

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)

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 Разработка легкого гусеничного тягача на базе МТЛБ

Обучающийся

П.П. Русанов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

(ученая степень (при наличии), звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

(ученая степень (при наличии), звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. пед. наук, доцент С.А. Гудкова

(ученая степень (при наличии), звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Представлен дипломный проект на тему «Разработка легкого гусеничного тягача на базе МТЛБ».

Актуальность данной темы обусловлена тем, что транспортные системы развиваются не только в направлении совершенствования транспортных средств, предназначенных для передвижения по дорогам общего пользования, но и внедорожных транспортных средств. Все это вызывает необходимость разработки специфических видов транспорта на базе уже существующих образцов техники. Особенно это актуально для транспорта, задействованного для работы в условиях тяжелого бездорожья.

Дипломный проект состоит из следующих разделов: введение, шесть глав, раскрывающих тему проекта, заключения и списка использованных источников, включая иностранные. Графическая часть диплома представлена на десяти листах формата А1.

Целью дипломного проекта является разработка легкого гусеничного тягача на базе МТЛБ на уровне технического проекта.

Логически структура дипломного проекта разделена на следующие части, связанные между собой: анализ существующих технических решений для гусеничных вездеходов, тяговый расчет транспортного средства, разрабатываемого в рамках дипломного проекта, силовые и прочностные расчеты отдельных элементов конструкции транспортного средства, разработка технологического процесса сборки транспортного средства в условиях единичного производства, разработка безопасных условий труда на участке и экономическое обоснование эффективности проекта.

Разработанная в рамках дипломного проекта конструкция легкого гусеничного тягача на базе МТЛБ обладает значительно более высокими эксплуатационными характеристиками в сравнении с базовой конструкцией гусеничного тягача.

Разрабатываемая конструкция может служить отдельной конструкторской веткой в линейке гусеничных транспортных средств повышенной проходимости. Необходимо отметить, что в настоящее время данная ниша на рынке практически не представлена транспортными средствами, а значит является перспективной с точки зрения ее освоения.

Отдельно необходимо отметить, что результаты выполненной работы в рамках дипломного проекта имеют не только теоретическое, но также обладают практическим значением. Разработанная конструкция может быть реализована в рамках мелкосерийного производства транспортных средств повышенной проходимости.

Annotation

A graduation project on the topic "Development of a light tracked tractor based on MTLB" is presented.

The relevance of this topic is due to the fact that transport systems are developing not only in the direction of improving vehicles intended for movement on public roads, but also off-road vehicles. All this necessitates the development of specific modes of transport based on existing models of equipment. This is especially true for vehicles involved in heavy off-road conditions.

The diploma project consists of the following sections: an introduction, six chapters that reveal the topic of the project, a conclusion and a list of sources used, including foreign ones. The graphic part of the diploma is presented on ten sheets of A1 format.

The purpose of the diploma project is to develop a light tracked tractor based on MTLB at the level of a technical project.

Logically, the structure of the diploma project is divided into the following parts, interconnected: analysis of existing technical solutions for tracked all-terrain vehicles, traction calculation of the vehicle developed within the framework of the diploma project, power and strength calculations of individual elements of the vehicle structure, development of the technological process of assembling the vehicle under conditions unit production, the development of safe working conditions on the site and the economic justification for the effectiveness of the project.

The design of a light caterpillar tractor based on MTLB developed as part of a graduation project has significantly higher performance characteristics in comparison with the basic design of a caterpillar tractor.

The design being developed can serve as a separate design branch in the line of off-road tracked vehicles. It should be noted that at present this niche in the market is practically not represented by vehicles, which means it is promising in terms of its development.

Separately, it should be noted that the results of the work performed within the framework of the graduation project are not only theoretical, but also have practical significance. The developed design can be implemented as part of small-scale production of off-road vehicles.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 8 |
| 1 Технический и конструкторский анализ объекта разработки | 11 |
| 1.1 Технические требования, предъявляемые к гусеничному транспортному средству | 11 |
| 1.2 Техническое задание на разрабатываемую конструкцию гусеничного транспортного средства | 13 |
| 1.3 Анализ конструкции гусеничных движителей | 20 |
| 1.3.1 Классификация гусеничных движителей | 20 |
| 1.3.2 Составная гусеница рельсового типа с приподнятыми закрытыми шарнирами | 22 |
| 1.3.3 Гусеничные движители с литыми звеньями | 26 |
| 1.3.4 Гусеничные движители с литыми звеньями рельсового типа | 27 |
| 1.3.5 Гусеницы с резинометаллическим шарниром | 29 |
| 1.3.6 Тенденции развития конструкций движителей гусеничных транспортных средств | 32 |
| 2 Конструкторская разработка гусеничного многофункционального транспортного средства | 35 |
| 2.1 Тяговый расчет гусеничного тягача на базе МТЛБ | 35 |
| 2.2 Разработка конструкции шарнира гусеничного движителя | 40 |
| 2.3 Расчет сил и напряжений в шарнире спроектированного узла гусеничного движителя | 43 |
| 2.4 Конструктивное решение звена гусеничной цепи | 47 |
| 2.5 Проверочные расчеты основных узлов машины | 48 |
| 3 Разработка технологического процесса сборки трансмиссии гусеничного транспортного средства | 65 |
| 3.1 Анализ конструкции, взятой на технологическую разработку | 65 |
| 3.2 Технологический процесс сборки механизма трансмиссии | 66 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 4 | Охрана труда и безопасность жизнедеятельности на участке сборки объекта дипломного проектирования | 71 |
| 4.1 | Характеристика участка сборки | 71 |
| 4.2 | Профессиональные риски, характерные для участка | 73 |
| 4.3 | Разработка мероприятий по снижению воздействия профессиональных рисков на работающих | 77 |
| 4.4 | Пожарная безопасность и противопожарные мероприятия на участке | 81 |
| 4.5 | Мероприятия по обеспечению экологической безопасности участка | 84 |
| 5 | Расчет показателей экономической эффективности дипломного проекта . | 86 |
| 5.1 | Характеристика объекта анализа экономической эффективности | 86 |
| 5.2 | Расчет себестоимости нормо-часа работ сборочного участка | 87 |
| | Заключение | 96 |
| | Список используемой литературы и используемых источников | 101 |

Введение

Современное развитие технологий и промышленности требует создания мобильной техники, способной выполнять разнообразные задачи в различных условиях. Одним из наиболее востребованных видов техники являются гусеничные тягачи, которые нашли широкое применение в военной, строительной, лесозаготовительной и других отраслях промышленности. Их преимуществами являются высокая проходимость по сложному рельефу, отсутствие необходимости в особой подготовке дорожного покрытия и возможность перевозки грузов большой массы. Главным образом, обеспечение высокой проходимости гусеничных тягачей обеспечивается за счет применения сочлененного движителя – гусеницы.

Гусеничный движитель имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с колесным движителем.

Во-первых, он обладает лучшей проходимостью, особенно на неустойчивых и сложных поверхностях, таких как грунт, снег или грязь. Гусеницы позволяют равномерно распределять вес транспортного средства, что обеспечивает хорошее сцепление с поверхностью и минимизирует вероятность проскальзывания.

Во-вторых, гусеничный движитель обладает более высокой устойчивостью и управляемостью, что особенно важно на крутых склонах и в условиях низкого сцепления с грунтами. Благодаря большой площади контакта с поверхностью, гусеницы обеспечивают более высокую тягу и возможность маневрирования.

Это особенно важно для ряда специализированных транспортных средств, таких как военная техника, специальные машины или сельскохозяйственные трактора, которые работают в сложных дорожных условиях. Кроме того, гусеничные движители позволяют равномерно распределять нагрузку от массы транспортного средства по всей поверхности грунта или снежного наста, что снижает риск повреждений движителя и

формирования глубоких колеи. Это качество особенно ценно при движении по мягким или неустойчивым поверхностям, таким как размокший грунт или глубокий снежный наст.

Наконец, гусеничный движитель способен преодолевать препятствия, такие как ямы, валуны или рельефный рельс, лучше, чем колесный движитель. Гусеницы позволяют транспортному средству преодолевать препятствия путем "перекатывания" через них, в то время как колеса могут застревать или повреждаться.

В целом, гусеничный движитель обеспечивает лучшую маневренность и проходимость на сложных поверхностях, увеличивает устойчивость транспортного средства и способность его к преодолению препятствий, а также минимизирует риск застревания или проскальзывания при движении. В связи с этим, гусеничные транспортные средства широко применяются в различных отраслях, таких как военная техника, сельское хозяйство, строительство.

В рамках дипломного проекта предлагается разработать легкий гусеничный тягач на базе МТЛБ (многоцелевой транспортер легкий бронированный) – одного из наиболее распространенных и проверенных временем гусеничных транспортных средств. МТЛБ уже давно используется во многих странах и отлично зарекомендовал себя как надежное и универсальное средство передвижения, в том числе в гражданских версиях.

Целью данного проекта является разработка нового легкого гусеничного тягача на базе МТЛБ, который сочетал бы в себе высокую проходимость и маневренность в условиях бездорожья, а также позволял бы выполнять различные задачи, связанные с перевозкой грузов в условиях бездорожья.

Для достижения данной цели необходимо решить ряд конструктивных, функциональных и эксплуатационных задач, а также провести комплексные исследования и испытания разрабатываемого тягача. В рамках дипломной работы будут рассмотрены основные технические характеристики и

требования к разрабатываемому тягачу, а также будут проанализированы существующие аналоги и конструкции гусеничных транспортных средств.

Будет проведен анализ рынка и потенциальных потребителей данного технического решения, а также определены основные требования к надежности, безопасности и эргономике.

Важной частью данного проекта будет разработка конструкции гусеничного тягача, включающая в себя расчет и проектирование основных узлов и деталей. Особое внимание будет уделено конструкции гусеничного движителя.

В заключение, будет проведено комплексный расчет разработанного гусеничного тягача, включающее в себя проверку его проходимости, грузоподъемности и других характеристик в рамках тягового расчета. Будут оценены и сравнены полученные результаты с требованиями и ожиданиями заказчика, а также проведен анализ экономической эффективности и конкурентоспособности данного технического решения.

Таким образом, выполнение данного дипломного проекта позволит разработать новый легкий гусеничный тягач на базе МТЛБ, который будет обладать высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, а также в полной мере соответствовать современным требованиям, предъявляемым к транспортным средствам. Это позволит повысить эффективность выполнения различных транспортных задач, связанных с перевозкой грузов в сложных дорожных условиях.

1 Технический и конструкторский анализ объекта разработки

1.1 Технические требования, предъявляемые к гусеничному транспортному средству

Разработка транспортера производится на базе МТЛБ, изначально спроектированного как транспортное средство военного назначения. Для создания на основе специального транспортного средства гражданский транспортер необходимо выполнить ряд условий, обеспечивающих возможность движения его в том числе по дорогам общего пользования. Это касается в первую очередь для обеспечения лучшей обзорности с места водителя, для чего будет удаляться часть бронирования и устанавливаться средства обзора, зеркала и дополнительная светотехника. Рассмотрим технические характеристики гусеничного транспортного средства.

«Гусеничное транспортное средство класса 4 тонн тяги – гусеничный транспорт, общего назначения, для работы в условиях бездорожья с навесным (включая фронтальную и боковую навеску), полунавесными, прицепными, гидрофицированными, комбинированными машинами и орудиями. Гусеничное транспортное средство предназначено для выполнения транспортных работ в условиях бездорожья. Для выполнения транспортных операций и работ с навесным оборудованием, например отвалом, гусеничное транспортное средство должно хорошо агрегатироваться при сохранении нормальной управляемости.

На базе гусеничного транспортного средства должно быть предусмотрено создание болотоходной и крутосклонной модификации с параметрами по скорости и мощности установленными в соответствии с требованиями учреждений и ведомств, использующих это гусеничное транспортное средство.» [7]

При проектировании гусеничного движителя для легкого гусеничного тягача на базе МТЛБ, успешность и эффективность проектных решений

играют ключевую роль в обеспечении оптимальной работы и надежности технического решения.

Важным аспектом разработки гусеничного движителя является определение оптимальной конструкции гусеницы. Проектные решения могут включать в себя выбор оптимальной ширины, длины и формы гусеницы, а также оптимальное расположение гусеничных звеньев и подвески. Цель состоит в обеспечении хорошей проходимости и устойчивости транспортного средства при минимальном сопротивлении при движении.

Разработка эффективной системы управления и передачи мощности также является важным аспектом проектирования гусеничного движителя. Проектные решения могут включать в себя выбор оптимального типа сцепления, передачи и дифференциала, а также разработку эффективной системы управления мощностью. Цель состоит в обеспечении оптимальной тяги и маневренности при минимальных потерях мощности.

Применение современных материалов и технологий в проектных решениях гусеничного движителя позволяет снизить его вес, повысить прочность и долговечность. Например, использование легких, но прочных композитных материалов в конструкции гусеницы может снизить массу тягача, улучшить его проходимость и эффективность. Также применение современных технологий, таких как компьютерное моделирование и симуляция, позволяет оптимизировать конструкцию и повысить эффективность процесса проектирования.

В целом, успешность и эффективность проектных решений при проектировании гусеничного движителя важны для обеспечения оптимальной работы и максимальной производительности технического решения. Применение оптимальной конструкции, эффективной системы управления и передачи мощности, современных материалов и технологий, а также инновационных решений позволяет создать гусеничный тягач, который сочетает в себе высокую проходимость, надежность и эффективность работы.

«Уход за гусеничным транспортным средством не должен превышать 4...5 % от общего времени эксплуатации. Это должно быть достигнуто введением автоматической регулировки механизмов, сокращения течей смазки, введением сочленений с постоянной смазкой, централизацией смазки отдельных механизмов с автоматической дозаправкой, увеличением периодов между смазками, увеличением объема топливного бака, созданием удобства и легкого доступа к смазываемым и регулируемым точкам, введением болтовых соединений, не требующих периодической подтяжки, хорошими уплотнениями, не допускающих течи топлива и смазки. Смазка всех агрегатов гусеничного транспортного средства должна производиться не более чем тремя видами смазочных материалов.» [7]

Унификация узлов гусеничного тягача является важным аспектом при его проектировании и производстве. Унификация позволяет упростить производственные процессы, снизить затраты на проектирование и производство, а также обеспечить легкость и эффективность обслуживания и ремонта.

Одним из основных требований к унификации является использование общих размеров и крепежных элементов для различных узлов гусеничного тягача. Например, использование стандартных размеров и типов болтов, гаек и шпилек позволяет упростить сборку и обслуживание тягача, а также уменьшить количество различных деталей и комплектующих.

Унификация трансмиссии тягача, включая двигатель, коробку передач, мосты и привод гусеничной системы, позволяет упростить производственные процессы и обслуживание. Использование однотипных или взаимозаменяемых узлов и компонентов позволяет снизить затраты на запасные части и повысить эффективность обслуживания.

Унификация системы управления, включая рулевое управление, систему тормозов и гидроусилитель, позволяет упростить обслуживание и ремонт тягача. Использование стандартных элементов и компонентов системы управления позволяет быстро и эффективно производить замену или ремонт

неисправных узлов. Так как конструкция предполагает создание тягача на базе МТЛБ, то и в конструкции будут использоваться узлы МТЛБ производства ГАЗ.

Унификация электрической системы, включая провода, разъемы и компоненты электроники, позволяет упростить установку и подключение различных устройств и оборудования. Использование стандартных элементов и компонентов также облегчает обслуживание и ремонт электрической системы.

Унификация кабины и интерьера тягача, включая элементы отделки, панели приборов, руль и сиденья, позволяет создать комфортное и функциональное рабочее место для водителя. Использование общих элементов и компонентов также упрощает производство и обслуживание кабины.

Унификация узлов гусеничного тягача является важным аспектом, который позволяет упростить производственные процессы, снизить затраты на проектирование и производство, а также повысить эффективность обслуживания и ремонта. Это позволяет создать более надежный, экономичный и удобный в эксплуатации гусеничный тягач.

1.2 Техническое задание на разрабатываемую конструкцию гусеничного транспортного средства

Разработка технического задания является основой для конструкторских работ над транспортными средствами любого типа.

Техническое задание на разработку представляется в виде таблицы, в которой будут отражены основные характеристики разрабатываемой конструкции. Параметры разрабатываемого гусеничного транспортного средства представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры разрабатываемого гусеничного транспортного средства

| Наименование показателя | Показатель |
|--|------------|
| Тяговый класс | 4 |
| Номинальное тяговое усилие, кН | 4 |
| Наибольшая тяговая мощность, кВт | 87 |
| Скорость движения при номинальном тяговом усилии, км/ч | 6.0 – 7.5 |
| Удельный расход топлива при наибольшей тяговой мощности, г / кВт.ч | 260 |
| Условный тяговый КПД | 0.75 |
| Максимальная мощность на валу отбора мощности (ВОМ) при регламентированной предприятием – изготовителем гусеничного транспортного средства частоте вращения коленчатого вала двигателя, кВт. | 111 |
| Удельный расход топлива при максимальной мощности на ВОМ, г/кВт.ч | 210 |
| КПД передачи от выходного вала двигателя к хвостовику ВОМ при максимальной мощности на ВОМ | 0.96 |
| Относительный расход масла двигателем, % | 1.0 |
| Мощность двигателя, кВт | |
| - номинальная | 115 |
| - эксплуатационная | 110 |
| Корректорный коэффициент запаса крутящего момента двигателя, % | 21 |
| Скорость движения при регламентированной предприятием – изготовителем гусеничного транспортного средства частоте вращения коленчатого вала двигателя и отсутствии буксования, км/ч: | |
| переднего хода: | |
| - наименьшая замедленная | |
| - наибольшая рабочая | 4.5 |
| - наибольшая транспортная | 14.0 |
| заднего хода: | 16.0 |
| - наименьшая | |
| - наибольшая | 6.0 |
| | 6.0 |
| Наибольшее отношение смежных передаточных чисел в рабочем диапазоне скоростей | 1.259 |
| Число передач: | |
| - переднего хода | 5 |
| - заднего хода | 1 |
| Масса транспортного средства, кг: | |
| - конструктивная с основным оборудованием | 7300 |
| - конструктивная без основного оборудования | 7100 |
| - эксплуатационная без балласта | 7610 |
| - эксплуатационная с балластом | 8010 |

Продолжение таблицы 1

| Наименование показателя | Показатель |
|---|--|
| Наибольшее из средних условных давлений движителей, кПа | 32 |
| Дорожный просвет, мм | 438 |
| Колея, мм | 1330 |
| Наименьший радиус поворота, м | 1,3 |
| База гусеничного транспортного средства, мм | 1830 |
| Глубина преодолеваемого брода, м | 0,8 |
| Грузоподъемность навесной системы, кГс | 3000 |
| Условный объемный коэффициент гидросистемы навесного устройства | 0,65 |
| Максимальная расчетная отдаваемая мощность насосов по отношению к номинальной мощности двигателя, % | 20 |
| Длительность непрерывной работы без дозаправки топливом при загрузке двигателя, моточасы | 10 |
| Время подготовки двигателя к работе и время его пуска (при температуре окружающей среды минус 40 градусов), часов | 0.5 |
| Ресурс до первого капитального ремонта, моточасы - гусеничное транспортное средство - двигателя - трансмиссии - несущей системы | 12000 12000 12000 ПСС |
| Срок службы, лет | 10 |
| Коэффициент готовности: - по оперативному времени - с учетом организационного времени | 0.975 0.97 |
| Удельная конструктивная масса, кг/кВт | 92,1 |
| Число сортов масел и смазок, применяемых в гусеничном транспортном средстве | 2 |
| Габаритные размеры, мм: - ширина при минимальной колее - длина с навесной системой в транспортном положении - высота | 1860 5590 3095 |
| Параметры на рабочем месте водителя: - максимальная температура воздуха в теплый период года, град. - минимальная температура воздуха в холодный период года, град - максимальный уровень шума, дБА - максимальная концентрация окиси углерода, мг/м ³ | По ГОСТ 16035 – 81 33 14 80 20 |
| Параметры вибрации: - среднее квадратическое значение на месте оператора, м/с ² | По ГОСТ 16035 – 81 0,55 – 1,9 |

Продолжение таблицы 1

| Наименование показателя | Показатель |
|--|--------------------|
| Максимальное усилие сопротивления перемещению органов управления | По ГОСТ 16035 – 81 |
| - муфты сцепления | 150 |
| - коробки передач | 160 |
| - механизма поворота | 100 |
| - тормозной системы | 250 |
| Путь торможения, м | 2.4 |
| Среднее замедление при торможении, м/с ² | 3,5 |
| Углы поперечной статической устойчивости, град. | 45 |
| Предельные углы подъема и спуска, град. | 30 |

Система запуска двигателя гусеничного тягача играет важную роль в обеспечении его надежной работы. Она должна быть эффективной, надежной и удобной в использовании. При включении зажигания система проводит самодиагностику и подготовительные операции перед запуском двигателя.

