную характеристику выявленных опасностей с определением следующих параметров: степени потенциального вреда, вероятности возникновения неблагоприятного события, продолжительности воздействия вредного фактора. Особое значение имеет установление корреляционной зависимости между уровнем риска и эффективностью применяемых защитных мер.

Таблица 14 – Результаты идентификации профессиональных рисков

| «Операция                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ОиВПФ в соответствии с<br>ГОСТ 12.0.003-2015<br>ССБТ «Опасные и<br>вредные<br>производственные<br>факторы.<br>Классификация» | Источник<br>возникновения<br>ОиВПФ                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. «Проверить уровень тормозной жидкости в расширительном бачке.<br>2. Проверить состояние колодок тормозных механизмов. Визуально оценить их состояние, проверить толщину и наличие трещин или подрезаний<br>3. Проверить состояние тормозных дисков на наличие трещин или значительных износов.<br>4. Проверить состояние тормозных шлангов.<br>5. Проверить состояние тормозных цилиндров.<br>6. Проверить работу ручного тормоза. | Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей трактора, навесного оборудования                             | Элементы конструкции базовой машины                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Запыленность и загазованность воздуха                                                                                        | Поднимающаяся пыль от инструмента, ног                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования                                                                  | Элементы конструкции базовой машины                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Возможность поражения электрическим током                                                                                    | Инструмент в зоне проведения технического обслуживания                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Отсутствие или недостаток естественного света                                                                                | Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой                                                                | Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [12] |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Напряжение зрительных анализаторов                                                                                           |                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Монотонность труда, вызывающая монотонию                                                                                     |                                                                                                              |

### 5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Фундаментальным аспектом минимизации профессиональных рисков выступает систематическая подготовка и непрерывное обучение персонала, способствующее формированию компетенций для осознанного выполнения

трудовых операций и принятия обоснованных решений в процессе производственной деятельности.

Оптимизация организации трудового процесса посредством научно обоснованного планирования производственных задач позволяет существенно снизить вероятность возникновения нештатных ситуаций и минимизировать потенциальные риски. Особую значимость приобретает применение средств индивидуальной и коллективной защиты, являющихся обязательным элементом системы безопасности для отдельных видов профессиональной деятельности. В частности, в строительной отрасли использование защитных шлемов и специальных очков представляет собой необходимое условие обеспечения безопасных условий труда.

Важнейшим компонентом системы управления профессиональными рисками является реализация программ планово-предупредительных мероприятий, включающих регулярный мониторинг технического состояния оборудования и своевременное выполнение регламентных работ. Такой подход позволяет идентифицировать и устранять потенциальные источники опасности на стадии их возникновения.

Рациональное распределение производственной нагрузки с учетом психофизиологических возможностей работников способствует предотвращению переутомления и существенно снижает вероятность получения производственных травм. Научно обоснованная организация рабочего времени и условий труда является эффективным инструментом профилактики профессиональных заболеваний и повышения производительности труда.

«В обязанности работодателя входит обеспечение мероприятий, направленных на улучшение условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки условий труда (Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ). Работодатель должен направлять на эти цели, согласно статье 226 «Финансирование

мероприятий по улучшению условий и охраны труда» Трудового кодекса РФ, не менее 0,2 % суммы затрат на производство продукции (работ, услуг)» [12].

«Специальная оценка условий труда (далее – СОУТ) – это процесс анализа рабочей среды и рабочих операций с целью определения возможных рисков и определения мер по их устранению или снижению.

СОУТ проводится специалистами по охране труда и имеет законодательную базу во многих странах. Она является обязательной для всех организаций, где работники подвергаются воздействию вредных факторов, таких как шум, вибрация, химические вещества, пыль, излучения и другое.

Оценка проводится на основе измерений и анализа данных, полученных на рабочих местах. После проведения оценки, специалисты определяют уровень риска и рекомендуют меры по его снижению» [4].

«Основные мероприятия:

а) проведение специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) позволяет оценить условия труда на рабочих местах и выявить О и ВПФ и тем самым выполнить некоторые обязанности работодателя, предусмотренные Трудовым кодексом РФ:

- 1) информировать работников об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске повреждения здоровья, предоставляемых им гарантиях, полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты;
- 2) разработать и реализовать мероприятия по приведению условий труда в соответствие с государственными нормативными требованиями охраны труда;
- 3) установить компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда» [4].

