

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 Гусеничный трактор Т-180. Модернизация отвала  
бульдозерного оборудования

Обучающийся

И.Э. Зинуров  
(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: «Гусеничный трактор Т-180. Модернизация отвала бульдозерного оборудования».

Цель работы: разработка и обоснование модернизации отвала бульдозерного оборудования гусеничного трактора Т-180 с целью повышения его производительности, надежности и эффективности при выполнении землеройных работ.

Задачи исследования:

- провести анализ существующих конструкций отвалов бульдозерного оборудования и выявить их недостатки;
- исследовать эксплуатационные характеристики гусеничного трактора Т-180 и определить требования к модернизации отвала;
- разработать конструктивные решения для модернизации отвала, обеспечивающие улучшение его технических и эксплуатационных параметров;
- выполнить расчеты на прочность и устойчивость модернизированного отвала;
- оценить экономическую эффективность предложенных решений.

Объект исследования: бульдозерное оборудование гусеничного трактора Т-180, в частности, конструкция и эксплуатационные характеристики отвала.

Методы исследования:

- анализ научно-технической литературы и патентных исследований;
- компьютерное моделирование и расчеты с использованием программных средств (например, САД-систем);
- экспериментальные методы оценки прочности и устойчивости конструкции;
- экономический анализ для оценки эффективности модернизации.

Основные результаты:

- разработана модернизированная конструкция отвала бульдозерного оборудования, обеспечивающая повышение производительности и снижение износа;
- проведены расчеты, подтверждающие улучшение прочностных характеристик и устойчивости отвала;
- доказана экономическая целесообразность внедрения предложенных решений.

Проект представляет практическую ценность для предприятий, эксплуатирующих гусеничные тракторы Т-180, и может быть использован для улучшения эффективности землеройных работ.

Структура работы включает введение, шесть разделов основного содержания, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложение.

В первом разделе приведен анализ современных направлений совершенствования бульдозерного оборудования, рассмотрена классификация рабочих органов землеройных машин, изучены общие сведения о тракторе Т-180.

Во втором разделе построена тягово-энергетическая характеристика трактора Т-180. Методика построения основана на стандартных испытательных процедурах с учетом особенностей трансмиссии и двигателя конкретной модели. Полученные характеристики позволяют оценить потенциальную производительность машины в различных эксплуатационных условиях.

В третьем разделе разработана усовершенствованная конструкция отвала, включающая в себя профилированный отвал с оптимизированной геометрией, усиленные боковые ограничители нового типа, интегрированную систему накопления грунта. Проведен расчет бульдозера на устойчивость, определены нагрузки на оборудование бульдозера,

рассчитаны параметры гидродвигателей, на основании чего выбрана гидросхема.

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.

Пояснительная записка на 106 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

.

## **Abstract**

The title of the graduation work is: «The T-180 crawler tractor. Modernization of bulldozer equipment blade».

The aim of the project is to improve the efficiency and durability of the T-180 crawler tractor's bulldozer equipment by developing an upgraded blade design, optimizing its geometry and structural elements for enhanced performance in earthmoving operations.

In the first part of the graduation project, current trends and development prospects of bulldozer working tools are analyzed, including classification of earthmoving machine implements and technical specifications of the T-180 tractor.

In the second part, traction and dynamic calculations of the tractor are performed to evaluate its performance capabilities under various operating conditions.

The third section presents the design development of an improved bulldozer attachment with increased soil accumulation capacity for the T-180, including structural calculations and strength analysis of the working equipment.

The fourth section covers technological aspects of the modernization, including selection of optimal assembly methods and development of manufacturing processes for the new bulldozer attachment.

The special part of the graduation work gives details about the safety and environmental friendliness of the project.

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

This research contributes to the advancement of earthmoving equipment technology, offering practical solutions to enhance productivity and operational efficiency of crawler tractors in construction and mining applications..

## Содержание

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                                                                                                                    | 7   |
| 1 Состояние вопроса .....                                                                                                                        | 10  |
| 1.1 Основные тенденции и перспективы развития рабочих органов<br>бульдозеров.....                                                                | 10  |
| 1.2 Классификация рабочих органов землеройных машин .....                                                                                        | 13  |
| 1.3 Общие сведения о тракторе Т-180.....                                                                                                         | 15  |
| 2 Тягово-динамический расчет трактора.....                                                                                                       | 20  |
| 3 Конструкторская часть .....                                                                                                                    | 31  |
| 3.1 Описание бульдозера повышенной накопительной способности Т-180                                                                               | 31  |
| 3.2 Основной расчет бульдозера.....                                                                                                              | 34  |
| 4 Технологический раздел.....                                                                                                                    | 57  |
| 4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки .....                                                                                       | 58  |
| 4.2 Проектирование технологического процесса сборки рабочего навесного<br>оборудования для трактора .....                                        | 63  |
| 5 Безопасность и экологичность проекта .....                                                                                                     | 68  |
| 5.1 Структурно-функциональный анализ .....                                                                                                       | 70  |
| 5.2 Идентификация профессиональных рисков.....                                                                                                   | 72  |
| 5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....                                                                                      | 75  |
| 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....                                                                                 | 82  |
| 5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого<br>технологического процесса обслуживания отвала бульдозерного<br>оборудования ..... | 87  |
| 6 Экономическая эффективность проекта.....                                                                                                       | 90  |
| Заключение .....                                                                                                                                 | 99  |
| Список используемой литературы и используемых источников.....                                                                                    | 100 |
| Приложение А. Спецификация.....                                                                                                                  | 104 |

## Введение

Современное хозяйство, включая строительство, сельское хозяйство, дорожное строительство и горнодобывающую промышленность, невозможно представить без использования специализированной техники. Машины для земляных работ играют ключевую роль в этих отраслях, обеспечивая эффективное выполнение задач, связанных с разработкой, перемещением, уплотнением и планировкой грунта. Их применение позволяет значительно ускорить процессы, снизить затраты и повысить качество работ.

«Машины для земляных работ выполняют широкий спектр задач, среди которых:

- разработка грунта: срезание, рытье и выемка грунта для создания котлованов, траншей, каналов и других сооружений;
- перемещение грунта: транспортировка сыпучих материалов на строительных площадках;
- уплотнение грунта: создание устойчивого основания для строительства дорог, зданий и других объектов;
- планировка и выравнивание: подготовка площадок для строительства или сельскохозяйственных работ;
- разрушение твердых пород: работы в условиях сложного грунта или при демонтаже старых конструкций» [3].

В строительной отрасли машины для земляных работ используются на всех этапах: от подготовки площадки до завершения объекта. Бульдозеры и экскаваторы необходимы для рытья котлованов под фундаменты, скреперы и грейдеры – для выравнивания территории, а катки – для уплотнения грунта. Без этой техники строительство крупных объектов, таких как жилые комплексы, промышленные здания или мосты, было бы крайне затруднено.

Строительство дорог требует высокой точности и качества работ. Грейдеры и автогрейдеры используются для создания ровного дорожного полотна, а катки – для уплотнения асфальта. Траншеекопатели применяются

для прокладки коммуникаций под дорогами. Благодаря этим машинам дорожное строительство стало более быстрым и эффективным.

В сельском хозяйстве машины для земляных работ используются для создания оросительных каналов, планировки полей, строительства водоемов и других задач. Например, бульдозеры и экскаваторы помогают в подготовке земель для посадки культур, а скреперы – в перемещении грунта для создания насыпей или террас.

«В горнодобывающей отрасли машины для земляных работ незаменимы для разработки карьеров, перемещения породы и создания отвалов. Экскаваторы, бульдозеры и самосвалы используются для добычи полезных ископаемых открытым способом, что делает процесс более экономичным и безопасным» [2].

При строительстве плотин, каналов и других гидротехнических сооружений машины для земляных работ выполняют ключевые функции. Земснаряды и насосные установки используются для разработки грунта под водой, а бульдозеры и экскаваторы – для создания насыпей и укрепления берегов.

С развитием технологий машины для земляных работ становятся более совершенными.

Среди современных тенденций можно выделить:

- автоматизация и роботизация – внедрение систем автоматического управления и дистанционного контроля;
- экологичность – использование гибридных и электрических двигателей для снижения выбросов вредных веществ;
- интеллектуальные системы – применение GPS и датчиков для повышения точности работ;
- модульность – возможность быстрой замены навесного оборудования для выполнения различных задач.

