

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 Колесный трактор ЛТЗ-60А. Проектирование навесного  
погрузочного оборудования

Обучающийся

Н.С. Русачков  
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. пед. наук, доцент Л.А. Угарова

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

Консультанты

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

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

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

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Тольятти 2025

## Аннотация

Дипломный проект на тему: «Колесный трактор ЛТЗ-60А. Проектирование навесного погрузочного оборудования».

Целью данной работы является создание и научное обоснование конструкции навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А, направленное на существенное повышение производительности и эффективности выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Задачи работы:

- провести анализ существующих конструкций навесного погрузочного оборудования;
- разработать конструкцию навесного погрузочного оборудования для трактора ЛТЗ-60А;
- выполнить расчеты основных параметров и элементов конструкции;
- оценить экономическую эффективность внедрения разработанного оборудования.

Объект работы: колесный трактор ЛТЗ-60А и навесное погрузочное оборудование.

Методы исследования: анализ научно-технической литературы, математическое моделирование, инженерные расчеты, компьютерное проектирование.

Основные результаты: разработана конструкция навесного погрузочного оборудования, адаптированного для трактора ЛТЗ-60А, проведены расчеты на прочность и устойчивость.

В первом разделе представлена краткая характеристика трактора ЛТЗ-60А, а также проведен анализ существующих конструкций погрузчиков, их функционального назначения и областей применения.

Во втором разделе выполнен тягово-динамический расчет колесного трактора ЛТЗ-60А, что позволило определить его эксплуатационные возможности и оптимальные режимы работы.

Третий раздел посвящён выбору и теоретическому обоснованию ключевых элементов рабочего оборудования. Здесь были выполнены расчёты гидросистемы и металлических конструкций стрелы погрузчика, а также произведена оценка его эксплуатационной производительности. Отличительная особенность разработанных узлов – высокая степень износостойкости и лёгкая ремонтпригодность, что значительно упрощает эксплуатацию и обслуживание техники. В процессе проектирования учтены новейшие достижения и актуальные тенденции современной отрасли тракторостроения.

Четвертый раздел посвящен разработке технологического процесса сборки, представлен выбор оптимального метода, детальная схема выполнения операций.

В пятом разделе проведен комплексный анализ безопасности и экологичности проекта, оценены потенциальные риски для персонала и окружающей среды, разработаны инженерные и организационные меры по их минимизации, предложены решения, обеспечивающие соответствие проекта действующим нормам охраны труда и экологическим стандартам.

В шестом разделе проведена оценка финансовой целесообразности проекта, проведён расчёт ключевых показателей, подтверждающих его рентабельность и окупаемость.

Объем работы: 113 страниц, 6 разделов, 25 рисунков, 15 таблиц, 1 приложение, 10 чертежей.

## **Abstract**

The title of the graduation project is: «The wheel Tractor LTZ-60A. The design of hinged loading equipment».

The graduation project consists of: an introduction, 6 general parts, a conclusion, a list of references, appendices and a graphic part on 10 A1 sheets.

The key issue of the graduation project is the construction design of the loading attachment for the «LTZ-60A» wheeled tractor. Its use reduces the operating costs and it doesn't require the involvement of additional units of special equipment.

This thesis addresses the issue of increasing the multifunctionality of the «LTZ-60A» wheeled tractor by developing the loading hydraulic attachments. At the same time the efficiency of the tractor increases due to the year-round use.

The aim of the project is to develop the design of the loading attachment for the «LTZ-60A» wheeled tractor.

The graduation project may be divided into several logically connected parts, which are: the brief description of the «LTZ-60A» tractor; the review of existing designs of loaders, their purpose and areas of application; the traction-dynamic calculation of the «LTZ-60A» wheeled tractor; the calculation of elements of working equipment: the hydraulic system, the metal structures (lifting boom) of the loader; the determination of the productivity of the loader; the determination of the organizational form of assembly of the designed loading attachment, its technological process and labor intensity; the analysis of the safety and environmental friendliness of the project; the calculation of the economic efficiency of the project.

In conclusion we'd like to stress that the developed loading attachment have high rate of durability and maintainability. The modern achievements in the tractor industry were taken into account in its design.

## Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса .....	8
1.1 Классификация погрузчиков.....	8
1.2 Конструкции навесных элементов для тракторов .....	9
1.3 Описание конструкции колесного трактора ЛТЗ-60А .....	14
2 Тягово-динамический расчет автомобиля .....	18
3 Конструкторская часть .....	21
3.1 Выбор и обоснование основных параметров .....	21
3.2 Расчёт гидросистемы .....	33
3.3 Расчёты на прочность .....	55
4 Технологический раздел.....	60
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки .....	61
4.2 Проектирование технологического процесса сборки навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А .....	66
5 Безопасность и экологичность проекта .....	70
5.1 Структурно-функциональный анализ .....	72
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	74
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	77
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	83
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса обслуживания навесного погрузочного оборудования .....	88
6 Экономическая эффективность проекта.....	92
Заключение .....	106
Список используемой литературы и используемых источников.....	108
Приложение А. Спецификация.....	112

## **Введение**

В условиях современного социально-экономического развития сельские территории играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны и устойчивого развития регионов.

Продовольственная безопасность является одним из ключевых элементов национальной безопасности любой страны. Она предполагает обеспечение населения достаточным количеством качественных и доступных продуктов питания, произведенных с учетом экологических и социальных стандартов. Устойчивое развитие регионов, в свою очередь, играет важную роль в достижении продовольственной безопасности, так как оно направлено на создание сбалансированной экономической, социальной и экологической среды, способствующей стабильному производству и распределению продовольствия.

Однако эффективное функционирование сельского хозяйства и повышение качества жизни сельского населения невозможны без модернизации и развития технической базы села.

Техническая оснащённость сельскохозяйственных предприятий, уровень развития инфраструктуры и доступность современных технологий напрямую влияют на производительность труда, конкурентоспособность аграрного сектора и социально-экономическое благополучие сельских жителей.

На сегодняшний день многие сельские территории сталкиваются с рядом проблем, таких как устаревшая материально-техническая база, недостаток современных технологий, низкий уровень механизации труда и неразвитость инфраструктуры. Эти факторы сдерживают развитие сельского хозяйства, способствуют оттоку населения из сельской местности и усугубляют диспропорции между городом и селом. В связи с этим вопросы развития технической базы села приобретают особую значимость и требуют комплексного подхода к их решению.

Трактор ЛТЗ-60А является одной из наиболее известных моделей, выпускаемых Липецким тракторным заводом. Эта машина представляет собой универсальный колесный трактор.

Колесный трактор ЛТЗ-60А, несмотря на свою устаревшую конструкцию, остается востребованным в сельском хозяйстве и других отраслях благодаря своей надежности, простоте в обслуживании и универсальности.

Одним из направлений повышения эффективности использования данного трактора является оснащение его навесным погрузочным оборудованием. Это позволит расширить функциональные возможности машины, сделав её пригодной для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, что особенно актуально для небольших фермерских хозяйств, складов и строительных площадок.

Целью данного проекта является разработка навесного погрузочного оборудования для трактора ЛТЗ-60А, которое будет соответствовать техническим характеристикам машины, обеспечивать безопасность и эффективность выполнения работ, а также быть экономически целесообразным.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Классификация погрузчиков**

Погрузчики представляют собой вид специальной техники, предназначенной для подъема, перемещения и укладки различных грузов. Они широко применяются в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, строительства, логистики и складского хозяйства.

«Основное назначение погрузчиков – механизация трудоемких процессов, связанных с погрузочно-разгрузочными работами, что позволяет значительно повысить производительность труда и снизить затраты на выполнение этих операций» [2].

«По типу базовой машины погрузчики подразделяются на две основные категории:

- тракторные погрузчики – это модели, которые устанавливаются на тракторы или самоходные шасси. Они используют базовую машину в качестве платформы для монтажа погрузочного оборудования. Такие погрузчики часто применяются в сельском хозяйстве и строительстве благодаря своей универсальности и возможности использования уже имеющейся техники;
- автономные погрузчики – это машины, оснащенные собственным приводом и ходовой частью» [1]. Они представляют собой самостоятельные единицы техники и не требуют дополнительной базовой машины. Автономные погрузчики широко используются в логистике, складском хозяйстве и промышленности благодаря своей мобильности и высокой производительности.

Такое разделение позволяет выбирать погрузчики в зависимости от конкретных задач и условий эксплуатации.

Погрузчики в сельском хозяйстве выполняют широкий спектр задач, направленных на механизацию трудоемких процессов и повышение

эффективности производства. Основные задачи, стоящие перед погрузчиками, включают:

- погрузка и разгрузка материалов: перемещение сыпучих материалов (зерно, удобрения, песок, торф); погрузка навоза, компоста и других органических удобрений; работа с силосом, сеном, соломой и другими кормами;
- транспортировка грузов: перемещение грузов на короткие расстояния (в пределах фермы, склада или поля);
- буксировка прицепов и других сельскохозяйственных орудий; уборка и очистка территорий: уборка животноводческих помещений (навоз, подстилка); очистка складов, хранилищ и других хозяйственных объектов; уборка территорий после уборочных работ;
- землеройные работы: выравнивание грунта, планировка участков; рытье траншей и ям; перемещение грунта при строительстве или ремонте инфраструктуры.

## **1.2 Конструкции навесных элементов для тракторов**

«В сельском хозяйстве до сих пор активно используется навесной погрузчик-бульдозер ПБ-35, который отличается широким спектром применения. В комплекте с ковшем он применяется для погрузки удобрений (навоз, компост и другие.), сыпучих и малосыпучих материалов из буртов и куч в транспортные средства. В сочетании с бульдозерным оборудованием он выполняет землеройные работы.

Навесной погрузчик-экскаватор ПЭ-0,85 предназначен для механизации погрузочно-разгрузочных и земляных работ. Грейферный погрузчик ПУ-0,5 используется для погрузки хлопка-сырца в бунты и других грузов в транспортные средства. Универсальный погрузчик ПШ-0,4 применяется для работы с навозом, торфом, силосом, песком, минеральными

удобрениями и другими материалами, а также способен выгружать грузы из ям глубиной до 2 метров» [3].

Навесные погрузчики бульдозер ПБ-35 и экскаватор ПЭ-0,85 представлены на рисунках 1, 2.



Рисунок 1 – Навесной погрузчик-бульдозер ПБ-35



Рисунок 2 – Навесной погрузчик-экскаватор ПЭ-0,85

«Грейферный погрузчик ПМГ-0,2 используется для погрузки различных грузов как внутри складских помещений, так и на открытых площадках» [3]. Грейферный погрузчик ПМГ-0,2 представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Грейферный погрузчик ПМГ-0,2

«СтогOMETатель-погрузчик СНУ-550 (рисунок 4) предназначен для укладки сена и соломы в стога или скирды, а также для погрузки копен в транспортные средства» [3].

СтогOMETатель-погрузчик СНУ-550 представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – СтогOMETатель-погрузчик СНУ-550

«Самоходный фронтальный погрузчик (стогометатель) применяется для скирдования сена и соломы, погрузки навоза, силоса, сыпучих и штучных грузов, а также может быть оснащен приспособлением для загрузки минеральных удобрений в самолеты» [5].

Погрузчик-бульдозер ПБ-35, погрузчик-экскаватор ПЭ-0,8Б и малогабаритный грейферный погрузчик ПМГ-0,2 находят широкое применение в сельском хозяйстве.

«Фронтальный погрузчик ПКУ-0,8 может быть установлен на базе тракторов МТЗ 8-й серии, ЮМЗ, Т-40, ЛТЗ и других. Монтаж фронтального погрузчика ПКУ-0,8 на трактор МТЗ осуществляется множеством заводов и небольших фирм» [5].

Фронтальный погрузчик ПКУ-0,8 представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Фронтальный погрузчик ПКУ-0,8

«Фронтальный погрузчик ПКУ-1,0 по своим эксплуатационным характеристикам сопоставим с моделью ПКУ-0,8. Многие специализированные предприятия предлагают монтаж обоих вариантов на тракторы МТЗ или их аналоги» [5].

Фронтальный погрузчик ПКУ-1,0 представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Фронтальный погрузчик ПКУ-1,0

Выполним сравнение моделей фронтальных погрузчиков ПКУ-0,8 и ПКУ-1,0 и сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение моделей ПКУ-0,8 и ПКУ-1,0

Параметр	ПКУ-0,8	ПКУ-1,0
Объем ковша, м <sup>3</sup>	0,3–0,5	0,38–0,75
Грузоподъемность, т	0,8	1,0
Основное применение	Кормозаготовка, погрузка сыпучих материалов	Транспортировка грунта, щебня, сельхозпродукции
Популярность	Высокая (лидер продаж среди аграриев)	Востребован в строительстве и ЖКХ

Погрузчик ПКУ-1,0 оснащается ковшом объемом от 0,38 до 0,75 м<sup>3</sup>, что обеспечивает его универсальность при выполнении различных задач.

Помимо стандартного ковша, потребитель имеет возможность комплектации погрузчика ПКУ дополнительным навесным оборудованием. Например, модель ПКУ-0,8 с вилами демонстрирует высокую эффективность

при заготовке кормов и транспортировке лесоматериалов, что объясняет ее популярность среди сельскохозяйственных предприятий.

Техника серии ПКУ (КУН) занимает лидирующие позиции на отечественном рынке благодаря совместимости с большинством моделей тракторов, простотой конструкции, обслуживания и высокой производительности при относительно низкой стоимости.

Машины этого семейства заслужили репутацию надежных и высокопроизводительных, став оптимальным решением для широкого спектра работ. Их универсальность, прочность и адаптивность к различным условиям делают ПКУ (КУН) бесспорным фаворитом среди профессионалов.

В современной технике ковшовые машины представлены тремя ключевыми разновидностями: погрузчики-экскаваторы – универсальные гибриды для копания и погрузки, модели с бортовым поворотом – компактные и верткие, идеальны для тесных пространств, фронтальные погрузчики с «ломающейся» рамой – мощные перегрузчики с увеличенным ковшом.

Выбор того или иного варианта зависит от поставленных перед техникой задач, а, именно:

- сочлененные модели берут объемом, а бортовые – крутящимся на месте корпусом;
- поворот ковша – здесь лидируют бортовые погрузчики, тогда как фронтальные и экскаваторные типы проигрывают в гибкости, но выигрывают в производительности на открытых площадках.

### **1.3 Описание конструкции колесного трактора ЛТЗ-60А**

Колесный трактор ЛТЗ-60А (рисунок 7) является универсальной сельскохозяйственной машиной, разработанной Липецким тракторным заводом. Он предназначен для выполнения широкого спектра работ в агропромышленном комплексе, включая вспашку, культивацию, посев,

транспортировку грузов, а также работу с навесным и прицепным оборудованием.

Колесный трактор ЛТЗ-60А представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Колесный трактор ЛТЗ-60А

Основные характеристики трактора ЛТЗ-60А:

- двигатель: четырехцилиндровый дизельный двигатель с воздушным охлаждением, мощностью 60 л.с, обеспечивающий высокую производительность и надежность в различных условиях эксплуатации;
- запуск: электростартерный, с возможностью дублирования пусковым двигателем (в некоторых модификациях);
- топливная система: механический ТНВД, обеспечивающий экономичный расход;
- трансмиссия: механическая коробка передач с 8 передачами вперед и 4 назад, что позволяет выбирать оптимальные режимы работы в зависимости от типа выполняемых задач;

- сцепление: сухое, однодисковое, с механическим приводом;
- ходовая часть: колесная формула 4×2 с возможностью перевода на полный привод (4×4), что обеспечивает хорошую проходимость и устойчивость на сложных грунтах;
- подвеска: жесткая (без амортизаторов), обеспечивающая устойчивость при работе с навесным оборудованием;
- колеса передние (управляемые): меньшего диаметра, могут быть сдвоенными для улучшения проходимости;
- задние (ведущие): большего диаметра, с развитыми грунтозацепами для лучшего сцепления;
- шины: пневматические, сельскохозяйственного типа;
- гидравлическая система: отдельно-агрегатная гидравлика с грузоподъемностью до 1500 кг, позволяющая эффективно работать с навесным оборудованием;
- рама и несущая конструкция: полурамная компоновка (усиленная передняя ось + жесткая задняя часть);
- материал рамы: высокопрочная сталь, устойчивая к нагрузкам;
- вал отбора мощности: задний, независимый или синхронный (540/1000 об/мин);
- крепление навески: по категории 2 (по ГОСТ), совместимость с плугами, сеялками, косилками;
- кабина: одноместная, с улучшенной шумо- и виброизоляцией, обеспечивающая комфортные условия для оператора.

#### Преимущества трактора ЛТЗ-60А:

- универсальность и многофункциональность, позволяющая использовать трактор в различных отраслях сельского хозяйства;
- простота конструкции и высокая ремонтпригодность, что снижает затраты на техническое обслуживание;

- экономичность и низкий расход топлива, что делает его выгодным в эксплуатации;
- надежность и долговечность, подтвержденные многолетним опытом использования в различных климатических условиях.

Трактор ЛТЗ-60А широко используется в сельском хозяйстве для выполнения пахотных работ, обработки почвы, уборки урожая, а также для транспортировки грузов. Благодаря своей универсальности, он может быть оснащен различным навесным оборудованием, таким как плуги, сеялки, культиваторы, косилки и погрузчики, что значительно расширяет его функциональные возможности.

Трактор ЛТЗ-60А обладает достаточной мощностью и гидравлической системой, что делает его подходящей базой для навесного погрузочного оборудования.

Выводы по разделу.

Анализ классификации погрузчиков, конструкций навесного оборудования и характеристик трактора ЛТЗ-60А показывает, что этот трактор может быть эффективно оснащен универсальным погрузочным модулем. Такой комплекс будет востребован в сельском хозяйстве, складской логистике и коммунальном хозяйстве, сочетая доступность, функциональность и надежность.

## 2 Тягово-динамический расчет автомобиля

«Тяговый расчёт проводится для оценки тяговых качеств машины с заданными конструктивными параметрами для определённых условий эксплуатации. Для экскаватора тяговый расчёт проведём для транспортного режима. Тяговые качества машины в прямолинейном движении оцениваются на основании определения сопротивления передвижению. Максимальные нагрузки на машину действуют при её разгоне (рисунок 8).

На машину действуют следующие силы:

- $R$  – сила сопротивления передвижению, кН;
- $G$  – вес машины, кН;
- $m_a$  – сила инерции, кН;
- $P$  – потребная сила тяги, кН» [8].

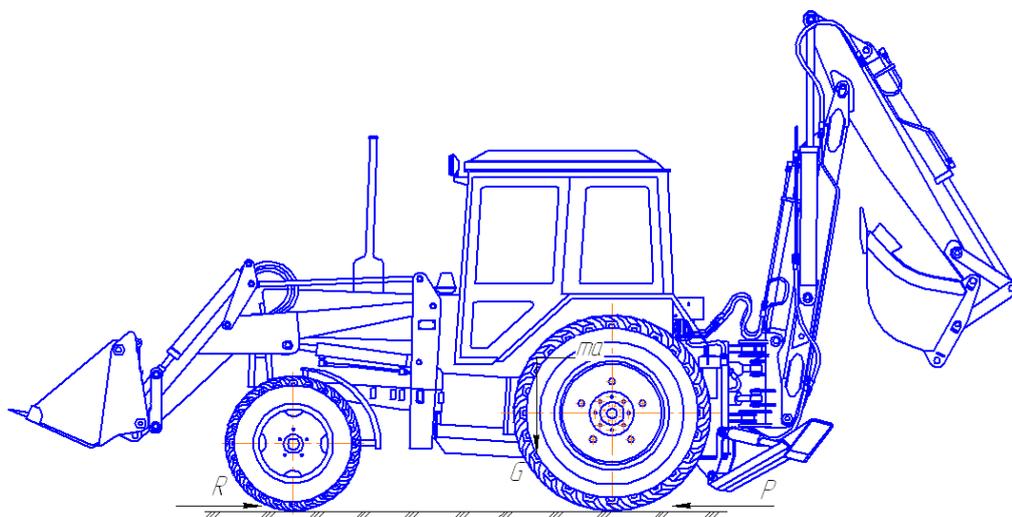


Рисунок 8 – Силы, действующие на погрузчик при движении

«Сила сопротивления передвижению – сопротивление передвижению машины как тележки, определяется по формуле:

$$R = G \cdot (f + i), \quad (1)$$

где  $G$  – вес экскаватора, кН;

$f$  – коэффициент сопротивления качению колёс машины, принимаем 0,03;

$i$  – уклон, принимаем равным 0,07» [8].

$$R = 63 \cdot (0,02 + 0,07) = 5,6 \text{ кН.}$$

Максимальное комфортное ускорение машины по рекомендациям [8] не превышает 0,1g» [8]. Принимаем 0,7 м/с.