б) «обеспечение работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых температурных и климатических условиях или связанных с

загрязнением, средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;

- в) устройство новых и (или) модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;
- г) приведение уровней естественного и искусственного освещения на рабочих местах, в бытовых помещениях, местах прохода работников в соответствие с действующими нормами;
- д) устройство новых и (или) реконструкция имеющихся мест организованного отдыха, помещений и комнат релаксации, психологической разгрузки, мест обогрева работников, а также укрытий от солнечных лучей и атмосферных осадков при работах на открытом воздухе; расширение, реконструкция и оснащение санитарно-бытовых помещений;
- е) обеспечение хранения средств индивидуальной защиты, а также ухода за ними (своевременная химчистка, стирка, дегазация, дезактивация, дезинфекция, обезвреживание, обеспыливание, сушка), проведение ремонта и замена СИЗ;
- ж) приобретение стендов, тренажеров, наглядных материалов, научно-технической литературы для проведения инструктажей по охране труда, обучения безопасным приемам и методам выполнения работ, оснащение кабинетов (учебных классов) по охране труда компьютерами, теле-, видео-, аудиоаппаратурой, лицензионными обучающими и тестирующими программами, проведение выставок, конкурсов и смотров по охране труда;
- з) обучение лиц, ответственных за эксплуатацию опасных производственных объектов;
- и) оборудование по установленным нормам помещения для оказания медицинской помощи и (или) создание санитарных постов с

аптечками, укомплектованными набором лекарственных средств и препаратов для оказания первой помощи;

к) и других мероприятий в рамках действующего законодательства (нормативно-правовых актов) РФ» [4].

Для решения выявленных проблем, используем методы и средства, соответствующие действующим нормативным документам. Также предлагаем меры, указанные в таблице 15, для уменьшения профессиональных рисков.

Таблица 15 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

| Профессиональный риск                                               | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Средства индивидуальной защиты                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования        | Организационно-технические мероприятия:<br>– инструктажи по охране труда;<br>– содержание технических устройств в надлежащем состоянии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [4]. |
| «Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля | Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания.<br>Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией.<br>Санитарно-гигиенические мероприятия:<br>– обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами;<br>– предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования.<br>– знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015;<br>– обеспечение дистанционного управления оборудованием | Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [4]. |

Продолжение таблицы 15

| Профессиональный риск                                                                | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Средства индивидуальной защиты                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Повышенный уровень шума                                                             | Применение звукоизоляции, звукопоглощения, демпфирования и глушителей шума (активных, резонансных, комбинированных); группировка шумных помещений в одной зоне здания и отделение их коридорами; введение регламентированных дополнительных перерывов; проведение обязательных медосмотров                                                                                                                                                                                                          | Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [4].                                  |
| «Возможность поражения электрическим током                                           | Оформление допуска по электробезопасности, проведение инструктажа по работе с электрическими установками, применение заземляющего устройства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [4, 26]. |
| «Отсутствие или недостаток естественного света                                       | Устройство дополнительных световых проемов в стенах, фонарей на крыше здания» [28]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | —                                                                                            |
| «Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой | Оздоровительно-профилактические мероприятия:<br>— медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и<br>— периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ;<br>— правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащенности средствами комплексной и малой механизации;<br>используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [25, 30]. | —                                                                                            |

Продолжение таблицы 15

| Профессиональный риск | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Средства индивидуальной защиты |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| «Монотонность труда   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– объединение малосодержательных операций в более сложные и разнообразные: длительность объединенных операций не должна превышать 10-12 мин, иначе это повлечет снижение производственных показателей;</li> <li>– чрезмерное укрупнение операций может не соответствовать уровню квалификации работника. При совмещении профессий следует учитывать перенос (положительное) и интерференцию (отрицательное) взаимодействие навыков новой и совмещаемой профессии» [5]. Должны загружаться различные психофизиологические функции работника;</li> <li>– «внедрение научно обоснованных режимов труда и отдыха для предотвращения возникновения у работающих на монотонных работах отрицательных психологических состояний (психологического пресыщения, скуки, сонливости, апатии);</li> </ul> | –                              |