Использование специализированной техники не только ускоряет процессы, но и способствует экономическому росту, повышая



конкурентоспособность предприятий и улучшая качество жизни людей. В условиях растущих требований к инфраструктуре и ресурсам, роль машин для земляных работ будет только возрастать.

Бульдозеры общего назначения – это универсальные строительные машины, предназначенные для выполнения широкого спектра земляных работ. Они широко применяются в строительстве, дорожных работах, горной промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях благодаря своей надежности, мощности и способности работать в сложных условиях.

Гусеничные тракторы, такие как Т-180, широко применяются в строительной, дорожной и сельскохозяйственной отраслях благодаря своей высокой проходимости, мощности и универсальности. Одним из ключевых элементов бульдозерного оборудования является отвал, который непосредственно участвует в выполнении землеройных работ.

Однако, несмотря на надежность и проверенную временем конструкцию, отвалы бульдозерного оборудования трактора Т-180 имеют ряд недостатков, связанных с износостойкостью, эффективностью работы и адаптацией к современным условиям эксплуатации.

Выбор темы дипломного проекта продиктован острой потребностью повышения эффективности и долговечности бульдозерной техники, эксплуатируемой в тяжелых и интенсивных условиях, что обусловлено стремлением снизить операционные издержки предприятий и сократить сроки выполнения строительных и земляных работ.

Модернизация отвала позволит не только улучшить технические характеристики трактора, но и снизить затраты на обслуживание и ремонт, что особенно важно для предприятий, стремящихся к оптимизации своих ресурсов.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Основные тенденции и перспективы развития рабочих органов бульдозеров**

Бульдозеры, как одна из ключевых машин для земляных работ, постоянно совершенствуются, чтобы соответствовать растущим требованиям к производительности, эффективности и экологичности.

Основное внимание при модернизации уделяется рабочим органам, поскольку именно они непосредственно взаимодействуют с грунтом и определяют эффективность выполнения задач.

Рассмотрим основные тенденции и перспективы развития рабочих органов бульдозеров.

Современные бульдозеры все чаще оснащаются модульными рабочими органами, которые можно быстро менять в зависимости от типа выполняемых работ. Например:

- сменные отвалы – прямые, сферические, полусферические, угловые;
- дополнительное оборудование – рыхлители, откосники, уширители, кирковщики.

Такая универсальность позволяет использовать один бульдозер для выполнения различных задач, что снижает затраты на приобретение дополнительной техники.

Для повышения эффективности работы с грунтом разрабатываются новые формы и конструкции отвалов:

- оптимизированная геометрия – улучшенные углы резания и наклона отвала для снижения сопротивления грунта;
- использование высокопрочных материалов – износостойкие стали и композиты, которые увеличивают срок службы рабочих органов;

- самозатачивающиеся кромки – снижают необходимость частой замены или ремонта.

Современные бульдозеры оснащаются системами автоматизации и контроля, которые оптимизируют работу отвалов:

- автоматическое управление – системы, которые регулируют положение отвала в зависимости от типа грунта и условий работы;
- GPS-навигация – для точного выполнения планировочных работ;
- датчики нагрузки – позволяют контролировать усилие на отвале и предотвращать перегрузки.

Снижение энергозатрат и воздействия на окружающую среду – одна из ключевых тенденций:

- оптимизация формы отвала – для снижения сопротивления грунта и уменьшения расхода топлива;
- использование легких материалов – снижение веса рабочего органа без потери прочности;
- электрические и гибридные приводы – переход на экологически чистые источники энергии.

Рабочие органы бульдозеров совершенствуются для работы в экстремальных условиях:

- морозостойкие материалы – для работы в условиях низких температур;
- усиленные конструкции – для разработки твердых и каменистых грунтов;
- гидроизоляция и защита от коррозии – для работы в условиях высокой влажности или агрессивных сред.

В ближайшем будущем можно ожидать появления новых технологий, которые изменят подход к проектированию рабочих органов:

- роботизированные системы – полностью автономные бульдозеры с интеллектуальными рабочими органами;

- бионические конструкции – отвалы, имитирующие природные формы для повышения эффективности;
- 3D-печать – использование аддитивных технологий для создания легких и прочных конструкций.

«Общие тенденции развития бульдозерного оборудования представлены на рисунке 1, отражающие развитие не только рабочих органов отвального типа, но и устройств позволяющих изменять положение отвала тем самым, меняя способ копания грунта. Центральная ось этой схемы (позиции 1-3) иллюстрирует общее развитие рабочего органа бульдозера, а боковые ее ответвления показывают частные направления развития позиций основной оси» [11].

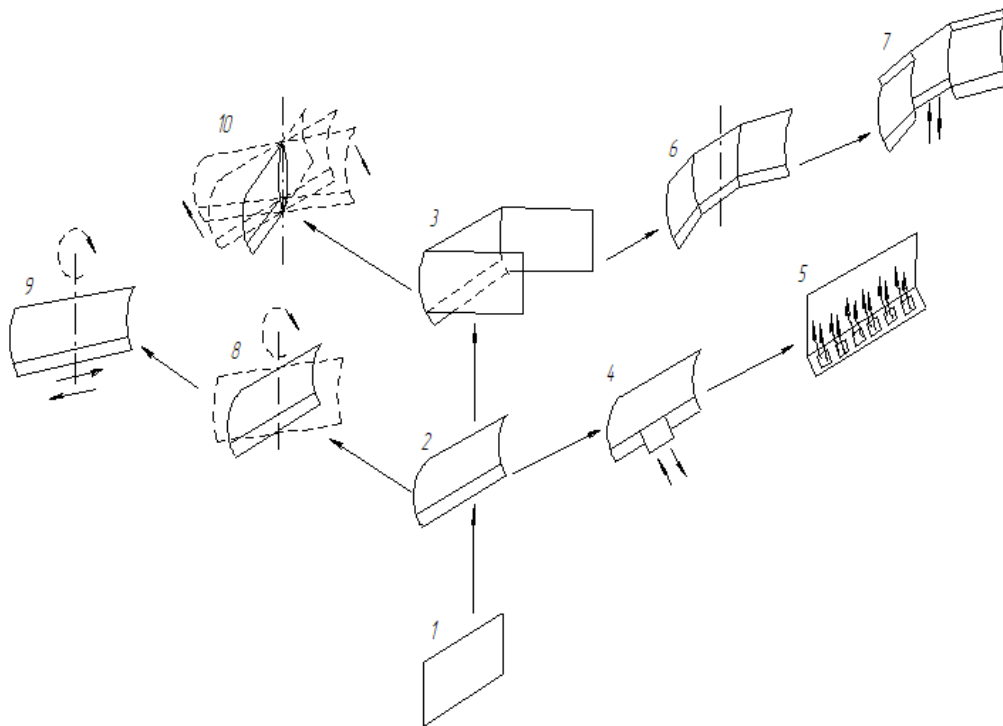


Рисунок 1 – Схема развития рабочих органов землеройных машин

«На 1 позиции представлен элементарный рабочий орган землеройной машин – отвал, имевший плоский вид, позиция 2 – отвал современной формы, то есть с криволинейным профилем рабочей поверхности, созданный с учетом влияния подъема стружки грунта по отвалу на общее сопротивление

копанию. Позиция 3 - отвал со щеками, которые способствуют уменьшению потерь грунта из призмы волочения. Данная конструкция послужила прототипом при создании скреперных ковшей.

Развитие лобовых отвалов с боковыми щеками (исходная позиция 3) в одном из ответвлений характеризуется созданием более эффективных совковых отвалов с косо установленными крайними секциями (позиция 6) и их дальнейшим совершенствованием» [3].

## **1.2 Классификация рабочих органов землеройных машин**

Рабочие органы землеройных машин являются ключевыми элементами, определяющими их функциональное назначение и эффективность выполнения задач. Они классифицируются по различным признакам, включая тип выполняемых работ, конструктивные особенности и принцип действия.