Тогда сила инерции равна:

$$m_a = 6,3 \cdot 0,7 = 4,41 \text{ кН.}$$

Потребная сила тяги определяется составлением уравнения суммы сил на ось  $O_x$ :

$$P = R + m_a, \quad (2)$$

$$P = 5,6 + 4,41 = 10,01 \text{ кН.}$$

«Сила тяги по двигателю определяется по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \frac{3600 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{v}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{дв}}$  – мощность двигателя Д-240, принимается равным 75 кВт;

$\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии, принимается равным 0,76;

$v$  – максимальная транспортная скорость, согласно технической характеристике 20 км/ч» [4].

$$P_{\text{дв}} = \frac{3600 \cdot 75 \cdot 0,76}{20} = 10,26 \text{ кН.}$$

«Сила тяги по сцеплению:

$$P_{\text{сц}} = \varphi_{\text{сц}} \cdot G_{\text{сц}}, \quad (4)$$

где  $\varphi_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления, принимается равным 0,8;

$G_{\text{сц}}$  – сцепной вес» [7].

$$P_{\text{сц}} = 0,8 \cdot 36,6 = 29,3 \text{ кН.}$$

Необходимое и достаточное условие движения:

$$P_{\text{сц}} \geq P_{\text{дв}} > P, \quad (5)$$

$$29,3 \geq 10,26 > 10,01 \text{ кН.}$$

Так как условие выполняется, то машина обладает достаточными тяговыми характеристикам.

«Расчет мощности произведём для рабочего режима. Мощность двигателя расходуется на привод насосов гидросистемы, поэтому мощность, расходуемую в рабочем режиме, найдём как сумму мощностей насосов:

$$N_{\text{мп}} = N_{\text{Н1}} + N_{\text{Н2}}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{Н1}}, N_{\text{Н2}}$  – мощности, потребляемые первым и вторым насосами соответственно, кВт» [11].

$$N_{\text{мп}} = 26,2 + 26,2 = 52,4 \text{ кВт.}$$

Так как  $N_{\text{мп}} = 52,4 \text{ кВт} < N_{\text{дв}} = 75 \text{ кВт}$ , то мощности двигателя достаточно для работы машины.

Выводы по разделу.

В разделе выполнен тягово-динамический расчёт колесного трактора ЛТЗ-60А.

### 3 Конструкторская часть

#### 3.1 Выбор и обоснование основных параметров

«Основными параметрами являются: размеры базовой части  $L$ ,  $K$ ,  $B$  экскаватора, линейные размеры экскаваторного оборудования  $r_p$ ,  $r_c$ ,  $r_k$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_5$ ,  $l_6$ ,  $l_7$ ,  $l_8$  и массы рабочего оборудования  $G_c$ ,  $G_p$ ,  $G_k$ .

Основные размеры экскаваторных движителей назначают из условий обеспечения их передвижения в заданных режимах, а так же устойчивости при экскавации груза. Для пневмоколёсных движителей основными размерами являются его база  $L$  и  $K$ , ширина колёс  $B$  (рисунок 9)» [7].

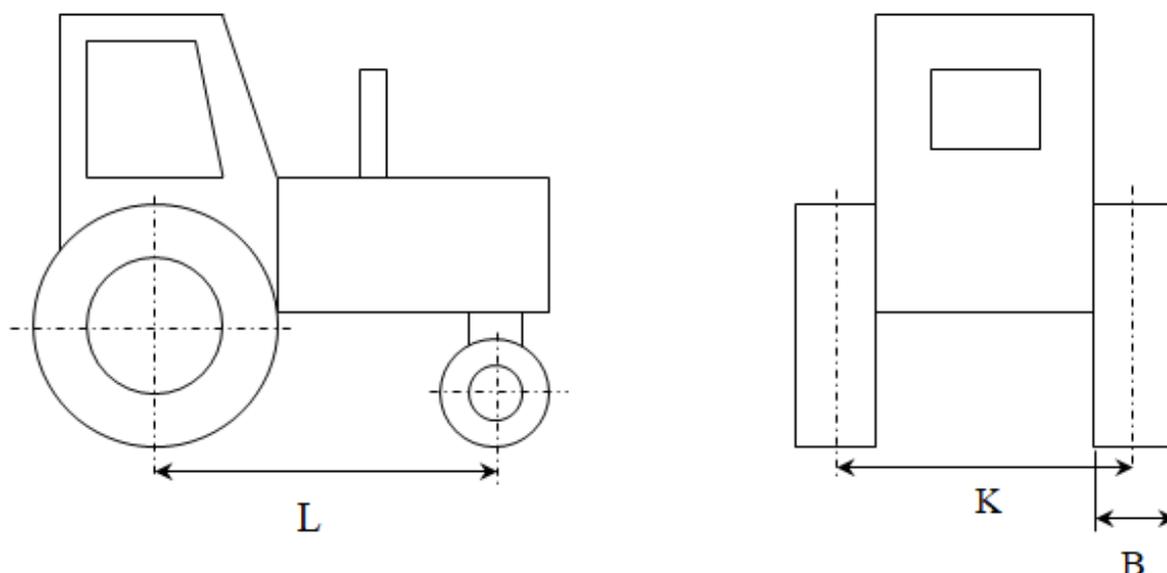


Рисунок 9 – Схема базовой машины

«Разработанная модель погрузчика принадлежит ко второй размерной группе и отличается уникальной конструкцией двухчелюстного захвата, что значительно расширяет спектр выполняемых задач. Одним из ключевых преимуществ конструкции является совместимость с популярными моделями

сельскохозяйственных тракторов, такими как ЛТЗ-60, ЮМЗ-6К, МТЗ-80 и МТЗ-82, оснащённых пневматическими колёсами» [2].

В связи с этим габариты ходовой части ( $L=2,45$  м;  $K=1,6$  м;  $B=0,4$  м) соответствуют параметрам базовой машин.

«Расчёт остальных параметров производим на основании рекомендаций [7] по равенству:

$$A = K'L(1 \pm K_v), \quad (7)$$

где  $A$  – искомый размер, м;

$K'$  – коэффициент;

$K_v$  – коэффициент вариации;

$L$  – база машины, м» [7].

Полученные расчётные данные фиксируем в таблице 2. Соответствующие геометрические параметры отображены на рисунке 10.

Таблица 2 – Расчётные данные

Параметр	Обозначение	Коэффициент $K'$	Коэффициент $K_v$	Размер, м
Длина рукояти	$r_p$	1,39	0,34	1,8
Длина стрелы	$r_c$	2,62	0,55	2,6
Радиус ковша	$r_k$	0,89	0,4	1,1
Высота пяты стрелы	$y_1$	1,22	0,5	0,7
Высота шарнира цилиндра поворота стрелы	$y_2$	0,93	0,3	1,3
Расстояние от пяты стрелы до шарнира штока цилиндра стрелы	$l_1$	1,5	0,35	2,1
Расстояние от шарнира штока цилиндра стрелы до шарнира поворота рукояти	$l_2$	0,32	0,48	0,55
Длина консоли рукояти	$l_3$	0,39	0,58	0,6
Расстояние между шарнирами	$l_4$	0,2	0,47	0,25
Расстояние между шарнирами	$l_5$	0,35	0,54	0,5
Расстояние между шарнирами	$l_6$	0,35	0,26	0,5

Расстояние между шарнирами	$l_7$	0,27	0,26	0,35
Расстояние от пяты стрелы до шарнира цилиндра рукояти	$l_8$	0,7	0,38	0,95

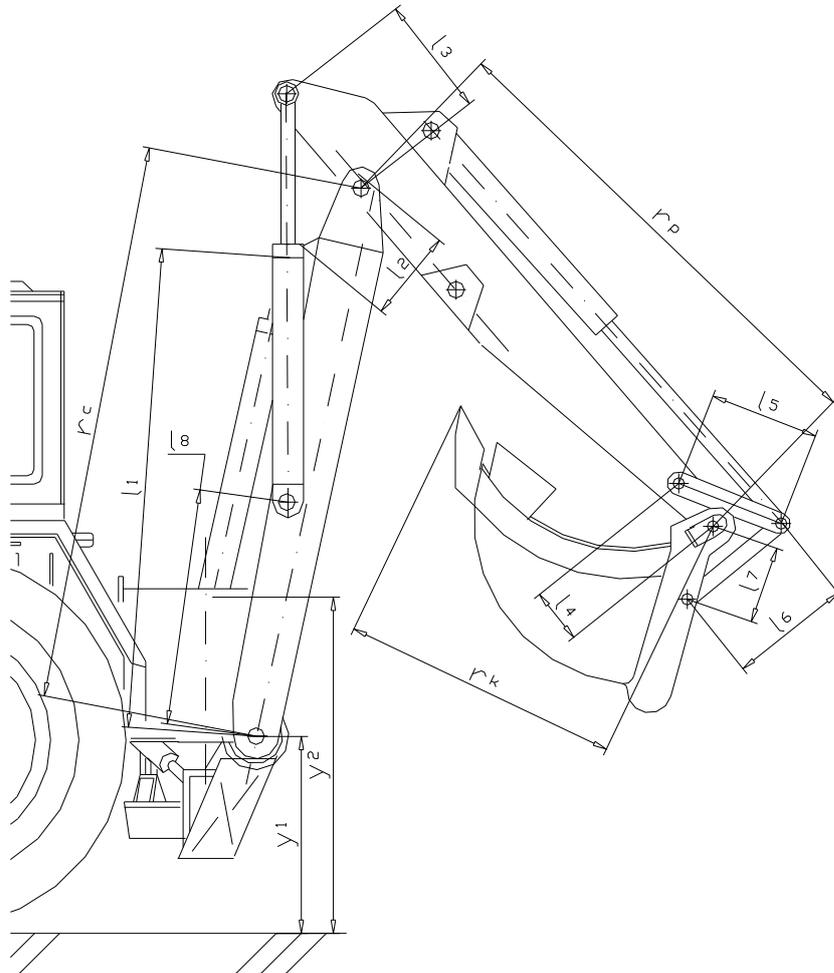


Рисунок 10 – Конструктивная схема экскаваторного оборудования

«Массу ковша находим в зависимости от его вместимости:

$$m_k = (0,7...1,2) \cdot V, \quad (8)$$

где  $V$  – вместимость ковша, ориентировочно принимаем  $0,25 \text{ м}^3$ » [7].

$$m_k = (0,7...1,2) \cdot 0,25 = 0,175...0,3 \text{ т.}$$

Принимаем массу ковша 200 кг.

Определим массу стрелы и рукоятки:

$$m_c = (0,6 \dots 1,2) \cdot 0,2 = 0,12 \dots 0,24 \text{ т,}$$

$$m_p = (0,4 \dots 0,75) \cdot 0,2 = 0,8 \dots 0,15 \text{ т.}$$

Массу рукоятку принимаем 110 кг, массу стрелы – 120 кг.

Длина кинематического пути ковша определяется путём расчёта траектории движения режущих кромок зубьев при вращательном перемещении. В соответствии с принятыми нормами отрасли, величина этого параметра рассчитывается пропорционально геометрическому объёму ковша, что позволяет подобрать оптимальные размеры и пропорции элемента, гарантирующие наивысшую производительность погрузочного оборудования.

$$R_k = 1,25 \cdot \sqrt[3]{q} + 0,25, \quad (9)$$

$$R_k = 1,25 \cdot \sqrt[3]{0,25} + 0,25 = 1,04 \text{ м.}$$

Принимаем  $R_k = 1,1$  м.

С учётом износа зубьев, в среднем равного 2/3 от предельного износа:

$$L_k = 0,95 \cdot R_k, \quad (10)$$

$$L_k = 0,95 \cdot 1,1 = 1,04 \text{ м.}$$

«Определение и техническое обоснование основных параметров погрузочного оборудования выполняется на основании методических рекомендаций и нормативных требований, регламентирующих расчетные зависимости для данного класса техники [5,7].

Конструктивный вес погрузочного оборудования определяют по формуле:

$$G_o = G_T \cdot k_o, \quad (11)$$

где  $G_m$  – вес базового тягача, Н.

$k_o$  – коэффициент, принимается равным 0,311» [13].

$$G_o = 58000 \cdot 0,311 = 18000 \text{ Н.}$$

«Рациональность использования веса базовой машины и совершенство ходовой части определяют по коэффициенту удельной грузоподъемности:

$$q_n = \frac{Q_n}{G_T + G_o} \geq [q], \quad (12)$$

где  $Q_n$  – грузоподъемность рабочего оборудования, принимается равной 9000 Н;

$G_T$  – вес базового тягача, Н.

Рекомендуемые значения  $[q]$  для колесных погрузчиков 0,25÷0,30» [3].

$$q_n = \frac{9000}{58000 + 18000} = 0,12. \quad (13)$$

«Номинальную вместимость основного ковша определяют по грузоподъемности погрузочного оборудования из расчета работы на сыпучих и мелкокусковых материалах с объемным весом  $\gamma_c=1,3 \text{ т/м}^3$ :

$$V_n = \frac{Q_n}{\gamma_c \cdot \varepsilon_p}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon_p$  – коэффициент наполнения ковша, равный 1,25» [18].

$$V_n = \frac{0,9}{1,3 \cdot 1,25} = 0,8 \text{ м}^3.$$

«Напорное усилие (результатирующее тяговое усилие базовой машины с учетом массы рабочего оборудования) определяют:

- точно - по тяговой характеристике для горизонтального основания;
- приближенно - по расчетной формуле, учитывающей параметры двигателя:

$$T_n = \frac{3,6 \cdot N_{e \max}}{V_p \cdot (1 - \delta_p)} \cdot \eta_T - G_{II} \cdot f, \quad (15)$$

где  $N_{e \max}$  – наибольшая эффективная мощность двигателя;

$V_p$  – рабочая скорость внедрения;

$\eta_T$  – КПД механической трансмиссии 0,95;

$f$  – коэффициент сопротивления качению, принимается при колесной ходовой части 0,03÷0,04;

$\delta_p$  – расчетное буксование, при колесной ходовой части 0,20» [4].

«Напорное усилие по сцепному весу:

$$T_{сц} = G_{II} \cdot \varphi, \quad (16)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления движителя, для колесных тягачей принимается равным 0,7» [13].

$$T_{сц} = 63000 \cdot 0,7 = 44100 \text{ Н.}$$

$$T'_{сц} = G_{сц} \cdot \varphi - W_{пер}, \quad (17)$$

$$T'_{сц} = 44100 - 7800 = 36300 \text{ Н.}$$

«Оптимальная скорость рабочего хода для погрузчиков находится в диапазоне от 3 до 4 км/ч.

Принятие значения, превышающего указанный диапазон, приводит к

следующим негативным последствиям:

- увеличению коэффициента буксования,
- снижению эффективности наполнения ковша,
- повышенной утомляемости оператора,
- общему снижению производительности агрегата» [10].

На основании проведенного анализа установлена рабочая скорость движения 4 км/ч.

$$T_n = \frac{3,6 \cdot 78000}{4 \cdot (1 - 0,20)} \cdot 0,95 - 63000 \cdot 0,035 = 81153,5 \text{ Н.} \quad (18)$$

«Скорость обратного холостого хода принимается на 25-40% превышающей рабочую скорость движения» [21].

На основании расчетов принимаем значение 5,2 км/ч.

«Скорость поворота ковша определяется как среднее значение линейных скоростей при его запрокидывании и опрокидывании, измеренное по режущей кромке:

$$V_{зк} = 0,277 \cdot k_v \cdot \gamma_v \cdot V_p, \quad (19)$$

где  $k_v$  – коэффициент снижения эксплуатационной скорости, учитывающий комплекс факторов (падение частоты вращения коленчатого вала двигателя, уменьшение производительности гидравлических насосов, явление буксования и другие потери), принят равным 0,5;

$\gamma_v$  – коэффициент совмещения, равен 1,0÷1,2;

$V_p$  – рабочая скорость» [11].

$$V_{зк} = \frac{0,277 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 4}{3,6} = 0,169 \text{ м/с.}$$

В зависимости от используемой полости гидроцилиндра поворота ковша наблюдаются следующие соотношения скоростей:

- при работе поршневой полости:  $V_{ок} = (1,3 \div 1,35)V_{зк}$ ,
- при работе штоковой полости:  $V_{ок} = (0,74 \div 0,77)V_{зк}$ .

Эти различия обусловлены особенностями гидравлической системы и кинематикой рабочего органа

$$V_{он} = 0,75 \cdot V_{зк}, \quad (20)$$

$$V_{он} = 0,75 \cdot 0,169 = 0,127 \text{ м/с.}$$

«Скорость подъема стрелы выбирают так, чтобы подъем груза был завершен к моменту окончания операции отхода погрузчика на разгрузку:

$$V_{пс} = \frac{S_{п}}{S_{д}} \cdot V_x, \quad (21)$$

где  $S_{п}$  – длина пути шарнира крепления ковша при подъеме стрелы;

$S_{д}$  – средняя длина пути рабочего хода погрузчика;

$V_x$  – скорость обратного холостого хода погрузчика в м/с» [16].

$$V_{пс} = \frac{4,560 \cdot 5,2}{40 \cdot 3,6} = 0,165 \text{ м/с.}$$

«Скорость опускания стрелы рассчитывают, исходя из скорости её подъема, с обязательным условием предотвращения образования разрежения в полости гидроцилиндров при опускании. Это требование обусловлено необходимостью исключить кавитационные явления в гидросистеме» [11].

Скорость опускания стрелы определяем по формуле:

$$V_{ос} = (1,2 \div 1,3) \cdot V_{пс}, \quad (22)$$

$$V_{oc} = 1,25 \cdot 0,165 = 0,206 \text{ м/с.}$$

Определение выгибающего усилия.