Продолжение таблицы 15

| Профессиональный риск | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Средства индивидуальной защиты |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– применение методов эстетического воздействия во время работы, что способствует улучшению психологических условий труда и включает озеленение, цветовой интерьер, оптимальную освещенность рабочего места, снижение шума, вибрации, запыленности и загазованности;</li> <li>– отбор работников на основе учета их индивидуальных психофизиологических особенностей; разработку и регулярное применение систем морального и материального стимулирования;</li> <li>– усложнение обязанностей в процессе дежурства, а именно выполнение дополнительных задач по изучению техники, ведение записей в журнале;</li> <li>– выбор компромиссной продолжительности периодического дежурства исходя из назначения системы человек-машина» [20]; «установление оптимальной длительности ежесуточного пассивного отдыха (сна без перерывов) не менее 7 час (при</li> <li>– отсутствии экстренной необходимости его прерывания);</li> <li>– чередование пассивного отдыха с активным» [15, 21].</li> </ul> |                                |

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Анализируем вероятные источники возможного возникновения пожаров и выявляем опасные факторы, которые могут вызвать их появление (таблица 16).

Таблица 16 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

| Участок  | Оборудование                                        | Класс пожара | Опасные факторы пожара                                                                                                                | Сопутствующие проявления факторов пожара                                                                                                               |
|----------|-----------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Зона ТО | Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО | В            | Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения | Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [17]. |

В статье 42 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ представлена классификация пожарной техники:

- «системы, установки АПС (автоматическая пожарная сигнализация), АУПТ (автоматическая установка пожаротушения), СОУЭ (системы оповещения и управления эвакуацией), пожарной связи, автоматики;
- первичные: мобильные средства пожаротушения (все виды огнетушителей, пожарные краны, пожарный инвентарь);
- пожарное оборудование;
- средства индивидуального/группового самоспасения, защиты органов дыхания;
- ручной, механизированный инструмент» [12].

«Выполним классификацию средств пожаротушения применяемых для данного технического объекта:

- первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1 шт.;

- мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);
- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [5, 26].

Разработка мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности является одним из главных этапов обеспечения безопасности в зданиях и сооружениях. Такие мероприятия должны быть разработаны в соответствии с законодательными и нормативными актами и утверждены руководством организации.

Первый шаг при разработке мероприятий – это проведение анализа рисков возможного возникновения пожара в здании или сооружении.

Для этого необходимо провести осмотр помещений, выявить наличие возможных источников возгорания, оценить состояние систем пожарной безопасности [10, 24].

Обслуживание тормозной системы колесного трактора требует строгого соблюдения мер пожарной безопасности, поскольку работа проводится вблизи потенциальных источников воспламенения: масла, топлива, нагретых деталей и электрических компонентов. Нарушение правил может привести к возгоранию, травмам и значительным материальным потерям.

Основные требования пожарной безопасности:

Трактор должен быть оборудован первичными средствами пожаротушения: огнетушителем и лопатой. Запрещается эксплуатация трактора без этих средств. Все ремонтные и обслуживающие работы должны выполняться при выключенном двигателе и остуженных агрегатах, чтобы

исключить контакт горючих жидкостей с горячими поверхностями. Перед началом работ необходимо тщательно очистить трактор, особенно в районе тормозной системы, от грязи, пыли, остатков масла и топлива, поскольку их скопление увеличивает риск пожара. Не допускается использование открытого огня при обслуживании тормозной системы, в том числе для прогрева деталей или слива масла, а также при заправке или замере уровня топлива. Выхлопные трубы трактора должны быть направлены в сторону, исключающую попадание горячих газов на легковоспламеняющиеся материалы, технологические отходы и мусор. Запрещено возить на тракторе дополнительные емкости с горючим, развешивать пропитанную топливом или маслом одежду и тряпки. Особенности обслуживания тормозной системы с точки зрения пожарной безопасности. При работе с гидравлическими и пневматическими приводами тормозов необходимо контролировать герметичность соединений, чтобы предотвратить утечку тормозной жидкости или масла, которые легко воспламеняются.