Ниже приведена основная классификация рабочих органов землеройных машин [5]:

По типу выполняемых работ:

- землеройные рабочие органы используются для разработки грунта, его перемещения и укладки (ковши экскаваторов, отвалы бульдозеров, ножи грейдеров);
- рыхлительные рабочие органы предназначены для разрушения плотных и мерзлых грунтов (зубья рыхлителей, фрезы);
- планировочные рабочие органы: используются для выравнивания поверхностей (отвалы грейдеров, планировочные ножи);
- транспортирующие рабочие органы предназначены для перемещения грунта или других материалов (ленточные конвейеры, скребковые элеваторы).

По конструктивным особенностям:

- ковши: используются в экскаваторах, погрузчиках и драглайнах. Могут быть различной формы и объема в зависимости от типа грунта и задач;
- отвалы: применяются в бульдозерах и грейдерах. Могут быть прямыми, поворотными или универсальными;
- ножи: используются в грейдерах и автогрейдерах для срезания и перемещения грунта.
- зубья: устанавливаются на рыхлители для разрушения твердых грунтов.
- фрезы: применяются в фрезерных машинах для послойной разработки грунта.

По принципу действия:

- механические рабочие органы работают за счет механического воздействия на грунт (ковши, отвалы, ножи);
- гидравлические рабочие органы используют гидравлическую энергию для выполнения работ (гидромолоты, гидроножи);
- пневматические рабочие органы применяют сжатый воздух для разрушения грунта (пневмопробойники).

По типу привода:

- рабочие органы с механическим приводом: приводятся в действие с помощью механических передач (шестерни, цепи);
- рабочие органы с гидравлическим приводом: используют гидравлические цилиндры и насосы;
- рабочие органы с электрическим приводом: применяются в специализированных машинах с электродвигателями.

По специализации:

- универсальные рабочие органы: могут выполнять несколько функций (например, ковш экскаватора с функцией рыхления);

- специализированные рабочие органы: Предназначены для выполнения конкретных задач (например, фрезы для асфальта).

По способу крепления:

- съемные рабочие органы: могут заменяться в зависимости от задач (например, смена ковша экскаватора);
- стационарные рабочие органы: жестко закреплены на машине и не подлежат замене.

«Случайные процессы изменения нагрузок, воздействующих на рабочие органы землеройных машин, можно классифицировать по нескольким ключевым признакам: по стационарности (стационарные и нестационарные), эргодичности (эргодические и неэргодические), типу распределения мгновенных значений исследуемого параметра, а также по дифференцируемости (дифференцируемые и недифференцируемые).

Такая классификация открывает возможность применения основных статистических характеристик и свойств однотипных случайных процессов нагружения. Это позволяет проводить анализ и оценку не только отдельных рабочих органов землеройных машин, но и целых групп органов, работающих в схожих условиях нагружения» [4].

### **1.3 Общие сведения о тракторе Т-180**

Гусеничный трактор Т-180 (рисунок 2) является одной из наиболее известных моделей тяжелой техники, разработанной для выполнения землеройных, строительных и транспортных работ в сложных условиях.

Трактор был создан в середине XX века и быстро завоевал популярность благодаря своей надежности, высокой мощности и универсальности.



Рисунок 2 – Гусеничный трактор Т-180

Несмотря на свой солидный возраст, трактор Т-180 до сих пор остается востребованным в сельском хозяйстве благодаря своей надежности, высокой мощности и способности работать в сложных условиях. Его гусеничная ходовая часть обеспечивает отличную проходимость на мягких и заболоченных почвах, что особенно важно при выполнении сельскохозяйственных задач, таких как вспашка, планировка полей или транспортировка грузов.

Кроме того, трактор Т-180 обладает высокой ремонтопригодностью, что делает его экономически выгодным для небольших хозяйств и фермерских предприятий. Его универсальность позволяет использовать различное навесное оборудование, включая плуги, бороны и отвалы, что расширяет спектр выполняемых работ.

Несмотря на появление более современных моделей, Т-180 продолжает демонстрировать свою эффективность, особенно в условиях ограниченного бюджета или при работе на труднодоступных участках. Это подтверждает, что даже техника прошлых лет может оставаться актуальной при правильной эксплуатации и своевременном обслуживании [7, 8].



Трактор Т-180 обладает следующими основными техническими характеристиками [8]:

- двигатель: дизельный, мощностью 180 л.с, что обеспечивает высокую тяговую силу;
- масса: около 16 тонн, что способствует устойчивости и эффективности при работе с тяжелыми грунтами;
- габариты: длина – 5,2 м, ширина – 2,4 м, высота – 3,1 м;
- тип ходовой системы: гусеничный, с широкими гусеницами для снижения удельного давления на грунт\$
- скорость движения: до 10 км/ч, что оптимально для землеройных работ.

Эксплуатационные возможности трактора включают:

- высокую производительность при разработке грунта;
- возможность работы на сложных рельефах и в условиях повышенной влажности;
- универсальность, позволяющую использовать различные навесные оборудование, включая бульдозерные отвалы, рыхлители и толкатели.

Бульдозерное оборудование трактора Т-180 включает отвал, который является основным рабочим органом для выполнения землеройных работ. Отвал представляет собой металлическую конструкцию, закрепленную на раме трактора с помощью гидравлической системы. Основные характеристики отвала:

- форма: прямая или полусферическая, в зависимости от типа работ;
- размеры: ширина – до 3,5 м, высота – до 1,2 м;
- материал: высокопрочная сталь, устойчивая к износу и механическим повреждениям;
- крепление: с использованием гидроцилиндров, позволяющих регулировать угол наклона и положение отвала.

Отвал выполняет функции срезания, перемещения и планировки грунта. Его конструкция обеспечивает высокую эффективность при работе с различными типами грунтов, включая песок, глину и скальные породы.

«Существующая конструкция отвала трактора Т-180 имеет ряд преимуществ» [11]:

- простота конструкции: обеспечивает легкость в обслуживании и ремонте;
- надежность: устойчивость к нагрузкам и долговечность;
- универсальность: возможность выполнения широкого спектра землеройных работ.

Однако выявлены и недостатки:

- потери грунта: часть грунта теряется через боковые валики, что снижает эффективность работы.
- ограниченная производительность: при работе с легкими и сыпучими грунтами.
- необходимость частого обслуживания: из-за износа кромок отвала и гидравлической системы.

«Целью исследования является научное обоснование оптимальных геометрических и конструктивных параметров рабочего инструмента бульдозера, а также разработка модернизированного отвала, снабжённого специальными ограничительными устройствами. Такая модификация позволяет формировать наибольшую возможную призму волочения грунта и эффективно предотвращает утечку материала через боковые грани. Итогом проведенных исследований станет значительное увеличение производительности традиционных моделей техники, оснащённой подобными конструкционными элементами» [11].

«Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ научных исследований, посвященных модернизации рабочих органов бульдозеров;

- изучить условия и особенности взаимодействия рабочего органа с окружающей средой;
- выполнить сравнительный анализ существующих конструкций отвалов;
- оценить влияние параметров отвала на эффективность разработки грунта;
- обосновать выбор оптимальных параметров отвала;
- определить оптимальное расположение и способ крепления гидроцилиндров» [5].

Выводы по разделу.

Современные научные исследования в области модернизации бульдозерного оборудования направлены на повышение эффективности, снижение энергозатрат и улучшение эксплуатационных характеристик рабочих органов. Основные направления исследований включают:

- разработку новых форм отвалов для минимизации потерь грунта;
- использование композитных материалов для повышения износостойкости;
- внедрение систем автоматического управления для оптимизации угла наклона и положения отвала;
- исследование влияния геометрических параметров отвала на производительность и энергопотребление.

Ученые и инженеры активно изучают возможности применения компьютерного моделирования и методов конечных элементов для проектирования более эффективных конструкций. Это позволяет учитывать сложные взаимодействия отвала с грунтом и прогнозировать результаты модернизации.

## 2 Тягово-динамический расчет трактора

«Выполним построение тягово-энергетической характеристики базовой машины Т-180. Трактор относится к тяговому классу мощностью 150 кН (эквивалент примерно 15 тонн силы), предназначен для работы совместно с навесным и прицепным оборудованием при выполнении строительных и дорожно-строительных задач. Он оснащён четырёхтактным дизельным двигателем Д-180 с шестью вертикально расположенными цилиндрами, системой предкамерного образования смеси, неразделёнными камерами сгорания и замкнутым контуром жидкостного охлаждения. Запуск агрегата осуществляется вспомогательным двигателем П-23» [2].