«При отсутствии опорных лыж на стреле выгибающее усилие определяется по условию продольного опрокидывания машины относительно ребра опрокидывания, проходящего под осью опорных колес [7] согласно схеме представленной на рисунке 11:

$$N_e = \frac{G_э \cdot l_2 - G_0 \cdot l_0}{l_1}, \quad (23)$$

где  $G_э$  – эксплуатационный вес базовой машины;

$G_0$  – вес погрузочного оборудования;

$l_0, l_1, l_2$  – плечи соответствующих сил» [13].

$$N_e = \frac{58000 \cdot 2,2 - 18000 \cdot 0,5}{2,09} = 56746 \text{ Н.}$$

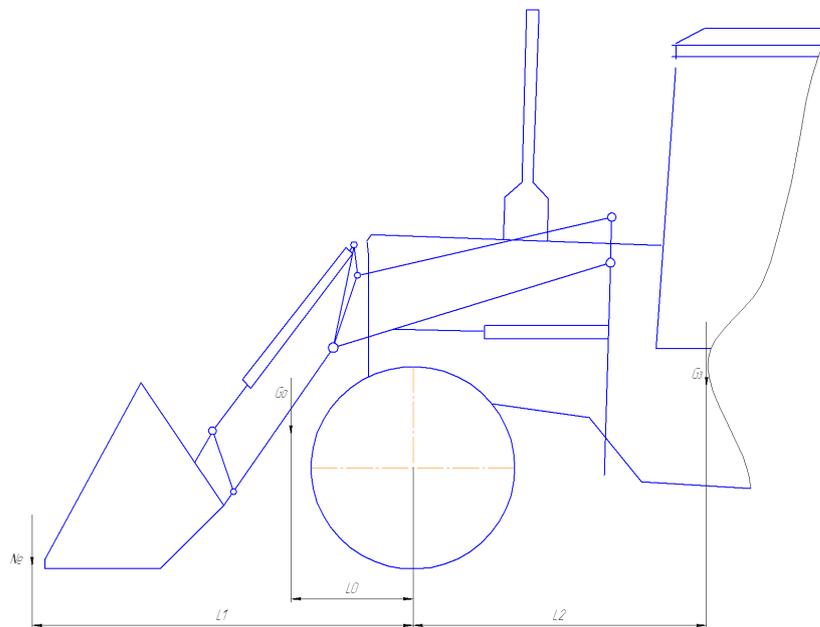


Рисунок 11 – Схема для определения выгибающего усилия

«Подъемное усилие на режущей кромке ковша, развиваемое гидроцилиндрами стрелы приближенно определяют по номинальной

грузоподъемности:

$$N_n = (1,8...2,1) \cdot Q_n, \quad (24)$$

где  $Q_n$  – номинальная грузоподъемность» [7].

$$N_n = 2 \cdot 9000 = 18000 \text{ Н.}$$

«Удельное напорное усилие на кромке ковша:

$$q_n = \frac{T_{\max}}{B_k}, \quad (25)$$

где  $T_{\max}$  – наибольшее тяговое усилие по двигателю;

$B_k$  – наружная ширина режущей кромки ковша» [4].

$$q_n = \frac{36300}{2} = 18150 \text{ Н/м.}$$

Удельное выглубляющее усилие на кромке ковша:

$$q_g = \frac{N_B}{B_k}, \quad (26)$$

$$q_g = \frac{56746}{2} = 28373 \text{ Н/м.}$$

«Глубина заглубления рабочего органа ( $W$ ) – максимальное погружение режущей кромки основного ковша, установленного под углом  $5-7^\circ$  к опорной поверхности. Этот параметр определяет способность погрузчика работать при резких перепадах рельефа» [14].

Принимаем глубину заглубления рабочего органа равной 400 мм.

«Высота разгрузки выбирается исходя из:

- типоразмера погрузчика;
- характеристик транспортных средств и рассчитывается по формуле:

$$H_p = h_p + \Delta h_p, \quad (27)$$

где  $h_p$  – наибольшая высота бортов транспортных средств, с которыми может работать погрузчик» [24].

$$H_p = 3100 + 400 = 3500 \text{ мм.}$$

«Вылет ковша  $L$  – расстояние от передних колес погрузчика до режущей кромки ковша, находящегося на максимальной высоте при наибольшем угле разгрузки определяют по формуле [7]:

$$L = \frac{B_T}{2} + \Delta b, \quad (28)$$

где  $B_T$  – ширина кузова наиболее тяжелого транспортного средства, с которым предназначен работать погрузчик;

$\Delta b$  – расстояние между погрузчиком и транспортным средством при разгрузке, необходимое по условиям безопасности работы и равное 150÷200 мм» [13].

$$L = \frac{2500}{2} + 150 = 1400 \text{ мм.}$$

«Угловые параметры рабочего органа регламентируются ГОСТ 12568-67 и включают:

- угол запрокидывания в транспортном положении: 42-46°;
- угол разгрузки в верхнем положении: согласно стандарту на промежуточных высотах:  $\geq 45^\circ$ » [22].



### 3.2 Расчёт гидросистемы

Усилия в гидроцилиндрах определяют графическим методом, учитывая:

- моменты от внешних сил,
- моменты от собственного веса элементов (в ЦТ),
- относительно осей вращения.

«Наибольшая нагрузка на шток гидроцилиндра стрелы возникает при:

- минимальном вылете стрелы,
- максимальном выдвижении рукояти,
- заполненном ковше» [11].

В этом положении цилиндр втягивается (рисунок 12).

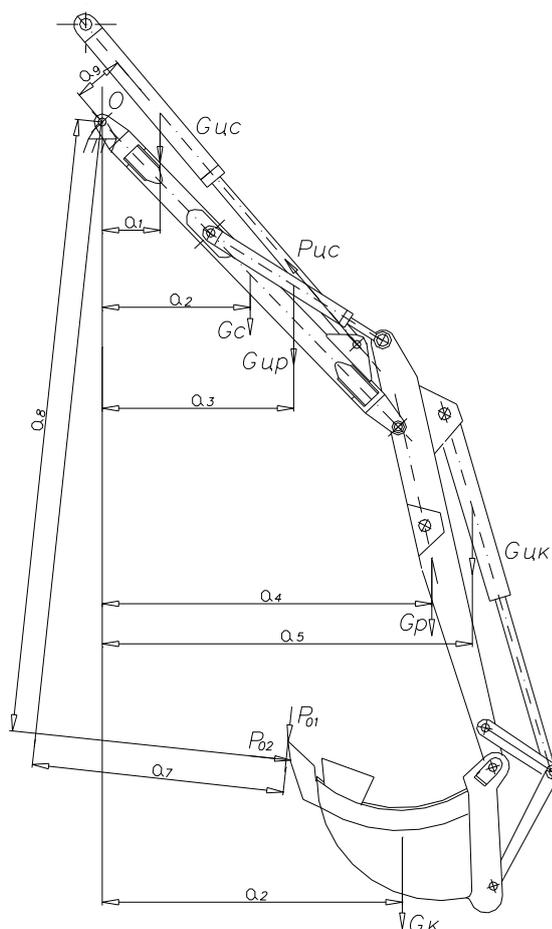


Рисунок 12 – Расчётная схема для расчёта усилия в гидроцилиндре стрелы

«Составим уравнение моментов относительно точки  $O$ :

$$\sum M_O = 0, \quad (29)$$

$$G_c \cdot L_2 + G_{uc} \cdot L_1 + G_{up} \cdot L_3 + G_p \cdot L_4 + G_{uc} \cdot L_5 + G_{\kappa+z} \cdot L_6 + P_{01} \cdot L_7 - P_{02} \cdot L_8 - P_{uc} \cdot L_9 = 0,$$

$$P_{uc} = \frac{G_c \cdot a_2 + 0.5 \cdot G_{uc} \cdot a_1 + G_{up} \cdot a_3 + G_p \cdot a_4 + G_{uc} \cdot a_5 + G_{\kappa+z} \cdot a_6 + P_{01} \cdot a_7 - P_{02} \cdot a_8}{a_9},$$

где  $G_c, G_{uc}, G_{up}, G_p, G_{uc}, G_{\kappa+z}$  – веса элементов рабочего оборудования, причём  $G_{\kappa+г}$  – вес ковша с грузом, кН;

$a_1, \dots, a_9$  – плечи действия соответствующих сил, м;

$P_{01}$  – касательная составляющая сопротивления, кН;

$P_{02}$  – нормальная составляющая сопротивления, кН.

Касательная составляющая определяется по формуле:

$$P_{01} = b \cdot h \cdot k_{y\partial} \quad (30)$$

где  $b$  – ширина режущей части ковша, м;

$h$  – толщина стружки, м;

$k_{y\partial}$  – удельная сила, Н/м<sup>2</sup>» [3].

«Ширину режущей части ковша определим по формуле:

$$b = 1,51 \cdot \sqrt[3]{q} - 0,26, \quad (31)$$

где  $q$  – вместимость ковша, м<sup>3</sup>» [3].

$$b = 1,51 \cdot \sqrt[3]{0,25} - 0,26 = 0,65 \text{ м.}$$

Согласно рекомендациям [3] максимальная толщина стружки равна  $(0,25 \dots 0,3) \cdot b$ .

$$h = (0,25 \dots 0,3) \cdot 0,65 = 0,16 \dots 0,19 \text{ м.}$$

Принимаем  $h=0,17$  м.

«Удельная сила для категории сельскохозяйственных грузов 160...280 кН/м<sup>2</sup>» [3].

Для расчётов примем  $k_{y\delta}=200$  кН/м<sup>2</sup>.

Определяем  $P_{01}$ :

$$P_{01} = 0,65 \cdot 0,17 \cdot 200 \cdot 10^3 = 22,1 \text{ кН.}$$

По рекомендациям Холодова нормальную составляющую сопротивления можно принимать равной:

$$P_{02} = 0,1 \cdot P_{01}, \quad (32)$$

$$P_{02} = 0,1 \cdot 22,1 = 2,21 \text{ кН,}$$

$$P_{uc} = \frac{1,2 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,3 + 1,2 \cdot 1,1 + 1,1 \cdot 2 + 0,6 \cdot 2,3 + 7 \cdot 1,8 + 22,1 \cdot 1,2 - 2,21 \cdot 3,5}{0,35} =$$
$$= 107,1 \text{ кН.}$$

«Расчетное усилие на штоке гидроцилиндра рукояти определяется для предельного случая нагружения, когда зубья ковша расположены на линии продолжения рукояти и шток гидроцилиндра находится в полностью втянутом положении» [4].

Данная конфигурация создает максимальную нагрузку на гидроцилиндр (рисунок 13).

Составим уравнение моментов относительно точки А:

$$\sum M_A = 0, \quad (33)$$

$$-0,5 \cdot G_{up} \cdot b_6 + G_p \cdot b_2 + G_{ук} \cdot b_1 + G_{к} \cdot b_3 - P_{01} \cdot b_4 + P_{02} \cdot b_7 + z \cdot P_{up} \cdot b_5 = 0.$$

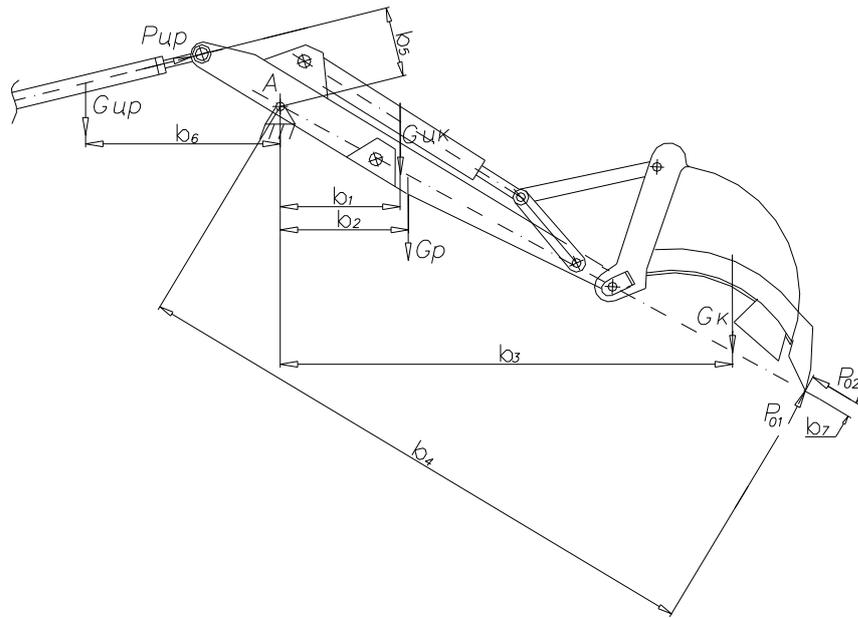


Рисунок 13 – Расчётная схема для расчёта усилия в гидроцилиндре рукояти

«Выражая усилие на штоке гидроцилиндра стрелы, получаем:

$$P_{уп} = \frac{0,5 \cdot G_{уп} \cdot b_6 - G_p \cdot b_2 - G_{чк} \cdot b_1 - G_k \cdot b_3 + P_{01} \cdot b_4 + P_{02} \cdot b_7}{z \cdot b_5}, \quad (34)$$

где  $b_1, \dots, b_6$  – плечи действия соответствующих сил, м;

$z$  – количество гидроцилиндров рукояти, принимается 2» [16].

$$P_{уп} = \frac{0,5 \cdot 1,2 \cdot 1 - 1,1 \cdot 0,74 - 0,6 \cdot 0,69 - 2 \cdot 2,6 + 22,1 \cdot 3,43 + 2,2 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,4} = 87,6 \text{ кН.}$$

«Расчет усилия на штоке гидроцилиндра ковша выполняется по следующей методике:

- первый этап: определение усилия  $P_{36}$  в тяге CD составляется уравнение равновесия относительно точки В. Используется схема представленная на рисунке 14;
- второй этап: вычисление искомого усилия  $P_{чк}$  составляется уравнение моментов относительно точки А применяется схема на рисунке 15» [16].

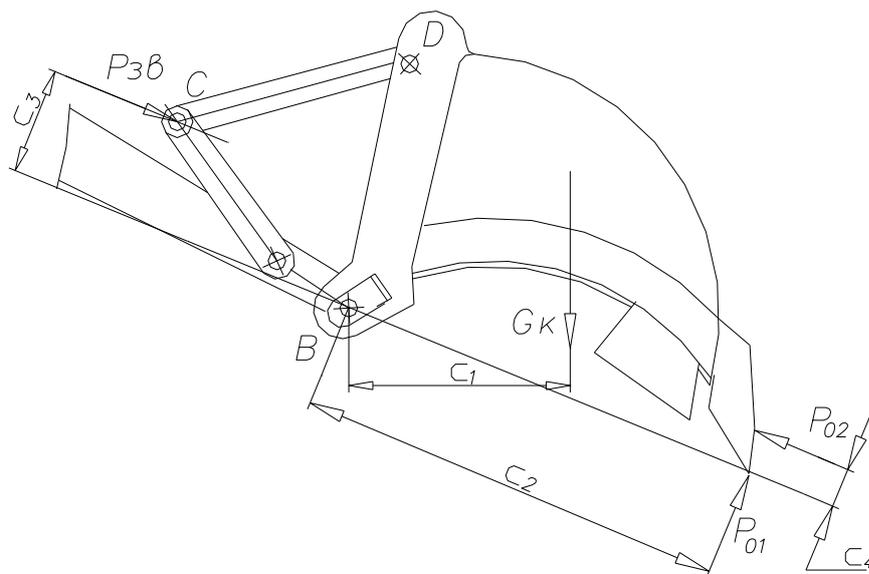


Рисунок 14 – Расчетная схема для определения усилия в тяге CD

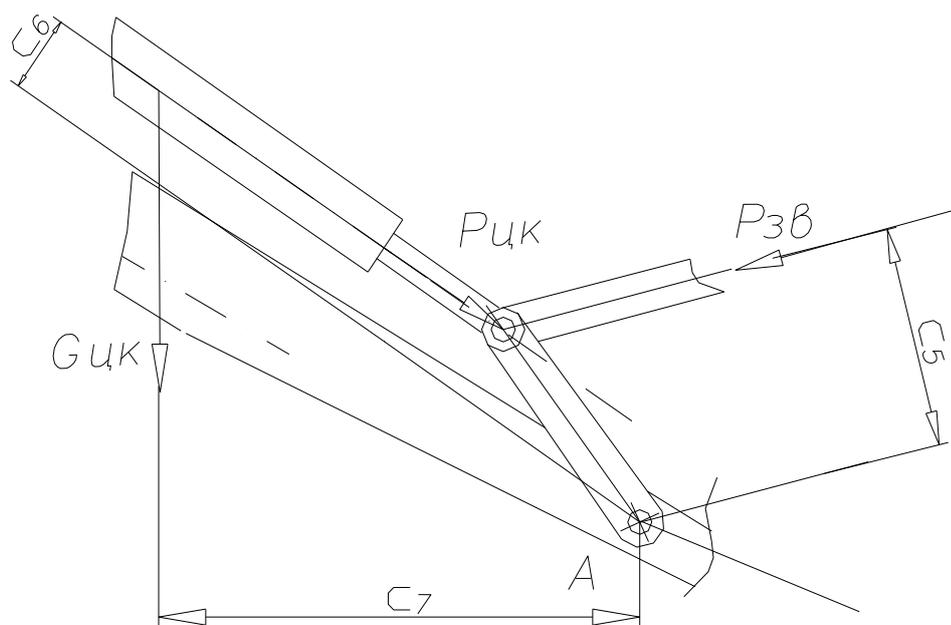


Рисунок 15 – Расчетная схема для расчёта усилия в гидроцилиндре ковша

$$\sum M_B = 0, \quad (35)$$

$$G_k \cdot c_1 - P_{01} \cdot c_2 + P_{02} \cdot c_4 + P_{3B} \cdot c_3 = 0.$$

«Выражая  $P_{3B}$ , получаем:

$$P_{зв} = \frac{P_{01} \cdot c_2 + P_{02} \cdot c_4 - G_{\kappa} \cdot c_1}{c_3}, \quad (36)$$

где  $c_1, c_2, c_3$  – плечи действия сил» [12].

$$P_{зв} = \frac{22,1 \cdot 1,1 + 2,2 \cdot 0,05 - 2 \cdot 0,45}{0,31} = 75,8 \text{ кН.}$$

Найдём усилие на штоке гидроцилиндра:

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0, \\ P_{зв} \cdot c_5 - P_{цк} \cdot c_6 + 0,5 \cdot G_{цк} \cdot c_7 &= 0. \end{aligned} \quad (37)$$

«Выражая  $P_{цк}$ , получаем:

$$P_{цк} = \frac{P_{зв} \cdot c_4 + 0,5 G_{цк} \cdot c_7}{c_5}, \quad (38)$$

где  $c_4, c_5$  – плечи действия сил» [17].

$$P_{цк} = \frac{75,5 \cdot 0,26 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1}{0,4} = 49,8 \text{ кН.}$$

«Расчёт усилия на штоках гидроцилиндров поворота произведём исходя из потерь возникающих в подшипниках поворотной колонны.

Момент трения в подшипниках можно определить по формуле:

$$M = \mu \cdot \frac{P \cdot d}{2}, \quad (39)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения, определяемый в зависимости от типа подшипника, для роликового радиально-упорного конического равен 0,0018;

$P$  – эквивалентная нагрузка на подшипник, Н;

$d$  – диаметр отверстия подшипника, мм» [11].

«Эквивалентная нагрузка на подшипник равна осевой нагрузке, которая в свою очередь, равна весу рабочего оборудования и груза:

$$P = G_{po} + G_{cp}, \quad (40)$$

где  $G_{po}$  – вес рабочего оборудования, принимается равным 7 кН;

$G_{cp}$  – вес груза при полном ковше, принимается равным 6 кН» [11].

$$P = 7 + 6 = 13 \text{ кН.}$$

Тогда момент трения равен:

$$M = 0,0018 \cdot \frac{13000 \cdot 120}{2} = 1,4 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

«Усилие на штоке гидроцилиндра определим по формуле:

$$P_{цн} = \frac{M}{r}, \quad (41)$$

где  $r$  – радиус поворотной звездочки, принимается равным 0,2 м» [13].

$$P_{цн} = \frac{1,4}{0,2} = 7 \text{ кН.}$$

Расчёт усилия на штоках гидроцилиндров аутригеров производим из условия вывешивания машины относительно передней оси (рисунок 16).