Регулярная проверка состояния тормозных трубок: они не должны тереться о раму или другие детали, чтобы избежать повреждений и утечек.

При обнаружении утечек масла, тормозной жидкости или воздуха необходимо немедленно устранить неисправность. Не допустима эксплуатация трактора с неисправной тормозной системой.

Не допустимо загрязнение тормозных механизмов маслами, топливом или другими горючими жидкостями. При попадании их на детали тормозов необходимо тщательно очистить поверхности.

Работы по обслуживанию тормозной системы рекомендуется проводить в специально оборудованных местах, вдали от источников открытого огня и мест хранения горючих материалов.

Все сотрудники, обслуживающие тормозную систему, должны быть обучены действиям при пожаре и уметь пользоваться огнетушителем.

Выполним разработку мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности при обслуживании тормозной системы колесного

трактора Беларус-3022 (таблица 17), в целях обеспечения пожарной безопасности, определяющих порядок поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий.

Таблица 17 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании тормозной системы колесного трактора Беларус-3022

| Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности                                          | Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Наличие сертификата соответствия                                                                                                           | Все приобретаемое оборудование должно                                                                                                                                         |
| продукции требованиям пожарной безопасности                                                                                                 | в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [9, 15]                                                                                                      |
| «Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007                                     | Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]                                                                 |
| «Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования                        | Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24, 25] |
| «Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ                                                         | Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].                                        |
| «Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения      | Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей                                                     |
| Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения | Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [3]                                                                  |
| «Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143–2009, ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ                 | Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах                                                   |
| Размещение информационного стенда по пожарной безопасности                                                                                  | Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [2, 15]                                                                                              |

«Для обеспечения экологической безопасности технологического процесса необходимо принимать следующие меры:

- использование экологически чистых материалов и ресурсов.

Например, замена опасных химических реагентов на более

безопасные аналоги;

- минимизация выбросов и отходов. Необходимо использовать эффективные системы очистки выбросов и переработки отходов;
- соблюдение норм и требований экологического законодательства. Технологический процесс должен соответствовать требованиям всех нормативных документов и лицензий;
- обучение и мотивация персонала. Сотрудники должны понимать важность экологической безопасности и использовать соответствующие методы;
- проведение экологической оценки технологического процесса.

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе обслуживания тормозной системы колесного трактора Беларусь-3022 и сведем их в таблицу 18» [22].

Таблица 18 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

| Технологический процесс                                          | Антропогенное воздействие на окружающую среду:                                                               |                                                 |                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                  | атмосферу                                                                                                    | гидросферу                                      | литосферу                                                                                                                        |
| «Обслуживание тормозной системы колесного трактора Беларусь-3022 | Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей. | Масло трансмиссионное, тормозная жидкость» [22] | «Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [22]. |

Разработка мероприятий по минимизации антропогенного воздействия при техническом обслуживании тормозной системы колесного трактора Беларусь-3022 требует комплексного подхода, учитывающего все этапы эксплуатационного цикла [8]. Первостепенное внимание уделяется созданию системы экологически безопасного обслуживания, включающей технологические и организационные решения.

Технологическая составляющая предполагает внедрение методов

обслуживания, исключающих попадание технических жидкостей и отработанных материалов в окружающую среду. Особое значение имеет разработка замкнутых систем промывки и очистки тормозных механизмов, предотвращающих образование жидких отходов. Для сбора и утилизации отработанного тормозного флюида необходимо предусмотреть специальные герметичные емкости с последующей передачей специализированным организациям.

Организационные мероприятия включают создание специально оборудованных постов обслуживания с твердым покрытием, системой сбора случайных утечек и ливневой канализации с нефтеуловителями. Обязательным требованием становится использование персоналом средств индивидуальной защиты, предотвращающих прямой контакт с техническими жидкостями.

Для минимизации пылеобразования при обработке фрикционных материалов предлагается применение локальных систем аспирации и влажной обработки поверхностей. Антикоррозионная обработка металлических элементов должна проводиться с использованием экологически безопасных составов, не содержащих тяжелых металлов и хлорорганических соединений.