«Общие сведения приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Технические характеристики бульдозера ДЗ-35 [2]

| Показатель                                                | Значение |
|-----------------------------------------------------------|----------|
| Показатели                                                | ДЗ-35    |
| Базовый трактор                                           | Т-180    |
| Наибольшая высота подъема РО над опорной поверхностью, мм | 1250     |
| Наибольшее опускание РО ниже опорной поверхности, мм      | 300      |
| Высота РО, мм                                             | 1230     |
| Ширина захвата РО, мм                                     | 3640     |
| Угол въезда, град                                         | 25       |
| Угол резания, град.                                       | 50       |
| Масса, кг                                                 | 17900    |

Таблица 2 – Техническая характеристика трактора Т-180 [2]

| Показатель                                                             | Значение  |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Номинальная мощность двигателя, кВт (л.с.)                             | 148 (201) |
| Частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности, об/мин     | 2600      |
| Диаметр цилиндра, мм                                                   | 145       |
| Ход поршня, мм                                                         | 205       |
| Рабочий объем цилиндров, л                                             | 20,28     |
| Степень сжатия                                                         | 14        |
| Удельная затрата топлива при номинальной мощности, г/кВт·ч (г/кл.с.-ч) | 238 (175) |
| Емкость топливного бака, л                                             | 325       |
| База, мм                                                               | 3220      |
| Колея, мм                                                              | 2040      |
| Дорожный просвет, мм                                                   | 550       |
| Радиус поворота, м                                                     | 2,04      |

Продолжение таблицы 2

| Показатель                                             | Значение              |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| Ширина трака гусеницы, мм                              | 580                   |
| Высота грунтозахватов, мм                              | 75                    |
| Удельное давление на грунт, МПа (кгс/м <sup>2</sup> ): |                       |
| – твердый                                              | 0,05 (0,48)           |
| – мягкий                                               | 0,03 (0,315)          |
| Габаритные размеры, мм                                 | 5420 x 2740<br>x 2825 |
| Конструктивная масса, кг                               | 14950                 |

Для построения тягово-энергетической характеристики машины выбираем систему координат, в левом квадранте которой строим внешнюю характеристику основных параметров двигателя в функции крутящего момента. Наиболее часто используются следующие зависимости параметров двигателя:  $n_e=f(M_e)$ ,  $N_e=f(M_e)$ ,  $G_t=f(M_e)$ ,  $g_e=f(M_e)$ » [2].

«Для расчета и построения характеристик двигателя используются его данные по технической характеристики на номинальном режиме и следующие эмпирические зависимости:

– для дизелей на корректорной ветке характеристики:

Эксплуатационная мощность:

Для примера будем вести расчеты на 1 передаче, для  $n_e=900$  об/мин.

$$N_{ex} = N_n \left[ a \frac{n_x}{n_n} + b \left( \frac{n_x}{n_n} \right)^2 - c \left( \frac{n_x}{n_n} \right)^3 \right], \quad (1)$$

$$N_e = 128,8 \left[ 0,87 \frac{900}{1100} + 1,13 \left( \frac{900}{1100} \right)^2 - 1,00 \left( \frac{900}{1100} \right)^3 \right] = 118,6 \text{ кВт.}$$

Удельная затрата топлива:

$$g_{ex} = g_n \left[ a_1 - b_1 \frac{n_x}{n_n} + c_1 \left( \frac{n_x}{n_n} \right)^2 \right], \quad (2)$$

$$g_e = 238 \left[ 1,55 - 1,55 \frac{900}{1100} + 1 \left( \frac{900}{1100} \right)^2 \right] = 257,5 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч.}$$

– для дизелей на регуляторной ветке характеристики:

Для примера будем вести расчеты на 1 передаче, для 1175 об/мин» [11].

Эксплуатационная мощность:

$$N_{ex} = 10 N_n \left( 1,1 - \frac{n_x}{n_n} \right), \quad (3)$$

$$N_e = 10 \cdot 128,8 \left( 1,1 - \frac{1175}{1100} \right) = 41 \text{ кВт.}$$

«Часовой расход топлива:

$$G_{ex} = 10 \cdot (G_{mn} - G_{mxx}) \cdot \left( 1,1 - \frac{n_x}{n_n} \right), \quad (4)$$

где  $N_n$ ,  $n_n$  – соответственно мощность и частота вращения вала двигателя на номинальном режиме;

$g_{en}$  – удельный эффективный расход топлива на номинальном режиме;

$N_{max}$ ,  $n_N$  – максимальная мощность двигателя и частота вращения, которое отвечает максимальной мощности;

$g_{eN}$  – удельный расход топлива на режиме максимальной мощности;

$n_x$  – расчетные частоты вращения двигателя;

$a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  – коэффициенты аппроксимации, принимаются равными:  $a=0,87$ ,  $b=1,13$ ,  $c=1,00$ ,  $a_1=1,55$ ,  $b_1=1,55$ ,  $c_1=1,00$ .

$G_{mn}$ ,  $G_{mxx}$  – часовой расход топлива на номинале и холостом ходу» [19].

$$G_{ex} = 10 \cdot (30,65 - 6,7) \cdot \left(1,1 - \frac{1175}{1100}\right) + 6,7 = 14,32 \text{ кг/ч.}$$

Часовой расход топлива определяется по формуле:

$$G_t = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

$$G_t = 257,5 \cdot 118,6 \cdot 10^{-3} = 26,84 \text{ кг/ч.}$$

Крутящий момент двигателя:

$$M_e = 9554 \frac{N_e}{n_e}, \quad (6)$$

$$M_e = 9554 \frac{900}{1100} = 1259 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

«Часовой расход топлива на режиме максимального холостого хода находим по графикам зависимости часового расхода топлива двигателя на максимальном холостом ходу от номинальной мощности двигателя» [19].

«Регуляторную характеристику двигателей строим учитывая наклон регуляторной ветки. Согласно техническим условиям на двигатели наклон регуляторной ветки находится в пределах от 6 до 10%» [21].

Следовательно, частоту вращения, которая отвечает максимальному холостому ходу  $n_{xx}$  определяем из условия:

$$n_{xx} = 1,1 \cdot n_n, \quad (7)$$

$$n_{xx} = 1100 \cdot 1,1 = 1200 \text{ об/мин.}$$

Для режима работы двигателя на максимальном холостом ходу  $N_n=0$ ;  
 $M_e=0$ .

«Для дизельных двигателей по данным зависимостями проводим расчеты на корректорной ветке характеристики в интервале частот вращения от  $n_n$  через каждые 100...300 об/мин. к частотам на 200..300 об/мин. меньше частоты вращения, еще отвечает максимальному крутящему моменту.

По регуляторной характеристике для частот вращения от  $n_n$  до  $n_{xx}$  через каждые 10...20 об/мин определяем аналогично все параметры, которые заносим в таблицу 3.

Выполним расчет и построение тяговой характеристики машины для заданных условий эксплуатации» [19].

Для всех скоростных режимов работы на каждой передаче расчетного ряда последовательно рассчитываем:

«Движущую силу:

$$P_k = \frac{M_e \cdot i_{mp} \cdot \eta_{mp}}{r_k}, \quad (8)$$

где  $M_e$  – крутящий момент двигателя для данного скоростного режима, Н/м;

$i_{mp}$  – общее передаточное число трансмиссии на заданной передаче,

$\eta_{mp}$  – КПД трансмиссии;

$r_k$  – радиус качения колеса, или звездочки, м» [25].

$$P_k = \frac{1259 \cdot 68,79 \cdot 0,95}{0,61} = 135 \text{ кН}.$$

Теоретическая скорость движения:

$$V_m = \frac{0,377 \cdot r_k \cdot n_d}{i_{mp}}, \quad (9)$$

$$V_m = \frac{0,377 \cdot 0,61 \cdot 900}{68,79} = 3,01 \text{ км/ч}.$$



«Для определения действительной скорости строим кривую буксования в зависимости от тягового усилия по относительной силе тяги  $p$ , которая определяется по формуле:

$$p = \frac{P_{кр}}{\phi \cdot \lambda \cdot G}, \quad (10)$$

где  $\phi$  – коэффициент сцепления, принимается равным 0,9;

$\lambda = 1$  – коэффициент нагрузки ведущих частей;

$P_{кр}$  – усилие на крюке машины;