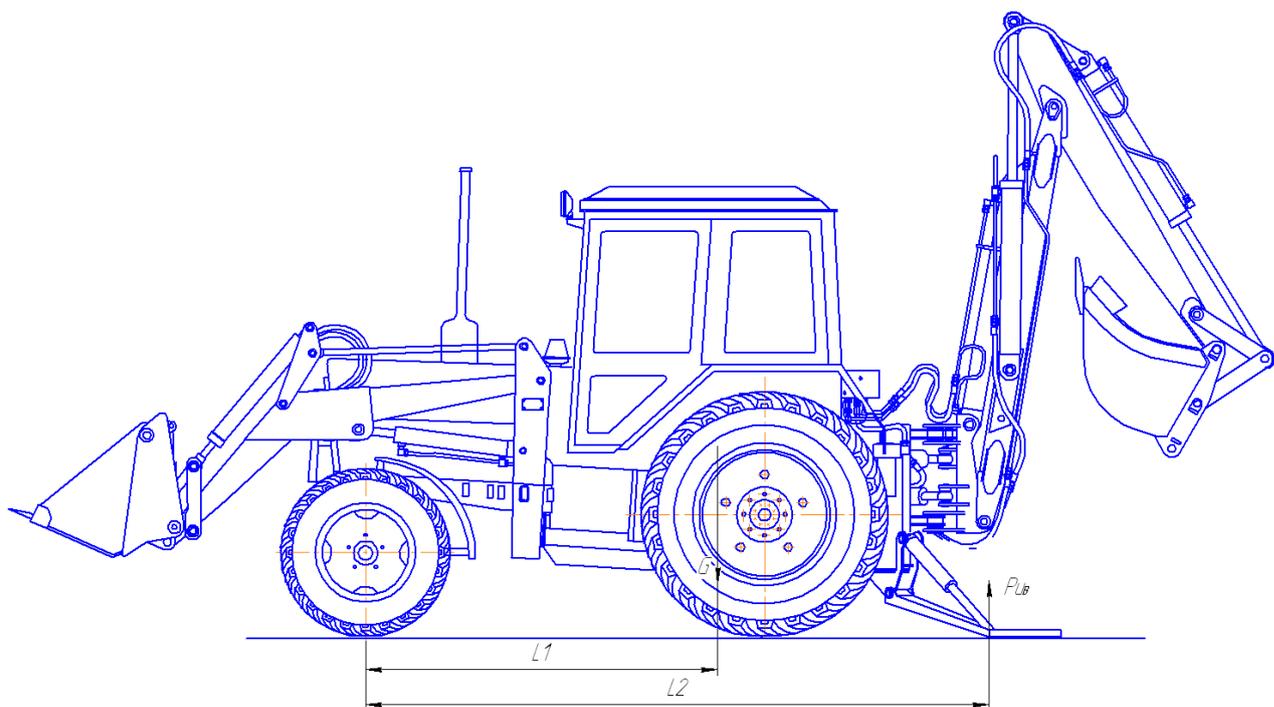


Рисунок 16 – Схема расчёта вертикальной силы, действующей на гидроцилиндры аутригеров

«На аутригер действует вертикальное усилие  $P_{цв}$ . Найдём  $P_{цв}$ , составив уравнение моментов относительно точки Е. Затем, записав уравнение моментов относительно точки О крепления аутригера (рисунок 17), найдём усилие ( $P_{ца}$ ), действующее на штоке гидроцилиндра. Силу тяжести экскаватора прикладываем в центре масс» [21].

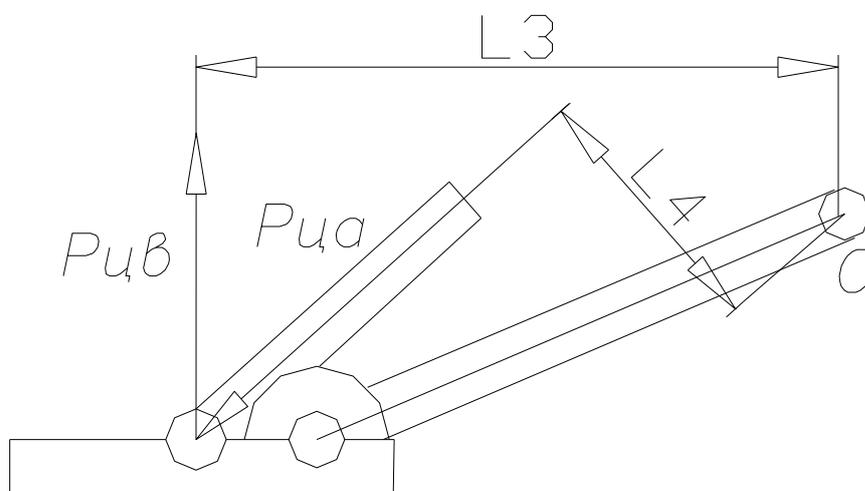


Рисунок 17 – Схема расчёта усилия в гидроцилиндре аутригеров

Уравнение моментов относительно точки E:

$$\begin{aligned}\sum M_E &= 0, \\ G \cdot L_1 - z \cdot P_{цв} \cdot L_2 &= 0.\end{aligned}\tag{42}$$

«Выражая  $P_{цв}$ , получаем:

$$P_{цв} = \frac{G \cdot L_1}{z \cdot L_2},\tag{43}$$

где  $L_1, L_2$  – плечи действия сил;

$G$  – вес экскаватора;

$z$  – число аутригеров, принимается равным 2» [13].

$$P_{цв} = \frac{61 \cdot 1,5}{2 \cdot 2,5} = 18,3 \text{ кН.}$$

Запишем уравнение моментов относительно точки O:

$$\begin{aligned}\sum M_O &= 0, \\ P_{ца} \cdot L_4 - P_{цв} \cdot L_3 &= 0.\end{aligned}\tag{44}$$

Следовательно:

$$\begin{aligned}P_{ца} &= \frac{P_{цв} \cdot L_3}{L_4}, \\ P_{ца} &= \frac{18,3 \cdot 1,05}{0,45} = 42,7 \text{ кН.}\end{aligned}\tag{45}$$

Определение усилий в исполнительных гидроцилиндрах погрузочного оборудования.

«Усилия на штоках исполнительных гидроцилиндров определяются в

установившемся режиме работы по величинам наибольшего выглубляющего усилия  $N_e$  – для гидроцилиндров ковша и подъемного усилия  $N_n$  – для гидроцилиндров стрелы, приложенных на режущей кромке ковша в положении внедрения» [21].

«Усилие на штоке одного гидроцилиндра ковша:

$$S_K = \frac{N_B \cdot C_2 + G_K \cdot C_1}{n_n \cdot C_3} \cdot k_1, \quad (46)$$

где  $G_K$  – вес ковша, Н;

$n_n$  – количества гидроцилиндров поворота ковша, шт;

$C_1, C_2, C_3$  – соответствующие плечи сил  $G_K, N_e, S_k$ ;

$k_1$  – коэффициент запаса, учитывающий потери в гидроцилиндрах и шарнирах, принимается равным 1,25» [21].

$$S_K = \frac{56746 \cdot 0,974 + 4000 \cdot 0,32}{2 \cdot 0,22} \cdot 1,25 = 160655 \text{ Н.}$$

«Усилия в одном гидроцилиндре стрелы определяются по формуле:

$$S_C = \frac{N_B \cdot l_3 + G_P \cdot l_1}{l_4 \cdot n_c} \cdot k_2, \quad (47)$$

где  $G_P$  – вес погрузочного оборудования без портала;

$n_c$  – количество гидроцилиндров подъема стрелы;

$k_2$  – коэффициент запаса, учитывающий потери в шарнирах и гидроцилиндрах, принимается равным 1,25;

$l_1, l_3, l_4$  – плечи сил» [6].

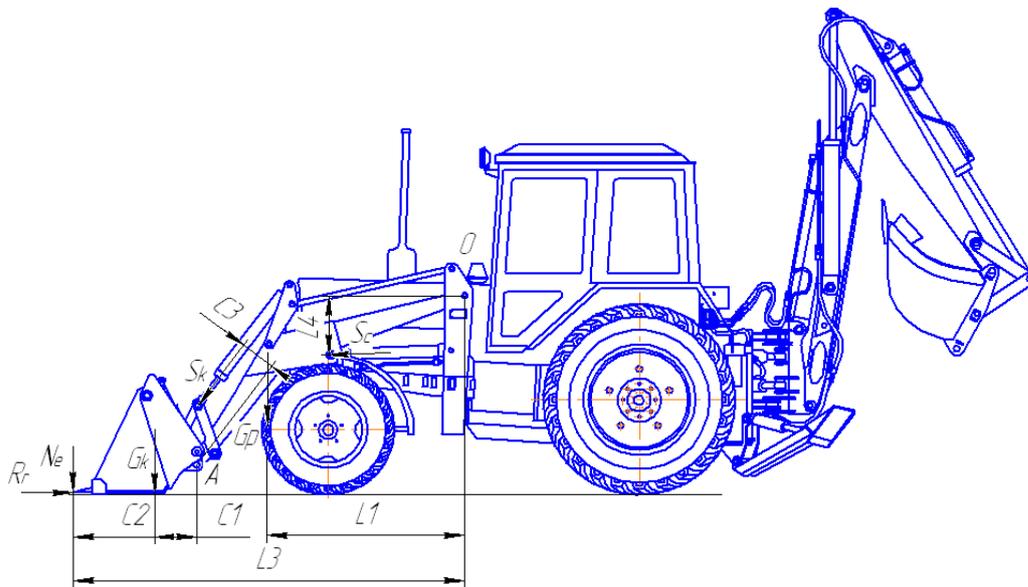


Рисунок 18 – Схема для определения усилий гидроцилиндров погрузочного оборудования

$$S_c = \frac{156746 \cdot 3,085 + 18000 \cdot 1,52}{0,46 \cdot 2} \times 1,25 = 275029,1 \text{ Н.}$$

«Скорости движения поршней гидроцилиндров ковша и стрелы определяют исходя из требуемых скоростей движения ковша и стрелы. Среднюю скорость движения поршней гидроцилиндров ковша вычисляют для положения внедрения по формуле:

$$V_k = \frac{V_{зк}}{i_n}, \quad (48)$$

$$V_k = \frac{0,169}{2} = 0,0845 \text{ м/с.}$$

Среднюю скорость движения поршней гидроцилиндров стрелы определяют по формуле:

$$V_c = 57,3 \cdot \frac{V_{nc} \cdot S_c}{l_c \cdot \phi_c}, \quad (49)$$

где  $S_c$  – ход поршня гидроцилиндра стрелы;

$l_c$  – длина стрелы;

$\phi_c$  – угол поворота стрелы, принимается равным  $60^\circ$ » [5].

$$V_c = 57,3 \cdot \frac{0,165 \cdot 0,6}{2,5 \cdot 60} = 0,0378 \text{ м/с.}$$

«Усилия в одном гидроцилиндре челюсти определяются по формуле:

$$S_u = \frac{(G_r + G_u) \cdot l_1}{l_2 \cdot n_u} \cdot k_3, \quad (50)$$

где  $n_u$  – количество гидроцилиндров подъема челюсти, шт;

$k_3$  – коэффициент запаса, учитывающий потери в шарнирах и гидроцилиндрах, принимается равным 1,25;

$l_1, l_2$  – плечи сил» [6].

$$S_u = \frac{9000 \cdot 0,35}{0,15 \cdot 2} \cdot 1,25 = 13125 \text{ Н.}$$

Схема сил двухчелюстного ковша представлена на рисунке 19.

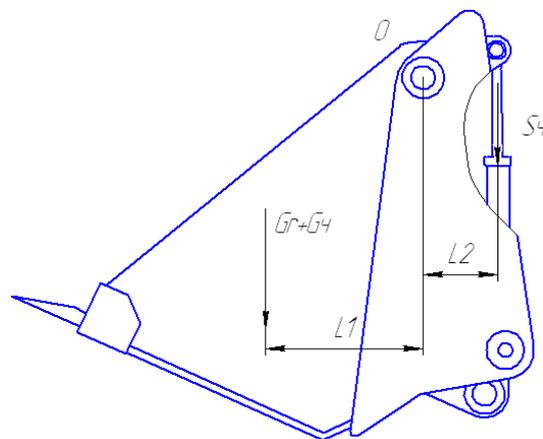


Рисунок 19 – Схема двухчелюстного ковша

Определение мощности гидропривода и насоса.

«Полезная мощность гидродвигателя возвратно-поступательного действия (цилиндра) определяется по формуле:

$$N_{ГДВ} = PV, \quad (51)$$

где  $P$  – усилие на штоке, кН

$V$  – скорость движения штока, м/с» [21].

Скорость движения штока принимаем равную 0,1 м/с.

Расчёты сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчёт мощности гидродвигателя

Элемент экскаватора	Усилие на штоке, кН	Скорость штока, м/с	Потребная мощность, кВт
Стрела	107,1	0,1	10,71
Рукоять	87,6	0,1	8,76
Ковш	49,8	0,1	4,98
Механизм поворота	7	0,1	0,7
Аутригеры	42,7	0,1	4,27
Стрела погрузчика	275	0,0845	13,75
Ковш погрузчика	160	0,0375	6
Челюсти погрузчика	13	0,165	2,1

«Полезная мощность насоса определяется исходя из мощности гидродвигателя с учётом потерь энергии при её передаче от насоса к гидродвигателю по формуле:

$$N_{НП} = k_{з\у} \cdot k_{зс} \cdot N_{ГДВ}, \quad (52)$$

где  $k_{з\у}$  – коэффициент запаса по усилию, принимается равным в диапазоне от 1,1 до 1,2;

$k_{зс}$  – коэффициент запаса по скорости принимается равным в диапазоне от 1,1 до 1,3» [12].

Расчёт мощности насоса ведём по максимальной мощности

гидроцилиндров,

Для первого контура, по мощности потребляемой гидроцилиндром стрелы погрузчика:

$$N_{НП1} = 1,15 \cdot 1,2 \cdot 13,75 = 18,98 \text{ кВт.}$$

Для первого контура, по мощности потребляемой гидроцилиндром стрелы экскаватора:

$$N_{НП2} = 1,15 \cdot 1,2 \cdot 10,71 = 14,78 \text{ кВт.}$$

Выполняем подбор насосов.

«Определяем подачу и рабочий объём по формулам:

$$Q_H = \frac{N_{НП}}{P_{НОМ}}, \quad (53)$$

$$q_H = \frac{N_{НП}}{P_{НОМ} \cdot n_H \cdot \eta}, \quad (54)$$

где  $Q_H$  – подача насоса,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ;

$q_H$  – рабочий объём насоса,  $\text{см}^3$ ;

$N_{НП}$  – мощность насоса, кВт;

$P_{НОМ}$  – номинальное давление в гидросистеме, МПа;

$n_H$  – частота вращения вала насоса (допускается принимать равной частоте вращения коленвала двигателя внутреннего сгорания, то есть  $n_H=29$  об/с или  $n_H=1750$  об/мин)» [5].

Номинальное давление в гидросистеме принимаем стандартное для тракторов ЛТЗ-60А, равное 14 МПа.

Для насоса первого контура:

$$Q_{H1} = \frac{18,89}{14} = 1,35 \text{ дм}^3/\text{с};$$

$$q_{H1} = \frac{18,89}{14 \cdot 28} = 48,2 \text{ см}^3.$$

«По номинальному давлению и рабочему объёму выбираем насос НШ 50А-3, имеющий следующую характеристику:

- а) рабочий объём, см<sup>3</sup>: 49,1;
- б) давление на выходе, МПа:
  - номинальное: 16;
  - максимальное: 20;
- в) частота вращения вала, с<sup>-1</sup>:
  - минимальная: 16;
  - номинальная: 32;
  - максимальная: 40;
- г) номинальная подача, дм<sup>3</sup>/с: 1,44;
- д) номинальная потребляемая мощность, кВт: 26,2;
- е) КПД:
  - полный: 0,82...0,90;
  - объёмный: 0,92...0,97» [5].

Для упрощения обслуживания и снижения затрат на ремонтные работы во втором гидравлическом контуре используется аналогичный насос, установленный в первом контуре, а именно насос марки НШ50у-3. Унифицированное решение облегчает взаимозаменяемость запчастей и уменьшает складские запасы запасных элементов, делая эксплуатацию техники экономически выгодной и удобной.

«Проверим, обеспечивает ли выбранный насос расход потребляемый гидроцилиндрами. Расход гидроцилиндров определяется по формуле:

$$Q_{ц} = \frac{\pi \cdot V \cdot D^2}{4 \cdot \eta_{об}}, \quad (55)$$

где  $V$  – скорость штока гидроцилиндра, м/с;

$D$  – диаметр цилиндра, мм;

$\eta_{об}$  – объёмный КПД гидроцилиндра, принимается 0,985» [5].

Так как все гидроцилиндры имеют одинаковую скорость и диаметр, то расход будет одинаков:

$$Q_{ц} = \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 125^2}{4 \cdot 0,985} = 1,5 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

«Действительную подачу насоса уточняем по формуле:

$$Q_{нд} = q_{нд} \cdot n_{н} \cdot \eta_{об}, \quad (56)$$

где  $Q_{нд}$  – действительная подача насоса,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ;

$q_{нд}$  – действительный рабочий объём насоса,  $\text{дм}^3$ ;

$n_{н}$  – действительная частота вращения вала насоса,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\eta_{об}$  – объёмный КПД насоса, из технической характеристики, принимается равным 0,95» [10].

$$Q_{нд1} = 0,048 \cdot 29 \cdot 0,95 = 1,32 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

Данный насос вполне удовлетворяет потребностям гидросистемы по расходу, то есть  $Q_{н} = 1,32 > Q_{ц} = 1,25 \text{ дм}^3/\text{с}$ .

Определение внутренних диаметров гидролиний, скоростей движения жидкости.

«Расчёт трубопроводов гидросистемы произведём для гидролинии гидроцилиндра стрелы погрузчика, так как именно на этом участке имеет место самое большое потребление мощности» [10].

Определение скоростей движения жидкости по трубопроводам произведем в соответствии со значениями предельных скоростей, указанными в таблице 3.

«Минимальный внутренний диаметр определяется по формуле:

$$d_p = \sqrt{\frac{0,004 \cdot Q_{НД1,2}}{\pi \cdot [V]}}, \quad (57)$$

где  $Q_{НД1,2}$  – действительный расход жидкости,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ;

$[V]$  – допускаемая средняя скорость движения жидкости на участке,  $\text{м/с}$ » [2].

Допускаемую скорость рабочей жидкости принимаем равной 5  $\text{м/с}$ .

$$d_p = \sqrt{\frac{0,004 \cdot 1,32}{3,14 \cdot 5}} = 0,019 \text{ м.}$$

«Диаметр трубопровода, полученный при расчете, округляем до ближайшего стандартного ( $d=22$  мм) по ГОСТ 16516-80. В целях унификации диаметры остальных трубопроводов принимаем такого же диаметра. Длина трубопроводов определяется исходя из расположения на машине.

Определим действительные скорости движения жидкости во всасывающей, напорной и сливной гидролиниях по формуле:

$$V_{ЖД} = \frac{4 \cdot 10^{-3} Q_{НД1,2}}{\pi \cdot d^2}, \quad (58)$$

где  $d$  – внутренний диаметра гидролинии,  $\text{м}$ » [12].

$$V_{\text{ЖД}} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,32}{3,14 \cdot 0,022^2} = 3,47 \text{ м/с.}$$

Скорость меньше допустимой, поэтому выбранный диаметр трубопроводов удовлетворяет необходимому условию.

Расчёт гидроцилиндров.

«Применяем гидроцилиндры с односторонним штоком. Диаметр гидроцилиндра определяется по формуле:

– для выталкивания:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ВЫТ}}}{\pi \cdot \Delta P_c \cdot \eta_{\text{МЦ}}}}, \quad (59)$$

– для втягивания:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ВЫТ}} \cdot \psi}{\pi \cdot \Delta P_c \cdot \eta_{\text{МЦ}}}}, \quad (60)$$

где  $F_{\text{ВЫТ}}$  – заданное усилие выталкивания гидроцилиндра;

$\eta_{\text{МЦ}}$  – механический КПД гидроцилиндра, принимается равным 0,95;

$\psi$  – коэффициент мультипликации, при расчете гидроцилиндров задается величиной равной 1,25 по ОСТ 22-1417-79.