Важным аспектом является внедрение системы экологического мониторинга, включающей регулярный контроль состояния почвы и воздуха в зоне проведения обслуживания. Для оценки эффективности мероприятий разрабатываются критерии экологической безопасности, учитывающие снижение выбросов загрязняющих веществ и уменьшение образования отходов.

Персонал, занятый обслуживанием, проходит специальную подготовку по экологически безопасным методам работы, включая обучение правилам обращения с опасными отходами и действиям в аварийных ситуациях.

Технологические карты обслуживания дополняются экологическими требованиями и ограничениями.

Реализация разработанных мероприятий позволит существенно снизить нагрузку на окружающую среду при сохранении высокого качества технического обслуживания тормозной системы. Эффективность предложенных решений подтверждается расчетами снижения эмиссии загрязняющих веществ и уменьшением объема образующихся отходов.

## 6 Экономическая эффективность проекта

Проведение модернизации тормозной системы колесного трактора Беларус-3022 требует детального анализа структуры производственных затрат, включающего несколько ключевых аспектов. Основу калькуляции себестоимости составляют прямые материальные затраты на приобретение комплектующих и расходных материалов. В частности, существенные расходы связаны с закупкой высококачественных фрикционных материалов для тормозных колодок, специальных сплавов для изготовления дисков, а также уплотнительных элементов гидравлической системы.

Технологическая составляющая себестоимости включает затраты на разработку и изготовление оснастки для производства новых узлов, а также модернизацию существующего оборудования. Особое внимание уделяется расходам на проведение испытаний опытных образцов, включающим как лабораторные тесты, так и полевые испытания в различных климатических условиях. Значительную долю в общей структуре затрат занимают расходы на сертификацию модернизированной системы и получение необходимых разрешительных документов.

Трудовые затраты на изготовление включают не только непосредственное производство компонентов, но и проведение комплекса подготовительных мероприятий. Косвенные расходы учитывают амортизацию оборудования, энергопотребление производственных мощностей, а также затраты на логистику и складирование комплектующих. Особенностью калькуляции является необходимость учета затрат на переподготовку персонала, связанную с освоением новых технологических процессов.

Затраты на изготовление модернизированной тормозной системы колесного трактора Беларус-3022 определяем по формуле [15]:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{сб.н}} + C_{\text{о.н}}, \quad (81)$$

где  $C_{к.д}$  – стоимость изготовления корпусных деталей, р.;

$C_{о.д}$  – затраты на изготовление оригинальных деталей, р.;

$C_{н.д}$  – цена покупных деталей, изделий, агрегатов, р.;

$C_{сб.н}$  – полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{о.н}$  – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.

Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_k \cdot C_k, \quad (82)$$

где  $Q_k$  – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

$C_k$  – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 135,0 р./кг [16].

$$C_{к.д} = 2,0 \cdot 135,0 = 270,0 \text{ р.}$$

Общая стоимость корпусных деталей составляет 270,0 р.

Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{о.д} = C_{при} + C_m, \quad (83)$$

где  $C_{при}$  – заработная плата производственных рабочих, занятых на изготовление оригинальных деталей, с учетом дополнительной зарплаты и отчислений, р.;

$C_m$  – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р.

Заработную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{np} = t \cdot C_q \cdot \kappa_t, \quad (84)$$

где  $t$  – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей, (поршень 3,6 чел.-ч.; палец стопорный 0,5 чел.-ч; шток 1,2 чел.-ч.; толкатель 1,1 чел.-ч.; толкатель 2,1 чел.-ч.; пружина 0,4 2 чел.-ч.);  
 $C_q$  – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду, р./ч;  
 $\kappa_t$  – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимается равным 1,03.

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 января 2023 года МРОТ составляет 16242 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда:  $16242/(7 \cdot 21) = 110,48$  р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [12].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду:  $110,48 \cdot 1,42 = 156,88$  р./ч.

$$C_{np} = 8,9 \cdot 156,88 \cdot 1,03 = 1438,12 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_o = (5 \dots 12) \cdot C_{np} / 100, \quad (85)$$
$$C_o = 10 \cdot 1438,12 / 100 = 143,81 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{соц} = 30 \cdot (C_{np} + C_o) / 100, \quad (86)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (1438,12 + 143,81) / 100 = 474,58 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma \text{пр}} = 1438,12 + 143,81 + 474,58 = 2056,51 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 2056,51 р.

Стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (87)$$

где  $C$  – цена 1 кг материала заготовок, р./кг;

$Q_3$  – масса заготовки, кг» [12].

$$C_M = 160 \cdot 3,8 = 608 \text{ р.}$$

$$C_{o.d} = 2056,51 + 608 = 2664,51 \text{ р.}$$

Таким образом, затраты на изготовление оригинальных деталей составляют 2664,51 р.

«Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определяется по формуле:

$$C_{\text{сб.п}} = C_{\text{сб}} + C_{\text{д.сб}} + C_{\text{соц.сб}}, \quad (88)$$

где  $C_{\text{сб}}$  – основная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{\text{д.сб}}$  – дополнительная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{\text{соц.сб}}$  – страховые взносы в фонды, р» [12].

«Основная заработная плата рабочих, занятых на сборке рассчитывается по формуле:

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (89)$$

где  $T_{сб}$  – нормативная трудоемкость на сборку конструкции, чел.-ч.

$$T_{сб} = k_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (90)$$

где  $t_{сб}$  – трудоемкость сборки составных частей, чел.-ч ;

$k_c$  – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [12].

По справочным данным принимаем  $t_{сб}$  равную 8,0 чел.-ч.

$$T_{сб} = 1,25 \cdot 8,0 = 10 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{сб} = 10 \cdot 156,88 \cdot 1,03 = 1615,86 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 1615,86 = 161,58 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (1615,86 + 161,58) = 533,23 \text{ р.,}$$

$$C_{сб.п} = 1615,86 + 161,58 + 533,23 = 2310,67 \text{ р.}$$

Таким образом, полная заработная плата производственных рабочих занятых на сборке составит 2310,67 р.

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{он} = \frac{(C_{np}^l \cdot R_{он})}{100}, \quad (91)$$

где  $C_{np}^l$  – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

$R_{он}$  – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [12].

$$C'_{np} = (C_{np} + C_{сб}), \quad (92)$$

$$C'_{np} = 2056,51 + 1615,86 = 3672,37 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(3672,37 \cdot 15)}{100} = 550,85 \text{ р.}$$

Стоимость покупных деталей, изделий, агрегатов представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

| Значение                  | Числовое значение, руб. |
|---------------------------|-------------------------|
| Клапан ОСТ 24.125.12-89   | 350,0                   |
| Кольцо 005*009-40 (3 шт.) | 54,0                    |
| Кольцо 003*005-40 (3 шт.) | 48,0                    |
| Шайба 8 Л                 | 12,0                    |
| Итого:                    | 464                     |

$$C_{нд} = 350 + 54 + 48 + 12 = 464 \text{ р.}$$

Далее рассчитаем годовую экономию, годовой экономический эффект и срок окупаемости нашей разработки.

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 270 + 2664,51 + 464 + 2310 + 550,85 = 6259,36 \text{ р.}$$

Затраты на разработку модернизированной тормозной системы колесного трактора Беларус-3022 сведем в таблицу 20.

Таблица 20 – Затраты на изготовление конструкторской разработки колёсной муфты с дистанционным управлением

| Обозначение                                 | Числовое значение, руб. |
|---------------------------------------------|-------------------------|
| Стоимость изготовления корпусных деталей    | 270                     |
| Стоимость изготовления оригинальных деталей | 2664,51                 |
| Общая заработная плата на сборку            | 464                     |
| Общепроизводственные накладные расходы      | 2310                    |
| Стоимость покупных изделий                  | 550,85                  |
| Итого:                                      | 6259,36                 |

Общие затраты на разработку модернизированной тормозной системы колесного трактора Беларусь-3022 равны 6259,36 р.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{\text{пр}} - C_{\text{кон}}, \quad (93)$$

где  $C_{\text{пр}}$  – стоимость прототипа, р. [25].

$$\mathcal{E}_Г = 8000 - 6259,36 = 1740,64 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{кон}}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (94)$$

$$O_{\text{ок}} = \frac{6259,36}{1740,64} = 3,59 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{\text{кон}} \quad (95)$$

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 1740,64 - 0,15 \cdot 6259,36 = 801,73 \text{ р.}$$

В таблице 21 представлены основные показатели проекта.