Система запуска двигателя также обеспечивает подачу питания на весь электрический оборудование тягача, включая систему зажигания, систему впрыска топлива, систему охлаждения и другие электрические компоненты. В большинстве случаев это осуществляется путем включения ключа зажигания в положение "On" или "Start".

Для запуска двигателя необходимо обеспечить доставку топлива в цилиндры. Большинство современных гусеничных тягачей оснащены системой впрыска топлива с электронным управлением, которая обеспечивает точное дозирование и распределение топлива. Система впрыска активируется при запуске двигателя и обеспечивает подачу топлива в цилиндры в нужный момент. Предполагается применение дизельного двигателя с системой подачи топлива типа «common rail».

Для запуска двигателя используется система пуска, которая активируется после поворота ключа зажигания в положение "Start". При этом

система пуска активирует стартер, который вращает коленчатый вал двигателя и создает условия для его запуска.

В процессе запуска двигателя система запуска контролирует различные параметры двигателя и предотвращает возможные неисправности. Например, система может контролировать уровень топлива, давление масла, температуру охлаждающей жидкости и другие параметры. Если возникают проблемы, система запуска может предупредить оператора или принять меры для защиты двигателя.

После запуска двигателя система запуска также обеспечивает его остановку. Для этого обычно предусмотрена система, которая прекращает подачу топлива. Это позволяет безопасно остановить двигатель и предотвратить его повреждение.

Трансмиссия тягача на базе МТЛБ – это система, которая обеспечивает передачу мощности от двигателя к гусеничным движителям и управляемым мостам.

Тягач на базе МТЛБ обычно оснащен дизельным двигателем, который может работать на различных видах топлива, включая дизельное топливо, керосин или дизельное топливо с добавлением печного масла. Мощность двигателя составляет 210 лошадиных сил.

Трансмиссия МТЛБ включает механическую коробку передач с 4 передачами вперед и 1 задней передачей. Коробка передач позволяет выбирать необходимую передачу в зависимости от условий движения и требуемой скорости.

Для переключения передач и остановки двигателя тягача на базе МТЛБ используется механическое сцепление. Сцепление позволяет разъединить двигатель с коробкой передач для изменения передачи или остановки двигателя.

Управление трансмиссией МТЛБ осуществляется оператором с помощью рычагов и педалей в кабине тягача. Оператор может переключать

передачи, выбирать режим привода и управлять тормозами, что также обеспечивает поворот тягача или разворот его на месте.

Ходовая часть гусеничного тягача на базе МТЛБ является ключевой компонентой, которая обеспечивает его движение и проходимость в различных условиях.

Гусеничная система состоит из пары гусениц, которые обеспечивают опору и передвижение тягача. Гусеницы МТЛБ состоят из множества металлических звеньев, соединенных между собой, и подвески. Гусеницы имеют ширину и форму, оптимизированные для обеспечения хорошей проходимости в различных условиях грунта и тягового усилия.

Подвеска гусеничной системы на базе МТЛБ обычно является жесткой и включает набор катков, направляющих колес и опорных колес. Катки и направляющие колеса обеспечивают поддержку и направление гусениц, а опорные колеса поддерживают нагрузку тягача и гусениц.

Управление гусеницами осуществляется с помощью гидравлической системы. Гусеничный тягач на базе МТЛБ имеет возможность управления каждой гусеницей независимо, что позволяет поворачивать на месте, изменять направление движения и преодолевать неровности и препятствия.

Для повышения комфорта и устойчивости гусеничная система МТЛБ обычно имеет амортизаторы и пружины. Эти элементы поглощают удары и вибрацию при движении и обеспечивают более плавное и стабильное передвижение тягача.

Ходовая часть гусеничного тягача на базе МТЛБ имеет привод от двигателя через трансмиссию. Привод обеспечивает передачу мощности на гусеничную систему и мосты, что позволяет тягачу двигаться вперед, назад и поворачивать.

В дальнейшем, в рамках дипломного проекта, нами будет рассматриваться разработка ходовой части. В частности, рассмотрены конструкции гусеничных движителей, применяемых на тягачах.

1.3 Анализ конструкции гусеничных движителей

1.3.1 Классификация гусеничных движителей

«Гусеничная цепь является главным элементом гусеничного движителя, через которую реализуются основные положительные качества гусеничного транспортного средства.

Обычно на гусеничные вездеходы устанавливают движитель с двумя гусеницами. Существуют конструкции сочлененных вездеходов с четырьмя гусеницами.» [7]

«Гусеницы служат для создания большой опорной поверхности, обеспечивающей необходимое давление на почву при значительном весе Гусеничного транспортного средства и надежное сцепление его с почвой, а также для создания бесконечных рельсовых путей для перекачивания опорных катков движителя и преобразования крутящего момента, подводимого к ведущим колесам, в силу тяги, перемещающую Гусеничное транспортное средство.» [3]

Учитывая назначение гусениц и тяжелые внешние условия их работы, к ним предъявляют ряд дополнительных требований: они должны обладать повышенной прочностью и износостойкостью при возможно меньшей материалоемкости; быть предельно простыми и недорогими в изготовлении, эксплуатации и ремонте.» [3]

Гусеничные движители могут быть классифицированы по различным критериям. По назначению гусеничные движители делятся на гражданские гусеничные движители, которые используются в строительстве, сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и других отраслях экономики для выполнения различных работ и военные гусеничные движители, которые предназначены для военных целей, таких как транспортировка войск, буксировка артиллерии, разминирование, инженерные работы и другие.

По типу гусеничной системы она может быть разделена на классические гусеничные движители, которые имеют пару длинных горизонтальных

гусениц, которые обеспечивают опору и передвижение, и полугусеничные движители.

По роду выполняемых работ гусеничные движители делятся на универсальные гусеничные движители, которые предназначены для выполнения широкого спектра работ, включая различные грузоподъемные, транспортные и строительно-монтажные операции, а также специализированные гусеничные движители, которые были спроектированы для выполнения специфических задач, таких как буровые работы, снегоочистка, обслуживание линий электропередач и другие.

По грузоподъемности гусеничные движители делятся на легкие гусеничные движители, которые как правило имеют небольшую грузоподъемность и предназначены для работы на небольших рабочих площадках или в ограниченном пространстве и тяжелые гусеничные движители, которые имеют высокую грузоподъемность и предназначены для выполнения крупных задач, таких как строительство, разработка карьеров и другие.

«Первые – традиционные, состоящие из отдельных металлических шарнирно соединенных звеньев, а вторые - монолитные резиноармированные (РАГ), на отечественных гусеничных транспортных средствах ранее не применявшиеся.

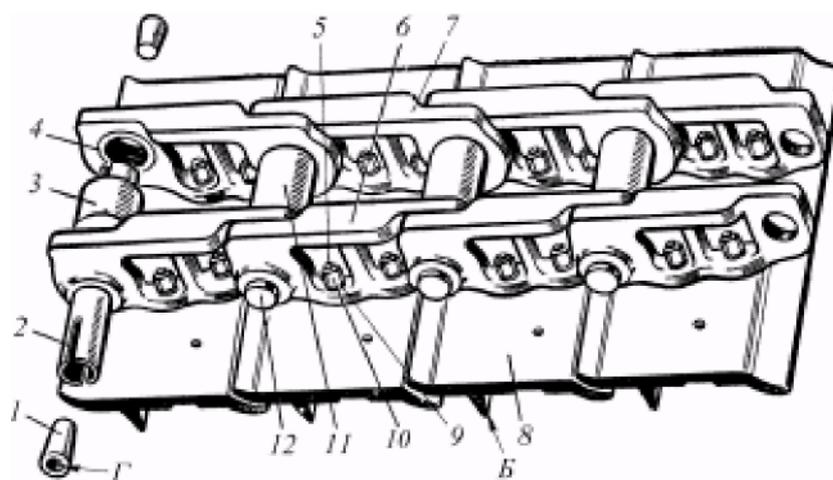
Дальнейшую основную классификацию металлических гусениц проводят по конструктивному выполнению их звеньев - они бывают составные и цельнолитые. Помимо этого, звенья гусениц можно различать: по типу беговой дорожки опорных катков - рельсовые и плоские; по расположению шарнира на звене - приподнятый и опущенный; по типу шарнира - закрытый, открытый, упругий (резинометаллический).» [7]

Необходимо отметить, что транспортные средства с «чистой» конструкцией гусеницы того или иного типа в современной технике практически не встречается. Больше распространение получили смешанные конструкции гусеничных движителей.

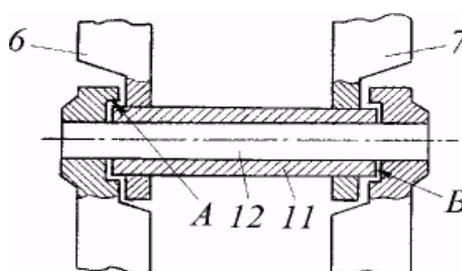
1.3.2 Составная гусеница рельсового типа с приподнятыми закрытыми шарнирами

«Составное звено гусеницы рельсового типа с приподнятым закрытым шарниром на сельскохозяйственных Гусеничного транспортного средствах исторически появилось ранее литого плоского звена. Оно состоит (рисунок 1, а) из двух отдельных штампованных щек (рельсов) 6 и 7 зеркальной конфигурации, соединительных деталей - втулки 11 и пальца 12, опорной профильной плиты 8 (обычно называемой башмаком) и болтов 5 с шайбами 9 и гайками 10.» [10]

«Обработанные механически и термически щеки 6 и 7 имеют по два отверстия: большое - для запрессовки втулки 11 и малое - для соединительного пальца 12 звеньев. Втулки и пальцы выполняют, как правило, из малоуглеродистых сталей, с последующей цементацией и закалкой поверхностей трения. Помимо этого, на внутренней обработанной плоскости щеки у малого отверстия сделана небольшая кольцевая выточка "А", как показано на сечении шарнира (рисунок 1, б). При сборе гусеницы вначале на концы втулки 11 напрессовывают правую 6 и левую 7 щеки так, чтобы ее края несколько выступали за внешние обработанные плоскости щек. При последующей сборке соединительный палец 12 свободно проходит через отверстие втулки 11, а на его выступающие концы последовательно напрессовывают следующую пару щек с соединительной втулкой и т. д. Соединенные таким образом щеки звеньев образуют беговую дорожку для опорных катков в виде рельс. Поэтому такие звенья и получили название "рельсового типа".» [7]



а)



б)

Рисунок 1 – Составная гусеница рельсового типа

«Так как звенья спрессовываются большим усилием, порядка 1000 кН, то для установки гусеницы или ее снятия с движителя одно из ее звеньев делается легкозамыкающим. В этом звене (рисунок 1) втулку 3 делают более короткой, чтобы она не выходила за пределы отверстий щек, в которые она запрессована, а концы соединительного пальца 2 чаще всего делают с коническими отверстиями и продольным разрезом. При замыкании гусеницы соединительный палец 2 свободно входит в малые отверстия наружных щек и соединительную втулку 3, после чего в его концы запрессовывают стопорные конуса 1, заклинивающие концы пальца в отверстиях щек. Для того чтобы выпрессовать конуса 1 при разборке гусеницы в них выполнены резьбовые отверстия "Г", закрытые во время работы обычно деревянными пробками. Дополнительные кольца (шайбы) 4, заменяющие отсутствующие

выступающие концы соединительной втулки 3, обеспечивают создание лабиринтного уплотнения закрытого шарнира замыкающего звена.» [10]

«Главными достоинствами составных гусениц рельсового типа являются: наличие закрытого шарнира, изолирующего его внутренние поверхности трения от попадания на них абразива, что значительно снижает их износ и повышает долговечность его работы; приподнятость шарнира над башмаком, что также степени предохраняет его от попадания в него абразива; приподнятый над грунтом более чистый рельсовый путь оказывает меньшее сопротивление качению опорных катков; лучшая ремонтпригодность, позволяющая заменять изношенные детали составного звена и при необходимости - увеличивать (уменьшать) опорную поверхность башмаков или устанавливать на них дополнительные резиновые подкладки для движения Гусеничного транспортного средства по дорогам с твердым покрытием.

Основными недостатками этих гусеничных звеньев являются: большая металлоемкость (достигающая до 25% от массы Гусеничного транспортного средства); большая сложность и трудоемкость их изготовления по сравнению с цельнолитыми гусеничными звеньями; сложность в эксплуатации, требующая специальных прессовых приспособлений для их разборки и сборки во время ремонта.» [7]

«Для повышения долговечности шарниров и снижения в них потерь мощности на трение в лучших их конструкциях (рисунок 2) применяют жидкостное смазывание пар трения и дополнительные уплотнения. В этих шарнирах соединительная втулка 2 по длине такая же, как в замыкающем звене, не выходящая за пределы отверстия щеки 3, но с тщательно обработанными торцами, используемыми как поверхности трения торцового уплотнения. К ним и к торцу расточки в щеке 5 поджаты стороны резиновых уплотнительных колец 4 с разжимным резиновым кольцом 8. Одновременно, уплотнение 4, находясь на поверхности полиуретановых упорных колец 9,

дополнительно защищает внутреннюю полость шарнира от проникновения в него абразива.» [7]

«Соединительный палец 6 делается полым для заправки смазки и с отверстием 10 для ее подачи на поверхности трения шарнира. В торцы пальца 6 запрессовываются резиновые заглушки 7 с отверстием для закачки смазки, закрытым пластиковой пробкой.

В некоторых конструкциях подобного шарнира вместо уплотнения 4 применяют уплотнительное нажимное кольцо 11 из плотной резины, закрепленное в металлической обойме 12, которая запрессовывается в расточку щеки 5 так, чтобы торец кольца 11 был поджат к торцу втулки 2.» [10]

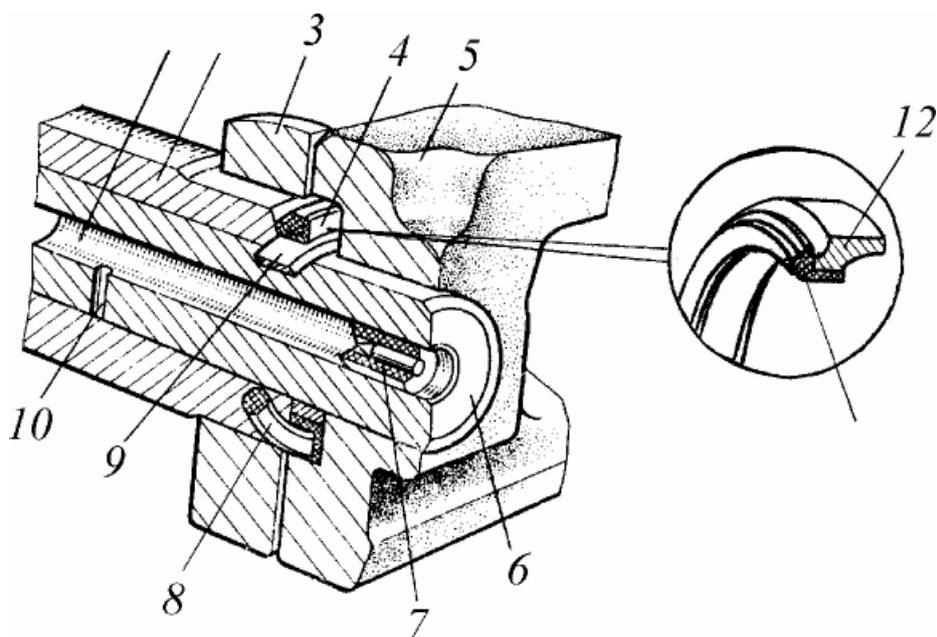


Рисунок 2 – Шарнир звена составной гусеницы с жидкостным смазыванием пар трения

«Составные рельсовые звенья позволяют значительно увеличивать опорную поверхность гусеничного движителя путем замены обычных башмаков более широкими. Для этого к обычной гусеничной цепи крепятся уширенные башмаки.» [7]

1.3.3 Гусеничные движители с литыми звеньями

«Цельнолитые звенья гусениц изготавливают отливкой из высокомарганцовистых сталей и по типу беговой дорожки они бывают плоскими или рельсовыми.

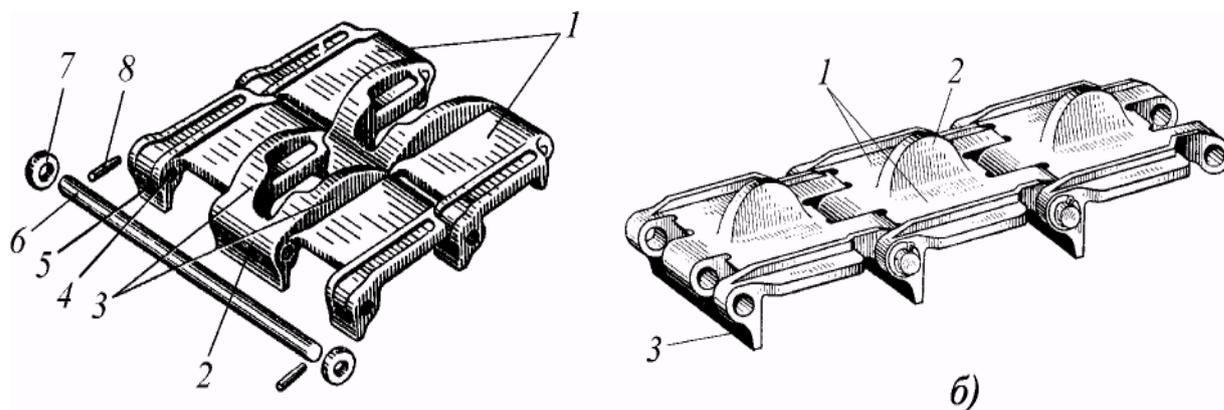
Плоские необработанные звенья гусениц для цевочного зацепления (рисунок 3, а) представляют собой литые фасонные плиты с беговыми дорожками 1, которые в средней части соединены широкой перемычкой-проушиной 2, являющейся цевкой для зацепления с ведущим колесом. Чтобы гусеница не соскакивала во время работы, на звеньях отлиты направляющие гребни 3 для качения опорных катков. Звенья соединяются друг с другом посредством цементованных и закаленных стальных пальцев 6, свободно вставленных в отверстия 4 соединительных проушин и закрепленных в них посредством шайб 7 и шплинтов 8. Число проушин зависит от ширины звена, но предпочитают их делать возможно большим, так как при этом уменьшается концентрация напряжений на их кромках из-за изгиба пальца, что несколько повышает долговечность шарнира открытого типа. Обычно применяют пяти- и семипроушинные шарниры.» [7]

«Плоские литые звенья гусениц для гребневого зацепления (рисунок 2, б) имеют беговые дорожки 1, аналогичные ранее рассмотренным. Основные отличия этого звена от предыдущего состоят в наличии центрального гребня 2, расположенного между беговыми дорожками и служащего для зацепления звена с ведущим колесом и направления движения опорных катков, и в наличии одного сплошного поперечного грунтозацепа 3.» [10], [18]

«Преимуществом литых плоских звеньев по сравнению с составными рельсовыми, являются простота их изготовления и обслуживания, небольшая стоимость и относительно малая масса.