$\Delta P$  – перепад давления на гидроцилиндре» [5].

«Перепад давления принимают равным:

$$\Delta P = (0,8 \dots 0,9) \cdot P_H, \quad (61)$$

где  $P_H$  – номинальное давление в гидросистеме, МПа» [6].

$$\Delta P = (0,8 \dots 0,9) \cdot 14 = 11,2 \dots 12,6 \text{ МПа.}$$

Принимаем равным 12 МПа.

$$D_1^{быт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 107100}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 109 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_1^{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot 107100 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 122 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 125 мм.

$$D_2^{быт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 87600}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 99 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_2^{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot 87600 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 110 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 110 мм.

$$D_3^{быт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 49800}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_3^{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot 49800 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 79 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 80 мм.

$$D_4^{быт} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7000}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 28 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$D_4^{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7000 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 31 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 50 мм.

$$D_5^{6ym} = \sqrt{\frac{4 \cdot 42700}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 69 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_5^{6m} = \sqrt{\frac{4 \cdot 42700 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 77 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 80 мм.

$$D_6^{6ym} = \sqrt{\frac{4 \cdot 275000}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 175 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_6^{6m} = \sqrt{\frac{4 \cdot 275000 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 196 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 200 мм.

$$D_7^{6ym} = \sqrt{\frac{4 \cdot 160000}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 131 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_7^{6m} = \sqrt{\frac{4 \cdot 160000 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 149 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 160 мм.

$$D_8^{6ym} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13000}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 38 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$D_8^{6m} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13000 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0,95}} = 43 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Принятое значение округляем до ближайшего стандартного – 50 мм.

По ОСТ 22-1417 выбираем гидроцилиндры [5, 7]. Обозначение выбранных гидроцилиндров сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Обозначение гидроцилиндров

Элемент экскаватора	Обозначение гидроцилиндров по ОСТ 22-1417
Стрела	1.16.0.У-125-56-1000
Рукоять	1.16.0.У-110-50-1000
Ковш	1.16.0.У-80-30-1000
Механизм поворота	1.16.1.У-50-22-400
Аутригеры	1.16.0.У-80-30-400
Стрела погрузчика	1.16.0.У-200-90-800
Ковш погрузчика	1.16.0.У-160-70-800
Челюсти погрузчика	1.16.0.У-50-22-400

«Определим действительную скорость штока:

$$V_D = \frac{Q_{НД}}{S_{эф}}, \quad (62)$$

где  $Q_{НД}$  – действительная подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$S_{эф}$  – эффективная площадь поршня, м<sup>2</sup>» [5].

Для поршневой рабочей полости эффективная площадь определяется по формуле:

$$S_{эф} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (63)$$

$$S_{эф} = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 31,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$V_D = \frac{1,32 \cdot 10^{-3}}{31,4 \cdot 10^{-3}} = 0,05 \text{ м/с}.$$

Определяем отклонение действительной скорости штока:

$$\Delta V = \frac{V_D - V}{V}, \quad (64)$$

$$\Delta V = \frac{0,05 - 0,01}{0,01} \cdot 100\% = 4\%.$$

Данное расхождение в скорости является приемлемым, так как допустимая разбежка равна 10% [5].

Гидравлическое оборудование подбирается по трем ключевым параметрам:

- условный проход ( $DN$ ),
- номинальное давление ( $P_n$ ),
- номинальный расход  $Q_n$ .

Принято решение использовать масло ВМГЗ (ТУ 38-101479-74) со следующими характеристиками:

- температурный диапазон:  $-43...+35^{\circ}\text{C}$ ,
- кинематическая вязкость:  $(10-5) \text{ м}^2/\text{с}$  при  $50^{\circ}\text{C}$ ,
- ресурс работы: 3500-4000 часов,
- универсальность применения для мобильной техники,
- сокращение номенклатуры используемых масел.

Направляющая гидроаппаратура:

Основные распределители:

- тип: P22.16-20-01 3-30 ( $P_n=16 \text{ МПа}$ , ОСТ 22-829-74),
- назначение: управление гидроцилиндрами рабочего оборудования,
- базовый распределитель: P75-33-P.

Защитные элементы:

- коробка клапанов 64800 (для гидроцилиндра стрелы),
- гидрозамки 61800 (для цилиндров выносных опор),
- дроссель с обратным клапаном 62800 (для отвала).

Фильтрация.

Требования к фильтрующим элементам:

- степень очистки:  $\leq 40 \text{ мкм}$ ;
- пропускная способность:  $\geq 130 \text{ л/мин}$ .

Выбранный фильтр: 1.1.40-40/0.6 (ОСТ 22-883-75)

Особенности реализации:

- защита от кавитации и динамических нагрузок,
- предотвращение самопроизвольного опускания рабочих органов,
- обеспечение устойчивости при работе,
- контроль скорости перемещения исполнительных механизмов.

### 3.3 Расчёты на прочность

«Целью расчета является обеспечение равнопрочности сварной металлоконструкции стрелы методом конечных элементов (МКЭ)» [2].

Конструкция стрелы выполнена из листовой стали толщиной 5 мм и подвергается комплексному анализу под действием эксплуатационных нагрузок.

Исходные данные и подход к расчету.

«Геометрия и материал:

- сварная конструкция из листовой стали (толщина 5 мм),
- крепления учитываются в узлах: соединение с порталом; точки крепления гидроцилиндров подъема стрелы.

Прикладываемые нагрузки: нагрузки определяются по результатам прочностного расчета и прикладываются в местах крепления ковша.

Анализ проводится для двух критических режимов работы:

- внедрение ковша в материал (комбикорм) – моделируется усилие сопротивления при заглублении;
- подъем ковша с грузом – учитывается максимальная нагрузка на стрелу в поднятом положении.

Визуализация расчетных схем и распределения напряжений представлена на рисунках 20–25.

Применяется метод конечных элементов для оценки напряженно-деформированного состояния.

Учитываются контактные нагрузки в местах крепления, динамические и статические составляющие усилий.

Проверяется:

- прочность сварных швов,
- локальная устойчивость тонкостенных элементов,
- общая жесткость конструкции» [11].

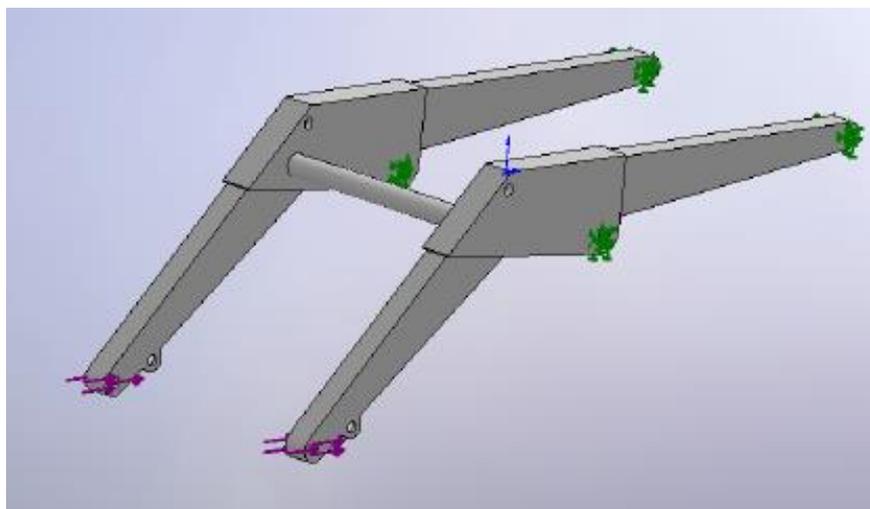


Рисунок 20 – Внедрение ковша в комбикорм

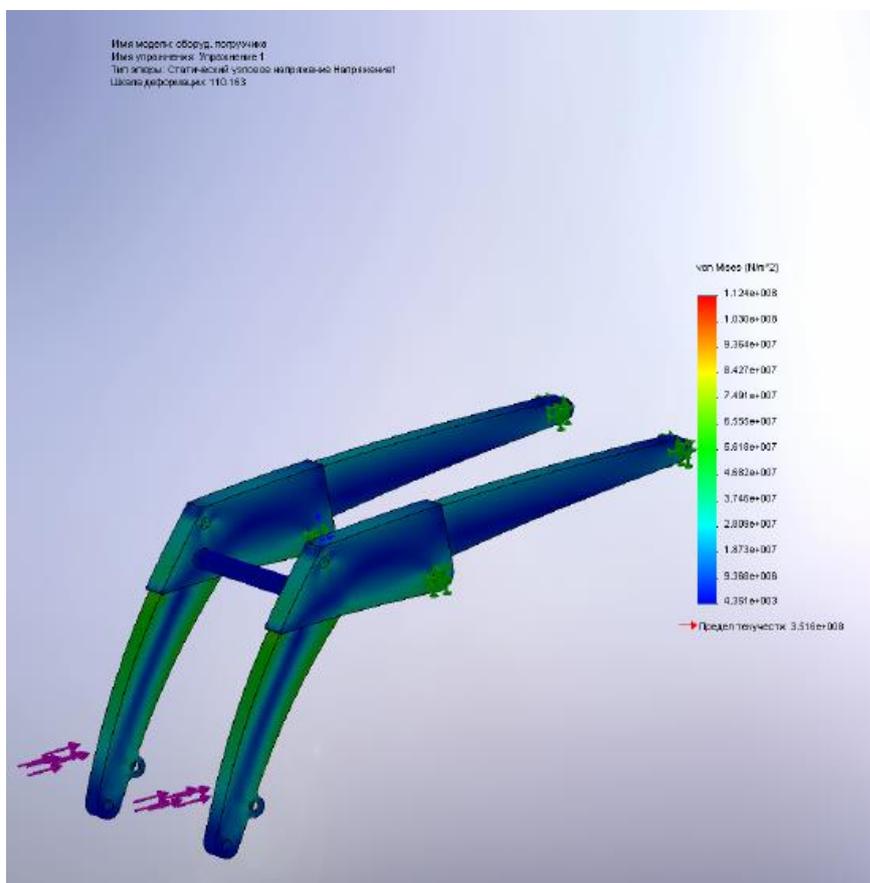


Рисунок 21 – Напряжение стрелы при внедрении

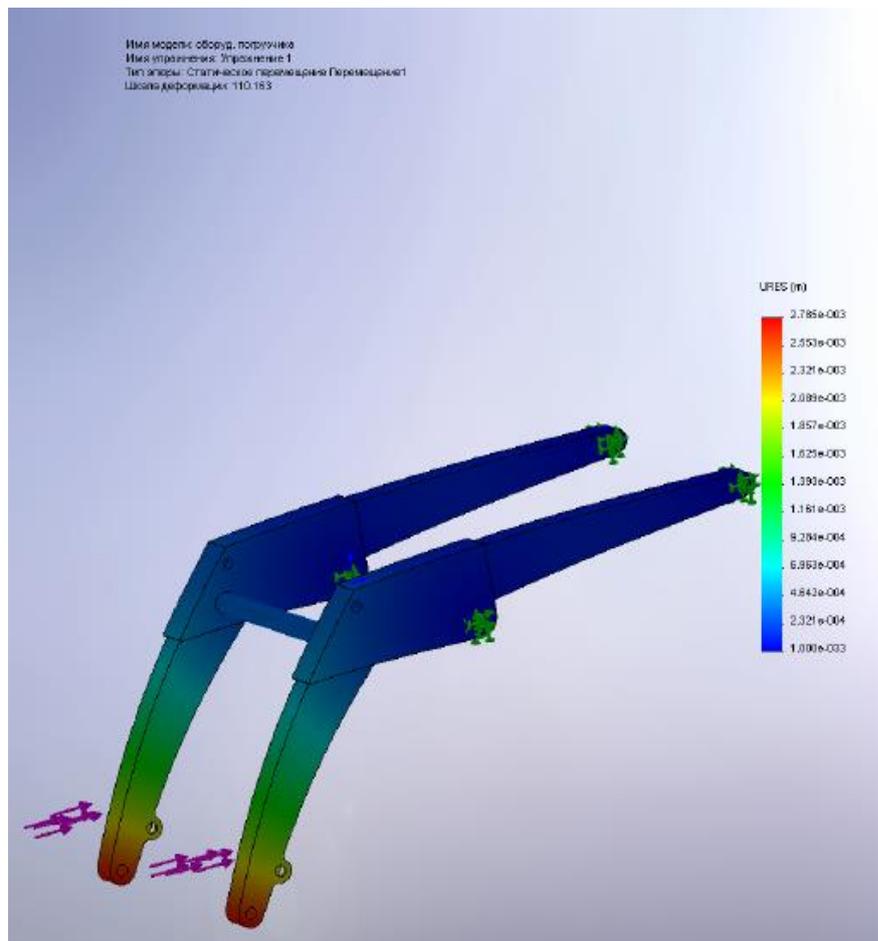


Рисунок 22 – Перемещение стрелы при внедрении

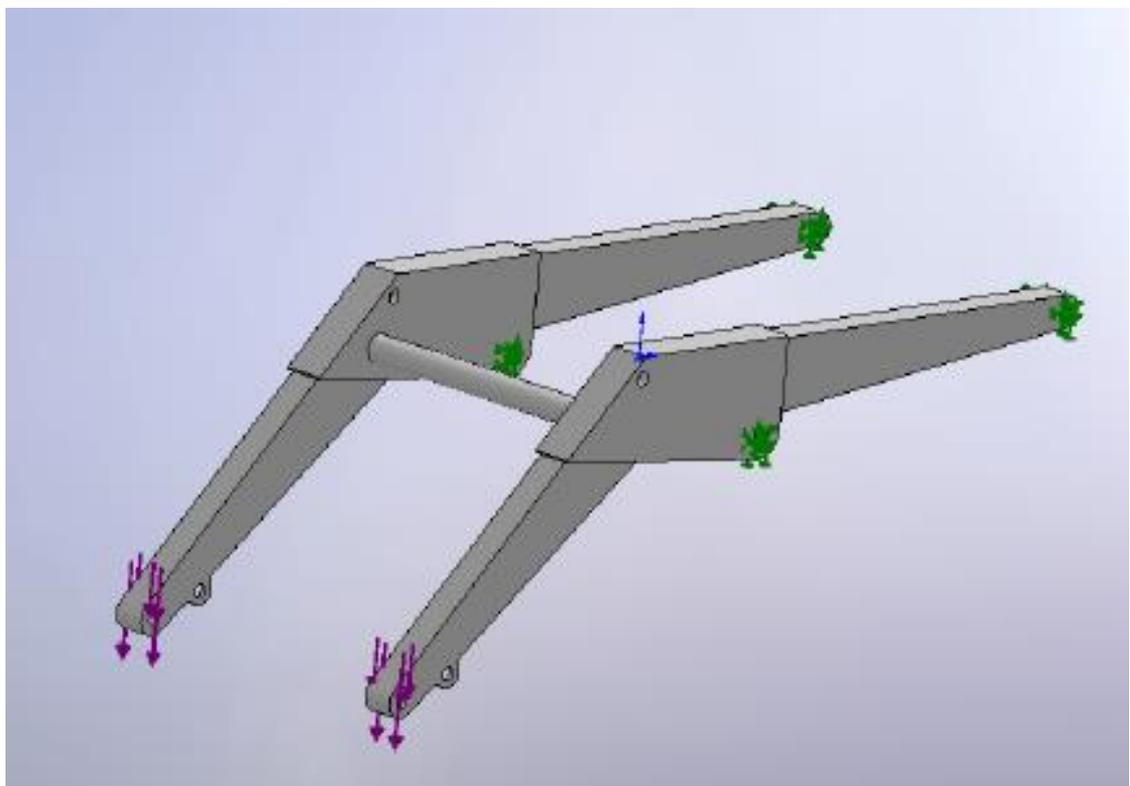


Рисунок 23 – Поднятие ковша с комбикормом

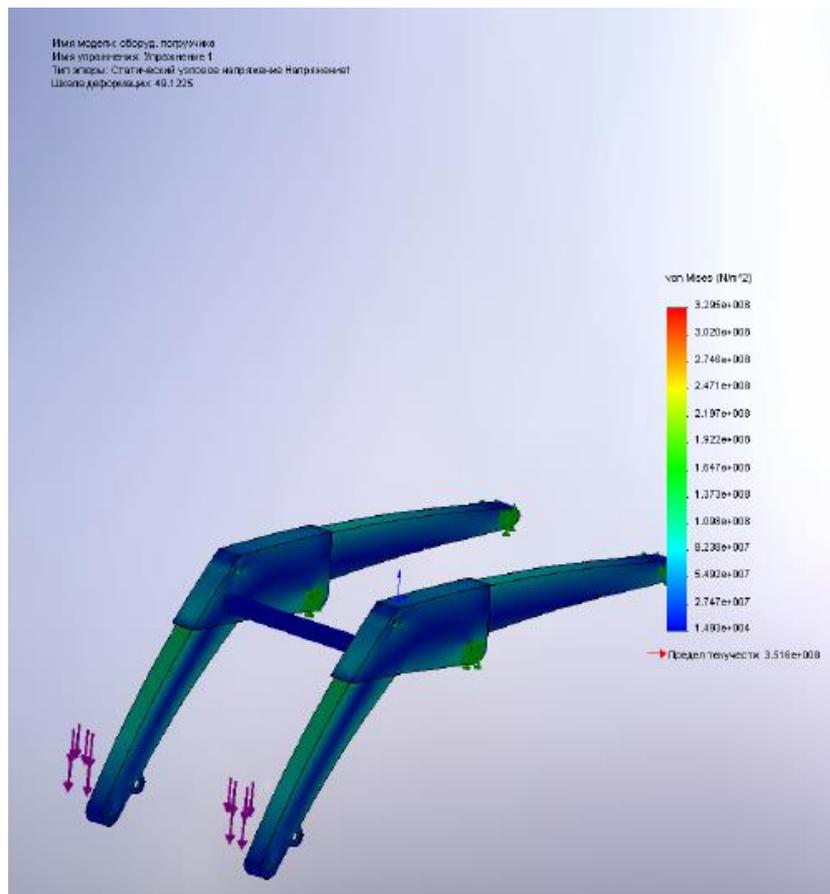


Рисунок 24 – Напряжение стрелы при поднятии

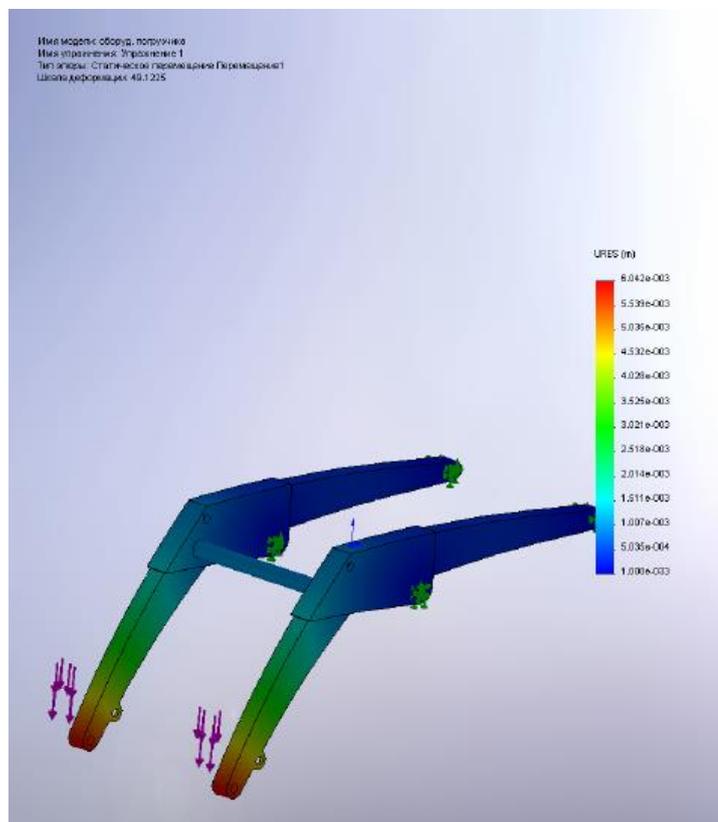


Рисунок 25 – Перемещение стрелы при поднятии

«Максимальное напряжение, испытываемое стрелой в этом случае  $1,124 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$  при пределе текучести  $3,516 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ . Максимальное перемещение стрелы –  $2,785 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Максимальное напряжение, испытываемое стрелой –  $3,295 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$  при пределе текучести  $3,516 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ . Максимальное перемещение стрелы –  $6,046 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ » [19].