Таблица 21 – Основные показатели проекта

| Показатели                                                   | Единица измерения | Значение     |                 |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|
|                                                              |                   | До внедрения | После внедрения |
| Стоимость изготовления конструкции                           | р.                | 8000         | 6259,36         |
| Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции | р.                | –            | 1740,64         |
| Экономический эффект                                         | р.                | –            | 801,73          |
| Срок окупаемости                                             | год               | –            | 3,59            |

Выводы по разделу.

Экономический анализ показывает, что основными факторами, влияющими на величину затрат, выступают: степень модернизации существующих узлов, выбор поставщиков комплектующих, а также масштаб производства. При этом следует учитывать потенциальный экономический эффект от внедрения модернизированной системы, выражающийся в увеличении межремонтного периода и снижении эксплуатационных расходов. Оптимизация производственных затрат достигается за счет применения ресурсосберегающих технологий и рационального использования материалов. Стоимость разработки конструкции модернизированной тормозной системы колесного трактора Беларус-3022 составляет 6259,36 р., срок окупаемости равен 3,59 года, что является допустимым для данной конструкции.

## **Заключение**

В рамках выполнения дипломного проекта проведено исследование, направленное на совершенствование тормозной системы колесного трактора Беларус-3022. Основной акцент работы сосредоточен на разработке технических решений, позволяющих существенно повысить эффективность функционирования тормозного механизма в условиях интенсивной эксплуатации.

В процессе исследования выполнена систематизация теоретических аспектов применения колесных тракторов, включая анализ их эксплуатационных характеристик и перспективных направлений совершенствования. Особое внимание уделено классификации существующих тормозных систем и механизмов, что позволило обосновать выбор оптимальной конструктивной схемы модернизации.

Проведенный тягово-динамический расчет трактора Беларус-3022 обеспечил получение исходных данных для проектирования. На основании расчетных параметров разработана конструкция гидрообъемного тормозного привода, отличающаяся повышенными показателями долговечности и ремонтпригодности.

Технологический раздел работы содержит обоснование выбранного процесса сборки, включая расчет трудоемкости операций и разработку соответствующей технологической документации. Проведен анализ вопросов безопасности и экологичности проекта, подтверждающий соответствие разработанных решений действующим нормативным требованиям.

Экономическая оценка проекта демонстрирует целесообразность проведения модернизации, что подтверждается расчетами ожидаемого экономического эффекта. Результаты исследования свидетельствуют о значительном потенциале практического применения разработанных технических решений в серийном производстве.

## Список используемой литературы и используемых источников

1 Беляев В. П. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для самостоятельной работы студентов : для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" / В. П. Беляев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Автомобили". - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2010. - 74, [1] с

2 Вахламов В. А. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (Автомобильный транспорт)" направления подготовки "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / В. К. Вахламов. - 2-е изд., стер. - Москва : Академия, 2009. - 556, [1] с.

3 Войнаш А. С. Конструкция, теория и расчет малогабаритных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / А. С. Войнаш, С. А. Войнаш, Т. А. Жарикова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова", Рубцовский индустриальный институт. - Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. - 132 с.

4 Гаврилов М. С. Программы расчета элементов деталей машин (в помощь конструктору) [Текст] / М. С. Гаврилов. - Москва : Спутник+, 2015. - 118 с.

5 Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства по дисциплине "Конструкции подъемно-транспортных, строительных,

дорожных средств и оборудования" : [практикум] / М. Д. Герасимов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. - 115 с.

6 Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. - 22 с.

7 Гребнев В. П. Тракторы и автомобили [Электронный ресурс] : теория и эксплуатационные свойства : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин ; под общ. О. И. Поливаева. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2015. - 260 с.

8 Губарев А. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие : для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / А. В. Губарев, А. Г. Уланов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Колесные, гусеничные машины и автомобили". - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2015. - 564, [1] с.

9 Демура Н. А. Организация и планирование производства [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства и направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. - 122 с.

10 Дубинин Н. Н. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 190109 - Наземные транспортно-технологические средства специализации "Технические средства природообустройства и защиты в

чрезвычайных ситуациях / Н. Н. Дубинин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород : Изд-во БГТУ, 2014. - 258 с.