$G$  – вес машины, принимается равным 176 кН» [19].

$$p = \frac{(135 - 17,6)}{0,9 \cdot 1 \cdot 176} = 0,74.$$

Полученные результаты сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Коэффициент буксования

| Усилие на крюке, Н | Сила тяги, Н | $\delta$ |
|--------------------|--------------|----------|
| 0                  | 0,000        | 0,000    |
| 25000              | 0,100        | 0,001    |
| 50000              | 0,300        | 0,080    |
| 75000              | 0,370        | 0,012    |
| 100000             | 0,530        | 0,023    |
| 125000             | 0,670        | 0,039    |

Тогда действительную скорость машины определим по зависимости:

$$V_{\delta} = (1 - \delta) \cdot V_m, \quad (11)$$

$$V_{\delta} = (1 - 0,075) \cdot 3,01 = 2,78 \text{ км/ч.}$$

Тяговая мощность:

$$N_m = \frac{V_{\partial} \cdot P_{\kappa}}{3600}, \quad (12)$$

$$N_m = \frac{2,78 \cdot 135}{3600} = 104 \text{ кВт.}$$

Удельная затрата топлива:

$$g_e = \frac{G_t \cdot 1000}{N_m}, \quad (13)$$

$$g_e = \frac{26,84 \cdot 1000}{104} = 257,5 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч.}$$

Тяговый КПД:

$$\eta = \frac{N_m}{N}, \quad (14)$$

$$\eta = \frac{104}{128,8} = 0,81.$$

Расчеты заносим в таблицу 4.

Выполним построение тяговой характеристики.

«Тягово-энергетическая характеристика позволяет рассчитать оптимальные режимы работы самоходных машин и агрегатов и определить взаимосвязь между тягово-скоростными возможностями, показателями двигателя, сопротивлением рабочих органов, топливной экономичностью и производительностью машины» [21].

«С помощью этих характеристик можно также провести оценку на разных передачах таких показателей как максимальная тяговая мощность, оптимальная рабочая скорость, сила тяги при максимальной тяговой мощности, максимальная сила тяги на низшей передаче, скорость холостого хода, перепад между скоростями поступательного движения при

максимальной тяговой мощности, буксование, способность машины одолевать кратковременные перегрузки без перехода на низшую передачу, характер изменения максимальных значений тяговой мощности» [19].

В связи с ограниченным объемом пояснительной записки, расчеты проводились для 3 передач, остальные 3 были рассчитаны в MS Excel.

Таблица 4 – Данные расчета для построения тяговой диаграммы

| $n$ ,<br>об/мин | $M_e$ ,<br>Н·м | $N_e$ , кВт | $G_m$ ,<br>кг/ч | $P_k$ , Н | $V_m$ ,<br>м/с | $V_o$ ,<br>м/с | $N_m$ ,<br>кВт | $g_m$ , г/кВт·ч | $\eta_{тяг}$ |
|-----------------|----------------|-------------|-----------------|-----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| 1 передача      |                |             |                 |           |                |                |                | 68,79           |              |
| 600             | 0,00           | 0,00        | 6,70            | 0         | 4,01           | 4,01           | 0,00           | 52,00           | 0,00         |
| 1100            | 333,23         | 40,98       | 14,32           | 35699     | 3,93           | 3,91           | 38,82          | 368,94          | 0,30         |
| 1600            | 845,23         | 99,53       | 25,21           | 90551     | 3,76           | 3,70           | 92,99          | 271,10          | 0,72         |
| 2100            | 1118,69        | 128,80      | 30,65           | 119847    | 3,68           | 3,54           | 118,02         | 259,75          | 0,92         |
| 2350            | 1258,66        | 118,57      | 26,84           | 134843    | 3,01           | 2,78           | 104,25         | 257,50          | 0,81         |
| 2600            | 1324,67        | 97,06       | 22,37           | 141915    | 2,34           | 2,11           | 83,03          | 269,48          | 0,64         |
| 2 передача      |                |             |                 |           |                |                |                | 59,2            |              |
| 600             | 0,00           | 0,00        | 6,70            | 0         | 4,66           | 4,66           | 0,00           | 52,00           | 0,00         |
| 1100            | 333,23         | 40,98       | 14,32           | 30722     | 4,56           | 4,55           | 38,86          | 368,59          | 0,30         |
| 1600            | 845,23         | 99,53       | 25,21           | 77927     | 4,37           | 4,32           | 93,46          | 269,73          | 0,73         |
| 2100            | 1118,69        | 128,80      | 30,65           | 103139    | 4,27           | 4,17           | 119,61         | 256,29          | 0,93         |
| 2350            | 1258,66        | 118,57      | 26,84           | 116044    | 3,50           | 3,39           | 109,43         | 245,30          | 0,85         |
| 2600            | 1324,67        | 97,06       | 22,37           | 122130    | 2,72           | 2,62           | 88,75          | 252,11          | 0,69         |
| 3 передача      |                |             |                 |           |                |                |                | 51,18           |              |
| 600             | 0,00           | 0,00        | 6,70            | 0         | 5,39           | 5,39           | 0,00           | 52,00           | 0,00         |
| 1100            | 333,23         | 40,98       | 14,32           | 26560     | 5,28           | 5,27           | 38,89          | 368,30          | 0,30         |
| 1600            | 845,23         | 99,53       | 25,21           | 67370     | 5,06           | 5,00           | 93,65          | 269,19          | 0,73         |
| 2100            | 1118,69        | 128,80      | 30,65           | 89167     | 4,94           | 4,86           | 120,46         | 254,47          | 0,94         |
| 2350            | 1258,66        | 118,57      | 26,84           | 100324    | 4,04           | 3,96           | 110,22         | 243,55          | 0,86         |
| 2600            | 1324,67        | 97,06       | 22,37           | 105585    | 3,15           | 3,07           | 90,04          | 248,50          | 0,70         |

«Тягово-энергетическую характеристику машины строим на основе тяговой характеристики, используя два нижних квадранта. В нижнем правом квадранте строим характеристику рабочей среды при постоянном значении удельного сопротивления на рабочем органе от силы тяги машины.

Для этого вниз по оси ординат наносим шкалу значений параметра, а осью абсцисс служит шкала значений  $P_k$ , из тяговой характеристики. При фиксированных значениях удельного сопротивления зависимость имеет

линейный вид, который имеет начало линий в точке сечения осей координат, поэтому дополнительно определим значение параметра при одном значении  $P_k$ , и нанесем найденные значения на график, соединив полученные точки с началом координат» [19].

«Построение лучевой номограммы выполняем, задаваясь разными значениями удельного сопротивления  $K$  с таким расчетом, чтобы охватить все возможные условия работы машины.

В левом нижнем квадранте системы координат строим номограмму для определения технической производительности машины при разных рабочих скоростях. Для построения этой номограммы используем по оси ординат шкалу параметра для правого нижнего квадранта, а по оси абсцисс - наносим шкалу производительности влево от начала координат» [11].

«Для построения используем зависимость:

$$P_m = F \cdot V_p, \quad (15)$$

где  $V_p$  – рабочая скорость» [19].

«Задаваясь разными значениями рабочей скорости из возможного диапазона строим номограмму аналогично предыдущий. Она представляет собой пучок прямых, которые выходят с начала координат.

В том же квадранте вниз по оси ординат наносим шкалу удельной затраты топлива:

$$g_{\Pi} = \frac{G_m}{P_m}. \quad (16)$$

В координатах  $P_m, g_{\Pi}$  строим кривые теоретической потери топлива на единицу производительности машины в зависимости от часовой затраты топлива  $G_m$ » [25].

На рисунке 3 представлена тягово-динамическая характеристика базовой машины Т-180.