Спецификация на погрузчик на базе трактора ЛТЗ-60А и погрузочное навесное гидравлическое оборудование представлены в Приложении А (рисунки А.1, А.2).

Выводы по разделу.

В данном разделе произведён тщательный отбор и научно обоснован выбор важнейших компонентов рабочего оборудования погрузчика. Выполнены детальные расчёты параметров гидравлической системы, металлических конструкций (в частности, стрелы погрузчика), а также рассчитана производственная мощность агрегата в реальных условиях эксплуатации.

Полученная конструкция отличается высоким уровнем надёжности и удобства обслуживания, что облегчает процесс технического ухода и повышает общую эффективность использования техники. Проектирование велось с учётом новейших достижений и технологий современной индустрии тракторостроения.

#### 4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [21].

В ходе данного процесса осуществляется:

- поэтапная интеграция отдельных элементов в функциональные узлы,
- комплексирование механизмов в единую систему,
- формирование готового транспортного средства.

Все операции выполняются в соответствии с:

- техническими спецификациями производителя,
- нормативными требованиями безопасности,
- параметрами качества сборки,
- производственными стандартами предприятия.

Ключевыми характеристиками процесса являются:

- четкая последовательность операций,
- контроль на каждом этапе сборки,
- соблюдение технологических нормативов,
- обеспечение заданных эксплуатационных качеств конечного продукта.

Результатом процесса становится полностью функциональное транспортное средство, соответствующее всем заявленным техническим и эксплуатационным требованиям.

Трудоемкость сборочных работ при производстве автомобилей и тракторов определяется совокупностью следующих ключевых факторов:

- конструктивные особенности: сложность и количество соединяемых узлов; степень унификации деталей; применение модульных принципов сборки;

- технологические аспекты: тип организации производства (конвейерная/позиционная сборка); степень механизации и автоматизации процессов; используемое оборудование и оснастка; требования к точности соединений;
- человеческий фактор: квалификация рабочих; организация рабочих мест; система контроля качества; применение нормативов времени.

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

- для крупногабаритных конструкций (корпуса машин, рамы) требуются: подъемно-транспортное оборудование (мостовые краны, тельферы), специализированные сборочные стенды, позиционная организация работ;
- мелкие узлы и компоненты позволяют применять: роботизированные сборочные комплексы, конвейерные линии, высокую степень автоматизации.

#### **4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки**

Рациональная организация сборки – это оптимизация процесса сборки изделий для минимизации времени, затрат и трудоёмкости при обеспечении высокого качества.

Основные принципы рациональной организации сборки:

- разделение сборки на узлы и подузлы;
- сборка сложных изделий разбивается на отдельные узлы, которые собираются параллельно, это ускоряет процесс и позволяет специализировать рабочие места;
- поточный метод сборки: организация конвейерных линий с чётким тактом (ритмом) работы. Каждая операция выполняется за фиксированное время на отдельной рабочей позиции;

- механизация и автоматизация: использование сборочных роботов, автоматических линий, пневмо- и электроинструмента;
- внедрение систем ЧПУ (числового программного управления) для точной сборки;
- стандартизация и унификация: применение одинаковых крепёжных элементов, соединений и методов сборки; использование модульных конструкций для упрощения сборки;
- оптимизация трудовых процессов: изучение и устранение лишних движений (методы научной организации труда);
- правильная организация рабочего места (эргономика, доступность инструментов): контроль качества на каждом этапе, встроенный контроль (проверка узлов после каждой операции), использование систем визуализации дефектов (например, контрольные метки, датчики);
- логистика и снабжение: чёткое планирование подачи деталей и комплектующих к месту сборки (система «just-in-time»); минимизация простоев из-за нехватки материалов.

Методы оптимизации сборки:

- метод групповой сборки – одновременная сборка однотипных изделий;
- комплекточные тележки/контейнеры – предварительная подготовка деталей для каждой операции;
- использование CAD/CAM-систем – цифровое моделирование сборки для выявления ошибок до производства.

Учитывая ограниченный спрос на навесное погрузочное оборудование для колесного трактора ЛТЗ-60А, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит:

- минимизировать издержки за счёт гибкости производства,
- избежать избыточных запасов комплектующих,

– адаптировать процесс под индивидуальные требования заказчиков.

В отличие от массового выпуска, мелкосерийная сборка обеспечит экономическую целесообразность при небольшом количестве заказов.

В условиях мелкосерийного выпуска применяется стационарная непоточная сборка, при которой процесс делится на два ключевых этапа:

- узловая сборка – формирование отдельных компонентов конструкции;
- общая сборка – компоновка готовых узлов в конечное изделие.

Работы выполняются специализированными бригадами, что обеспечивает:

- гибкость производственного процесса,
- эффективное использование квалификации персонала,
- возможность параллельного выполнения операций.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_{д} = \frac{F_{д} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (72)$$

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

$m$  – количество смен, принимается равным 1;

$N$  – годовой объем выпуска, принимается равным 120 шт» [12].

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

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства.

«После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,
- детальное описание всех сборочных этапов.

Данный подход обеспечивает:

- четкую стандартизацию производственных этапов,
- контроль трудоемкости операций,
- минимизацию технологических простоев» [17].

Спецификация операций узловой и общей сборки для навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки навесного оборудования

Операция	Детали/инструмент	Технические требования	Время (мин.)
Подготовка портала	–	Поверхность должна быть очищена от загрязнений и следов коррозии	0,26
Контроль качества портала	–	Отсутствие трещин, деформаций, следов износа. Допустимые отклонения по геометрии – не более 0,5 мм	1,06
Подготовка гидроцилиндра	ЦГ1-125-56-1000	Проверить маркировку, отсутствие механических повреждений штока и корпуса	0,26
Контроль гидроцилиндра	ЦГ1-125-56-1000	Шток должен перемещаться плавно, без заеданий. Утечки рабочей жидкости не допускаются	1,06
Подготовка крепежных элементов	Палец, пластина, втулка, болты М8-8g×40 (4 шт.), шайбы 8 65Г (4 шт.), маслѐнки 13Ц6 (5 шт.)	Резьбовые соединения должны быть чистыми, без повреждений. Маслѐнки – без трещин, с исправными шариковыми клапанами	2,06
Подготовка стрелы	–	Очистить от загрязнений, проверить отсутствие деформаций	0,26
Контроль стрелы	–	Отсутствие трещин, коррозии. Допустимое отклонение по оси – не более 1 мм на 1 м длины	1,06
Сборка основного узла	Установка ЦГ1-125-56-1000 и стрелы на портал	Болты затянуть с моментом 25–30 Н·м. Оси пальцев должны быть параллельны с отклонением не более 0,2 мм	20,06
Подготовка рукояти	–	Очистить от загрязнений, проверить отсутствие деформаций	0,26
Контроль рукояти	–	Отсутствие трещин, заусенцев. Люфты в шарнирах не допускаются	1,06

Продолжение таблицы 5

Операция	Детали/инструмент	Технические требования	Время (мин.)
Подготовка крепежа	Пальцы (2 шт.), пластины (2 шт.)	Пальцы должны свободно входить в отверстия без перекоса. Пластины – без деформаций	0,26
Установка рукояти	Монтаж на стрелу	Зазор в шарнирах – не более 0,3 мм. Фиксация пальцев шплинтами	10,06
Подготовка гидроцилиндра в	ЦГ1-110-50-1000 (2 шт.)	Проверить маркировку, отсутствие повреждений штоков и корпусов	0,26
Контроль гидроцилиндра в	ЦГ1-110-50-1000	Ход штока – плавный, без заеданий. Утечки не допускаются	1,06
Подготовка крепежа	Втулки (2 шт.), пальцы (2 шт.), шайбы А0127019 (2 шт.), шплинты 4×35 (2 шт.)	Втулки должны плотно входить в посадочные места. Шплинты – без повреждений	2,06
Сборка гидроцилиндра в управления	Установка ЦГ1-110-50-1000 на стрелу и рукоять	Оси гидроцилиндров должны быть строго параллельны. Момент затяжки крепежа – 20–25 Н·м	30,06
Подготовка гидроцилиндра	ЦГ1-80-30-650	Проверить целостность корпуса и штока, отсутствие утечек	0,26
Контроль гидроцилиндра	ЦГ1-80-30-650	Шток должен выдвигаться/втягиваться без заеданий. Давление испытания – 16 МПа	1,06
Подготовка тяг	Тяги (2 шт.)	Очистить от загрязнений, проверить отсутствие деформаций	0,26
Контроль тяг	–	Отсутствие трещин, коррозии. Люфты в шарнирах не допускаются	1,06
Подготовка тяги	Тяга (2 шт.)	Очистить от загрязнений, проверить отсутствие деформаций и коррозии	0,26
Контроль тяги	-	Отсутствие трещин, допустимый износ шарниров не более 0,5 мм	1,06
Подготовка ковша	Ковш	Проверить целостность режущей кромки, отсутствие деформаций корпуса	0,26
Контроль ковша	-	Зазоры в шарнирных соединениях не более 1 мм, режущая кромка без выкрашивания	1,06
Сборка рабочего органа	Тяги, гидроцилиндр ЦГ1-80-30-650, ковш	Соосность шарниров в пределах 0,3 мм, момент затяжки крепежа 35–40 Н·м	60,06
Испытания	Заполненная гидравлическая система	Проверка хода всех гидроцилиндров под давлением 16 МПа, отсутствие течей	60,06
Устранение замечаний	-	Все выявленные дефекты должны быть устранены, повторный контроль	30,06
Итого:			226,62

Для оптимизации производственного графика выполним расчет суммарной продолжительности всех технологических операций по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots + t_{on_n}, \quad (73)$$

Методика расчета основана на суммировании нормированного времени по всем позициям технологической карты с применением поправочных коэффициентов. Полученные данные позволяют точно планировать производственные мощности и загрузку оборудования.

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{ум}^{общ} = t_{on}^{общ} + t_{on}^{общ} \cdot \left( \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (74)$$

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

$$t_{ум}^{общ} = 144,2 + 144,2 \cdot \left( \frac{3+5}{100} \right) = 155,73 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость равна 155, 73 мин.

#### **4.2 Проектирование технологического процесса сборки навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А**

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 6.

Таблица 6 – Технологический процесс сборки навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
«005	Сборочная	1	Взять портал	Сварочный аппарат, сверлильный станок (для сверления отверстий под крепеж и гидравлические элементы), гидравлический пресс (для запрессовки втулок, подшипников и других деталей), токарный и фрезерный станки (при необходимости изготовления или доработки деталей), подъемно-транспортное оборудование (тельфер, кран-балка, гидравлическая тележка для перемещения тяжелых узлов), стенд для сборки и регулировки (обеспечивает удобный монтаж и проверку работы механизмов), гаечные ключи (рожковые, накидные, торцевые, динамометрические), шестигранники	135
		2	Осмотреть портал на наличие дефектов и общую целостность		
		3	Взять гидроцилиндр ЦГ1-125-56-1000		
		4	Осмотреть гидроцилиндр ЦГ1-125-56-1000 на наличие дефектов и общую целостность		
		5	Взять палец, пластину, втулку, болт М8-8g×40 (4 шт.), шайбу 8 65Г (4 шт.), масленку 13Ц6 (5 шт.)		
		6	Взять стрелу		
		7	Осмотреть стрелу на наличие дефектов и общую целостность		
		8	Установить гидроцилиндр ЦГ1-125-56-1000, стрелу на портал при помощи пальца, пластины, втулки, болта М8-8g×40 (4 шт.), шайбы 8 65Г (4 шт.) и установить масленки 13Ц6 (5 шт.)		
		9	Взять рукоять		
		10	Осмотреть рукоять на наличие дефектов и общую целостность		
		11	Взять палец (2 шт.), пластину (2 шт.)		
		12	Установить рукоять на стреле		
		13	Взять гидроцилиндр ЦГ1-110-50-1000 (2 шт.)» [3].		
		14	Осмотреть гидроцилиндр ЦГ1-110-50-1000 на наличие дефектов и		

Продолжение таблицы 6

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			общую целостность	(имбусовые ключи) для винтов с внутренним шестигранником, молотки (с мягким бойком, кувалда), зубило, напильники, надфили (для подгонки деталей), слесарные тиски (для фиксации деталей при обработке), пассатижи, круглогубцы, кусачки, набор отверток (плоские, крестовые), строительный уровень, угольник, рулетка (для контроля геометрии), кернер, чертилка, штангенциркуль, микрометр, гидравлический домкрат (для подъема и фиксации узлов).	
		«15	Взять втулку (2 шт.), втулку (2 шт.), палец (2 шт.), шайбу А0127019 (2 шт.), шплинт 4×35 (2 шт.)		
		16	Установить гидроцилиндр ЦГ1-110-50-1000 на стрелу и рукоять при помощи втулок, пальцев, шайб, шплинтов		
		17	Взять гидроцилиндр ЦГ1-80-30-650		
		18	Осмотреть гидроцилиндр ЦГ1-80-30-650 на наличие дефектов и общую целостность		
		19	Взять тягу (2 шт.)		
		20	Осмотреть тягу на наличие дефектов и общую целостность		
		21	Взять тягу		
		22	Осмотреть тягу на наличие дефектов и общую целостность		
		23	Взять ковш		
		24	Осмотреть ковш на наличие дефектов и общую целостность		
		25	Соединить тяги, гидроцилиндр ЦГ1-80-30-650 с рукоятью и ковшом		
010	Регулировочная	1	Проверить работоспособность навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А		
		2	Устранить выявленные замечания» [3].		

Дополнительные требования при сборке и испытаниях.

Гидравлические испытания проводить при температуре масла  $40\pm 5^{\circ}\text{C}$ , выдержка под рабочим давлением не менее 5 минут, допустимая утечка – не более 1 капли в 3 минуты.

Механические требования:

- люфты в шарнирах не более 0,8 мм;
- ход всех гидроцилиндров должен быть плавным, без заеданий;
- максимальное отклонение параллельности осей 0,5 мм/м.

Примечания:

- все соединения должны быть затянуты с указанным моментом;
- после сборки провести испытание гидросистемы под рабочим давлением (12–16 МПа) для проверки герметичности;
- подвижные узлы смазать Литолом-24 (ГОСТ 21150-87);
- готовый узел окрасить в цвет по схеме (RAL 6029, защитный слой не менее 80 мкм);
- все операции с гидрооборудованием проводить только после промывки системы;
- перед испытаниями обязательно выполнить 5-7 циклов «холостой» работы для удаления воздуха;
- окончательная приемка осуществляется комиссией в составе механика, энергетика и представителя ОТК.

Выводы по разделу.

В данном разделе проведено обоснование выбранного технологического процесса, рассчитана трудоемкость сборки, а также разработан и визуализирован в графической части ВКР технологический процесс сборки навесного погрузочного оборудования для трактора ЛТЗ-60А.

## 5 Безопасность и экологичность проекта

Автомобилестроение – сложная отрасль с многоэтапным производственным циклом, требующая комплексного подхода к вопросам безопасности.

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

- ежегодно происходит 2,78 миллионов смертей из-за профессиональных заболеваний;
- 374 миллиона несчастных случаев на производстве с потерей трудоспособности;
- экономические потери достигают 3,94% мирового ВВП.

Структура отраслевых рисков:

- травмы при работе с прессами (42% случаев),
- отравления парами красок (23%),
- поражения током (15%),
- падения с высоты (12%).

В таблице 7 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 7 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

Страна	Затраты (% ВВП)	Особенности регулирования
Германия	2,8-3,2%	Система обязательного страхования Berufsgenossenschaften
США	3,1-3,5%	Workers' compensation + судебные иски
Япония	2,6-2,9%	Пожизненные компенсации при профзаболеваниях
Россия	3,5-4,1%	Высокий уровень скрытого травматизма
Бразилия	4,2-4,8%	Неформальный сектор до 35% занятости

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

- Европа: 250000-400000 евро;
- США: 500000-1200000 долларов (с учетом судебных исков);
- Китай: 800000-1500000 йен.

В дипломном проекте необходимо учитывать специфические риски и современные тенденции отрасли.

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

- работа с прессовым оборудованием (риск травматизма),
- сварочные операции (опасность возгораний, поражения током),
- окрасочные работы (взрывоопасность, токсичные испарения),
- конвейерные линии (движущиеся механизмы).

К мерам обеспечения безопасности относятся:

- автоматизация опасных процессов (роботизированная сварка и покраска; автоматические прессы с оптической защитой; конвейеры с датчиками присутствия персонала);
- системы контроля (мониторинг концентрации ЛВЖ в окрасочных цехах; термоконтроль электрооборудования; видеонаблюдение за опасными зонами);
- защита персонала (специальные СИЗ для разных участков (термостойкая одежда для сварщиков, респираторы для маляров); антистатические комплекты для работы с электроникой; системы принудительной вентиляции).

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

- выбросы лакокрасочных материалов,
- сточные воды гальванических производств,
- отходы полимерных материалов,
- шумовое воздействие испытательных стендов.

Таким образом, современное автомобилестроение требует интегрированного подхода к безопасности, сочетающего технические инновации, экологическую ответственность и экономическую эффективность.

В долгосрочной перспективе каждый рубль, вложенный в профилактику профессиональных рисков, приносит предприятию ориентировочно 3-5 рублей совокупной выгоды за счет синергетического эффекта от улучшения всех ключевых показателей деятельности.

## 5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 8).

Таблица 8 – Технологический паспорт процесса обслуживания навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
«Обслуживание навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А	1 Проверить отсутствие посторонних стуков и шумов в конструкции погрузочного оборудования. 2 Проверить состояние ковша на наличие повреждений. 3 Проверить состояние гидравлической системы привода/ 4 Выполнить смазку и регулировку механизмов	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда» [3].	Сварочный аппарат, сверлильный станок, гидравлический пресс, токарный и фрезерный станки, подъемно-транспортное оборудование (тельфер, кран-балка, гидравлическая тележка для перемещения тяжелых узлов), стенд для сборки и регулировки (обеспечивает	Перчатки, ветошь

Продолжение таблицы 8

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
	навесного погрузочного оборудования		удобный монтаж и проверку работы механизмов), гаечные ключи, шестигранники, молотки (с мягким бойком, кувалда), зубило, напильники, надфили (для подгонки деталей), слесарные тиски, пассатижи, круглогубцы, кусачки, набор отверток (плоские, крестовые), строительный уровень, угольник, рулетка, кернер, чертилка, штангенциркуль, микрометр, гидравлический домкрат (для подъема и фиксации узлов)	

Данный документ является обязательным требованием для:

- технически сложных изделий,
- продукции, подлежащей обязательной сертификации,

- оборудования с повышенными требованиями безопасности.