Основным недостатком этих звеньев является низкая долговечность, не превышающая на обычных почвах 1200...2000 ч., а на песчаных опускаясь даже до 250...350 ч. Главной причиной этого является открытый шарнир низкого расположения, позволяющий абразиву свободно проникать в

проушины и производить быстрое изнашивание их и соединительных пальцев, делая звено неремонтопригодным, что в целом приводит к удорожанию эксплуатации.» [2]



а) гусеницы с цевочным зацеплением; б) гусеницы с гребневым зацеплением

Рисунок 3 – Гусеницы с цельнолитыми звеньями

«Дополнительным недостатком гусениц с цельнолитыми звеньями является повышенное сопротивление качению опорных катков по плоским беговым дорожкам, покрытым землей на мягких и рыхлых грунтах.» [1]

1.3.4 Гусеничные движители с литыми звеньями рельсового типа

«Цельнолитые гусеничные звенья рельсового типа (рисунок 4) представляют собой фигурные стальные отливки состоящие из плоской опорной плиты 4 (башмака) с почвозацепом 6 на ее нижней стороне и двух направляющих фигурных щек 5 (рельс) – на верхней. Щеки имеют, в основном, такую же конфигурацию, как штампованные щеки составного рельсового звена - с отверстиями для втулки и соединительного пальца. При этом внутренние щеки одного звена при сборке входят в пространство между наружными щеками другого звена. Перед сборкой гусеницы в каждое отверстие одной наружной стороны» [7], [17]

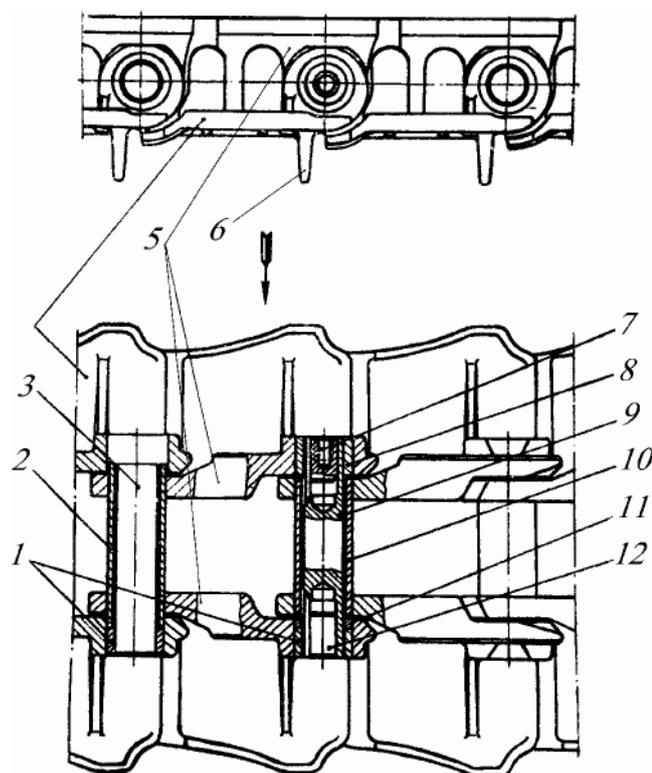


Рисунок 4 – Цельнолитая гусеница рельсового типа

«Перед замыканием гусеницы в отверстие внешней щеки замыкающего звена впрессовывают короткую втулку 8, не выступающую за ее края, а в отверстие противоположной внешней щеки устанавливают дополнительное кольцо 11. Во внутренние щеки другого замыкающего звена впрессовывают короткую втулку 10, не выступающую за габариты щек. Затем совмещают отверстия замыкаемых звеньев и свободно вставляют замыкающий палец 9 с продольно разрезанными коническими отверстиями на его торцах. После этого вставляют стопорные конуса 12 в отверстия пальца и запрессовывают их через оправку. Резьбовые отверстия в конусах, закрытые пробками 7, служат для выпрессовки конусов при размыкании гусеницы. Гусеница имеет цевочное зацепление с ведущим колесом, причем обычно оно осуществляется через один зуб.» [7]

«Достоинством литых гусеничных звеньев рельсового типа является их более высокая долговечность по сравнению с плоскими литыми звеньями

(примерно в 1,5...2 раза) и относительная простота изготовления. Помимо этого они имеют и ряд других положительных качеств составных рельсовых звеньев.

Вместе с тем их недостатком является большая металлоемкость, достигающая 20...22% от массы транспортного средства, шумность в работе и плохая ремонтпригодность, что сдерживает их широкое применение в гусеничных движителях.» [1], [19]

1.3.5 Гусеницы с резинометаллическим шарниром

«Чтобы повысить срок службы шарниров плоских литых гусениц было предложено много способов, среди которых наиболее перспективным является применение резинометаллических шарниров (РМШ). Рассмотрим в качестве примера схему РМШ с ограничителями радиальной деформации резиновых втулок (рисунок 5). На соединительный палец 2 предварительно поочередно устанавливают ограничительные металлические втулки 4 с наружным диаметром меньшим, чем отверстие в проушине и резиновые втулки 3 с внешним диаметром на 35...40% больше диаметра отверстия в проушине, которые затем вулканизуются. После этого обычно комплект "палец-втулки" впрессовывается в предварительно расточенные проушины соединяющихся звеньев 1 и 5. В обычных условиях эксплуатации под действием тягового усилия сжимаются только резиновые втулки 3. Когда же сила тяги приближается к максимальной в контакт с проушиной вступают и металлические втулки 4, предотвращая тем самым разрушение резиновых. Поворот звена 1 относительно звена 5 приводит к закручиванию резиновых втулок 3. При этом втулки, запрессованные в проушины звеньев 1 и 5, закручиваются в разные стороны. Чтобы уменьшить деформацию скручивания резиновых втулок при перегибах гусеницы в ее движении с ведущим и направляющим колесами движителя, звенья гусеницы предварительно соединяют друг с другом под углом 12... 14°.» [2]

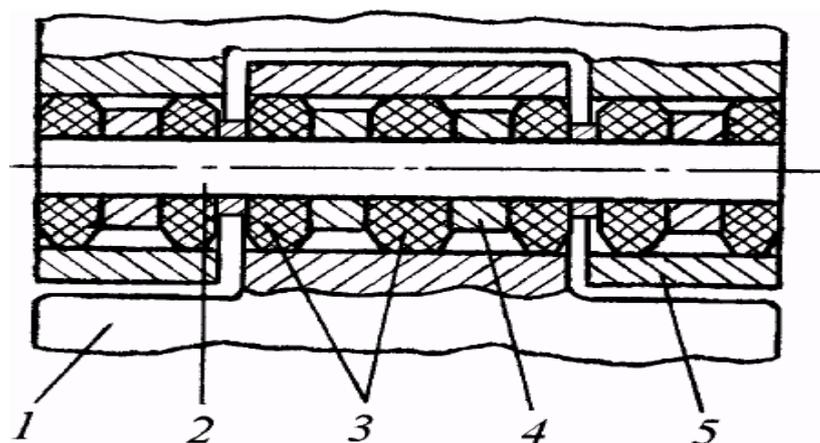


Рисунок 5 – Схема РМШ с ограничителями радиальной деформации резиновых втулок

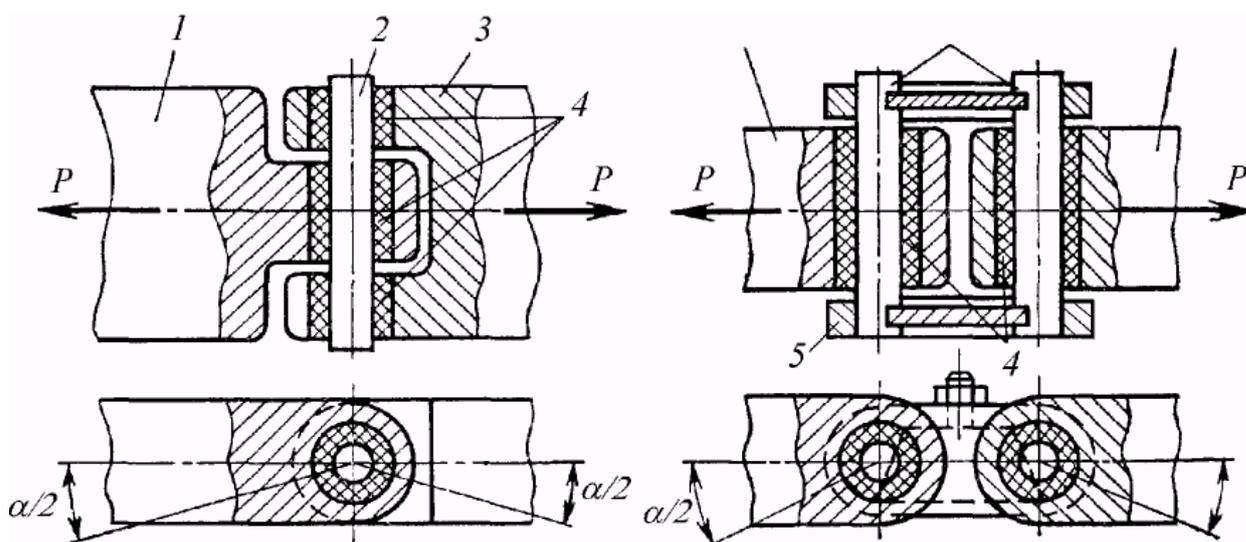
«В последовательном РМШ (рисунок 6, а) звенья 1 и 3 гусеницы соединяют друг с другом соединительным пальцем 2. При этом сила тяги P от одного звена к другому передается через резиновые втулки 4, которые в точках перегиба обвода скручиваются на угол $\alpha/2$ в каждой проушине, где α - угол относительного поворота звеньев 1 и 3 гусеницы. В собранном виде резиновые элементы соседних звеньев гусеницы составляют один блок из последовательно расположенных вдоль оси пальца втулок чередующихся проушин.

В параллельном РМШ (рисунок 1.6, б) растягивающее усилие P от звена 1 на звено 3 передается посредством двух соединительных пальцев 2 и скоб 5. Резиновые втулки 4 каждого звена, как и у последовательного РМШ, скручиваются в точках перегиба. У параллельного РМШ в собранном виде упругие элементы смежных звеньев гусеницы составляют два блока.» [7]

«В гусеницах с параллельными РМШ разборность конструкции обеспечивается при помощи соединительных скоб 5, которые обычно крепят к пальцам болтами с клиновыми головками.

Для обеспечения разборности гусениц с последовательными РМШ приходится шарнир делать в виде составного блока из резинометаллических втулок (резиновое кольцо привулканизировано к металлическому кольцу) и соединительного пальца. При этом неподвижность втулок на пальце дости-

гается тем, что палец и внутренние отверстия втулок делаются фасонными, чаще всего шестигранными. Втулки стягиваются на пальце гайками.» [5]



а) гусеничный механизм с последовательным шарниром; б) гусеничный механизм с параллельным шарниром

Рисунок 6 – Схема гусеницы с резинометаллическим шарниром

«Длина резиновых втулок, через которые передается тяговое усилие P (рисунок б) у гусеницы с последовательными РМШ составляет 45...50% от общей ширины гусеницы, у гусеницы с параллельными РМШ – 60...70%. Поэтому гусеницы с параллельными РМШ целесообразно применять только на мощных вездеходах больших тяговых классов, так как они обеспечивают более высокую стабильность шага при изменении тягового усилия.

Однако, несмотря на значительное повышение долговечности РМШ (до 6000 ч.) и меньшую шумность работы гусеницы, их широкое применение на Гусеничных транспортных средствах ограничено повышенной стоимостью производства и сложностью эксплуатации.» [7], [12]

Следует отметить, что различные типы гусеничных движителей применяются в зависимости условий эксплуатации. В целом, это приводит к тому, что на одном типе транспортного средства могут применяться различные типы

двигателей, что связано с различными условиями эксплуатации транспортного средства.

1.3.6 Тенденции развития конструкций двигателей гусеничных транспортных средств

«Развитие конструкций гусеничных транспортных средств направлено на снижение уплотняющего воздействия двигателя на почву, повышение их тягово-сцепных качеств, обеспечение требуемой долговечности узлов и механизмов и улучшение условий труда Гусеничное транспортное средствоиста.

В связи с этим намечается тенденция более широкого применения РАГ не только на сельскохозяйственных, но и на промышленных Гусеничного транспортного средствах. При этом большое внимание уделяется совершенствованию способов передачи движения РАГ от ведущего колеса.

Вместе с тем продолжается совершенствование и металлических гусениц, главным образом в решении проблемы надежного шарнира трака составного типа, материала и формы его уплотнения, конструкции соединительного трака, также создания надежных упругих накладок для составных и цельнолитых траков с РМШ.» [11]

«С целью повышения долговечности металлических гусениц предполагается более широкое применение жидкостного смазывания шарниров.

Более широкое применение получают резиновые упругие элементы как в двигателе, так и в подвеске.

Предполагается применение ведущих и направляющих колес с внутренней амортизацией (установкой между ступицей колеса и ободом резинового упругого элемента), обеспечивающей их внутреннее подрессоривание.

Продолжаются работы по совершенствованию ходовой системы Гусеничное транспортное средствоов с треугольной формой гусеничного обвода. Эти работы главным образом направлены на обеспечение более равномерного распределения давления гусениц на грунт с целью снижения уплотняющего воздействия и повышения их тягово-сцепных качеств.» [20]

В первом разделе дипломного проекта произведен краткий обзор возможности создания гусеничного тягача на базе МТЛБ. В результате анализа различных видов конструкции транспортных средств на основе МТЛБ, сформулировано техническое задание на проектирование, в котором изложены основные технические характеристики разрабатываемого транспортного средства. В дальнейшем, в рамках дипломного проекта, нами будет рассматриваться разработка ходовой части. В частности, рассмотрены конструкции гусеничных движителей, применяемых на тягачах.

В результате анализа различных типов конструкции гусеничных движителей, сделан ряд выводов о тенденциях развития конструкции этих движителей.

Современные тенденции в развитии гусеничных транспортных средств направлены на повышение их проходимости в различных условиях. Это включает улучшение гусеничных систем, увеличение мощности двигателей, разработку более эффективных систем подвески и управляемых мостов.

Одной из важных тенденций является разработка технологий, обеспечивающих улучшенную маневренность гусеничных транспортных средств. Это включает развитие системы управления гусеницами, позволяющей поворачивать на месте, а также управляемых мостов, обеспечивающих лучшую управляемость на узких и извилистых дорогах.

В современных гусеничных транспортных средствах наблюдается увеличение автоматизации и электрификации. Это включает разработку систем автоматического управления движением, использование электрического привода для повышения энергоэффективности и снижения вредных выбросов, а также внедрение системы дистанционного управления для улучшения безопасности и комфорта операторов.

Современные гусеничные транспортные средства интегрируются с новыми технологиями, такими как системы навигации, датчики безопасности, системы связи и дронов. Это позволяет улучшить оперативность, анализировать данные о производительности и повышать эффективность работы.

В развитии гусеничных транспортных средств также уделяется внимание улучшению комфорта и эргономики для операторов. Это включает разработку комфортабельных кабин с улучшенной обзорностью, удобными сиденьями и легким доступом к контрольным элементам.

Таким образом, тенденции развития конструкций гусеничных транспортных средств направлены на повышение проходимости, маневренности, автоматизации, электрификации и интеграцию с новыми технологиями. Это способствует улучшению эффективности, безопасности и комфорта работы гусеничных транспортных средств в различных отраслях.

Дальнейшая разработка гусеничного транспортного средства на базе МТЛБ будет включать в себя расчет технических параметров, с целью определения соответствия расчетных параметров предполагаемым условиям эксплуатации.

2 Конструкторская разработка гусеничного многофункционального транспортного средства

2.1 Тяговый расчет гусеничного тягача на базе МТЛБ

Нагрузка на транспортное средство является важным фактором, влияющим на его тяговую способность. При расчете необходимо учитывать массу транспортного средства, грузоподъемность, а также вес и расположение груза. Расчет массы транспортного средства основывался на методических указаниях и указаниях, почерпнутых из специализированной литературы, также подтвержденной практическим опытом.

«Главная задача тягового расчета – определение основных тягово-скоростных параметров гусеничного транспортного средства, которые обуславливаются мощностью дизеля, передаточными числами и КПД трансмиссии, КПД движителей и сцеплением их с почвой.

На гусеничное транспортное средство тягового класса 4 установлен дизель Д-442ВИ АО «Алтайдизель» с полкой постоянной мощности, основные показатели которого приведены в таблице 2, а скоростная характеристика представлена в таблице 3.» [14], [21]

Таблица 2 - Основные технические параметры двигателя тягача

| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
|--|-------------|--------------|
| Диапазон оборотов полки постоянной мощности, об/мин | n | 1500... 1850 |
| Эксплуатационная мощность на номинальном режиме, кВт | N_e | 110,2 |
| Число оборотов на номинальном режиме, об/мин | n_e | 1850 |
| Крутящий момент на номинальном режиме, кНм | M_e | 0,569 |
| Часовой расход топлива на номинальном режиме, кг/ч | $G_{ге}$ | 23,7 |

Продолжение таблицы 2

| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
|--|-------------|----------|
| Удельный расход топлива на номинальном режиме, г/кВтч | g_e | |
| Максимальный крутящий момент, кНм | M_{max} | 0,702 |
| Число оборотов при максимальном крутящем моменте, об/мин | n_m | 1500 |
| Число оборотов холостого хода, об/мин | n_{xx} | 2000 |

Эксплуатационная масса гусеничного транспортного средства $m_3 = 8750$ кг.

Таблица 3 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

| $n_{дв}$, об/мин | $N_{дв}$, кВт | $M_{дв}$, кНм | G_r , кг/ч | $g_{дв}$, г/кВтч |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| 1980 | 14,7 | 0,071 | 8,4 | 571 |
| 1970 | 22,1 | 0,107 | 9,5 | 430 |
| 1960 | 29,4 | 0,143 | 10,7 | 364 |
| 1950 | 36,8 | 0,180 | 11,9 | 323 |
| 1940 | 44,1 | 0,217 | 13,1 | 297 |
| 1930 | 51,5 | 0,255 | 14,3 | 278 |
| 1920 | 58,8 | 0,293 | 15,4 | 262 |
| 1910 | 66,2 | 0,331 | 16,6 | 251 |
| 1900 | 73,5 | 0,370 | 17,8 | 242 |
| 1890 | 80,9 | 0,409 | 19,0 | 235 |
| 1880 | 88,2 | 0,448 | 20,2 | 229 |
| 1870 | 95,6 | 0,489 | 21,3 | 223 |
| 1860 | 102,9 | 0,529 | 22,5 | 219 |
| 1850 | 110,2 | 0,569 | 23,7 | 215 |
| 1825 | 111,4 | 0,583 | 23,7 | 213 |

Продолжение таблицы 3

| ндв , об/мин | Ндв, кВт | Мдв, кНм | Гт, кг/ч | гдв, г/кВтч |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 1800 | 112,3 | 0,596 | 23,7 | 211 |
| 1775 | 113,3 | 0,610 | 23,7 | 209 |
| 1750 | 113,9 | 0,622 | 23,7 | 208 |
| 1725 | 114,3 | 0,633 | 23,7 | 207 |
| 1700 | 114,4 | 0,643 | 23,6 | 206 |
| 1675 | 114,5 | 0,653 | 23,5 | 205 |
| 1650 | 114,3 | 0,662 | 23,4 | 205 |
| 1625 | 113,9 | 0,670 | 23,3 | 205 |
| 1600 | 113,4 | 0,677 | 23,1 | 204 |
| 1575 | 112,8 | 0,684 | 23,0 | 204 |
| 1550 | 112,0 | 0,691 | 22,8 | 204 |
| 1525 | 111,2 | 0,697 | 22,6 | 203 |
| 1500 | 110,2 | 0,702 | 22,4 | 203 |
| 1475 | 109,3 | 0,708 | 22,2 | 203 |
| 1450 | 108,3 | 0,714 | 22,0 | 203 |
| 1425 | 107,0 | 0,718 | 21,8 | 204 |
| 1400 | 105,5 | 0,720 | 21,5 | 204 |

Теоретическая скорость гусеничного транспортного средства

$$V_T = 0,105 \frac{n_{дв} r_{за}}{u_{тр}} \text{ м/с}, \quad (1)$$

где $u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии на каждой из передач;

$$u_{тр} = u_{КPi} u_{ГП} u_{ЗМ} u_{БП}, \quad (2)$$

где $u_{КPi}$ - передаточное число коробки передач на i -ой передаче;

$u_{ГП}$ - передаточное число главной передачи; $u_{ГП} = 3,1667$;

$u_{ЗМ}$ - передаточное число заднего моста; $u_{ЗМ} = 1,4182$;

$u_{БП}$ - передаточное число бортовой передачи; $u_{БП} = 5,4615$;

$r_{зв}$ - радиус ведущего колеса; $r_{зв} = 0,3517$ м.