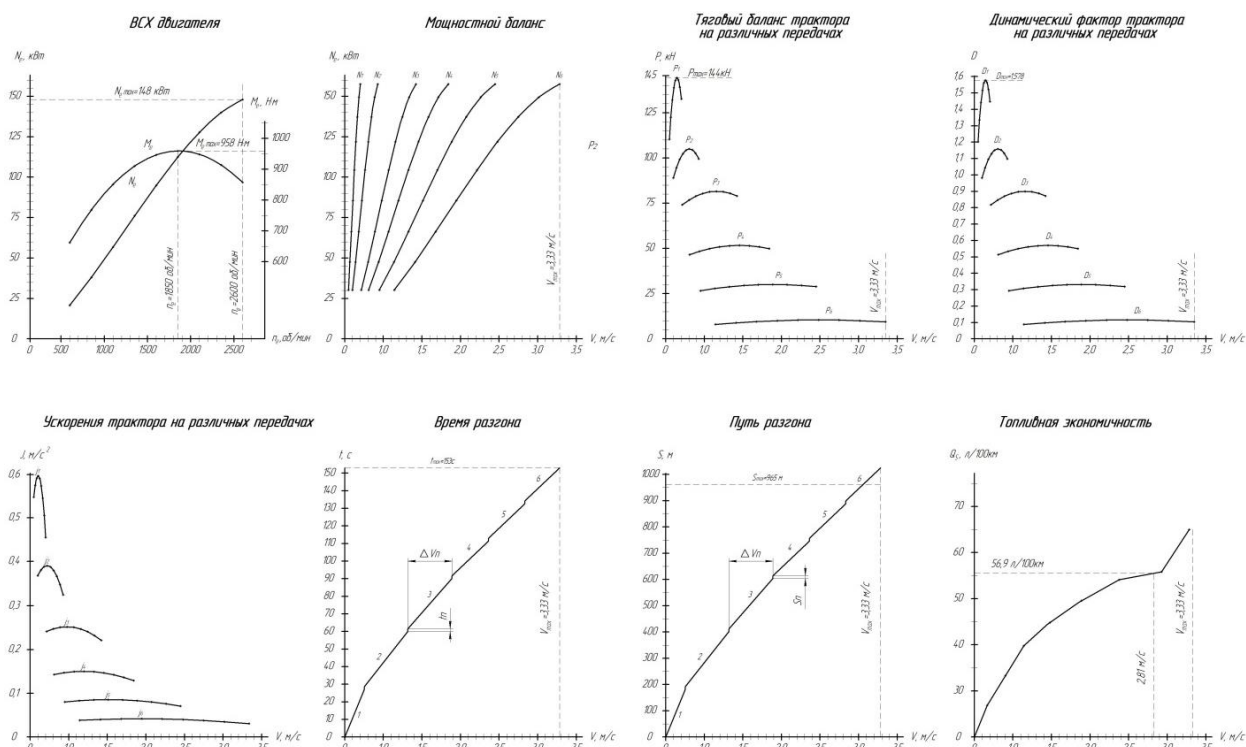


Рисунок 3 – Тягово-динамическая характеристика базовой машины Т-180

«Для определения эксплуатационной производительности, которая определяется зависимостью:

$$P_e = P_m \cdot K_v, \quad (17)$$

где  $K_v$  – коэффициент использования машины по времени, необходимо построить дополнительную номограмму в левом нижнем квадранте по такому же способу» [19].

«Задаваясь определенным значением технической производительности  $P_m$ , откладываем данную точку на шкале  $P_m$ .

Задаемся наименьшим возможным значением коэффициента использования машины по времени  $K_v$ , для данной машины и находим для заданной технической производительности эксплуатационную

производительность при заданном наименьшем значении  $K_v$ . Полученное значение эксплуатационной производительности откладываем на шкале производительности и через эту точку проводим вниз прямую перпендикулярную к оси абсцисс. На этой прямой откладываем произвольный отрезок, а тогда полученную точку соединяем прямой с точкой, которая отвечает технической производительности на оси абсцисс. Полученный отрезок разбиваем равномерной шкалой от  $K_g=1$  до 0,7, что отвечает минимальным выбранным значениям. После этого соединяем точки шкалы с новым началом координат и, в конце концов, через разделители шкалы производительности проводим прямые параллельные наклонному отрезку» [19].

Выводы по разделу.

В данном разделе проведено комплексное тягово-динамическое моделирование работы трактора Т-180, проанализировано воздействие внешних нагрузок на рабочие органы бульдозера, а также выполнен расчет производительности бульдозерного оборудования в конкретных эксплуатационных условиях.

### 3 Конструкторская часть

#### 3.1 Описание бульдозера повышенной накопительной способности Т-180

«Бульдозерное оборудование навешивается на тягач (Т-180) как комплект спаренного оборудования, в состав которого входит: отвал, боковые стенки, брусья, гидроцилиндры управления» [1].

Бульдозер представлен на рисунке 4.

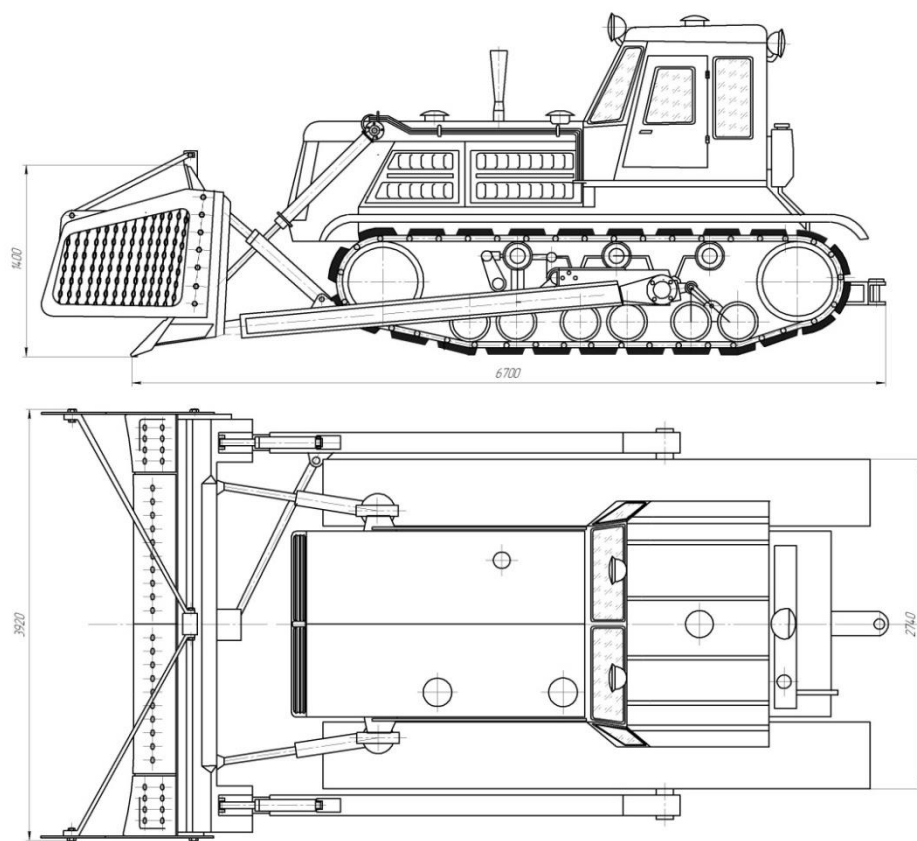


Рисунок 4 – Бульдозер повышенной накопительной способности

«Главный параметр бульдозера – номинальное тяговое усилие, под которым понимают усилие, развиваемое базовым трактором на плотном грунте с учетом догрузки от веса навесного оборудования при коэффициенте буксования не выше 7% для гусеничных машин на низшей рабочей скорости определяется зависимостью:

$$T_{нб} = G_{\bar{o}} \cdot \varphi_{опт}, \quad (18)$$

где  $\varphi_{опт}$  – оптимальный коэффициент использования веса базовой машины с оборудованием по сцеплению, соответствующий допустимому буксованию движителей. Для гусеничных промышленных тракторов – 0,90;  
 $G_{\bar{o}}$  – сцепной вес бульдозера в рабочем состоянии» [8].

$$T_{нб} = 209,9 \cdot 0,9 = 189 \text{ кН.}$$

«Для гусеничных тракторов:

$$G_{\bar{o}} = (1,17...1,22) \cdot G_{\bar{o}м}, \quad (19)$$

где  $G_{\bar{o}м}$  – вес базовой машины, принимается равным 17,85 т» [8].

$$G_{\bar{o}} = 1,2 \cdot 17,85 \cdot 9,8 = 209,9 \text{ кН.}$$

«Длину неповоротного отвала  $L$  выбираем из расчета перекрытия габарита базовой машины по ширине или наиболее выступающих в стороны элементов толкающей рамы не менее 50 мм с каждой стороны» [9].