Функциональное назначение технологического паспорта:

- систематизация производственных данных – фиксация ключевых параметров сборки;
- обеспечение контроля качества – регламентация технологических норм и допусков;
- оптимизация технического обслуживания – упрощение диагностики и ремонта;
- повышение безопасности эксплуатации – четкие инструкции по монтажу и обслуживанию

Преимущества оформления паспорта:

- упрощение процедур сертификации и аудита,
- снижение рисков производственного брака,
- повышение прозрачности технологических процессов,
- обеспечение соответствия международным стандартам (ISO, ГОСТ, ТР ТС).

Таким образом, технологический паспорт служит не только формальным требованием, но и практическим инструментом управления качеством на всех этапах жизненного цикла изделия.

## **5.2 Идентификация профессиональных рисков**

Комплексная оценка производственных угроз является ключевым элементом системы охраны труда, направленной на сохранение здоровья персонала и устойчивую работу предприятия.

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

- выявление потенциальных угроз: комплексное обследование рабочих мест на предмет наличия физических факторов (шум, вибрация, излучение), химических агентов (токсичные вещества,

аэрозоли), биологических опасностей (микроорганизмы, аллергены), психофизиологических нагрузок (стресс, монотонность операций), эргономических проблем (неудобные позы, чрезмерные нагрузки);

- количественная и качественная оценка угроз: расчет вероятности возникновения опасных ситуаций; прогнозирование возможного ущерба здоровью сотрудников; ранжирование рисков по степени значимости;
- разработка защитных мер: внедрение многоуровневой системы защиты, включающей технические усовершенствования (модернизация оборудования); организационные изменения (оптимизация рабочих процессов); средства индивидуальной защиты; целевые программы обучения персонала; периодические контрольные проверки;
- динамический контроль и совершенствование: регулярный аудит условий труда; анализ эффективности принятых мер; своевременная корректировка защитных мероприятий.

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

- создании безопасной рабочей среды,
- предупреждении профессиональных заболеваний,
- снижении экономических потерь от несчастных случаев,
- повышении производственной дисциплины,
- обеспечении соответствия требованиям регуляторных органов.

Реализация данного подхода позволяет трансформировать систему охраны труда из формального требования в действенный инструмент повышения эффективности производства.

В представленной таблице 9 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса

обслуживания навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А.

Таблица 9 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
<p>«1 Проверить отсутствие посторонних стуков и шумов в конструкции погрузочного оборудования. 2 Проверить состояние ковша на наличие повреждений. 3 Проверить состояние гидравлической системы привода. 4 Выполнить смазку и регулировку механизмов навесного погрузочного оборудования»</p>	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей трактора, навесного оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум базовой машины
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [12].
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	«Однообразно повторяющиеся технологические операции.
	Напряжение зрительных анализаторов	Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]
	Монотонность труда, вызывающая монотонию» [18].	

Оценка рисков проведена по методике ГОСТ 12.0.230-2007. Таблица позволяет наглядно сопоставить технологические операции с соответствующими рисками и разработать комплекс профилактических мероприятий для минимизации профессиональных заболеваний и травматизма.

### **5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков**

Для эффективного снижения профессиональных рисков применяется комплекс технических, организационных и индивидуальных мер.

Технические решения:

- автоматизация опасных процессов (роботизированные линии),
- установка защитных ограждений и блокировок,
- внедрение систем принудительной вентиляции,
- использование инструментов с антивибрационными свойствами.

Организационные мероприятия:

- оптимизация режимов труда и отдыха,
- введение ротации персонала на вредных участках,
- разработка четких регламентов безопасной работы,
- организация производственного контроля.

Средства индивидуальной защиты:

- специализированные костюмы (термостойкие, химически стойкие),
- антистатические комплекты,
- респираторы с многоуровневой фильтрацией,
- защитные каски с системой вентиляции.

Инженерные разработки:

- системы дистанционного управления,
- датчики контроля опасных факторов,
- аварийные остановы оборудования,
- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

- медицинские осмотры,
- специальная оценка условий труда,
- тренинги по безопасности,
- психологическая поддержка.

Особое внимание уделяется:

- внедрению цифровых систем мониторинга,
- использованию эргономичного инструмента,
- применению экологичных материалов,
- совершенствованию технологических процессов.

Реализация данных мер позволяет:

- снизить уровень травматизма на 40-60%,
- уменьшить профзаболеваемость,
- повысить производительность труда,
- обеспечить соответствие международным стандартам.

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

- анализ показателей травматизма,
- медицинскую статистику,
- результаты специальной оценки условий труда,
- опросы сотрудников.

«Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль» [25].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	<p>Организационно-технические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– инструктажи по охране труда;</li> <li>– содержание технических устройств в надлежащем состоянии</li> </ul>	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля»	<p>Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания.</p> <p>Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией.</p> <p>Санитарно-гигиенические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами;</li> <li>– предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования;</li> <li>– знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015;</li> <li>– обеспечение дистанционного управления оборудованием</li> </ul>	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Повышенный уровень шума»	<p>Мониторинг здоровья работников:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов;</li> <li>– создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха;</li> <li>– включение исследований в программу периодических медосмотров.</li> </ul> <p>Инструктаж по:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правилам эксплуатации СИЗ органов слуха;</li> <li>– технике подбора и применения противошумных устройств;</li> <li>– методам проверки плотности прилегания защитных средств.</li> </ul> <p>Техническая модернизация:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– плановый контроль уровня шума оборудования</li> </ul>	<p>Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].</p>

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны);</li> <li>– приоритетная замена устаревшего шумного оборудования.</li> </ul> <p>Организация рабочего процесса:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– введение регламентированных «тихих пауз»;</li> <li>– создание зон акустической разгрузки;</li> <li>– оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки.</li> </ul> <p>Тренинги по:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– техникам стрессоустойчивости;</li> <li>– методам звуковой релаксации;</li> <li>– профилактике слухового утомления.</li> </ul> <p>Консультации корпоративного психолога</p> <p>Инженерные решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– установка звукопоглощающих панелей;</li> <li>– применение антивибрационных креплений;</li> <li>– модернизация вентиляционных систем;</li> <li>– использование шумоподавляющих материалов</li> </ul>	
«Возможность поражения электрическим током	<p>Образовательные мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электротехнических средств;</li> <li>– организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев</li> </ul> <p>Практическая подготовка</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в</li> </ul>	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала.</li> </ul> <p>Техническая защита:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения.</li> </ul> <p>Профилактический контроль:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внедрение системы планово-предупредительных ремонтов:</li> <li>– ежемесячный осмотр силовых линий,</li> <li>– термографический контроль соединений,</li> <li>– диагностика изоляции электрооборудования,</li> <li>– ведение электронного журнала технического состояния.</li> </ul> <p>Административный надзор:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– реализация трехступенчатой системы контроля,</li> <li>– ежедневный осмотр ответственным лицом,</li> <li>– еженедельная проверка начальником участка,</li> <li>– месячная комиссионная инспекция,</li> <li>– автоматизированная система учета нарушений</li> </ul> <p>Медицинское сопровождение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– углубленные медосмотры для электротехперсонала: проверка нервной системы, контроль сердечно-сосудистых показателей, тесты на скорость реакции</li> </ul>	

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
Отсутствие или недостаток естественного света	<p>Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках).</p> <p>Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)</p>	—
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	<p>Оздоровительно-профилактические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ;</li> <li>– правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащённости средствами комплексной и малой механизации;</li> <li>– используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27].</li> </ul>	—
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> <li>– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлечённости;</li> <li>– внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы;</li> </ul>	—

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– регламентированные перерывы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня;</li> <li>– использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда;</li> <li>– психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса;</li> <li>– оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение).</li> </ul> <p>Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ).</p>	

Данный подход гарантирует не только формальное соблюдение требований охраны труда, но и создание по-настоящему безопасной производственной среды. Все мероприятия должны быть задокументированы и включены в систему управления охраной труда предприятия.

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

План пожарной безопасности – это документ, регламентирующий порядок действий при пожаре, эвакуации людей и материальных ценностей, а также меры по предотвращению возгораний.

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

- ответственных за пожарную безопасность;
- профилактику (проверки оборудования, хранение горючих материалов);
- порядок действий при пожаре: оповещение (сигнализация, вызов МЧС); эвакуация (схемы путей, сборные пункты); тушение (огнетушители, пожарные краны);
- проверки и обновления (регулярные тренировки, корректировка плана).

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 11).

Таблица 11 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

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

Классификация пожарной техники (по ГОСТ Р 53325-2012 и нормам МЧС) включает следующие основные категории:

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);

- пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды);
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях);
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные));
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);
- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

«Выполним классификацию средств пожаротушения, применяемых для данного технического объекта:

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

- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

«Разработка планов действий по пожарной безопасности – обязательная процедура для организаций, зданий и сооружений, регламентированная ФЗ №69 О пожарной безопасности и Правилами противопожарного режима в РФ» [14].

Цели разработки планов:

- предотвращение пожаров (профилактика нарушений);
- обеспечение безопасности людей (эвакуация, первая помощь);
- минимизация ущерба (быстрое тушение, защита имущества);
- соответствие закону (избежание штрафов и приостановки деятельности).

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

План эвакуации при пожаре состоит из графической части (схема путей эвакуации, выходы, места огнетушителей) и текстовой инструкции (действия персонала, вызов МЧС, порядок отключения оборудования).

Обязателен для всех общественных зданий, офисов, школ, больниц и так далее.

Инструкция о мерах пожарной безопасности включает в себя Правила содержания территории, электрооборудования, хранения ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей), порядок проведения огневых работ, ответственных лиц и их обязанности.

План противопожарных мероприятий содержит:

- регулярные проверки (электропроводки, систем сигнализации);
- обучение персонала (инструктажи, тренировки);
- техническое обслуживание средств пожаротушения.

План ликвидации аварийных ситуаций оформляется для опасных объектов (АЗС, склады ГСМ, химические производства). Включает взаимодействие с МЧС, локализацию возгораний, защиту окружающей среды.

Разработка планов состоит из 5 этапов:

- анализ объекта (категория пожарной опасности, особенности здания);
- определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
- разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
- согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
- обучение персонала и проведение тренировок.

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при обслуживании навесного погрузочного оборудования для колесного трактора (таблица 12).

Таблица 12 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании навесного погрузочного оборудования для колесного трактора

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности»	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007»	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования»	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ»	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения»	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей

## Продолжение таблицы 12

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [26]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143-2009, ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [15]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

Контроль горючих отходов: не допускать скопления легковоспламеняющихся материалов, включить регулярную уборку в систему противопожарных мер.

Обучение персонала: четко разъяснять сотрудникам риски, связанные с используемыми материалами и технологическими процессами; вводный инструктаж для новых работников; ознакомить каждого нового сотрудника с разделами плана пожарной безопасности, которые касаются его личной защиты в ЧС.

Техническое обслуживание оборудования: проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания.

### **5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса обслуживания навесного погрузочного оборудования**

Экологическая безопасность – это комплекс мер, направленных на сохранение природных систем и предотвращение их разрушения в результате человеческой деятельности.

Ключевые аспекты:

- защита экосистем от загрязнения, истощения и необратимых изменений;
- рациональное использование ресурсов (воды, почвы, воздуха, биоразнообразия);
- минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду.

Основные направления:

- контроль загрязнений (промышленные выбросы, отходы, химические вещества);
- сохранение биоразнообразия (защита редких видов, восстановление лесов);
- устойчивое развитие (баланс между экономикой и экологией).

Экологическая безопасность – не просто синоним охраны природы, а системный подход к гармоничному взаимодействию человека и окружающей среды.

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при процессе обслуживания навесного погрузочного оборудования колесного трактора ЛТЗ-60А и сводим их в таблицу 13.

Таблица 13 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Обслуживание навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [11].

«Последствия игнорирования негативных факторов

- ухудшение здоровья населения (респираторные, онкологические заболевания).
- деградация экосистем (исчезновение видов, опустынивание).
- экономические потери (ущерб сельскому хозяйству, туризму).
- климатические катастрофы (учащение экстремальных погодных явлений) » [24].

Составляем сводную таблицу 14 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 14 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Мелкодисперсная пыль	Фильтрация: – циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%); – рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%); – электрофильтры – для субмикронной пыли (используют коронный разряд); – мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов).	–
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха. Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров СОЖ на CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м <sup>3</sup> (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м <sup>3</sup> (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: – металлическая стружка и лом; – промасленная ветошь, спецодежда; – твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в печах. Сортировка +захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–

Продолжение таблицы 14

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

Идентификация вредных экологических факторов – первый шаг к разработке стратегий устойчивого развития и снижению антропогенной нагрузки на природу.

Выводы по разделу.

В рамках обеспечения производственной и экологической безопасности проекта выполнены следующие работы:

- составлен технологический паспорт процесса обслуживания навесного погрузочного оборудования для колесного трактора ЛТЗ-60А;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

## 6 Экономическая эффективность проекта

Возможности применения погрузчика существенно расширяются благодаря наличию быстросменных рабочих органов, позволяющих оперативно переориентироваться на выполнение различных видов погрузочно-разгрузочных и строительно-земляных работ.

«Разрабатываемое погрузочное навесное гидравлическое оборудование предназначено для транспортировки, погрузки и выгрузки кормов, органических удобрений в герметичной упаковке, сыпучих грузов, при производстве монтажных и строительных работ, планировка траншей, канав и ям, сгребании погружаемого материала, очистке дорог и легких планировочных работах» [1].

«Годовая эксплуатационная производительность определяется по формуле:

$$B = \Pi_3 \cdot T_2, \quad (74)$$

где  $\Pi_3$  – среднечасовая эксплуатационная производительность, м<sup>3</sup>/ч;

$T_2$  – количество машино-часов работы в году, маш.-ч/год» [9].

«Количество машино-часов работы в году определяется по формуле:

$$T_2 = \frac{T_\phi - 2 \cdot T_{co}}{\frac{1}{t_{cm} \cdot K_{cm}} + D_p + \frac{d_n}{T_{об}}}, \quad (75)$$

где  $T_\phi$  – годовой фонд рабочего времени техники;

$T_{co}$  – продолжительность сезонного обслуживания, принимается равной 1 день;

$t_{cm}$  – продолжительность рабочей смены, принимается равной 7,65 маш.-ч;

$K_{см}$  – коэффициент сменности, , принимается равным 1,56;

$D_p$  – простои во всех видах ремонтов и техобслуживаний, дни/маш.-ч;

$d_n$  – продолжительность одной перебазировки, дни;

$T_{об}$  – время работы на объекте, , принимается равным 400 маш.-ч»

[9].

«Продолжительность одной перебазировки определяется по формуле:

$$d_n = \frac{L_T}{V_{мсп} \cdot t_{см}} + \frac{t_n}{t_{см}}, \quad (76)$$

где  $L_T$  – среднее расстояние перебазировки, принимается равным 25 км;

$V_{мсп}$  – средняя скорость переезда, км/ч;

$t_{см}$  – продолжительность рабочей смены, маш.-ч» [9].

$$d_n = \frac{25}{30 \cdot 7,65} + \frac{0,04}{7,65} = 0,1141 \text{ дня.},$$

«Простои во всех видах технического обслуживания и ремонта определяются по формуле:

$$D_p = \left[ \frac{\sum_i^M (d_{pi} + d_{npi}) \cdot a_i}{T_p} + \frac{t_{отк}}{t_{см} \cdot T_{отк}} \right] \cdot K_q, \quad (77)$$

где  $d_{pi}$  – продолжительность пребывания техники в  $i$ -том ремонте или техническом обслуживании, дни;

$d_{npi}$  – продолжительность ожидания ремонта, доставки в ремонт и обратно, принимается 10 дней для текущего ремонта и 20 дней для капитального ремонта;

$a_i$  – количество  $i$ -тых ремонтов или технических обслуживаний за межремонтный цикл;

$T_p$  – средний ресурс до капитального ремонта, моточас;

$t_{отк}$  – среднее время на устранение одного отказа, маш.-ч;

$t_{см}$  – продолжительность рабочей смены, маш.-ч;

$T_{отк}$  – наработка на отказ, принимается равной 130 моточас;

$K_u$  – коэффициент перевода моточасов в машино-часы, принимается равным 0,44» [9].

«Количество  $i$ -ых ремонтов или технических обслуживаний за межремонтный цикл определяется по формуле:

$$\alpha_i = \frac{H_{\phi} + H_{пл}}{T_n} - K_n, \quad (78)$$

где  $H_{\phi}$  – величина фактической наработки машины на начало планируемого года со времени проведения последнего, аналогичного расчётному, вида технического обслуживания, ремонта или с начала эксплуатации, ч;

$H_{пл}$  – планируемая наработка на расчётный год, ч;

$T_n$  – периодичность выполнения соответствующего вида технического обслуживания или ремонта, по которому ведётся расчёт, ч;

$K_n$  – число всех видов технических обслуживаний и ремонтов с периодичностью, большей периодичности того вида, по которому ведётся расчёт (при расчёте капитального ремонта принимается равным 0)» [9].

Число капитальных ремонтов за межремонтный цикл [9]:

$$\alpha_{кр} = \frac{5375 + 2300}{5760} - 0 = 1.,$$

Число текущих ремонтов:

$$\alpha_{тр} = \frac{625 + 2300}{960} - 1 = 2.,$$

Число ТО-2:

$$\alpha_{ТО-2} = \frac{125 + 2300}{240} - 2 = 8.$$

Число ТО-1:

$$\alpha_{ТО-1} = \frac{25 + 2300}{60} - 8 = 30.$$

«Средний ресурс до капитального ремонта определяется по формуле:

$$T_p = T_{пг} \cdot K_\gamma, \quad (79)$$

где  $T_{пг}$  – гамма-процентный ресурс, мото-ч.;

$K_\gamma$  – коэффициент перевода гамма-процентного в средний ресурс, принимается равным 1,2» [9].

Средний ресурс до капитального ремонта базовой машины:

$$T_p' = 7875 \cdot 1,2 = 9450 \text{ мото.-ч.,}$$

– новой машины:

$$T_p'' = 7975 \cdot 1,2 = 9570 \text{ мото.-ч.},$$

«Среднее время на устранение одного отказа определяется по формуле:

$$t_{отк} = \left(1 - \frac{1}{K_\gamma}\right) T_{отк} \cdot K_{ое}, \quad (80)$$

где  $K_\gamma$  – коэффициент перевода гамма-процентного в средний ресурс;

$T_{отк}$  – наработка на отказ, моточас;

$K_{ое}$  – коэффициент перевода оперативного времени в общее, принимается равным 2,5» [9].

$$t_{отк} = \left(1 - \frac{1}{1,2}\right) \cdot 130 \cdot 2,5 = 54,2 \text{ маш.-ч.},$$

Определим простои во всех видах ремонта и технического обслуживания базовой машины:

$$D_p' = \left( \frac{0,3 \cdot 30 + 0,8 \cdot 8 + (7+10) \cdot 2 + (13+20) \cdot 1}{9450} + \frac{54,2}{7,65 \cdot 130} \right) \cdot 0,44 = 0,02782 \text{ дня.}$$

– новой машины:

$$D_p' = \left( \frac{0,3 \cdot 30 + 0,8 \cdot 8 + (7+10) \cdot 2 + (13+20) \cdot 1}{9570} + \frac{54,2}{7,65 \cdot 130} \right) \cdot 0,44 = 0,02777 \text{ дня.},$$

По формуле определим количество машино-часов работы техники в году для базовой машины:

$$T_2' = \frac{238 - 2 \cdot 1}{\frac{1}{7,65 \cdot 1,56} + 0,02782 + \frac{0,1141}{400}} = 2109 \text{ маш.-ч.},$$

– для новой:

$$T_z'' = \frac{238 - 2 \cdot 1}{\frac{1}{7,65 \cdot 1,56} + 0,02777 + \frac{0,1141}{400}} = 2110 \text{ маш.-ч.},$$

Определение годовых текущих издержек.