Касательная сила тяги

$$P_K = \frac{M_{дв} u_{mp} \eta_{mp}}{r_{зв}} \text{ кН}, \quad (3)$$

где $\eta_{тр}$ - КПД трансмиссии на каждой из передач;

$$\eta_{тр} = \eta_{кпi} \eta_{гп} \eta_{зм} \eta_{бп} \eta_{г} \quad (4)$$

$\eta_{кпi}$ - КПД коробки передач на i -ой передаче;

$\eta_{гп}$ - КПД главной передачи; $\eta_{гп} = 0,980$;

$\eta_{зм}$ - КПД заднего моста; $\eta_{зм} = 0,983$;

$\eta_{бп}$ - КПД бортовой передачи; $\eta_{бп} = 0,988$;

$\eta_{г}$ - КПД гусеницы; $\eta_{г} = 0,950$

Расчет силовой характеристики транспортного средства выполним в соответствии с данными о передаточных числах на каждой передаче и КПД зубчатой передачи. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные по передаточным числам и КПД передач

| Передача | $u_{кпi}$ | $\eta_{кпi}$ |
|----------|-----------|--------------|
| I | 1,5667 | 0,988 |
| II | 1,2647 | 0,988 |
| III | 1,0263 | 0,988 |
| IV | 0,8333 | 0,988 |
| V | 0,6547 | 0,964 |

Сила тяги на крюке, расчет в таблице 5:

$$P_{кр} = P_{к} - P_{f} \quad \text{кН}, \quad (5)$$

где P_f - сила сопротивления перекачиванию;

$$P_f = fgm \cdot 10^{-3} \quad \text{кН}, \quad (6)$$

где f - коэффициент сопротивления перекачиванию; $f = 0,07$;

g - ускорение свободного падения.

$$P_f = 6,01 \quad \text{кН}$$

Таблица 5 – Теоретические скорости гусеничного транспортного средства и силы тяги на крюке на номинальном режиме

| Передача | $u_{тр}$ | $\eta_{тр}$ | $P_{кр}, \text{кН}$ | $V_T, \text{м/с}$ |
|----------|----------|-------------|---------------------|-------------------|
| I | 38,4261 | 0,893 | 49,55 | 1,78 |
| II | 31,0198 | 0,893 | 38,84 | 2,20 |
| III | 25,1727 | 0,893 | 30,39 | 2,71 |
| IV | 20,4394 | 0,893 | 23,54 | 3,34 |
| V | 16,0576 | 0,872 | 16,65 | 4,25 |

Действительная скорость гусеничного транспортного средства

$$V_{\delta} = V_T(1 - \delta) \quad [\text{м/с}] \quad (6)$$

где δ - буксование гусеничного транспортного средства.

Крюковая мощность гусеничного транспортного средства

$$N_{кр} = P_{кр} V_{\delta} \quad [\text{кВт}] \quad (7)$$

Тяговый КПД Гусеничного транспортного средства

$$\eta_m = \frac{N_{кр}}{N_{дв}} \quad (8)$$

Тяговый удельный расход топлива

$$g_{кр} = \frac{g_{дв}}{N_T} \quad [\text{Г/кВтч}] \quad (9)$$

Результаты выполненного тягового расчета в виде графиков представлены на листе графической части дипломного проекта.

2.2 Разработка конструкции шарнира гусеничного движителя

«С целью увеличения срока службы гусеничной цепи необходимо усовершенствовать шарнир, который и определяет долговечность гусеничного движителя.

Известен шарнир гусеничной цепи, состоящий из проушин звеньев гусеничной цепи, в которые вставлен палец. Палец зафиксирован в проушинах звеньев ограничителями, удерживающих его от осевого перемещения.

Недостатком известной конструкции является малый срок службы вследствие незащищенности трущихся поверхностей от попадания абразива.» [7]

«Известен шарнир гусеничной цепи, содержащий проушины звеньев, соединительный палец, ограничительные шайбы между торцами средних проушин и втулки с фланцем в крайних проушинах, что исключает заход концов втулок в отверстия смежных проушин и обеспечивает свободное вращение и перекачивание втулок по пальцу и по поверхности отверстий проушины звеньев. От осевого перемещения палец удерживается трехлапой.

Недостатком данной конструкции является то, что между торцами втулок и ограничительными шайбами имеются зазоры, в которые может проникать абразив.» [16]

«Известен шарнир гусеничной цепи, принятый в качестве прототипа, который состоит из проушин звеньев гусеничной цепи, в которые

устанавливаются плавающие втулки, общая длина которых больше ширины всех проушин на суммарную величину зазоров между проушинами. Втулки соединяются пальцем. Палец и втулки зафиксированы в проушинах звеньев ограничителями, установленными на палец с обеих сторон и состоящими из шайб и стопорных колец. В концевых проушинах между крайними втулками и шайбами установлены упругие уплотнительные кольца. Уплотнительные кольца, поджимая втулки, обеспечивают смыкание их торцов, что препятствует проникновению абразива в радиальные зазоры между пальцем и втулками.

Недостатком данной конструкции является то, что существует возможность захода концов втулок в отверстия смежных проушин, а следовательно втулки не смогут свободно вращаться и перекачиваться по пальцу, это также может привести к деформации втулок.» [4]

Задача конструирования узла шарнира гусеничного движителя, который будет защищен от попадания в зону трения абразива. Также узел должен сочетать скольжение и перекачивание втулок по пальцу и по проушинам сегментов гусеничного движителя.

Данная задача может быть выполнена при условии конструирования сегмента с проушинами, в которые устанавливаются плавающие втулки и соединительный палец, перемещение которого ограничивается стопорами. От попадания абразива в зону трения сопряженных поверхностей узла будут защищать уплотнительные кольца, которые будут установлены между крайними втулками и ограничителями перемещения пальца.

«Снабжение шарнира ограничительными шайбами, наружный диаметр которых больше диаметра втулок, находящимися между торцами средних проушин и втулками, установленными в крайние проушины, выполненных с фланцем со стороны средней проушины обеспечивает невозможность захода концов втулок в отверстия смежных проушин, а следовательно втулки могут свободно вращаться и перекачиваться по пальцу, рисунок 7.

Выполнение общей длины втулок и ограничительных шайб больше ширины всех проушин на суммарную величину зазоров между проушинами

обеспечивает смыкание их торцов, что препятствует проникновению абразива в радиальные зазоры между пальцем и втулками.» [10]

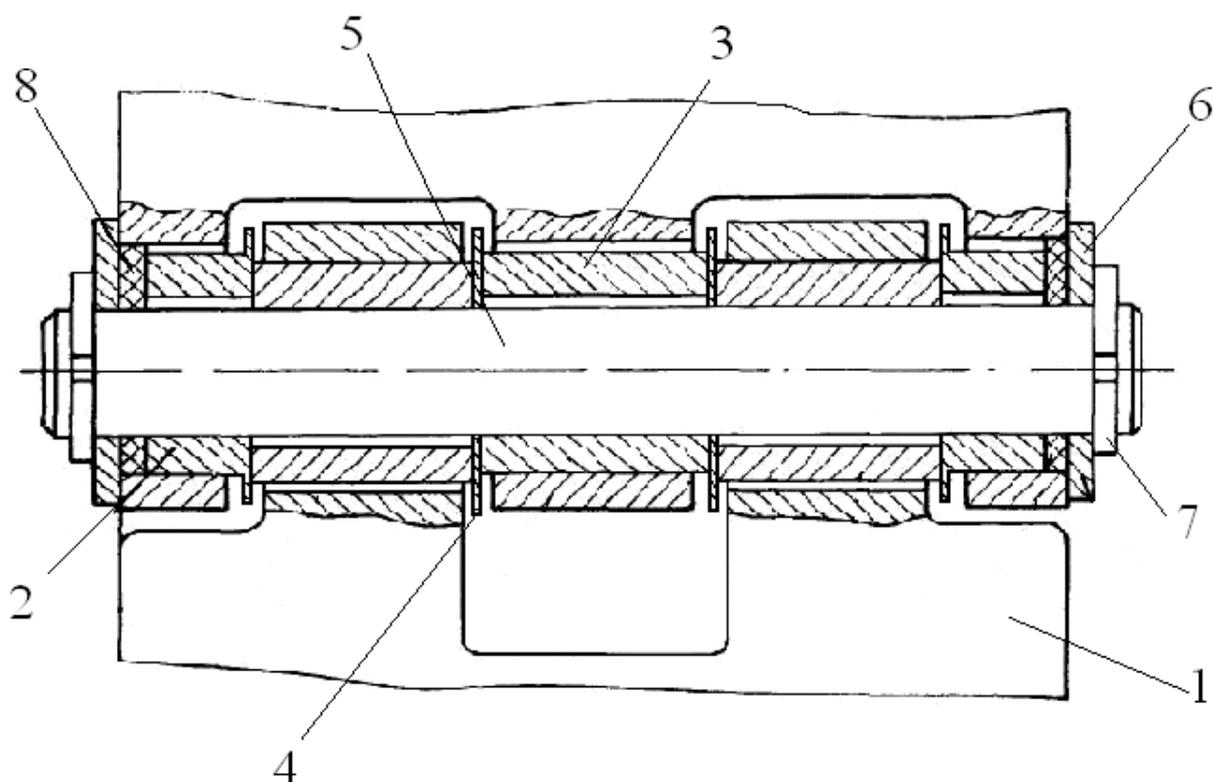


Рисунок 7 – Шарнир гусеничной цепи

«Шарнир гусеничной цепи содержит проушины звеньев 1 гусеничной цепи, в которые устанавливаются плавающие втулки 2 с фланцем и плавающие втулки 3, межторцовые ограничительные шайбы 4, втулки соединяются пальцем 5. Палец и втулки зафиксированы в проушинах звеньев ограничителями, установленными на палец с обеих сторон и состоящими из шайб 6 и стопорных колец 7. В концевых проушинах между крайними втулками и шайбами установлены упругие уплотнительные кольца 8.

Для улучшения тягово-сцепных качеств гусеничного транспортного средства грунтозацепы выполняются под углом 15° к поперечной оси звена, что позволяет увеличить коэффициент сцепления на 20%.» [7]

2.3 Расчет сил и напряжений в шарнире спроектированного узла гусеничного движителя

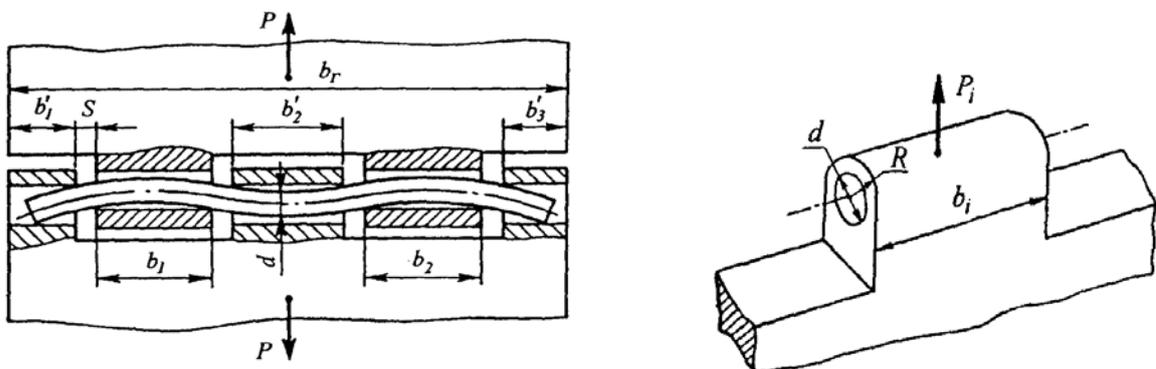
Расчету подвергаются проушины звеньев и пальцы. Исходными данными для расчета являются вес G_T (80000 Н) гусеничного транспортного средства и ширина b_r гусеницы. Расчетное усилие, растягивающее звенья гусеницы, ограничивается предельной силой по сцеплению забегающей гусеницы с опорной поверхностью при повороте Гусеничного транспортного средства на уклоне крутизной $\alpha = 30^\circ$ в сторону подъема.

В этом случае расчетная сила, растягивающая звенья гусеницы (рисунок 8 а),

$$P = 0,65 \cdot G_T \cdot \varphi \quad (10)$$

где $\varphi=1,0$.

$$P = 0,65 \cdot 80000 \cdot 1 = 52000 \text{ Н}$$



а) гусеницы с ОМШ; б) проушины звена гусеницы

Рисунок 8 – Расчетная схема гусеницы транспортного средства

Для обеспечения равной прочности проушин должно соблюдаться условие

$$\sum_1^n b_i = \sum_1^n b'_i = 0,5 b_r, \quad (11)$$

где n , n' и b_i , b_i' - соответственно число и ширина проушин охватываемой и охватывающей сторон звена гусеницы.

Диаметр пальца из условия обеспечения требуемой износостойкости:

$$d = \frac{2P}{[p]b_r}, \quad (12)$$

где $[p] = 10$ МПа - допускаемое давление в проушинах звена гусеницы (параметр износостойкости).

$$d = 2 \cdot 52000 / (10 \cdot 1000000 \cdot 0,47) = 0,022 \text{ (м)};$$

$$d = 22 \text{ мм}$$

Число проушин охватываемой стороны звена гусеницы определяют из условия ограничения напряжений среза в пальце:

$$n = \frac{2P}{\pi d^2 [\tau]_{ср}}, \quad (13)$$

где $[\tau]_{ср} = 40$ МПа - допускаемое напряжение среза.

$$n = 104000 / (3,14 \cdot (0,022)^2 \cdot 40 \cdot 1000000) = 1,7$$

$$n = 2$$

Для обеспечения равной прочности и износостойкости проушины охватываемой стороны должны быть одинаковой ширины:

$$b_i = b_r / (2n). \quad (14)$$

С этой же целью крайние проушины охватывающей стороны звена

выполняют в 1,5...2 раза уже средних, равных по ширине проушин.

Радиус проушины определяют исходя из расчета ее на разрыв:

$$R = \frac{P}{b_r[\sigma]_p} + 0,5d, \quad (15)$$

где $[\sigma]_p = 30$ МПа - допускаемое напряжение растяжения.

$$R = 52000 / (30 \cdot 1000000 \cdot 0,47) + 0,5 \cdot 0,022 = 0,0256 \text{ м};$$

$$R = 0,026 \text{ м}$$

«После конструктивной проработки звеньев гусеницы необходимо выполнить поверочные расчеты звеньев и пальца с учетом зазора S между проушинами. В выполненных конструкциях $S = 3$ мм. Силу, нагружающую проушины звеньев, находят из выражений для сторон:» [13], [15]

Охватываемой:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = P;$$
$$P_1 : P_2 : P_3 : \dots : P_n = \frac{1}{1,5b_1 + S} : \frac{1}{1,5b_2 + S} : \dots : \frac{1}{1,5b_n + S}; \quad (16)$$

Охватывающей:

$$P'_1 + P'_2 + \dots + P'_n = P;$$
$$2P'_1 : 2P'_2 : 2P'_3 : \dots : 2P'_n = \frac{1}{1,5b'_1 + S} : \frac{1}{1,5b'_2 + S} : \dots : \frac{1}{1,5b'_n + S}, \quad (17)$$

где $P_1 \dots P_n$ - сила, нагружающая проушины охватываемой стороны звена гусеницы шириной соответственно $b_1 \dots b_n$;

$P'_1 \dots P'_n$ - сила, нагружающая проушины охватывающей стороны звена гусеницы шириной соответственно $b'_1 \dots b'_n$.

«Соотношения получены при условии, что распределение усилия Р, приложенного к гусенице, между проушинами прямо пропорционально изгибной жесткости пальца в точках фактического приложения сил в проушинах.

Поверочный расчет проушин выполняют для наиболее нагруженной проушины. Для охватываемой и охватывающей сторон звена гусеницы напряжение растяжения в проушинах определяют из выражений:» [13], [15]

$$\sigma_p = \frac{P_i}{(2R-d)b_i} \leq [\sigma]_p; \quad \sigma'_p = \frac{P'_i}{(2R-d)b'_i} \leq [\sigma]_p \quad (18)$$

$$\sigma_p = 22750 / ((2 \cdot 0,026 - 0,022) \cdot 0,11) = 6893939 \text{ (Па)} < [\sigma]_p;$$

Давление в проушинах:

$$p_i = \bar{P}_i / (b_i d) \leq [p]; \quad p'_i = P'_i / (b'_i d) \leq [p]. \quad (19)$$

$$p = 22750 / (0,11 \cdot 0,022) = 9400826 \text{ (Па)} < [p];$$

Поверочный расчет пальца гусеницы на срез выполняют для наиболее нагруженной средней проушины:

$$\tau_{cp} = k \frac{4P_i}{\gamma \pi d^2} = 0,85 \frac{P_i}{d^2} \leq [\tau]_{cp}; \quad \tau'_{cp} = 0,85 \frac{P'_i}{d^2} \leq [\tau]_{cp}, \quad (20)$$

где $k = 4/3$ - коэффициент, учитывающий сложнапряженное состояние пальца при совместном действии напряжений изгиба и среза.

$$\tau_{cp} = 0,85 \cdot 22750 / (0,022)^2 = 39953512 \text{ (Па)} < [\tau]_{cp};$$

«Среднее давление q_{cp} – наиболее распространенный критерий, используемый в качестве одного из основных агротехнических параметров в техническом задании на гусеничное транспортное средство.» [13]

2.4 Конструктивное решение звена гусеничной цепи

«Для того чтобы обеспечить возможность работы гусеничного транспортного средства на слабонесущих грунтах необходимо предусмотреть возможность установки гусеничных цепей, состоящих из широких звеньев.

Такой движитель необходим для работы Гусеничного транспортного средства в рисоводческом хозяйстве, а также при работах на заболоченной местности.

С этой целью предлагается конструкция звена гусеницы на основе стандартного звена с боковыми уширителями в виде трапеций и прямоугольной формы, рисунок 9.

Гусеница с трапецевидными уширителями должна обеспечить среднее давление на грунт не более 35 кПа, а с прямоугольными не более 30 кПа, рисунок 10.» [8]

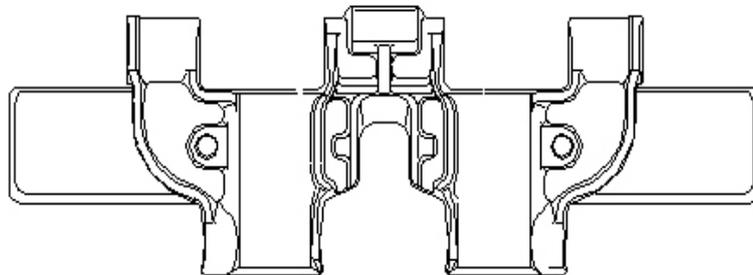


Рисунок 9 – Звено гусеницы с прямоугольными уширителями

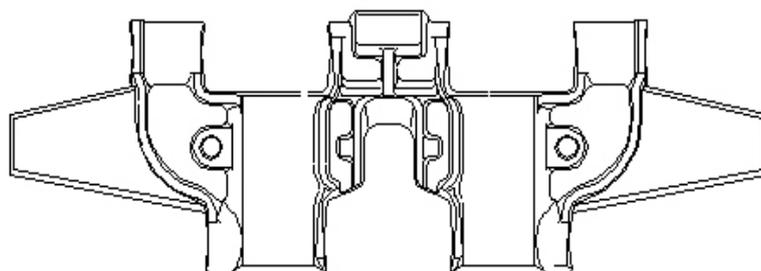


Рисунок 10 – Звено гусеницы с трапецевидными уширителями

2.5 Проверочные расчеты основных узлов машины

Поверхность трения дисков сцепления F_T

$$d_{T1} = 350 \text{ мм}$$

$$d_{T2} = 210 \text{ мм} \quad R_{cp} = \frac{d_{T1} + d_{T2}}{4} = 14 \text{ см} \quad (21)$$

$$F_T = \frac{\pi}{4} (d_{T1}^2 - d_{T2}^2) = 0,725(35^2 - 21^2) = 615 \text{ см}^2 \quad (22)$$

«Усилие сжатия дисков P .

Согласно каталогу муфт сцепления для кожуха с дисками А52.22.000СБ берем пружину А52.22.009-02 (диаметр проволоки 5,5 мм, $D=44$ мм). Усилие предварительного сжатия – $P_1 = 93$ (кГс).

$n = 12$ – количество пружин в муфте сцепления» [8]

Усилие сжатия дисков:

$$P = 93 \cdot 12 = 1116 \text{ кГс}$$

Удельное давление на поверхности трения – q :

$$q = \frac{P}{F_T} = \frac{1116 \text{ кГс}}{615 \text{ см}^2} = 1,81 \text{ кГс/см}^2 \quad (23)$$

Момент трения муфты сцепления M_T

$$M_T = P \cdot \mu \cdot z \cdot R_{cp}; \quad (24)$$

где для сухого трения асбестовой накладки коэффициент трения $\mu=0,3$;

Z – количество пар трения = 4;

$$M_T = 1116 \cdot 0,3 \cdot 4 \cdot 14 = 187,5 \text{ (кгс}\cdot\text{м)};$$

Коэффициент запаса муфты сцепления K_0 , для дизеля Д260.14 мощностью 130 л.с. $K_0=3,2$.