Принимается равной 3920 мм.

Высота отвала определяется с учетом номинального тягового усилия бульдозера, подходящего скоростного режима для землеройных работ, параметров отвальной поверхности и физико-механических характеристик грунта.

$$H \approx 500 \sqrt{0,1 T_{нб}} - 0,1 T_{нб}, \quad (20)$$

$$H \approx 500 \sqrt[3]{0,1 \cdot 189} - 0,5 \cdot 189 = 1400 \text{ мм.}$$



С учетом полученной расчетной высоты и необходимости обеспечения качественного обзора из кабины трактора, устанавливаем высоту отвала от боковой кромки ножа до верхней точки козырька  $H_1$  равной 1400 мм.

#### Профиль отвала

«Отвалы бульдозера оснащаются козырьком, высота которого составляет  $(0,1...0,25)H$ . Козырек при основном положении отвала устанавливается вертикально. Общая высота отвала с козырьком должна быть такой, чтобы в транспортном положении обеспечивались видимость пространства перед бульдозером и требуемый угол въезда» [10].

Высоту козырька отвала принимаем равной 0,2 м.

Параметры профиля отвала задаются углами резания  $\alpha$ , опрокидывания  $\beta$ .

Экспериментально доказана целесообразность создания отвалов с постоянным радиусом кривизны, который выбирается в диапазоне:

$$R = (0,8...0,9) \cdot H, \quad (21)$$

$$R = 0,85 \cdot 1500 = 1190 \text{ мм} \approx 1200 \text{ мм}.$$

Модернизированная конструкция отвала представлена на рисунке 5.

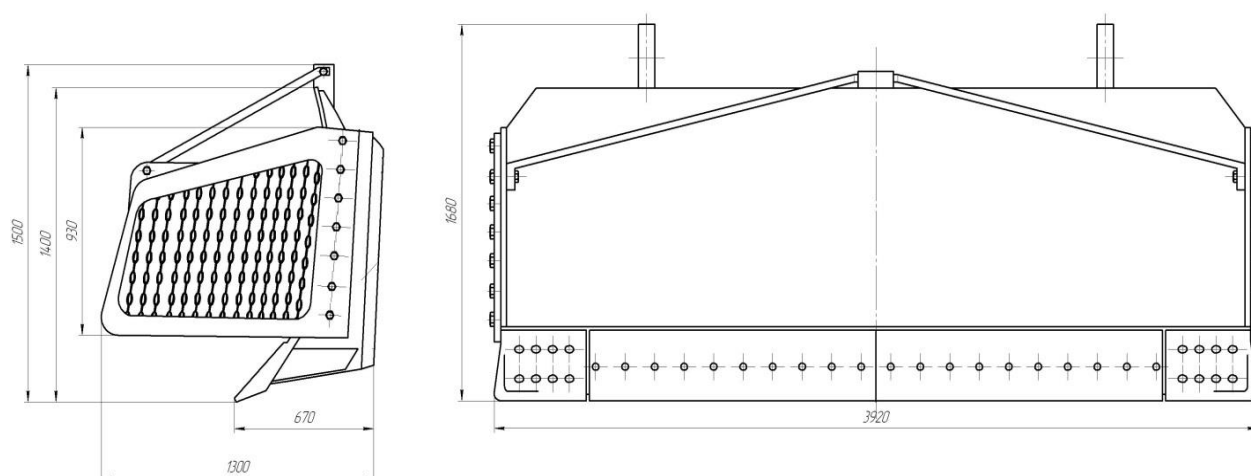


Рисунок 5 – Модернизированная конструкция отвала

Параметры модернизированного отвала:

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| Ширина отвала, мм.....                       | 3920. |
| Наибольшая высота, мм.....                   | 1400. |
| Радиус кривизны лобовой поверхности, мм..... | 1200. |
| Угол установки в плане отвала, град.....     | 75.   |
| Угол резания, град.....                      | 55.   |
| Масса отвала, т.....                         | 2.    |

### 3.2 Основной расчет бульдозера

Перед проведением расчётов сделаем важное замечание: несмотря на различия углов резания и размеров модернизированных ножевых систем, которые обеспечивают повышенную производительность по сравнению с традиционными моделями, расчет будем вести, отталкиваясь от стандартных параметров классической ножевой системы. Это позволит заложить запас прочности в нашу модернизированную конструкцию.

Тяговый расчет бульдозера необходим для объективной оценки возможностей трактора при транспортировке грунта методом среза стружки, а также для точного определения максимального подъема, который способен преодолеть агрегат, загруженный максимальным объемом грунтового материала.

«Условие движения бульдозера без буксования:

$$T_{нб} \geq T_T \geq \sum P, \quad (22)$$

где  $T_{нб}$  – сила тяги по сцеплению, кН;

$T_T$  – тяговое усилие, развиваемое трактором, кН;

$\sum P$  – сумма сопротивлений передвижению, кН.

$$T_T = 3,6 \cdot N \cdot \eta / V \quad (23)$$

где  $N$  – эффективная мощность двигателя, принимается равной 128,8 кВт;  
 $\eta$  – КПД машины, принимается равным 0,8;  
 $V$  – скорость машины на первой или второй передачах, принимается равной 2,86 км/ч» [25].

$$T_T = 3,6 \cdot 130 \cdot 0,8 / 2,86 = 131 \text{ кН.}$$

«Сумма сопротивлений, возникающих в случае лобового резания и транспортирования грунта отвалом бульдозера:

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (24)$$

где  $P_1$  – сопротивление движению бульдозера, кН;

$P_2$  – сопротивление грунта резанию, кН;

$P_3$  – сопротивление волочению призмы грунта впереди отвала, кН;

$P_4$  – сопротивление трению грунта по отвалу, кН.

$$P_1 = G_6 \cdot (f \cos \psi \pm \sin \psi), \quad (25)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления движению трактора по грунту для гусеничного движителя 0,1...0,12;

$\psi$  – расчетный угол подъема 15°...20°. (Знак "+" принимается при работе на подъем.)

$$P_1 = 209,9 \cdot (0,1 \cdot \cos 15^\circ + \sin 15^\circ) = 27 \text{ кН,}$$

$$P_2 = L \cdot h \cdot k_p, \quad (26)$$

где  $L$  – длина отвала, принимается равной 3,92 м;

$h$  – глубина резания, принимается равной в диапазоне от 0,1 до 0,4 м;

$k_p$  – удельное сопротивление грунта резанию, Для I группы грунтов (гравий)  $k_p = 70$  кПа

$$P_2 = 3,92 \cdot 0,1 \cdot 70 = 73 \text{ кН.}$$

$$P_3 = 0,5LH^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_1, \quad (27)$$

где  $H$  – высота отвала, м;

$\rho$  – плотность грунта, т/м<sup>3</sup>, для гравия принимается равным 1,5;

$\mu_1$  – коэффициент трения грунта по грунту принимается равным 0,8.

$$P_3 = 0,5 \cdot 3,92 \cdot 0,96^2 \cdot 1,5 \cdot 9,8 \cdot 0,8 = 21,2 \text{ кН.}$$

$$P_4 = 0,5LH^2 \rho \cdot g \cdot \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha, \quad (28)$$

где  $\alpha$  – угол резания, град, принимается равным 50°;

$\mu_2$  – коэффициент трения грунта по стали, принимается равным для гравия 0,4» [19].

$$P_4 = 0,5 \cdot 3,92 \cdot 0,96^2 \cdot 1,5 \cdot 9,8 \cdot 0,4 \cdot \cos^2 50 = 4,2 \text{ кН.}$$

$$\sum P = 73 + 27,44 + 21,2 + 4,2 = 125,8 \text{ кН.}$$

$$189 > 131 > 125,8.$$

Условие движения бульдозера без буксования выполняется.