«Годовые текущие издержки потребителя при использовании инженерной конструкции определяются по формуле:

$$C_{\Gamma} = (C_a + C_p + C_{кр} + C_{зр} + C_{э} + C_{см} + C_{гм} + C_m + C_{ч} + C_{пб}) \cdot (1 + H_p), \quad (81)$$

где  $C_a$  – амортизационные отчисления на реновацию, р.;

$C_p$  – затраты на выполнение текущих неплановых ремонтов и технических обслуживаний, р.;

$C_{кр}$  – затраты на выполнение капитальных ремонтов, р.;

$C_{зр}$  – заработная плата рабочих управляющих техникой, р.;

$C_{э}$  – затраты энергоносителей, р.;

$C_{гм}$  – затраты на гидравлическую жидкость, р.;

$C_{см}$  – затраты на смазочные материалы, р.;

$C_{пб}$  – затраты на перебазировки, р.;

$H_p$  – норма накладных расходов, связанных с эксплуатацией машин, принимается равной 0,21» [9].

«Амортизационные отчисления на реновацию:

$$C_a = \frac{H_a \cdot K}{100}, \quad (82)$$

где  $H_a$  – норма амортизационных отчислений на реновацию, принимается равной 9,6%.

$$K = C \cdot K'_o, \quad (83)$$

где  $C$  – цена техники, р.;

$K'_o$  – коэффициент перехода от цены к балансовой стоимости, принимается равным 1,09» [9].

«Цена базовой техники определяется по формуле:

$$C' = C_{mp} + C'_{p.o}, \quad (84)$$

где  $C_{mp}$  – цена погрузчика JCB 416S Agri, принимается равной 1600000 р. [12];

$C'_{p.o}$  – цена модернизации погрузчика в соответствии с ВКР, принимается равной 106000 р.» [12]

$$C' = 1600000 + 106000 = 1706000 \text{ р.}$$

«Цена новой техники определяется по формуле:

$$C' = C_{mp} + C''_{p.o} + C_{cy}, \quad (85)$$

где  $C_{mp}$  – цена погрузчика, р.;

$C''_{p.o}$  – цена нового рабочего оборудования, р.;

$C_{cy}$  – цена гидросистемы, принимается равной 60000 р.» [12].

«Цена нового рабочего оборудования определяется по формуле:

$$C''_{p.o} = C''_{p.o} \cdot \frac{m''}{m'}, \quad (86)$$

где  $m''$  – эксплуатационная масса оборудования;

$m'$  – эксплуатационная масса оборудования» [12].

$$C_{p.o}^* = 106000 \cdot \frac{1520}{1400} = 115086 \text{ р.}$$

Цена новой техники будет равна:

$$C'' = 1600000 + 115086 + 60000 = 1775086 \text{ р.}$$

Определим капитальные вложения потребителя, связанные с приобретением (базовой машины), его первоначальной доставкой и монтажом:

$$K' = 1706000 \cdot 1,09 = 1859540 \text{ р.}$$

– модернизированной машины:

$$K'' = 1775086 \cdot 1,09 = 1934844 \text{ р.}$$

Амортизационные отчисления на реновацию базовой машины будут равны [9]:

$$C_a' = \frac{9,6 \cdot 1859540}{100} = 178516 \text{ р.}$$

– новой машины:

$$C_a'' = \frac{9,6 \cdot 1934844}{100} = 185745 \text{ р.}$$

«Затраты на выполнение технических обслуживаний, текущих и  
неплановых ремонтов:

$$C_p = C_{pz} \cdot K_{всн} \cdot K_p \cdot \lambda_p \cdot \left[ T_z \cdot K_u \cdot \left( \frac{\sum_i^m a_i \cdot r_i}{T_p} + \frac{t_{отк} \cdot B_p}{T_{отк}} \right) + 2 \cdot r_{co} \right] + 1,2 \cdot C_{зрч}, \quad (87)$$

где  $C_{pz}$  – средняя тарифная ставка работника по ремонту машин,  
р./чел.-ч;

$K_{всн}$  – единый социальный налог, принимается равным 1,26;

$K_p$  – районный коэффициент, принимается равным 1,15;

$\lambda_p$  – коэффициент, учитывающий премии ремонтным рабочим,  
принимается равным 1,14;

$T_z$  – количество машино-часов работы техники в году, маш.-ч/год;

$K_u$  – коэффициент перевода моточасов в машино-часы;

$a_i$  – количество  $i$ -тых ремонтов или технических обслуживаний за  
межремонтный цикл;

$r_i$  – трудоёмкость выполнения  $i$ -го вида технического  
обслуживания или ремонта, чел.-ч;

$T_p$  – средний ресурс до капитального ремонта, моточас;

$t_{отк}$  – среднее время на устранение одного отказа, маш.-ч;

$B_p$  – количество рабочих, занятых устранением отказа, принимаем  
равным 1 чел;

$T_{отк}$  – наработка на отказ, моточас;

$r_{co}$  – трудоёмкость выполнения сезонного обслуживания, чел.-ч;

$C_{зрч}$  – расход запасных частей на год работы техники, принимаем  
равным 100000 р./год» [9].

Затраты на выполнение технических обслуживаний базовой машины:

$$C'_p = 40 \cdot 1,26 \cdot 1,15 \cdot 1,14 \cdot \left[ 2109 \cdot 0,44 \cdot \left( \frac{30 \cdot 5 + 8 \cdot 15 + 2 \cdot 430 + 1 \cdot 860}{9450} + \frac{54,2 \cdot 1}{130} \right) + 2 \cdot 45 \right] + 1,2 \cdot 100000 = 164421 \text{ р.}$$

– НОВОЙ МАШИНЫ:

$$C'_p = 40 \cdot 1,26 \cdot 1,15 \cdot 1,14 \cdot \left[ 2110 \cdot 0,44 \cdot \left( \frac{30 \cdot 5 + 8 \cdot 15 + 2 \cdot 430 + 1 \cdot 860}{9450} + \frac{54,2 \cdot 1}{130} \right) + 2 \cdot 45 \right] + 1,2 \cdot 100000 = 164278 \text{ р.}$$

«Зарботная плата рабочих управляющих техникой рассчитывается по формуле:

$$C_3 = K_p \cdot K_{всн} \cdot \lambda_p \cdot T_z \cdot \sum_i^{\delta} C_{Ti}, \quad (88)$$

где  $K_p$  – районный коэффициент;

$C_{Ti}$  – часовая тарифная ставка рабочего  $i$ -того разряда управляющего техникой, для оператора 6-го разряда 150 р./ч.» [9].

Зарботная плата рабочих управляющих базовой машиной:

$$C'_3 = 1,15 \cdot 1,26 \cdot 1,14 \cdot 2109 \cdot 50 = 174189 \text{ р.}$$

– НОВОЙ МАШИНЫ:

$$C''_3 = 1,15 \cdot 1,26 \cdot 1,14 \cdot 2110 \cdot 50 = 174271 \text{ р.}$$

«Затраты на топливо для двигателей внутреннего сгорания определяются по формуле:

$$C_{эм} = Ц_m \cdot W_m \cdot T_z, \quad (89)$$

где  $W_m$  – часовой расход топлива, кг/маш.-ч» [9].

«Часовой расход топлива определяется по формуле:

$$W_m = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot N_{ен} \cdot g_{ен} \cdot K_N \cdot K_{дв} \cdot K_{дм}, \quad (90)$$

где  $N_{ен}$  – номинальная мощность двигателя;

$g_{ен}$  – удельный расход топлива при номинальной мощности, принимается равным 170 г/л.с.;

$K_N$  – коэффициент, учитывающий изменение расхода топлива в зависимости от степени использования двигателя по мощности, принимается равным 1,1;

$K_{дв}$  – коэффициент использования двигателя по времени, принимается равным 0,8;

$K_{дм}$  – коэффициент использования двигателя по мощности, принимается равным 0,8» [9].

Часовой расход топлива базовой и новой машин:

$$W_m' = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 118 \cdot 170 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 14,55 \text{ кг/маш.-ч.},$$

$$W_m'' = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 118 \cdot 170 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 12,73 \text{ кг/маш.-ч.}$$

Затраты на топливо базовой и новой машин:

$$C_{эм}' = 21,5 \cdot 14,55 \cdot 2109 = 659748 \text{ р.},$$

$$C_{эм}'' = 21,5 \cdot 12,73 \cdot 2110 = 577496 \text{ р.}$$

«Затраты на смазочные материалы рассчитываются по формуле [9]:

$$C_{см} = K_{см} \cdot C_{эм}, \quad (91)$$

где  $K_{см}$  – коэффициент перехода от годовых затрат на топливо к затратам на смазочные материалы, принимается равным 0,22;

$C_{эм}$  – затраты энергоносителей для двигателей внутреннего сгорания, р» [9].

Затраты на смазочные материалы для базовой и новой машин:

$$C'_{см} = 0,22 \cdot 659748 = 145145 \text{ р.},$$

$$C''_{см} = 0,22 \cdot 577496 = 127049 \text{ р.}$$

«Затраты на гидравлическую жидкость определяются по формуле:

$$C_{зм} = V_z \cdot Q_m \cdot C_{мг} \cdot K_d \cdot \frac{T_z}{T_m}, \quad (92)$$

где  $V$  – ёмкость гидросистемы 80 дм<sup>3</sup> для базовой машины и 83 дм<sup>3</sup> для новой машины;

$Q_m$  – объёмная масса гидравлической жидкости, принимается равной 0,865 кг/дм<sup>3</sup>;

$C_{мг}$  – оптовая цена гидравлической жидкости, принимается равной 36 руб./кг;

$K_d$  – коэффициент доливок, принимается равной 1,5;

$T_m$  – периодичность замены гидравлической жидкости, принимается равной 1000 маш.-ч.» [12].

Затраты на гидравлическую жидкость базовой и новой машин:

$$C'_{зм} = 80 \cdot 0,865 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot \frac{2109}{1000} = 7881 \text{ р.},$$

$$C_{зм}'' = 80 \cdot 0,865 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot \frac{2110}{1000} = 8180 \text{ р.}$$

Калькуляция годовых текущих издержек представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Калькуляция годовых текущих издержек

Статьи затрат	Условное обозначение	Значения показателей, руб.		Структура себестоимости, %	
		Базовая техника	Новая техника	Базовая техника	Новая техника
Амортизационные отчисления на реновацию, тыс.р.	$C_a$	179	186	20,26	21,92
Затраты на выполнение технических обслуживаний и ремонтов, р.	$C_p$	164421	164278	8,59	9,12
Заработная плата рабочих управляющих техникой	$C_z$	174189	174271	9,10	9,67
Затраты на топливо, р./год	$C_{эм}$	659748	577496	34,47	32,05
Затраты на смазочные материалы, р./год	$C_{см}$	145145	127049	7,58	7,05
Затраты на гидравлическую жидкость, р./год	$C_{зм}$	7881	8180	0,41	0,45

«Экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = C_2' - C_2'' \quad (93)$$

где  $C_2'$  – общая сумма годовых текущих издержек потребителя от использования базовой машины, р.;

$C_2''$  – общая сумма годовых текущих издержек потребителя от использования новой машины, р» [9].

$$\mathcal{E}_2 = 1913805 - 1801747 = 112058 \text{ р.}$$

Результаты расчётов по определению экономической эффективности приводятся в таблице 15.

Таблица 15 – Экономический эффект

Наименование показателей	Условное обозначение	Единицы измерения	Значения показателей, руб.	
			Базовая техника	Новая техника
Капитальные затраты	$K$	р.	1859540	1934844
Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_2$	р.	–	112058

Срок окупаемости составит 1 год.

Экономический расчёт показал целесообразность разработки новой конструкции навесного гидравлического оборудования для сельскохозяйственного погрузчика.

Анализ результатов выявил следующие ключевые моменты:

- дополнительные капиталовложения составляют относительно небольшую сумму (75304 рубля), что несущественно влияет на общие затраты предприятия.
- ожидаемый годовой экономический эффект достигает 112058 рублей, что значительно превышает величину первоначальных вложений.
- срок окупаемости проекта составляет всего один год, что свидетельствует о высокой эффективности предложенной инновационной технологии.

Таким образом, предлагаемое техническое решение экономически оправдано и способно обеспечить повышение производительности труда, снижение издержек производства и увеличение конкурентоспособности сельскохозяйственной техники отечественного производства. Внедрение данной разработки позволит сельхозпредприятиям сократить эксплуатационные расходы и повысить рентабельность своей деятельности.

## Заключение

Долговечность и производительность сельскохозяйственных машин обеспечиваются комплексом мер, включая правильную эксплуатацию и техническое обслуживание.

В выпускной квалификационной работе представлена конструкция многофункционального погрузчика для сельскохозяйственной техники, отличающаяся рядом инновационных решений.

Ключевые особенности конструкции:

- быстросъемное устройство упрощает установку и снятие навесного оборудования, благодаря чему трактор легко адаптируется как для обработки полей, так и для погрузочно-разгрузочных работ без дополнительной модификации конструкции. Такая универсальность позволяет эксплуатировать технику круглый год, включая использование в транспортных целях без демонтажа манипулятора. Все операции выполняются единственным оператором.
- производительный гидравлический манипулятор с набором сменных рабочих органов существенно увеличивает функциональность машины — от загрузки/разгрузки различных видов кормов (силоса, соломы), перевозки рулонов (сена, прессованных тюков), транспортировки насыпных, поштучных и упакованных грузов до строительных и земляных работ (копание траншей, выравнивания участков, очистки территории).
- двухчелюстной ковш с острыми кромками гарантирует эффективное проникновение в материалы (например, зерновые смеси) и надежное удерживание груза во время перемещения.
- система стабилизации предотвращает просыпание перевозимого материала, увеличивая эффективность процесса.
- шарнирная конструкция рамы уменьшает радиус разворота, обеспечивая высокую маневренность даже в стеснённых условиях.

Представленная конструкция сельскохозяйственного погрузчика демонстрирует удачное сочетание функциональности, надежности и универсальности, что позволяет эффективно решать широкий спектр задач.

Основные преимущества разработки:

- многофункциональность – возможность выполнения погрузочно-разгрузочных, землеройных и транспортных операций с различными типами грузов;
- простота эксплуатации – быстросъемный механизм и интуитивное управление сокращают время на переналадку и повышают удобство работы;
- экономическая эффективность – универсальность конструкции снижает потребность в дополнительной технике, а продуманная гидравлика и прочность узлов минимизируют эксплуатационные затраты;
- адаптивность к условиям работы – компактность и маневренность позволяют использовать погрузчик как в открытых полевых условиях, так и в стесненных пространствах ферм и складов.

Разработанное решение обладает значительным потенциалом для применения не только в сельском хозяйстве, но и в коммунальной сфере, строительстве и логистике.

Его внедрение позволит:

- повысить производительность труда,
- сократить затраты на техническое оснащение,
- оптимизировать процессы погрузки и транспортировки.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белоусов Б. Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 (М.: Типография «Наука»). 727 с.
2. Беляев В. П. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст]: учебное пособие для самостоятельной работы студентов: для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение»/ В. П. Беляев; М-во образования и науки РФ, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Автомобили». Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. 74 с.
3. Вахламов В. А. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (Автомобильный транспорт)» направления подготовки «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» / В. К. Вахламов. - 2-е изд., стер. Москва. 2009. 556 с.
4. Гаврилов М. С. Программы расчета элементов деталей машин / в помощь конструктору [Текст]/ М. С. Гаврилов. Москва: Спутник, 2015. 118 с.
5. Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.
6. Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. 22 с.
7. Гребнев В. П. Тракторы и автомобили [Электронный ресурс]: теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин; под общ. О. И. Поливаева. 2-е изд., стер. Москва: КНОРУС, 2015. 260 с.
8. Губарев А. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие: для студентов вузов,

обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства»/ А. В. Губарев, А. Г. Уланов; М-во образования и науки РФ, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Колесные, гусеничные машины и автомобили». - Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. 564 с.

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

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

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

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

13. Кротов С. В. Расчеты на прочность и жесткость элементов конструкций и сооружений с применением ANSYS: учебное пособие / С. В. Кротов; Росжелдор, ФГБОУ ВО РГУПС. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. 95 с.

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

15. Митрохин Н. Н. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств: учебник: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Машиностроение» / Н. Н. Митрохин, А. П. Павлов. Москва: ИНФРА-М, 2020. 262 с.

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

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

18. Перегудов Н. Е. Основы создания трехмерных моделей деталей и сборочных единиц автотракторной техники: учебное пособие/ Н.Е. Перегудов; Министерство науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет». Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2021. 112 с.

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

20. Уханов А. П. Конструкция и основы теории транспортных машин [Текст]: учебное пособие/ А. П. Уханов, Д. А. Уханов, М. В. Рыблов ; М-во сельского хозяйства Российской Федерации, ПГСХА. Пенза, 2015. 226 с.

21. Янкин, Ю. С. Экономика автомобильного транспорта : рабочая программа, методические указания и задание на курсовую работу для студентов специальности 150200 - Автомобили и автомобильное хозяйство / Янкин Юрий Сергеевич ; Министерство образования Российской Федерации, Московский государственный открытый университет, Кафедра автомобильного хозяйства и двигателей. - Москва : МГОУ, 2001. - 52 с.

22. Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. - Москва : Издательство АСВ, 2011. - 368 с.

23. Arnold, M. Simulation Algorithms in Vehicle System Dynamics / M. Arnold // Technical Report 27. - Martin-Luther-University Halle, Department of Mathematics and Computer Science, 2004. - 27 p.

24. Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, - Raleigh, 1998. -209 p.

25. Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. - Linkoping, 1997.- 150 p.

26. Puhs, Allen E., Hybrid vehicles CRC Press, London NewYork 2009. - 505 p.

27. Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. - Vol. 7 (109). - P. 64 - 70.



Продолжение Приложения А

Формат Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание	
						Перв. примен.
			<u>Документация</u>			
A4		25.ДП.01.116.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1		
A1		25.ДП.01.116.61.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1		
			<u>Сборочные единицы</u>			
	1	25.ДП.01.116.61.01.000	Челюсть подвижная	1		
	2	25.ДП.01.116.61.02.000	Челюсть стационарная	1		
			<u>Детали</u>			
A3						
A3	3	25.ДП.01.116.61.00.003	Зуб	9		
	4	25.ДП.01.116.61.00.004	Палец	1		
A3	5	25.ДП.01.116.61.00.005	Втулка	1		
	6	25.ДП.01.116.61.00.006	Нож	9		
A3	7	25.ДП.01.116.61.00.007	Втулка	2		
	8	25.ДП.01.116.61.00.008	Втулка	2		
	9	25.ДП.01.116.61.00.009	Палец	1		
	10	25.ДП.01.116.61.00.010	Втулка	2		
	11	25.ДП.01.116.61.00.011	Палец	1		
			<u>Стандартные изделия</u>			
	12		Гидроцилиндр 116.0.У-50х22х400 ГОСТ 22-1417-79	2		
	13		Шплинт ГОСТ 1468-76	1		
	14		Шплинт ГОСТ 1468-76	2		
		<b>25.ДП.01.116.61.00.000</b>				
Изм. Лист		№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Русачков Н.С.				
Проб.		Угарова Л.А.				
Т.контр.						
Н.контр.		Угарова Л.А.				
Утв.		Бабровский А.В.				
Инв. № подл.			Лит.		Лист	Листов
					Д	1
Погрузочное навесное гидравлическое оборудование			ТГУ, АТс-2001а			
Копировал			Формат А4			

Рисунок А.2 – Спецификация на погрузочное навесное оборудование