Для полюса зацепления расчётное контактное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_H = 0,376 \cdot \sqrt{\frac{F_t \cdot (U+1)}{d \cdot b} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV}} \leq [\sigma_H] \quad (25)$$

«где $K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями; для прямозубых передач $K_{H\alpha} = 1$;

$K_{H\beta}$ – коэффициент, учитывающий расположение шестерни относительно опор;

K_{HV} – коэффициент динамической нагрузки, возникающей в зацеплении.» [6], [15]

Ведущая шестерня, z_4 на рисунке.

$[\sigma_H]$ определяется по формуле:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb}}{S_H} \cdot Z_R \cdot K_{HL} \quad (26)$$

где σ_{Hlimb} – предел контактной выносливости, соответствующий базовому числу циклов напряжений;

S_H – коэффициент безопасности;

Z_R – коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности зубьев;

K_{HL} – коэффициент долговечности, определяемый по формуле:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} \quad (27)$$

$$K_{HL} \geq 1, \text{ но } < 2,4$$

$$N_{HO} = 16,5 \cdot 10^6$$

$$N_{HE} = 60 \cdot c \cdot n \cdot t \quad (28)$$

где c – число зубчатых колёс, находящихся в зацеплении с рассчитываемым;

n – частота вращения рассчитываемого зубчатого колеса, мин-1;

t – продолжительность работы передачи под нагрузкой за расчётный срок службы, ч.

$$N_{HE} = 60 \cdot 1 \cdot 748 \cdot 10000 = 4.5 \cdot 10^8$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{16,5 \cdot 10^6}{4.5 \cdot 10^8}} = 0,576 \approx 1$$

$$SH_{limb} = HB, ZR = 0,9, SH = 1,2 \quad (\text{см. [4]})$$

$$[\sigma_H] = \frac{250}{1,2} \cdot 0,9 \cdot 1 = 187,5, \text{ Мпа}$$

Окружная сила F_t находится по формуле:

$$F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} \quad (29)$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 450}{0.0935} = 9625.6, \text{ Н}$$

Для определения KHV необходимо знать степень точности шестерни и окружную скорость в м/с.

Окружная скорость находится по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60000} \quad (30)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 93.5 \cdot 748}{60000} = 3.66, \text{ м/с}$$

$$KHV = 1,2$$

Для расчёта $KH\beta$ необходимо рассчитать ψ_{bd} (см. [4]):

$$\psi_{bd} = 0,5 \cdot \psi_{ba} \cdot (U + 1) \quad (31)$$

$$\psi_{ba} = 0,4$$

$$\psi_{bd} = 0,5 \cdot 0,4 \cdot (1,15 + 1) = 0,43$$

$$K_H\beta = 1,02$$

$$\sigma_H = 0,376 \sqrt{\frac{9625,6 \cdot (1,15+1)}{0,0935 \cdot 0,0225}} \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 = 123,7 < [\sigma_H], \text{ МПа}$$

Промежуточная шестерня, z3, рисунок 5.

Расчёт ведомой шестерни проведём по аналогичной методике.

$$F_t = \frac{2 \cdot 262}{0,05525} = 9484,2, \text{ Н}$$

$$K_H\alpha = 1, \quad K_H\beta = 1,015, \quad K_HV = 1,3$$

$$\sigma_H = 0,376 \sqrt{\frac{9484,2 \cdot (0,6+1)}{0,05525 \cdot 0,0245}} \cdot 1 \cdot 1,015 \cdot 1,3 = 160 < [\sigma_H], \text{ МПа}$$

Промежуточная шестерня, z2, рисунок 5.

Расчёт ведомой шестерни проведём по аналогичной методике.

$$F_t = \frac{2 \cdot 262}{0,1105} = 4742, \text{ Н}$$

$$K_H\alpha = 1, \quad K_H\beta = 1,015, \quad K_HV = 1,3$$

$$\sigma_H = 0,376 \sqrt{\frac{4742 \cdot (0,59+1)}{0,1105 \cdot 0,0255}} \cdot 1 \cdot 1,015 \cdot 1,3 = 76 < [\sigma_H], \text{ МПа}$$

Ведомая вал – шестерня, z1.

Расчёт ведомой шестерни проведём по аналогичной методике.

$$F_t = \frac{2 \cdot 132,1}{0,0595} = 4440,3, \text{ Н}$$

$$\sigma_H = 0,376 \sqrt{\frac{4440,3 \cdot (0,52+1)}{0,0595 \cdot 0,0275}} \cdot 1 \cdot 1,015 \cdot 1,3 = 98 < [\sigma_H], \text{ МПа}$$

«Проверочный расчёт зубьев на выносливость по напряжениям изгиба.

Расчётное напряжение изгиба на переходной поверхности зуба шестерни определяется по формуле:» [4]

$$\sigma_F = K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \cdot Y_F \cdot Y_\beta \cdot \frac{F_t}{b \cdot m_n} \leq [\sigma_F] \quad (32)$$

«Где $K_{F\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями; для прямозубых передач $K_{F\alpha} = 1$;

$K_{F\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца, ориентировочно можно принять $K_{F\beta} = K_{H\beta}$;

K_{FV} – коэффициент динамической нагрузки;

Y_F – коэффициент формы зуба определяемый в зависимости от коэффициента смещения x и числа зубьев z прямозубого колеса;

Y_β – коэффициент, учитывающий повышение изгибной прочности косого зуба по сравнению с прямым; для прямозубых передач $Y_\beta = 1$.» [4]

Все значения коэффициентов берутся из [4].

Ведущая шестерня, z_4 .

$[\sigma_F]$ определяется по формуле:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{Flimb}}{S_F} \cdot Y_R \cdot K_{FL} \cdot K_{FC} \quad (33)$$

«Где σ_{Flimb} – предел контактной выносливости, соответствующий базовому числу циклов напряжений;

S_F – коэффициент безопасности;

Y_R – коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности зубьев;

K_{FC} – коэффициент, учитывающий влияние двустороннего приложения нагрузки (реверсирования);

$K_{FC} = 1$ – односторонняя нагрузка;» [4]

K_{FL} – коэффициент долговечности, определяемый по формуле:

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} \quad (34)$$

$$K_{HL} \geq 1, \text{ но } < 2$$

$$N_{FO} = 4 \cdot 10^6$$

$$N_{FE} = N_{HE} = 60 \cdot c \cdot n \cdot t \quad (35)$$

«где c – число зубчатых колёс, находящихся в зацеплении с рассчитываемым;

n – частота вращения рассчитываемого зубчатого колеса, мин-1;

t – продолжительность работы передачи под нагрузкой за расчётный срок службы, ч.» [4]

$$N_{FE} = 60 \cdot 1 \cdot 748 \cdot 10000 = 4,5 \cdot 10^8$$

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{4,5 \cdot 10^8}} = 0,455 \approx 1$$

$$S_{Flimb} = 850 \text{ НВ}, Y_R = 1,1, S_F = 2$$

$$[\sigma_F] = \frac{850}{2} \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 467,5, \text{ МПа}$$

«Для определения K_{FV} необходимо знать степень точности шестерни и окружную скорость в м/с.» [4]

$$K_{FV} = 1,5$$

$$Y_F = 4,3$$

$$m_n = 4,25$$

$$\sigma_F = 1 \cdot 1,02 \cdot 1,5 \cdot 4,1 \cdot 1 \cdot \frac{9,62}{0,018 \cdot 4,25} = 390 < [\sigma_F], \text{ МПа}$$

Промежуточная шестерня, z_3 .

Расчёт промежуточной шестерни проведём по аналогичной методике.

$$Y_F = 3,46$$

$$\sigma_F = 1 \cdot 1,015 \cdot 1,077 \cdot 3,46 \cdot 1 \cdot \frac{4,99}{0,018 \cdot 4,25} = 246 < [\sigma_F], \text{ МПа}$$

Промежуточная шестерня, z_2 .

Расчёт промежуточной шестерни проведём по аналогичной методике.

$$Y_F = 3,46$$

$$\sigma_F = 1 \cdot 1,015 \cdot 1,077 \cdot 3,46 \cdot 1 \cdot \frac{3,58}{0,017 \cdot 4,25} = 187 < [\sigma_F], \text{ МПа}$$

Ведомая шестерня, z_1 , рисунок 5.

Расчёт ведомой шестерни проведём по аналогичной методике.

$$Y_F = 3,46$$

$$\sigma_F = 1 \cdot 1,015 \cdot 1,077 \cdot 3,46 \cdot 1 \cdot \frac{3,47}{0,022 \cdot 4,25} = 113 < [\sigma_F], \text{ МПа}$$

Проверочный расчёт валов.

Методику расчёта возьмем из [5]. Все необходимые коэффициенты берём из этой же методики.

Ведомый вал.

«Проверочный расчёт производится в форме проверки коэффициента запаса прочности. Вал рассматривают как тело, имеющее объёмное неоднородное напряжённое состояние при переменных напряжениях.

Основными нагрузками на валы являются силы от передач.

Силы на валы передаются через насаженные на них детали. При расчётах принимают, что насаженные на вал детали передают силы и моменты валу на середине своей ширины. Рисунок 6.

При переходе от конструкции к расчётной схеме производят также схематизацию опор и формы вала. Форму вала принимают в виде невесомого бруса постоянного сечения.» [4], [22]

$$F_r = \frac{F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} \quad (36)$$

где $\operatorname{tg} \alpha = 200$ – угол профиля;

β – угол наклона зуба, для прямозубой передачи $\beta = 0,0$.

$$F_r = \frac{6328 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 0^\circ} = 2303, \text{ Н}$$

Для нахождения реакций R_a составим уравнение моментов вокруг точки

В:

$$F_r \cdot 46 - R_{ya} \cdot 92 = 0$$

$$R_{ya} = \frac{F_r \cdot 46}{92} = \frac{2303 \cdot 46}{92} = 1151,5, \text{ Н}$$

Для нахождения R_b составим уравнение равновесия сил вдоль оси Y

$$R_{ya} + R_{yb} - F_r = 0$$

$$R_{yb} = F_r - R_{ya} = 2303 - 1151,5 = 1151,5, \text{ Н}$$

Для нахождения реакций R_a составим уравнение моментов вокруг точки

В:

$$F_t \cdot 46 - R_{xa} \cdot 92 + F_m \cdot 60 = 0$$

$$R_{xa} = \frac{F_t \cdot 46}{92} = \frac{6328 \cdot 46 + F_m \cdot 60}{92} = 3989, \text{ Н}$$

Для нахождения R_b составим уравнение равновесия сил вдоль оси X

$$R_{xa} + R_{xb} - F_t + F_m = 0$$

$$R_{xb} = F_t - R_{xa} - F_m = 6328 - 3989 - 1266 = 1073, \text{ Н}$$

«Для установления опасных сечений построим эпюру моментов вокруг оси X (рисунок 11)

Опасным является сечение, вдоль которого действует сила F_r .

Для этого сечения определим запас сопротивления усталости и сравним их с допускаемыми.

Допускаемые напряжения определяются по зависимости:» [4]

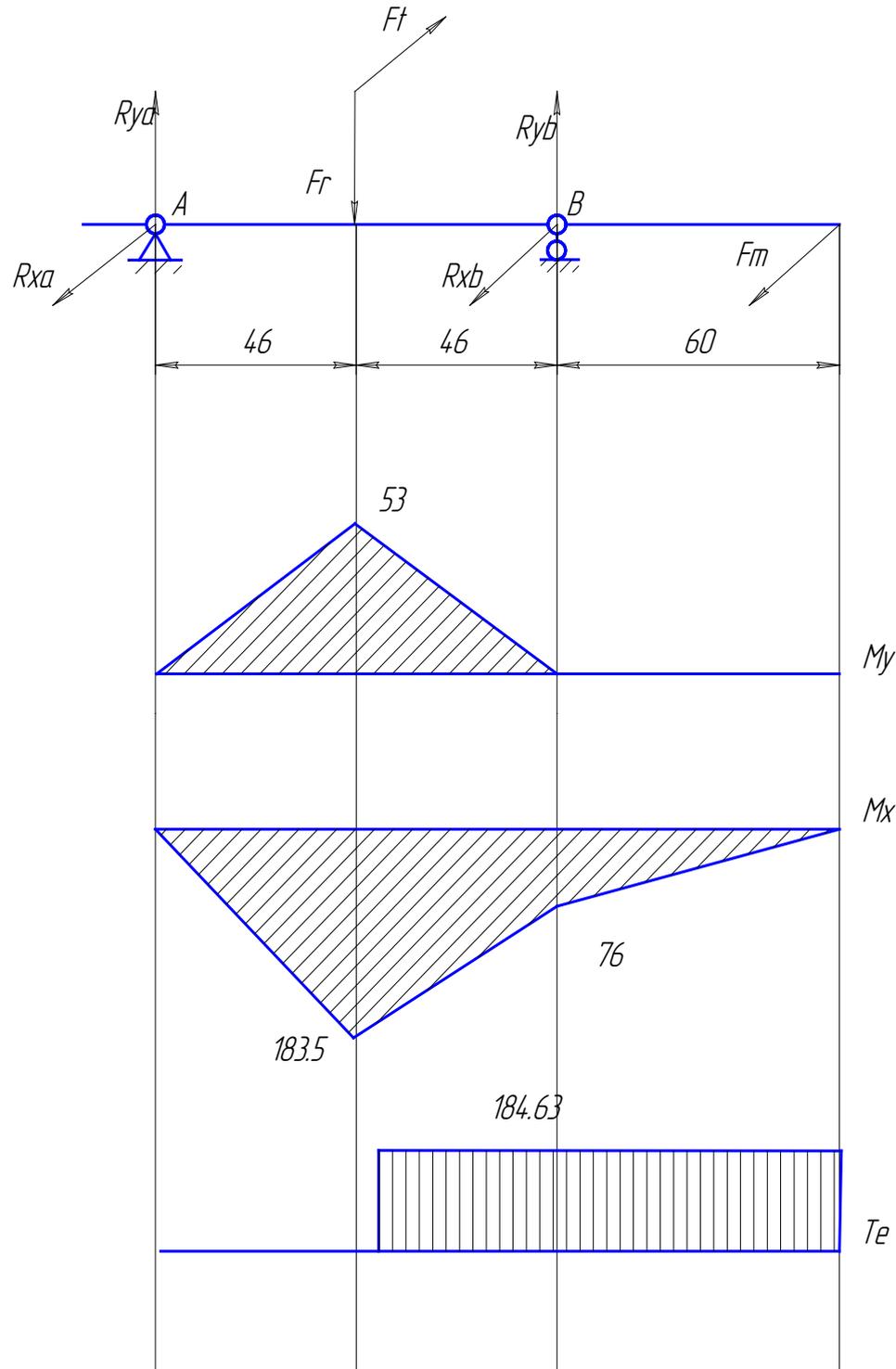


Рисунок 11 – Эпюры нагружения ведущего вала

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{\sigma_a \cdot (K_{\sigma} + K_F - 1)}{K_V \cdot K_d}} \geq [S_{\sigma}] \quad (37)$$

где σ_a – амплитуда напряжений цикла.

Напряжения в опасных сечениях определяют по формуле:

$$\sigma_a = \frac{M}{W} \quad (38)$$

где M – изгибающий момент в рассчитываемом сечении вала;

W – осевой момент сопротивления сечения, который определяется по формуле:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (39)$$

«где K_{σ} – эффективный коэффициент концентрации напряжений при изгибе, который назначается в зависимости от вида концентратора и его характеристик.

σ_{-1} – предел выносливости гладких образцов при симметричном цикле изгиба.

K_d – коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения.

K_F – коэффициент влияния шероховатости.

$$[S_{\sigma}] = 1,5$$

K_V – коэффициент влияния поверхностного упрочнения.

$$\sigma_{-1} = 250 \text{ МПа}$$

$$K_V = 1,6$$

$$K_{\sigma} = 1$$

$$K_d = 0,77 \gg [13]$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 183494}{3,14 \cdot 77,5^3} = 4 \text{ МПа}$$

$$S_{\sigma} = \frac{250}{\frac{4}{1,6} \cdot \left(\frac{1}{0,77} + 1 - 1 \right)} = 77 > [S_{\sigma}] \text{ МПа}$$

Расчёт подшипников.

Методику расчёта возьмем из [13]. Все необходимые коэффициенты берём из этой же методики.

Промежуточный вал.

Расчёт подшипников сводится к определению потребной долговечности (ресурса) L , которые связаны с эквивалентной динамической нагрузкой P следующей зависимостью:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m \quad (40)$$

где $m = 3$ – для шариковых подшипников.

C и P измеряются в Н, а L – в млн. оборотов.

Эквивалентная динамическая нагрузка P для радиальных подшипников определяется по формуле:

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T \quad (41)$$

«где F_r и F_a – радиальная и осевая нагрузки, действующие на подшипник;

V – коэффициент вращения, зависящий от того, какое колесо вращается (при вращении внутреннего колеса $V = 1$, наружного - $V = 1,2$);

K_σ – коэффициент безопасности, который учитывает характер нагрузки;

K_T – температурный коэффициент;

X, Y – коэффициенты радиальной и осевой нагрузок.

$$F_r = 3272 \text{ Н}$$

$$F_a = 0$$

$$X = 1$$

$$K_\sigma = 1,1$$

$$K_T = 1$$

$$V = 1 \text{ » [13]}$$

Подшипник 204, $C = 12700$ Н

$$P = 1 \cdot 3272 \cdot 1,1 = 3590 \text{ Н}$$

$$L = \left(\frac{12700}{3590} \right)^3 = 440$$

Зная ресурс работы подшипника в млн. оборотов, можно определить его ресурс в часах по следующей зависимости:

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n} \geq L_{hp} \quad (42)$$

где n – частота вращения вала в об/мин.

$$L_{hp} = 10 \cdot 10^3, \text{ ч}$$

$$L_h = \frac{10^6 \cdot 440}{60 \cdot 1500} = 4,88 \cdot 10^3 \geq L_{hp}$$

Ведомый вал.

$$F_r = 2303 \text{ Н,}$$

$$F_a = 0$$

$$X = 1$$

$$K_\sigma = 1,15$$

$$K_T = 1$$

$$V = 1$$

Подшипник 210, $C = 35100$

$$P = 1,2 \cdot 2303 \cdot 1,15 = 3178$$

$$L = \left(\frac{35100}{3178} \right)^3 = 1347$$

$$L_{hp} = 10 \cdot 10^3, \text{ ч}$$

$$L_h = \frac{10^6 \cdot 1347}{60 \cdot 1500} = 15 \cdot 10^3 \geq L_{hp}$$

«Проверочный расчёт промежуточной оси

Проверочный расчёт производится в форме проверки коэффициента запаса прочности. ось рассматривают как тело, имеющее объёмное неоднородное напряжённое состояние при переменных напряжениях.

Силы на валы передаются через насаженные на них детали. При расчётах принимают, что насаженные на вал детали передают силы и моменты валу на середине своей ширины. Рисунок 12.