11 Зак Г. Г. Справочник конструктора (машиностроителя) [Текст] / Г. Г. Зак, Л. И. Рубинштейн. - Минск : Изд-во Акад. наук БССР, 1963. - 567 с.

12 Зузов В. Н. Механика наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие / В. Н. Зузов ; Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - 185, [1] с

13 Ионес С. В. Советские полноприводные [Текст] : [12+] / С. В. Ионес, Н. С. Марков, Н. А. Рубежной [и др.]. - Тула : Борус-Принт, 2017-. - 31 см. Т. 1: Легковые. Т. 1. - 2017. - 417 с.

14 Кондратьева-Бейер М. В. Automobil und traktor [Текст] = Автомобиль и трактор : Немецкая хрестоматия / М. В. Кондратьева-Бейер, Ю. В. Бейер. - Москва ; Ленинград : Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933 (М. : 17 тип. треста "Полиграфкнига"). - Обл., 179 с.

15 Лебедев В. А. Технология машиностроения: проектирование технологии сборки изделий : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. А. Лебедев ; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Дон. гос. техн. ун-т, Азов. технол. ин-т. - Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2005. - 161 с.

16 Митрохин Н. Н. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств : учебник : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 23.03.03 "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", 15.03.01 "Машиностроение" (квалификация (степень) "бакалавр") / Н. Н. Митрохин, А. П. Павлов. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 262, [1] с.

17 Михайлов В. А. Экологичные системы защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / В. А. Михайлов, Е. В. Сотникова, Н. Ю. Калпина. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2022. - 213 с.

18 Основные характеристики и тенденции развития современных отечественных и зарубежных сельскохозяйственных тракторов : учебное пособие / А. П. Иншаков [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Мордовский гос. ун-т им. Н. П. Огарева". - Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2007. - 162, [4]с.

19 Поливаев О. И. Тракторы и автомобили. Конструкция [Текст] : учебное пособие для вузов / О. И. Поливаев [и др.] ; под общ. ред. О. И. Поливаева. - Москва : КноРус, 2016. - 251 с. Перегудов Н. Е. Основы создания трехмерных моделей деталей и сборочных единиц автотракторной техники : учебное пособие / Н. Е. Перегудов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Липецкий государственный технический университет". - Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2021. - 112 с.

20 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 "Наземные транспортно-технологические средства" / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 211 с.

21 Уханов А. П. Конструкция и основы теории транспортных машин [Текст] : учебное пособие / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, М. В. Рыблов ; М-во

сельского хозяйства Российской Федерации, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. - Пенза : РИО ПГСХА, 2015. - 226 с.

22 Хисамов С.А. Модернизация тормозной системы колесного трактора Беларус [Текст] : выпускная квалификационная работа / С. А. Хисамов ; ТГУ, 2023.

23 Школьников А. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие / А. И. Школьников ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. радиотехнических систем. - Челябинск : ЮУрГУ, 2009. - 63, [3] с.

24 Шубин А. А. Разработка технологического процесса изготовления детали [Текст] : учебное пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине "Технология производства наземных транспортно-технологических средств" / А. А. Шубин ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), Калужский филиал. - Калуга : Манускрипт, cop. 2018. - 65 с.

25 Garrett T.K. The Motor Vehicle / T.K Garrett, K. Newton, W. Steeds. 13th ed. - Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. - 1214 p.

26 Heisler H. Advanced vehicle technology / Heinz Heisler. - 2. ed. - Oxford [etc.] : Butterworth - Heinemann, 2002. - IX, 654, [1] p.

27 Pacejka H. B. Tyre and vehicle dynamics / Hans B. Pacejka. - Oxford [etc.] : Butterworth - Heinemann, 2002. - XIII, 627, [1] p.

28 Regan F. J. Re-entry vehicle dynamics / Frank J. Regan. - New York : Amer. inst. of aeronautics a. astronautics, 1984. - X, 414 p.

29 Zanten A., Erhardt R., Pfaff G. An Introduction to Modern Vehicle Design /Edited by Julian Happian-Smith. Reed Educational and Professional Publishing Ltd 2012. - 600 p.