При переходе от конструкции к расчётной схеме производят также схематизацию опор и формы вала. Форму вала принимают в виде невесомого бруса постоянного сечения.» [13]

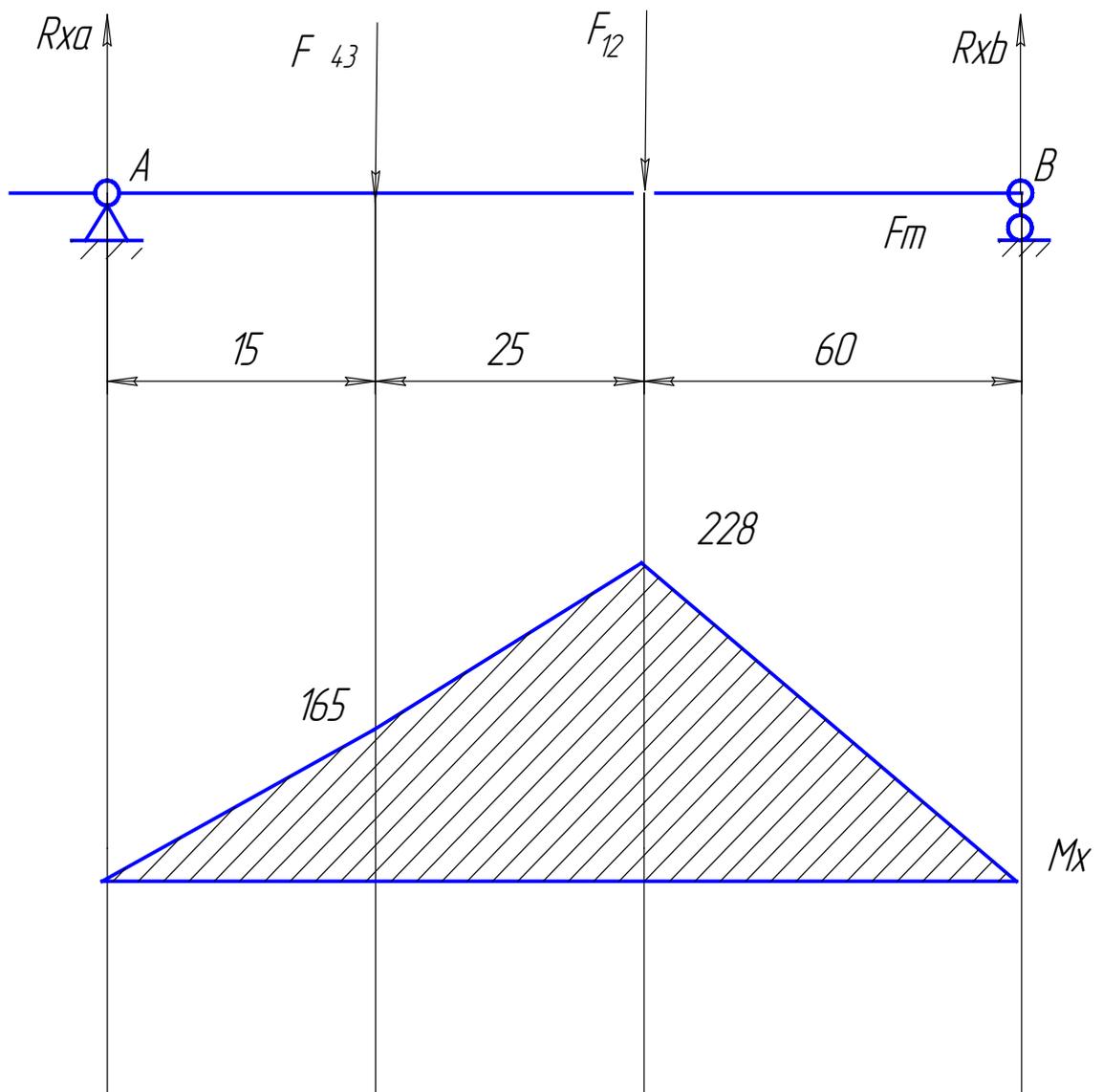


Рисунок 12 – Эпюра нагружения ведомого вала

$$F_{12} = 6320, \text{ Н}$$

$$F_{43} = 8502,6, \text{ Н}$$

Для нахождения реакций R_a составим уравнение моментов вокруг точки В:

$$F_{12} \cdot 60 + F_{43} \cdot 85 - R_{xa} \cdot 100 = 0$$

$$R_{xa} = 11012, \text{ Н}$$

Для нахождения R_b составим уравнение равновесия сил вдоль оси Y

$$R_{xa} + R_{xb} - F_{12} - F_{43} = 0$$

$$R_{xb} = F_{12} + F_{43} - R_{xa} = 6320 + 8502 - 11012 = 3810, \text{ Н}$$

«Для установления опасных сечений построим эпюру моментов вокруг оси X (рисунок 12).

Опасным является сечение, вдоль которого действует сила F_r .

Для этого сечения определим запас сопротивления усталости и сравним их с допускаемыми.

где σ_a – амплитуда напряжений цикла.

Напряжения в опасных сечениях определяют по формуле:» [4]

$$\sigma_a = \frac{M}{W} \quad (43)$$

где M – изгибающий момент в рассчитываемом сечении вала;

W – осевой момент сопротивления сечения, который определяется по формуле:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (44)$$

« K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений при изгибе, который назначается в зависимости от вида концентратора и его характеристик.

$\sigma-1$ – предел выносливости гладких образцов при симметричном цикле изгиба.

K_d – коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения.

K_F – коэффициент влияния шероховатости.

$$[S_\sigma] = 1,5$$

K_V – коэффициент влияния поверхностного упрочнения.

$$\sigma-1 = 250 \text{ МПа}$$

$$K_V = 1,6$$

$$K_\sigma = 1$$

$$K_d = 0,77 \gg [13]$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 228012}{3,14 \cdot 20^3} = 285 \text{ МПа}$$

$$S_\sigma = \frac{250}{\frac{285}{1,6} \cdot \left(\frac{1}{0,77} + 1 - 1 \right)} = 1.15 > [S_\sigma] \text{ МПа}$$

Нагрузка на транспортное средство является важным фактором, влияющим на его тяговую способность. При расчете необходимо учитывать массу транспортного средства, грузоподъемность, а также вес и расположение груза. Расчет массы транспортного средства основывался на методических указаниях и указаниях, почерпнутых из специализированной литературы, также подтвержденной практическим опытом.

Мощность двигателя, рассчитанной из массы и заданных скоростных режимов, должна быть достаточной для обеспечения необходимой тяговой способности при заданных условиях эксплуатации гусеничного транспортного средства.

Передачное число было выбрано таким образом, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между скоростью тягача и его тяговой способностью. При этом необходимо учитывать, что слишком высокое передачное число может привести к перегреву двигателя, а слишком низкое – к излишнему расходу топлива. Рассчитанное передачное число

обеспечивает движение тягача на скоростях, обозначенных в исходных данных. Расчёт динамических характеристики, приведенных в Приложении А также свидетельствует о правильности произведенных расчетов.

Расход топлива также был рассчитан для подтверждения параметров транспортного средства при выполнении тягового расчета гусеничного тягача. Он зависит от мощности двигателя, передаточного числа, нагрузки на транспортное средство и других факторов. Графики расхода топлива, в зависимости от режима работы двигателя, приведен в Приложении А и на листах графической части.

Таким образом, тяговый расчет гусеничного транспортного средства является важным этапом проектирования и эксплуатации транспортных средств. Он позволяет определить оптимальные параметры для обеспечения высокой тяговой способности и экономической эффективности проектируемого тягача на базе МТЛБ.

Была выполнена конструкторская проработка отдельных узлов транспортного средства. В частности, рассчитывались параметры гусеничного движителя, прочностные характеристики элементов гусеницы. Разработка производилась на основании технического задания (ТЗ), которое было разработано в соответствии с требованиями к ТЗ по ГОСТ, с проработкой каждого из разделов. Ответом на разработанное техническое задание явилось техническое предложение (ТП). В разработанном техническом предложении приводятся уже разработанные разрезы наиболее ответственных узлов конструкции.

Разработана кинематическая схема трансмиссии транспортного средства. Разработанная схема трансмиссии выносится на лист графической части.

С учетом специфики производимых работ выполнен подбор силовых агрегатов и выполнен подбор комплектующих. Также обоснован выбор конструкции, на основании произведенного анализа. Прототипом конструкции явилась конструкция гусеничного тягача МТЛБ, тяговые и

эксплуатационные характеристики которого в наибольшей степени соответствуют условиям эксплуатации проектируемого гусеничного транспортного средства. В техническом предложении выполнен расчет параметров конструкции отдельных узлов проектируемого гусеничного тягача. Произведен силовой и прочностной расчёт элементов конструкции коробки передач, как наиболее нагруженного механического агрегата. Результаты выполненной работы в виде чертежей конструкции представлены на листах графической части.

Спецификация изделия представлена в Приложении Б. В соответствии с требованиями к проектированию устройства, в рамках выполнения дипломного проекта была разработана инструкция по эксплуатации. В инструкции отражены требования к проведению испытаний, а также основные конструкционные схемы устройства. Также приведены требования к проведению сборочных работ.

3 Разработка технологического процесса сборки трансмиссии гусеничного транспортного средства

3.1 Анализ конструкции, взятой на технологическую разработку

«В технологическом разделе производится разработка технологического процесса сборки узла трансмиссии, спроектированной в конструкторском разделе дипломного проекта. Необходимо разработать последовательность выполнения сборочных работ, обозначить необходимые технические условия на проведение сборочных работ и произвести подбор необходимого технологического оборудования.» [10]

Процесс разработки технологической карты сборки трансмиссии гусеничного тягача включает несколько этапов. Определена генеральная последовательность действий, которые могут быть выполнены при разработке технологической карты

В начале процесса необходимо провести анализ конструкции трансмиссии гусеничного тягача. Это включает изучение чертежей, спецификаций и других технических документов, а также общее понимание работы и функций трансмиссии.

На основе анализа конструкции трансмиссии определяются все операции, которые необходимо выполнить для сборки. Это может включать установку агрегатов и узлов, соединение деталей, проведение регулировок и проверки.

Определяется последовательность выполнения операций сборки. Важно учитывать логический порядок и зависимости между операциями, чтобы обеспечить эффективность и качество сборки.

Для каждой операции необходимо определить необходимые инструменты и оборудование. Это может включать как простой слесарный инструмент, такие как ключи, отвертки, так и прессовое оборудование, измерительные инструменты и другие специализированные средства.

На этапе разработки технологических операций и переходов разрабатываются технологические процедуры для каждой операции сборки. В них указываются подробные инструкции по выполнению каждой операции, включая необходимые переходы, параметры сборки, допустимые отклонения при выполнении сборочных операций и критерии качества.

По завершении разработки технологической карты сборки происходит ее документирование, производимое в виде размещения на листе графической части.

Процесс разработки технологической карты сборки трансмиссии гусеничного тягача требует внимательного анализа, планирования и оптимизации для обеспечения эффективности, качества и безопасности сборочных операций.

3.2 Технологический процесс сборки механизма трансмиссии

Разработка технологического процесса сборки трансмиссии гусеничного транспортного средства автомобиля является частью выпускной квалификационной работы, которая выносится на лист графической части в виде технологической схемы.

На проработку технологии сборки берется узел «трансмиссия гусеничного транспортного средства». В качестве исходных данных при проектировании технологии принимаются:

- сборочные чертежи трансмиссии и деталей механизма переключения передач;
- в качестве объема производства трансмиссии принимаем количество 1000 единиц, что объясняется перспективой годового сбыта на рынке России.

«К конструкции предъявляются общие требования технологичности, типичные для большинства узлов транспортных средств.

- изделие должно иметь возможность сборки по узлам;

- все узлы могут присоединяться к базовой детали независимо друг от друга;
- работы по сборке должны иметь возможность механизации;
- все детали должны иметь инструментальную доступность, каждая из деталей по возможности должна иметь возможность без демонтажа сопутствующих, либо их число должно быть минимизировано;
- изделие должно обладать свойством контролепригодности;
- детали и сборочные единицы должны быть унифицированы;
- сборочные работы должны вестись без применения специнструмента и спецснастки.
- обеспечение расчленения его на отдельные узлы и сборочные единицы, сборка которых может иметь примерно одинаковые по длительности и по возможности однородные по технологическому содержанию этапы;
 - обеспечение свободного инструментального доступа к деталям узла.» [16]

В таблицу 12 сведем все сборочные работы, которые необходимо произвести при проведении сборочных операций по трансмиссии гусеничного транспортного средства.

Указанные в таблице работы будут использованы при разработки технологической схемы сборки.

Сборка будет производиться поэтапно, в корпус трансмиссии. Картер будет выполняться разъёмной, соединяемой болтовыми соединениями. В корпус картера трансмиссии будет помещаться собранный узел. Окончательная сборка будет произведена после размещения всех узлов.

Сборку узлов следует производить на трансмиссионном масле, оно же будет использовано для заправки агрегата после сборки. Сборка механического привода не отражается в технологической карте, поскольку подключение системы переключения передач дистанционным управлением производится после проведения всех сборочных операций. Сборочные работы приводятся в таблице 6.

Таблица 6 – Сборочные работы, производимые при сборке коробки передач

| № пер | Наименование операции / перехода | Содержание операций, переходов | Используемое оборудование и инструмент | Время, чел-мин |
|--|---|--|---|----------------|
| 1. Сборка узлов трансмиссии | | | | |
| 005 | Сборка входного вала | <ol style="list-style-type: none"> 1. Запрессовать в шестерню подшипник 2. Установить распорную втулку 3. Запрессовать в шестерню второй подшипник 4. Произвести запрессовку оси 5. Надеть на ось дистанционные шайбы | Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное | 10,45 |
| 010 | Сборка промежуточного вала | <ol style="list-style-type: none"> 1. Запрессовать в шестерню подшипник 2. Установить распорную втулку 3. Запрессовать в шестерню второй подшипник 4. Произвести запрессовку оси | Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное | 12,20 |
| 015 | Сборка выходного вала | <ol style="list-style-type: none"> 1. Запрессовать на ось подшипник 2. Установить стопорное кольцо 3. Запрессовать в шестерню второй подшипник 4. Установить стопорное кольцо | Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное | 8,55 |
| 020 | Сборка корпуса | <ol style="list-style-type: none"> 1. Произвести запрессовку штифтов | Стенд сборочный Пресс 20т | 6,32 |
| 2. Генеральная сборка трансмиссии | | | | |
| 025 | Сборка трансмиссии с бортовыми фрикционными | <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить входной вал в посадочные места 2. Установить входной вал в посадочные места 3. Установить промежуточный вал в посадочные места 4. Установить втулки промежуточного вала 5. Накрутить привод на промежуточный вал и произвести его затяжку 6. Надеть вторую половину корпуса 7. Закрутить фиксирующие болты 5256- 1/13438/33 ключом на 19 8. Запрессовать манжету 9. Запрессовать установить валы привода фрикционных 10. Произвести затяжку болтов крепления цилиндров ключом на 17 11. Произвести установку и затяжку глухой крышки | Ключ на 19 Ключ на 17 Смазка – масло трансмиссионное | 18,25 |

Продолжение таблицы 6

| № пер | Наименование операции / перехода | Содержание операций, переходов | Используемое оборудование и инструмент | Время, чел-мин |
|-------|----------------------------------|---|--|----------------|
| | | 12. Произвести установку и затяжку сквозной крышки 13. Убедится в отсутствии заеданий при вращении | | |
| 030 | Присоединение трансмиссии | 1. Установить прокладку на картер коробки передач 2. Установить фрикционы на картер коробки передач 3. Произвести затяжку болтов 5256-1/13438/33 4. Присоединить привод переключения передач | Ключ на 17 Ключ на 27 Смазка – масло трансмиссионное | 15,25 |

Произведем расчет времени проведения работ по сборке трансмиссии.

«Техническое нормирование слесарно-сборочных работ, определение типа производства и формы организации технологического процесса сборки

Нормы времени на переходы операций сборки определяем по приложениям 1-47. Суммируем нормы времени на каждый вспомогательный и технологический переход операции и заносим в таблицу 3.

Общее оперативное время на все виды работ при сборке изделия:» [9]

$$t_{\text{опобщ}} = \Sigma t_{\text{оп}} = 64,70 \text{ мин.} \quad (45)$$

Суммарная трудоемкость сборки:

$$t_{\text{штобщ}} = t_{\text{опобщ}} + t_{\text{опобщ}} (\alpha/100 + \beta/100), \quad (46)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места, принимаем $\alpha = 3\%$;

β – часть оперативного времени на перерывы для отдыха, принимаем $\beta = 5\%$.

$$t_{шт\text{обш}} = 64,70 + 64,70 \cdot (3/100 + 5/100) = 64,70 + 64,70 \cdot 0,08 = 69,88 \text{ мин.}$$

Определение типа производства

Определяем тип производства, основываясь на данных о годовом объеме выпуска $N = 1000$ шт. и $t_{шт\text{обш}} = 69,88$ мин. – производство мелкосерийное.

«Для мелкосерийного производства такт выпуска определяем по формуле:

$$T_v = F_d \cdot 60 \cdot m / N, \quad (47)$$

где F_d – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимаем $F_d = 2030$ час.;

m – количество рабочих смен в сутки, принимаем $m = 1$;

N – годовой объем выпуска.» [9]

$$T_v = 2030 \cdot 60 \cdot 1 / 1000 = 1218 \text{ мин.}$$

Результатом технологического раздела явилось формирование технологической карты выполнения работ по сборке трансмиссии гусеничного тягача на базе МТЛБ. Работы производятся на специализированном стенде, расположенном на участке сборки.

Особенностью проведенных работ является то, что сборочные работы производятся с использованием специальных устройств и приспособлений, что позволяет производить сборку, обеспечив требуемое качество и точность сборочных работ.

Также в разделе выполнен расчет оперативного времени и такта производства. Расчет основывался на сформированной технологической карте, а также исходя из типа производства, определенного как мелкосерийное.

4 Охрана труда и безопасность жизнедеятельности на участке сборки объекта дипломного проектирования

4.1 Характеристика участка сборки

Согласно полученному заданию при выполнении дипломного проекта, выполнена разработка сложного технического устройства – гусеничного транспортного средства повышенной проходимости. Как любое техническое устройство, оно должно производиться на специализированном сборочном участке обученным персоналом при соблюдении норм и требований безопасности труда.

В рамках раздела нами исследуется сборочный участок, на котором осуществляется технологический процесс сборки транспортного средства. Сборочный участок является основным местом осуществления технологической операции сборки и относится к мелкосерийному производству. В первую очередь это означает, что данный участок, являясь частью опытно-промышленного производства, не ориентирован на специализированные работы, а занят в широком спектре выполняемых производственных функций. Оборудование, которое находится на участке – универсальное. Оборудование группируется по своему функционалу – сварочное, металлорежущее, шлифовальное и т.п.

Зоны выполнения работ, связанных с избыточным тепловыделением, выделением продуктов горения или ультрафиолетового излучения, таких как сварка на стапеле, зона термической обработки металла отделяются от основного помещения защитными экранами и оснащаются вытяжкой. Те же ограждения применяются для групп оборудования, чья работа связана с повышенным шумом, например абразивно-режущие станки.

Половое покрытие на всем участке выполнено из каучуковой плитки. Термические зоны имеют половое покрытие из наливного термостойкого полимера.

Освещение участка – естественное. Участок имеет ленточное остекление, которое выступает в качестве источника света. Искусственное освещение на участке выполнено светодиодными панелями нейтрального белого света. Дополнительное освещение на рабочих местах, которые требуют наличия света, выполнено светодиодными источниками точечного света.

Электрическое питание осуществляется промышленной сетью трехфазного тока. Заземление сети типа TS-C. Оборудование, требующее питания напряжением 380 (400) В запитывается от трехфазной сети. Подвод питания производится кабелем КГ, размещение кабеля в открытом лотке, подвод от лотка в гофро-рукаве. Каждое оборудование запитывается от электрошита собственной линией, защищенной автоматическим выключателем, номинала соответствующего мощности оборудования. Оборудование, требующее напряжения 220 (240) В запитывается от фаз вводной сети, распределение производится по трем фазам согласно мощности однофазного оборудования. Освещение участка также осуществляется однофазной сетью 220 (240) В.

Вентиляция на участке осуществляется естественным приточно-вытяжным способом. Циркуляция воздуха производится через вентиляционные короба, выполненные из оцинкованного стального листа. Подвод воздуха осуществляется через вентиляционные дефлекторы. Принудительная вытяжка на участках с избыточным выделением тепла и продуктов горения производится также посредством вентиляционных коробов, в качестве вентиляторов применяются роторные вентиляторы с диаметром воздуховода 250 мм.

Для выполнения задания, в рамках раздела по безопасности объекта дипломного проекта, требуется разработать рекомендации по обеспечению безопасности на сборочном участке. Для этого необходимо выявить опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на участке. Выявление комплекса опасных и вредных производственных факторов позволит разработать рекомендации по их нейтрализации.

4.2 Профессиональные риски, характерные для участка

Весь комплекс профессиональных рисков имеет строгую классификацию, принятую в справочной литературе и стандартах. Приведем ряд цитат из стандарта ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», которые относятся непосредственно к рассматриваемому сборочному участку.

«Вредные производственные факторы по воздействию на организм работающего человека, на участке можно отметить:

- факторы, приводящие к хроническим заболеваниям, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания, за счет длительного относительно низкоинтенсивного воздействия;

- факторы, приводящие к острым заболеваниям (отравлениям, поражениям) или травмам за счет кратковременного относительно высокоинтенсивного воздействия» [12]

«Опасные производственные факторы по воздействию на организм работающего человека, на участке можно отметить:

- факторы, приводящие к смертельным травмам (летальному исходу, смерти);

- факторы, приводящие к несмертельным травмам.

Опасные и вредные производственные факторы по характеру своего происхождения, на участке можно отметить:

- факторы, порождаемые физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды;

- факторы, порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых или находящихся в рабочей зоне веществ и материалов;

- факторы, порождаемые социально-экономическими и организационно-управленческими условиями осуществления трудовой

деятельности (плохая организация работ, низкая культура безопасности и т.п.);

– факторы, порождаемые психическими и физиологическими свойствами и особенностями человеческого организма и личности работающего (плохое самочувствие работника, нахождение работника в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения или абсистенции, потеря концентрации внимания работниками и т.п.)» [23]

«Опасные и вредные производственные факторы по характеру их изменения во времени подразделяют, на участке можно отметить:

- на постоянные, в том числе квазипостоянные;
- переменные, в том числе периодические;
- импульсные, в том числе регулярные и случайные.» [23]

«Опасные и вредные производственные факторы по характеру их действия во времени подразделяют:

- на постоянно действующие;
- периодически действующие, в том числе интермиттирующие;
- аperiodически действующие, в том числе стохастические.

Опасные и вредные производственные факторы по непосредственности своего воздействия подразделяют:

- на непосредственно воздействующие на организм занятого трудом человека;
- опосредованно воздействующие на организм занятого трудом человека через другие порождаемые ими и непосредственно воздействующие на организм занятого трудом человека факторы.

Опасные и вредные производственные факторы производственной среды по источнику своего происхождения подразделяют:

- на природные (включая климатические и погодные условия на рабочем месте);
- технико-технологические;

- эргономические (то есть связанные с физиологией организма человека).

Опасные и вредные производственные факторы производственной среды по природе их воздействия на организм работающего человека подразделяют:

- на факторы, воздействие которых носит физическую природу;
- факторы, воздействие которых носит химическую природу;
- факторы, воздействие которых носит биологическую природу.»

[12]

«Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами физического воздействия на организм работающего человека, подразделяют на следующие типичные группы:

- опасные и вредные производственные факторы, связанные с силами и энергией механического движения, в том числе в поле тяжести:

- действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего, стоящего на опорной поверхности, на эту же опорную поверхность;

- действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты;

- неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов, воздействующие на работающего при соприкосновении с ним, а также жала насекомых, зубы, когти, шипы и иные части тела живых организмов, используемые ими для защиты или нападения, включая укусы;

- опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей и характеризующиеся повышенным уровнем общей вибрации; повышенным уровнем локальной вибрации;

– опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума; повышенным уровнем инфразвуковых колебаний (инфразвука);

– отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;

– отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;

– повышенная яркость света;

– пониженная световая и цветовая контрастность;

– прямая и отраженная блескость;

– повышенная пульсация светового потока» [12]

«Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека, подразделяют:

– на физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;

– нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.

Физические перегрузки подразделяют:

– на статические, связанные с рабочей позой;

– динамические нагрузки, связанные с массой поднимаемого и перемещаемого вручную груза;

– динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений.

Физические перегрузки организма работающего, связанные с тяжестью трудового процесса, в целях оценки условий труда, разработки и принятия мероприятий по их улучшению характеризуются такими показателями, как:» [12]

- физическая динамическая нагрузка;
- масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную;
- стереотипные рабочие движения;
- статическая нагрузка;
- рабочая поза;
- наклоны корпуса тела работника;
- перемещение в пространстве.

«Нервно-психические перегрузки подразделяют:

- монотонность труда, вызывающая монотонию;
- эмоциональные перегрузки.» [23]

Характерные для рассматриваемого сборочного участка профессиональные риски являются общими для большинства промышленных предприятий отрасли автомобилестроения. Следовательно, нейтрализация этих факторов возможна при условии применения СИЗ, применяемых на предприятиях промышленного производства. Рекомендации по применению СИЗ в соответствии с фактором опасности приведены в таблице 1.

4.3 Разработка мероприятий по снижению воздействия профессиональных рисков на работающих

«Для предотвращения угроз профессиональной безопасности при управлении профессиональными рисками необходимо применять ко всем видам деятельности, связанными с опасностями, средства оперативного контроля. В качестве примеров выбора дополнительных мер управления профессиональными рисками можно рассмотреть:

- модификацию конструкции, позволяющую ликвидировать опасность, например, использование механических подъемных устройств для исключения профессионального риска, связанного с ручными подъемными операциями;

– замену опасного материала на менее опасный или уменьшение энергии системы (например, снижение усилий, силы тока, давления, температуры и т.п.);

– средства коллективной защиты: сигнализации, предупредительные надписи и знаки безопасности, маркировка пешеходных дорожек и т.д.;

– административные меры управления: процедуры обеспечения безопасности, проверки оборудования, контроль доступа, системы обеспечения безопасности работы, инструктажи по охране труда и т.д.;

– обеспечение работника дополнительными средствами индивидуальной защиты: очки защитные, средства защиты органов слуха, щитки защитные лицевые, респираторы, перчатки и т.д.» [23]

«Для обеспечения эффективной работы по идентификации опасностей и оценки профессиональными рисками, а также использования процессов обмена информацией и консультаций, заведующий обеспечивает:

- обмен информацией и консультирование в отношении рисков для безопасных условий труда и здоровья между различными уровнями, а также с работниками сторонних организаций;

- документирование соответствующих обращений внешних заинтересованных сторон, а также ответа на них.» [12]

Методы и средства снижения профессиональных рисков, типичных для моторного участка, сводятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

| Вид выявленного вредного производственного фактора | Методы и средства снижения или устранения вредного производственного фактора | Используемые СИЗ |
|--|---|---|
| Факторы, приводящие к заболеваниям | Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды | Использование спецодежды Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания |

Продолжение таблицы 7

| Вид выявленного вредного производственного фактора | Методы и средства снижения или устранения вредного производственного фактора | Используемые СИЗ |
|---|---|---|
| «Факторы, порождаемые физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды;» [12] | Применение средств коллективной защиты (нанесение предупреждающих надписей, информационных табличек, меток и т.д.) Модификация конструкции с целью снижения рисков | Применение низковольтных ламп в сетях освещения Использование спецодежды |
| «Факторы, порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых или находящихся в рабочей зоне веществ и материалов;» [12] | Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды | Использование спецодежды Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания |
| «Факторы, порождаемые социально-экономическими и организационно-управленческими условиями осуществления трудовой деятельности» [12] | Административные меры обеспечения безопасности труда Разработка рациональных режимов труда и отдыха Материальная компенсация вредных условий труда | Не предусмотрено |
| «Факторы, порождаемые психическими и физиологическими свойствами и особенностями человеческого организма и личности работающего» [12] | Административные меры обеспечения безопасности труда Разработка рациональных режимов труда и отдыха Материальная компенсация вредных условий труда Обеспечение смены рода деятельности в течении дня | Не предусмотрено |
| «Опасные и вредные производственные факторы, связанные с силами и энергией механического движения» [12] | Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды | Защитные и вибропоглощающие перчатки, нарукавники. Наколенники и налокотники. |
| «Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования)» [12] | Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды Административные меры обеспечения безопасности труда | Защитные перчатки, нарукавники. Наколенники и налокотники. Проведение инструктажа по правилам ТБ на производстве |

Продолжение таблицы 7

| Вид выявленного вредного производственного фактора | Методы и средства снижения или устранения вредного производственного фактора | Используемые СИЗ |
|--|---|---|
| «Опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей» [12] | «Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды Административные меры обеспечения безопасности труда» [12] | Защитные и вибропоглощающие перчатки, нарукавники. Наколенники и налокотники. |
| Отсутствие или недостаток необходимого освещения | «Обеспечение индивидуальных средств освещения рабочего места Разработка и прокладка осветительных сетей» [12] | Индивидуальные переносные фонари и осветительные лампы |
| «Физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;» [12] | «Административные меры обеспечения безопасности труда Механизация работ Внедрение в рабочий процесс машин и механизмов, заменяющих ручной труд» [12] | Проведение инструктажа по правилам ТБ на производстве |
| «Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса» [12] | Административные меры обеспечения безопасности труда Разработка рациональных режимов труда и отдыха Материальная компенсация вредных условий труда Обеспечение смены рода деятельности в течении дня | Не предусмотрено |

«Основным организационно-техническим мероприятием по снижению воздействия профессиональных рисков будет являться применение средств индивидуальной защиты (СИЗ). Несмотря на то, что СИЗ способны в значительной степени компенсировать воздействие профессиональных рисков, наибольший эффект в сфере охраны труда может быть достигнут при

комбинировании применения СИЗ и мероприятий административного характера, направленных на стимулирование работающих к более внимательному отношению к тем профессиональным рискам, которые присутствуют на участке.» [23]

4.4 Пожарная безопасность и противопожарные мероприятия на участке

Одной из основных технологических операций на сборочном участке будет являться сварка, которая может производиться как посредством электродуговой сварки, так и при помощи газовой сварки. Для данного вида технологической операции характерна высокая температура и образование искр, капель расплавленного металла и продуктов горения. В совокупности все это создает источник повышенной пожарной опасности, поскольку также на участке неизбежно присутствуют горючие и легковоспламеняющиеся вещества. Все это в совокупности делает пожарную опасность наиболее значимым фактором в обеспечении безопасности труда на участке. Для нейтрализации фактора пожарной опасности требуется разработка комплекса мероприятий по обеспечению мер пожарной безопасности на сборочном участке.

В таблице 8 приводятся факторы пожарной опасности и выполнена их классификация в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". Приведены факторы, наиболее характерные для сборочного участка рассматриваемого предприятия.

Таблица 8 – Классификация факторов пожарной опасности объекта дипломного проектирования (сборочного участка)

| Класс пожара | Источник пожарной опасности | Опасные факторы пожара | Способ тушения |
|--|---|---|--|
| <p>«А – горение твердых веществ</p> <p>A1 – горение твердых материалов, сопровождаемое тлением</p> <p>A2 – горение твердых материалов, не сопровождаемое тлением» [12]</p> | <p>«горючие твердые вещества, ветошь и обтирочный материал искры от режущего абразивного инструмента, открытое пламя газовых горелок, электрическая дуга, искры» [12]</p> | <p>«Задымление помещения, высокая температура открытого пламени, низкая концентрация кислорода, выброс токсических веществ продуктов горения» [12]</p> | <p>«Все виды огнетушащих веществ: вода, пена, порошки, хладоны» [12]</p> |
| <p>«В – горение жидких веществ</p> <p>B2 – горение неполярных горючих и легковоспламеняющихся жидкостей и плавящихся при нагреве веществ» [12]</p> | <p>«топливо, мазут, консистентные смазки и технические жидкости» [12]</p> | <p>«Задымление помещения, высокая температура открытого пламени, низкая концентрация кислорода, выброс токсических веществ продуктов горения, объёмное горение, взрыв» [12]</p> | <p>«пена; тонкораспыленная вода; хладоны; огнетушащие порошки общего назначения; аэрозольное пожаротушение и инертные разбавители: N₂, CO₂, и т.п.» [12]</p> |
| <p>«С - горение газообразных горючих веществ» [12]</p> | <p>сварочные газы, метан</p> | <p>«Высокая температура открытого пламени, низкая концентрация кислорода, выброс токсических веществ продуктов горения, объёмное горение, взрыв» [12]</p> | <p>«объёмное тушение и флегматизация газовыми составами; огнетушащие порошки общего назначения; пены, вода (для охлаждения оборудования)» [12]</p> |

«Для обеспечения пожарной безопасности на участке, требуется принятие противопожарных мероприятий, имеющих как организационный, так и инженерный характер. К таковым мероприятиям на участке сборки будут относиться:

- разработка комплекса норм и правил по обращению с горючими веществами и правил поведения персонала при проведении огневых работ и работ, связанных с горючими материалами;

- проведение регулярного инструктажа работников, с целью доведения информации о правилах проведения работ, связанных с горючими материалами и соблюдения норм пожарной безопасности;

- организация внутрипроизводственной пожарной охраны, осуществляющей функции надзора за соблюдением норм и правил по обращению с горючими веществами, а также норм и правил соблюдения противопожарной безопасности;

- организация хранения горючих и пожароопасных материалов в соответствии с их физико-химическими и противопожарными свойствами;

- оснащение участка средствами наблюдения и сигнализации за пожарной ситуацией, проведение инструктажа персонала о поведении в случае срабатывания пожарной сигнализации;

- оснащение участков средствами первичного пожаротушения в соответствии с классом возможного пожара.» [23]

Разработанные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности должны дополняться средствами пожарного оповещения и средствами первичного пожаротушения. Для каждой из рабочих зон участка необходимо проектирование системы оповещения персонала, а также разработка плана эвакуации в случае возникновения чрезвычайной ситуации и плана размещения информационных табличек и извещателей.

4.5 Мероприятия по обеспечению экологической безопасности участка

Рассматриваемый в рамках дипломного проектирования сборочный участок не является субъектом промышленного производства, чья деятельность представляет опасность для окружающей среды. Но отходы, которые образуются в процессе сборки транспортного средства, могут представлять определенную угрозу для окружающей среды и людей, при условиях неправильной их утилизации или при неправильной организации складирования отходов производства. Для сборочного производства в целом характерным является определенный набор факторов общего характера, представляющих угрозу безопасности окружающей среды:

- обрезки резинового листового материала, а также листовых материалов, имеющих длительный срок разложения;
- смывы с рук рабочих, содержащие остатки ГСМ и остатки растворителей;
- пыль металлическая и абразивная, которая образуется при пилении и разделке материалов;
- обтирочный материал, применяемый для удаления загрязнений.

«В качестве мероприятий, обеспечивающих требования экологической безопасности, принимаются следующие:

- утилизация отходов в соответствии с классами опасности;
- отдельный сбор металлических и неметаллических отходов, сортировка мусора на участке;
- очистка сточных вод перед сливом их в канализационный коллектор от остатков ГСМ и растворителей;
- соблюдение требований, предъявляемых к размещению, строительству и эксплуатации потенциально опасных объектов, а также к осуществлению потенциально опасной деятельности» [23]

В процессе анализа опасных и вредных производственных факторов были выявлены наиболее характерные для рассматриваемого в рамках дипломного проекта участка сборки. Выявленные факторы позволили сформировать комплекс мероприятий организационного характера, направленных на их нейтрализацию или снижения уровня воздействия на рабочих. Также для снижения уровня воздействия ряда опасных и вредных производственных факторов были подобраны средства индивидуальной защиты рабочих. Определены факторы пожарной опасности на участке, в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". Приведены факторы, наиболее характерные для сборочного участка рассматриваемого предприятия. Разработаны мероприятия по снижению уровня пожарной опасности организационного и технического характера. Произведено выявление факторов воздействия сборочного участка на окружающую среду. Предложены мероприятия организационного характера, направленные на снижение воздействия деятельности предприятия, среди которых такие, как внедрение раздельного сбора отходов, применение систем очистки сточных вод, учет внешних факторов при организации и планирования участка. На основании проведенного анализа факторов и комплекса предложенных мероприятий можно сделать вывод о выполнении задания в рамках раздела по безопасности жизнедеятельности и охраны труда на участке.

5 Расчет показателей экономической эффективности дипломного проекта

5.1 Характеристика объекта анализа экономической эффективности

В экономическом разделе дипломного проекта производится анализ деятельности сборочного участка и рассчитывается стоимость нормо-часа работы данного участка. Выбор обусловлен тем, что расчёт самой конструкции транспортного средства в рамках производимой разработки является объёмным и сложным, по своим параметрам, значительно выходящим за границы, обозначенные в рамках дипломного проектирования. Вместе с тем, расчет себестоимости нормо-часа сборочного участка позволит оценить стоимость произведенного изделия, поскольку сборочные работы составляют наиболее значительную часть полной себестоимости изделия.

Сборочное производство предназначено для проведения работ по окончательной сборке изделия с последующей передачей их на товарный склад готовой продукции. Сборочный цех расположен в отдельном помещении, оснащенным необходимым оборудованием для проведения сборочно-монтажных работ, включая подъёмно-транспортное оборудование. Поскольку сборка изделия, разрабатываемого в рамках дипломного проекта, относится к изделиям опытно-промышленного назначения, участок предполагает проведение сборки единичного или мелкосерийного производства продукции. В первую очередь это означает, что данный участок, являясь частью опытно-промышленного производства, не ориентирован на специализированные работы, а занят в широком спектре выполняемых производственных функций. Оборудование, которое находится на участке – универсальное. Оборудование группируется по своему функционалу – сварочное, металлорежущее, шлифовальное и т.п.

Освещение участка – естественное. Участок имеет ленточное остекление, которое выступает в качестве источника света. Искусственное освещение на участке выполнено светодиодными панелями нейтрального белого света. Дополнительное освещение на рабочих местах, которые требуют наличия света, выполнено светодиодными источниками точечного света.

Электрическое питание осуществляется промышленной сетью трехфазного тока. Заземление сети типа TS-C. Оборудование, требующее питания напряжением 380 (400) В запитывается от трехфазной сети. Подвод питания производится кабелем КГ, размещение кабеля в открытом лотке, подвод от лотка в гофро-рукаве. Каждое оборудование запитывается от электрошита собственной линией, защищенной автоматическим выключателем, номинала соответствующего мощности оборудования. Оборудование, требующее напряжения 220 (240) В запитывается от фаз вводной сети, распределение производится по трем фазам согласно мощности однофазного оборудования. Освещение участка также осуществляется однофазной сетью 220 (240) В.

На участке работает персонал, имеющий квалификацию слесаря-сборщика. Поскольку на участке сборка производится по циклу единичного и мелкосерийного производства, требуется наличие слесарей высокой квалификации, способных выполнять работы различного спектра. В соответствии с этими требованиями, квалификация слесарей – V или VI разряда.

Исходя из приведенных исходных данных, необходимо выполнить расчет себестоимости нормо-часа работы сборочного цеха.

5.2 Расчет себестоимости нормо-часа работ сборочного участка

Расчет себестоимости нормо-часа работ производится исходя из размещенного на участке оборудования. Амортизационные отчисления на оборудование, размещенное на участке сборки являются неотъемлемой

частью расчета себестоимости нормо-часа работы участка. Перечень оборудования участка приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет амортизационных отчислений на оборудование участка

| Наименование оборудования | Марка | Стоимость, руб | Кол-во | Норма отчислений % | Отчисления, руб |
|--|--------------|----------------|--------|--------------------|-------------------|
| Подъемник двухстоечный электромеханический | ЭМП-2500 | 350 000,00 | 3 | 14,30 | 150 150,00 |
| Транспортировочная тележка | Реммаш | 25 500,00 | 1 | 11,00 | 2 805,00 |
| Стапель сборочный | самоизг. | 600 000,00 | 2 | 6,30 | 75 600,00 |
| Кран-балка | ЭК-1000 | 50 000,00 | 1 | 14,30 | 7 150,00 |
| Стол сварочный | ЭЛПром | 112 000,00 | 1 | 3,20 | 3 584,00 |
| Аппарат сварочный TIG | Сварог-2100 | 210 000,00 | 1 | 16,00 | 33 600,00 |
| Станок вертикально-сверлильный | К-310 | 42 000,00 | 1 | 14,30 | 6 006,00 |
| Станок токарный | 16К20 | 1 400 000,00 | 1 | 8,20 | 114 800,00 |
| Станок фрезерный | Jet JMD-26X2 | 1 900 000,00 | 1 | 8,20 | 155 800,00 |
| Кран-тележка передвижной | КС-1500 | 60 000,00 | 1 | 14,30 | 8 580,00 |
| Стеллаж | б/н | 12 000,00 | 6 | 3,20 | 2 304,00 |
| Верстак слесарный | б/н | 25 000,00 | 6 | 3,20 | 4 800,00 |
| Тумба инструментальная | ТМ-600 | 32 000,00 | 6 | 5,50 | 10 560,00 |
| Контейнер | б/н | 6 500,00 | 1 | 5,00 | 325,00 |
| ИТОГО | | | | | 576 064,00 |

В таблице 1 рассчитана общая стоимость амортизационных отчислений на оборудование установленное на сборочном участке. Также сам участок нуждается в амортизации, поскольку площадь участка подвержена износу, само помещение нуждается в ремонте и обслуживании. Амортизация площади сборочного участка рассчитывается по формуле 43.

$$A_{пл} = \frac{S_{пл} * Ц_{пл} * N_a}{100}, \quad (43)$$

где $S_{пл}$ – площадь сборочного участка, $S_{пл} = 320 \text{ м}^2$;

$Ц_{пл}$ – кадастровая цена одного квадратного метра площади помещения, $Ц_{пл} = 5500 \text{ руб}$;

N_a – норма амортизации площадей помещения, $N_a = 2,5\%$.

$$A_{пл} = \frac{171 * 4000 * 2,5}{100} = 17100 \text{ руб}$$

Расчет затрат на электрическую энергию на участке также является частью расчета себестоимости нормо-часа. В расчет затрат на электроэнергию включается расчет стоимости электроэнергии, потребляемой оборудованием и электроэнергии, расходуемой на освещение и работу климатического оборудования. Расчет стоимости затрат на электроэнергию производится по формуле 44. Расчет сведен в таблицу 10.

$$P_{э} = \frac{M_d * T * K_o * K_m * K_v * K_p * Ц_{эл}}{\eta * 60}, \quad (44)$$

«где M_d – мощность электродвигателей оборудования, кВт;

T – годовой фонд времени работы участка, $T = 2030 \text{ ч}$;

K_o – коэффициент одновременности работы двигателей оборудования, принимаем для участка $K_o = 0,4$;

K_m – коэффициент загрузки двигателей по мощности, принимаем $K_m = 0,7$;

K_v – коэффициент загрузки двигателей по времени, принимаем $K_v = 0,35$;

$K_{п}$ – коэффициент сетевых потерь, принимаем $K_{п} = 1,05$;

$Цэ$ – цена 1 кВт-ч электроэнергии, $Цэ = 4,56$ руб;

η – КПД двигателей оборудования участка, $\eta = 0,75$.» [20]

Таблица 10 – Расчет затрат на электрическую энергию

| Наименование оборудования | Мощность, кВт | Кол-во | Км | Кв | η | Сумма затрат, руб |
|--|---------------|--------|------|------|--------|-------------------|
| Подъемник двухстоечный электромеханический | 2,5 | 3 | 0,85 | 0,10 | 0,75 | 3 304,68 |
| Кран-балка | 0,35 | 1 | 0,75 | 0,10 | 0,75 | 136,07 |
| Аппарат сварочный TIG | 5,5 | 1 | 0,80 | 0,35 | 0,85 | 7 043,88 |
| Станок вертикально-сверлильный | 2,5 | 1 | 0,60 | 0,45 | 0,75 | 3 499,07 |
| Станок токарный | 12 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,70 | 27 992,56 |
| Станок фрезерный | 10,5 | 1 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | 30 616,87 |
| ИТОГО | | | | | | 72 593,13 |

Отдельно производится расчет стоимости электроэнергии на освещение участка. Расчет производится по формуле 45.

$$P_{св} = (M_{св} \cdot n \cdot T \cdot Код \cdot K_v \cdot K_{п} \cdot Цэ) / \eta, \quad (45)$$

где $M_{св}$ – мощность светильника, $M_{св} = 95$ Вт;

n – количество светильников на участке, $n = 60$;

T – годовой фонд времени работы светильников, $T = 2440$ ч;

Код – коэффициент одновременной работы светильников, Код = 0,85;

K_v – коэффициент времени работы освещения, принимаем $K_v = 0,75$;

$K_{п}$ – коэффициент сетевых потерь, принимаем $K_{п} = 1,05$;

$Цэ$ – цена 1 кВт-ч электроэнергии, $Цэ = 4,56$ руб;

η – КПД светильников, $\eta = 0,75$.

$$P_{св} = \frac{0,095 \cdot 60 \cdot 2440 \cdot 0,85 \cdot 0,75 \cdot 1,05 \cdot 4,56}{0,75} = 56602,78 \text{ руб}$$

Общие затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле 46.

$$P = P_{э} + P_{св} \quad (46)$$

$$P = 72593,13 + 56602,78 = 18846,29 \text{ руб}$$

Расчет заработной платы на сборочном участке зависит от нескольких факторов. Ключевым является количество произведенной продукции, которое определяет объем работы и, соответственно, количество отработанных часов. Для начала необходимо определить базовую ставку заработной платы. Обычно она определяется исходя из минимальной зарплаты в регионе, учитывая опыт и квалификацию работника. Затем к этой ставке добавляется премия за выполненный объем работы, которая может составлять до 50% от базовой ставки.

Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования.

После вычета налогов и отчислений заработная плата снижается. В среднем, налоговые вычеты составляют около 13% от заработной платы. Расчет заработной платы на сборочном участке – это сложный и ответственный процесс, который должен быть выполнен в соответствии с законодательством. Правильный расчет позволяет обеспечить справедливую оплату труда работников и сохранить высокую мотивацию на рабочем месте. Расчет заработной платы на сборочном участке приведен в таблице 11. Расчет выполняется по формуле 5.

(5)

$$\text{Озп} = \text{Ст} \cdot \text{Т} \cdot \left(1 + \frac{\text{Дп}}{100}\right),$$

где Ст – тарифная ставка, в соответствии с разрядом, руб;

Т – годовой фонд рабочего времени, чел-час;

Дп – коэффициент премиальных доплат.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы на сборочном участке

| Квалификация работника | Число работников, чел | Часовая тарифная ставка, руб | Годовой фонд рабочего времени, чел/час | Сумма, руб |
|--|-----------------------|------------------------------|--|--------------|
| Слесарь по сборке автотранспортных средств, V разряда | 6 | 300,00 | 1840 | 690 000,00 |
| Слесарь по сборке автотранспортных средств, VI разряда | 6 | 337,50 | 1840 | 776 250,00 |
| Мастер участка | 2 | 355,00 | 1840 | 816 500,00 |
| ИТОГО | | | | 2 282 750,00 |

Дополнительная зарплата работников на участке рассчитывается по формуле 47.

$$\text{Дзп} = \text{Озп} \cdot \text{Кд}/100, \quad (47)$$

где Кд - коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату, Кд = 8%.

$$\text{Дзп} = 2282750 \cdot \frac{8}{100} = 182\,620 \text{ руб}$$

Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования. Расчет затрат на страхование приводится в формуле 48.

$$O_{\text{ФМС}} = (O_{\text{Зп}} + D_{\text{Зп}}) \cdot K_{\text{соц}}, \quad (48)$$

где $K_{\text{соц}}$ – норма отчислений на страховые взносы, $K_{\text{соц}} = 0,3$.

$$O_{\text{ФМС}} = (2282750 + 182620) \cdot 0,3 = 739611,00 \text{ руб}$$

Затраты на оплату труда определяются как сумма затрат на основную, дополнительную зарплату и затраты на страховые взносы.

$$O_{\text{т}} = O_{\text{Зп}} + D_{\text{Зп}} + O_{\text{ФМС}}, \quad (49)$$

$$O_{\text{т}} = 2282750 + 182620 + 739611 = 3\,204\,981 \text{ руб}$$

Кроме рассчитанных затрат, на участке присутствуют затраты на расходные материалы, которые используются при работе участка и обеспечивают работоспособность установленного на участке оборудования. Материалы используются в технологических процессах сборки изделий. Расчет стоимости затрат на материалы приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет стоимости материалов

| Наименование материалов | Кол-во | Стоимость | Сумма |
|--------------------------|--------|-----------|----------|
| Обтирочные материалы, кг | 60 | 125,00 | 7 500,00 |
| Обезжириватель, л | 25 | 200,00 | 5 000,00 |

Продолжение таблицы 12

| Наименование материалов | Кол-во | Стоимость | Сумма |
|--------------------------------|--------|-----------|------------|
| Консистентная смазка, кг | 20 | 350,00 | 7 000,00 |
| Жидкая смазка, кг | 35 | 400,00 | 14 000,00 |
| Абразивные материалы, кг | 12 | 310,00 | 3 720,00 |
| Проволока сварочная, кг | 65 | 250,00 | 16 250,00 |
| Круги абразивные зачистные, шт | 450 | 110,00 | 49 500,00 |
| Круги абразивные отрезные, шт | 600 | 75,00 | 45 000,00 |
| Фторопласт, кг | 120 | 210,00 | 25 200,00 |
| Черный металл, кг | 850 | 90,00 | 76 500,00 |
| Вода технологическая, м3 | 350 | 3,20 | 1 120,00 |
| Прокладочный материал, м2 | 20 | 1 250,00 | 25 000,00 |
| ИТОГО | | | 275 790,00 |

Также при расчете себестоимости нормо-часа следует учитывать величину накладных расходов. Для сборочного участка принимаем величину накладных расходов в размере 125% от затрат на оплату труда.

$$Н_p = 1,25 \cdot О_t \quad (50)$$

$$Н_p = 1,25 \cdot 3\,204\,981 = 4\,006\,226,25 \text{ руб}$$

При расчете нормо-часа необходимо учитывать фонд времени работы сборочного участка. Исходя из технологии сборочных работ, фонд рабочего времени составит для участка сборки 45800 чел-ч. Суммарные затраты на сборочном участке, согласно произведенным расчетам сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Затраты на участке сборки

| Наименование статьи затрат | Сумма |
|--|--------------|
| Амортизационные отчисления на оборудование | 576 064,00 |
| Амортизационные отчисления на площадь | 17 100,00 |
| Общие затраты на электроэнергию | 18 846,29 |
| Затраты на оплату труда | 3 204 981,00 |
| Стоимость расходных материалов | 275 790,00 |
| Накладные расходы | 4 006 226,25 |
| ИТОГО | 8 099 007,54 |

Стоимость нормо-часа рассчитывается по формуле 51.

$$Снч = Собщ / Туч, \quad (51)$$

где Собщ – сумма общих затрат на участке, руб

Туч – фонд рабочего времени составит для участка сборки, чел-ч,

$$Снч = 8\,099\,007,54 / 45\,800 = 176,83 \text{ руб}$$

Результатом выполнения раздела явился расчет себестоимости нормо-часа. Расчет производился на основании анализа комплекса затрат, которые несет участок в процессе реализации процесса сборки готового изделия. Учтены затраты на потреблённые энергоресурсы, затраты на заработную плату и накладные работы, связанные в первую очередь с управленческими издержками. В результате расчета была определена стоимость нормо-часа работы участка, которая составляет 176,83 рубля, что в целом отражает затраты на сборку в среднем по рынку. Рассчитанная величина нормо-часа может быть использована при расчете себестоимости производства изделий различной трудоемкости сборки.

Заключение

В первом разделе дипломного проекта произведен краткий обзор возможности создания гусеничного тягача на базе МТЛБ. В результате анализа различных видов конструкции транспортных средств на основе МТЛБ, сформулировано техническое задание на проектирование, в котором изложены основные технические характеристики разрабатываемого транспортного средства. В дальнейшем, в рамках дипломного проекта, нами будет рассматриваться разработка ходовой части. В частности, рассмотрены конструкции гусеничных движителей, применяемых на тягачах.

В результате анализа различных типов конструкции гусеничных движителей, сделан ряд выводов о тенденциях развития конструкции этих движителей.

Современные тенденции в развитии гусеничных транспортных средств направлены на повышение их проходимости в различных условиях. Это включает улучшение гусеничных систем, увеличение мощности двигателей, разработку более эффективных систем подвески и управляемых мостов.

Одной из важных тенденций является разработка технологий, обеспечивающих улучшенную маневренность гусеничных транспортных средств. Это включает развитие системы управления гусеницами, позволяющей поворачивать на месте, а также управляемых мостов, обеспечивающих лучшую управляемость на узких и извилистых дорогах.

В современных гусеничных транспортных средствах наблюдается увеличение автоматизации и электрификации. Это включает разработку систем автоматического управления движением, использование электрического привода для повышения энергоэффективности и снижения вредных выбросов, а также внедрение системы дистанционного управления для улучшения безопасности и комфорта операторов.

Современные гусеничные транспортные средства интегрируются с новыми технологиями, такими как системы навигации, датчики безопасности,

системы связи и дронов. Это позволяет улучшить оперативность, анализировать данные о производительности и повышать эффективность работы.

В развитии гусеничных транспортных средств также уделяется внимание улучшению комфорта и эргономики для операторов. Это включает разработку комфортабельных кабин с улучшенной обзорностью, удобными сиденьями и легким доступом к контрольным элементам.

Таким образом, тенденции развития конструкций гусеничных транспортных средств направлены на повышение проходимости, маневренности, автоматизации, электрификации и интеграцию с новыми технологиями. Это способствует улучшению эффективности, безопасности и комфорта работы гусеничных транспортных средств в различных отраслях.

Нагрузка на транспортное средство является важным фактором, влияющим на его тяговую способность. При расчете необходимо учитывать массу транспортного средства, грузоподъемность, а также вес и расположение груза. Расчет массы транспортного средства основывался на методических указаниях и указаниях, почерпнутых из специализированной литературы, также подтвержденной практическим опытом.

Мощность двигателя, рассчитанной из массы и заданных скоростных режимов, должна быть достаточной для обеспечения необходимой тяговой способности при заданных условиях эксплуатации гусеничного транспортного средства.

Передаточное число было выбрано таким образом, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между скоростью тягача и его тяговой способностью. При этом необходимо учитывать, что слишком высокое передаточное число может привести к перегреву двигателя, а слишком низкое – к излишнему расходу топлива. Рассчитанное передаточное число обеспечивает движение тягача на скоростях, обозначенных в исходных данных. Расчёт динамических характеристики, приведенных в Приложении А также свидетельствует о правильности произведенных расчетов.

Расход топлива также был рассчитан для подтверждения параметров транспортного средства при выполнении тягового расчета гусеничного тягача. Он зависит от мощности двигателя, передаточного числа, нагрузки на транспортное средство и других факторов. Графики расхода топлива, в зависимости от режима работы двигателя, приведен в Приложении А и на листах графической части.

Таким образом, тяговый расчет гусеничного транспортного средства является важным этапом проектирования и эксплуатации транспортных средств. Он позволяет определить оптимальные параметры для обеспечения высокой тяговой способности и экономической эффективности проектируемого тягача на базе МТЛБ.

Была выполнена конструкторская проработка отдельных узлов транспортного средства. В частности, рассчитывались параметры гусеничного движителя, прочностные характеристики элементов гусеницы. Разработка производилась на основании технического задания (ТЗ), которое было разработано в соответствии с требованиями к ТЗ по ГОСТ, с проработкой каждого из разделов. Ответом на разработанное техническое задание явилось техническое предложение (ТП). В разработанном техническом предложении приводятся уже разработанные разрезы наиболее ответственных узлов конструкции.

Разработана кинематическая схема трансмиссии транспортного средства. Разработанная схема трансмиссии выносится на лист графической части.

С учетом специфики производимых работ выполнен подбор силовых агрегатов и выполнен подбор комплектующих. Также обоснован выбор конструкции, на основании произведенного анализа. Прототипом конструкции явилась конструкция гусеничного тягача МТЛБ, тяговые и эксплуатационные характеристики которого в наибольшей степени соответствуют условиям эксплуатации проектируемого гусеничного транспортного средства. В техническом предложении выполнен расчет

параметров конструкции отдельных узлов проектируемого гусеничного тягача. Произведен силовой и прочностной расчёт элементов конструкции коробки передач, как наиболее нагруженного механического агрегата. Результаты выполненной работы в виде чертежей конструкции представлены на листах графической части.

Спецификация изделия представлена в Приложении Б. В соответствии с требованиями к проектированию устройства, в рамках выполнения дипломного проекта была разработана инструкция по эксплуатации. В инструкции отражены требования к проведению испытаний, а также основные конструкционные схемы устройства. Также приведены требования к проведению сборочных работ.

Результатом технологического раздела явилось формирование технологической карты выполнения работ по сборке трансмиссии гусеничного тягача на базе МТЛБ. Работы производятся на специализированном стенде, расположенном на участке сборки.

Особенностью проведенных работ является то, что сборочные работы производятся с использованием специальных устройств и приспособлений, что позволяет производить сборку, обеспечив требуемое качество и точность сборочных работ.

Также в разделе выполнен расчет оперативного времени и такта производства. Расчет основывался на сформированной технологической карте, а также исходя из типа производства, определенного как мелкосерийное.

В процессе анализа опасных и вредных производственных факторов были выявлены наиболее характерные для рассматриваемого в рамках дипломного проекта участка сборки. Выявленные факторы позволили сформировать комплекс мероприятий организационного характера, направленных на их нейтрализацию или снижения уровня воздействия на рабочих. Также для снижения уровня воздействия ряда опасных и вредных

производственных факторов были подобраны средства индивидуальной защиты рабочих.

Определены факторы пожарной опасности на участке, в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". Приведены факторы, наиболее характерные для сборочного участка рассматриваемого предприятия. Разработаны мероприятия по снижению уровня пожарной опасности организационного и технического характера. Произведено выявление факторов воздействия сборочного участка на окружающую среду.

Предложены мероприятия организационного характера, направленные на снижение воздействия деятельности предприятия, среди которых такие, как внедрение раздельного сбора отходов, применение систем очистки сточных вод, учет внешних факторов при организации и планирования участка. На основании проведенного анализа факторов и комплекса предложенных мероприятий можно сделать вывод о выполнении задания в рамках раздела по безопасности жизнедеятельности и охраны труда на участке.

Результатом выполнения экономического раздела явился расчет себестоимости нормо-часа. Расчет производился на основании анализа комплекса затрат, которые несет участок в процессе реализации процесса сборки готового изделия. Учтены затраты на потреблённые энергоресурсы, затраты на заработную плату и накладные работы, связанные в первую очередь с управленческими издержками. В результате расчета была определена стоимость нормо-часа работы участка, которая составляет 176,83 рубля, что в целом отражает затраты на сборку в среднем по рынку. Рассчитанная величина нормо-часа может быть использована при расчете себестоимости производства изделий различной трудоемкости сборки.

На основании изложенного, можно сделать вывод о достижении целей, поставленных в ходе выполнения дипломного проекта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автоматические системы транспортных средств: учебник / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, А.В. Тумасов. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 352 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-571-4.
2. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники : учебное пособие / Д. А. Едимичев, А. Н. Минкин, С. Н. Масаев [и др.]. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 148 с. - ISBN 978-5-7638-4289-0.
3. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет : учебное пособие / Е.В. Березина. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-018271-1.
4. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 655 с.
5. Богатырев, А. В. Электронные системы мобильных машин : учебное пособие / А.В. Богатырев. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 224 с.
6. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по технологической операции, видам работ, оборудованию, производственному цеху, участку»
7. Круглик, В. М. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта : учебное пособие / В.М. Круглик, Н.Г. Сычев. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 260 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006953-1.
8. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 506 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/974. - ISBN 978-5-16-006053-8.

9. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

10. Маркина, А. А. Теория движения колесных машин : учебное пособие / А. А. Маркина, В. В. Давыдова ; М-во науки и высш. образования РФ. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. - 216 с. - ISBN 978-5-7996-3263-2.

11. Набоких, В. А. Датчики автомобильных электронных систем управления и диагностического оборудования : учебное пособие / В.А. Набоких. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 239 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014160-2.

12. Новиков, В. В. Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств : монография / В. В. Новиков, И. М. Рябов, К. В. Чернышев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 384 с. - ISBN 978-5-9729-0634-5.

13. Огороднов, С.М. Конструкция автомобилей и тракторов : учебник / С.М. Огороднов, Л.Н. Орлов, В.Н. Кравец. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 284 с. - ISBN 978-5-9729-0364-1.

14. Песков, В. И. Конструкция автомобильных трансмиссий : учебное пособие / В.И. Песков. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 146 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-016247-8..

15. Ремонт автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://automend.ru/>

16. Савич, Е. Л. Системы безопасности автомобилей : учебное пособие / Е.Л. Савич, В.В. Капустин. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 445 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104362-2.

17. Стуканов, В. А. Основы теории автомобильных двигателей и мотоцикла : учебное пособие / В.А. Стуканов. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2020. – 368 с. – (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-101654-1.

18.Тарасик, В. П. Теория автомобилей и двигателей : учебное пособие / В.П. Тарасик, М.П. Бренч. – 2-е изд., испр. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 448 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-101224-6.

19.Щелчкова, Н. Н. Практикум по безопасности жизнедеятельности. Часть II : учебно-практическое пособие / Н.Н. Щелчкова, Д.В. Натарова, Е.А. Романова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 225 с. - ISBN 978-5-16-108275-1.

20.Экономика организаций автомобильного транспорта : учебное пособие / Р. Б. Ивуть, П. И. Лапковская, Т. Л. Якубовская, М. М. Кисель. - Минск : РИПО, 2022. - 215 с. - ISBN 978-985-895-035-4.

21.Denton, Tom Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Tom Denton: Routledge, 2017 – 378p. - ISBN 9780415725781

22.Everyday English For Technical Students (Mechanical engineering, metallurgy and transport department) [Электронный ресурс]/ – Электрон. текстовые данные.– Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021.– 350 с.

23.G. A. Einicke, Smoothing, Filtering and Prediction: Estimating the Past, Present and Future (2nd ed.), Prime Publishing, 2019

24.Milliken, W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, Том 146 / W. F. Milliken, D. L. Milliken : SAE International, 1995. – 890 p. [8], [9], [10]. – ISBN 1560915269, 9781560915263.

25.Singh, H. Rewat The Automobile: Textbook for Students of Motor Vehicle Mechanics / H. Rewat Singh: S Chand & Co Ltd, 2004 - 532 p.