«Среднее статическое удельное давление для гусеничных базовых машин:

$$q = \frac{G_6}{2 \cdot L \cdot b}, \quad (29)$$

где  $L$  – длина опорной поверхности гусениц с учетом полного погружения почвозацепов (рисунок 6), принимается равной 1,915 м;  
 $b$  – ширина гусениц, принимается равной 0,58 м» [25].

$$q = \frac{16416,66}{2 \cdot 1,915 \cdot 0,58} = 7390 \text{ кН.}$$

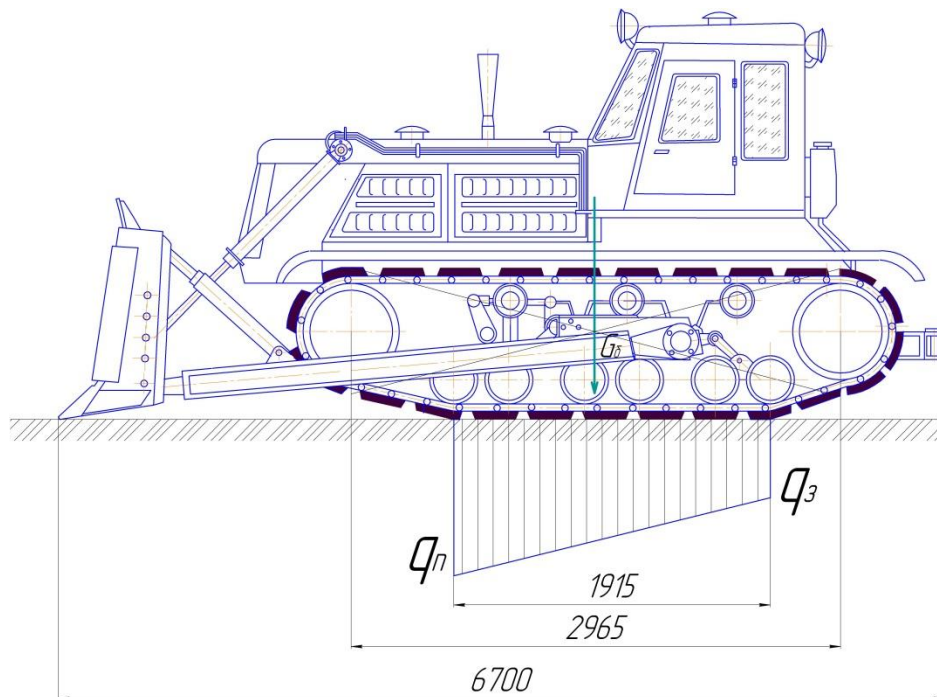


Рисунок 6 – Положение центра давления в случае, когда бульдозер движется по горизонтальной поверхности с максимально возможным объемом призмы волочения при одновременном резании грунта с оптимальной глубиной резания

Положение центра давления, то есть точки приложения равнодействующей всех нормальных реакций грунта на движитель базовой машины (рисунок 7).

«Определяем положение центра давления:

$$X = \frac{G_0 \cdot d + R_z \cdot d_1 + R_x \cdot h_R}{N}, \quad (30)$$

где  $R_z$  – вертикальная составляющая результирующей силы сопротивления на отвал;

$R_x$  – горизонтальная составляющая результирующей силы сопротивления на отвал;

$h_R$  – высота точки приложения результирующей сил сопротивления на отвале.

$d_1$  – расстояние действия вертикальную составляющую результирующей силы сопротивления на отвал, принимается равным 4,7 м.

$$R_Z = R_X \cdot \operatorname{tg} \nu, \quad (31)$$

$$R_X = k_T \cdot T_{нб}, \quad (32)$$

$$h_R = 0,17 \cdot H, \quad (33)$$

где  $\nu$  – угол наклона результирующей силы сопротивления на отвал при копании плотного грунта., принимается равным  $17^\circ$ » [13].

Высота точки приложения результирующей сил сопротивления на отвале:

$$h_R = 0,17 \cdot 1660 = 282,2 \text{ мм.}$$

Горизонтальная составляющая результирующей силы сопротивления на отвал:

$$R_X = 0,3 \cdot 176,93 = 53,08 \text{ кН.}$$

Определяем координату смещения центра давления  $N$  от середины опорной поверхности гусениц:

$$x = \frac{L}{6}, \quad (34)$$

$$x = \frac{1915}{6} = 319,17 \text{ мм.}$$

Рассчитываем вертикальную составляющую результирующей силы сопротивления на отвал:

$$R_z = 53,08 \cdot \operatorname{tg} 17^\circ = 53,08 \cdot 0,306 = 16,24 \text{ кН.}$$

Определяем значение центра давления от середины опорной поверхности гусениц:

$$N = G_6 + R_z = G_6 \cdot g + R_z,$$

$$N = 16,417 \cdot 9,81 + 16,24 = 177,29 \text{ кН.}$$

Вычисляем центр тяжести бульдозера:

$$X = \frac{G_6 \cdot d + R_z \cdot d_1 + R_x \cdot h_R}{N}, \quad (35)$$

$$X = \frac{16,417 \cdot 0,958 + 16,24 \cdot 4,200 + 53,08 \cdot 0,2822}{177,29} = 0,586 \text{ м.}$$

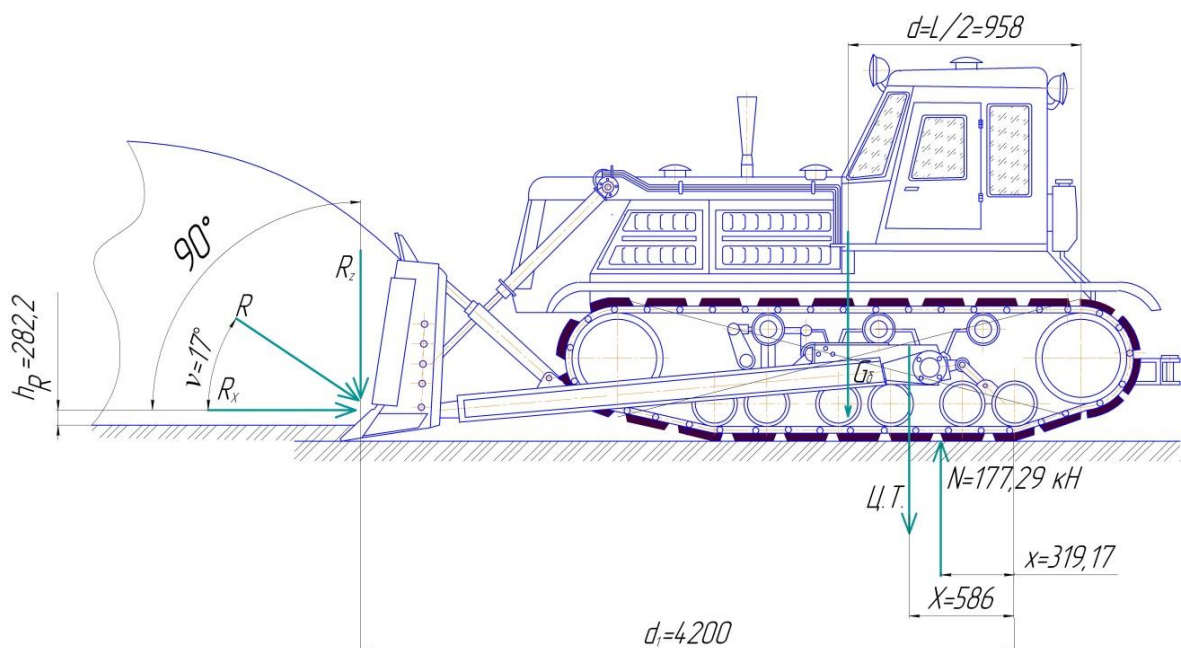


Рисунок 7 – Схема сил, действующих на бульдозер, при определении центра давления

«По координате  $X$  для гусеничных машин находят смещение центра давления от середины опорной поверхности гусениц, которое для всех расчетных случаев не должно превышать  $1/6$ , то есть длины этой поверхности  $L/6$ » [19].

Определение удельных усилия на режущей кромке (рисунок 8).

Удельное напорное усилие на режущей кромке:

$$q_H = \frac{T_{нб}}{B}, \quad (36)$$

$$q_H = \frac{T_{нб}}{B} = \frac{176,93}{3,92} = 45,135 \text{ кН/м.}$$

Напорное усилие соответствует III группе грунтов  $q_H$ .

Наибольшее возможное вертикальное усилие на режущей кромке ножа отвала из условия опрокидывания базовой машины:

$$P_z = G_{нб} \frac{l_A}{l + l_C}, \quad (37)$$

$$P_z = 193,257 \frac{0,586}{1,915 + 2,285} = 26,96 \text{ кН.}$$

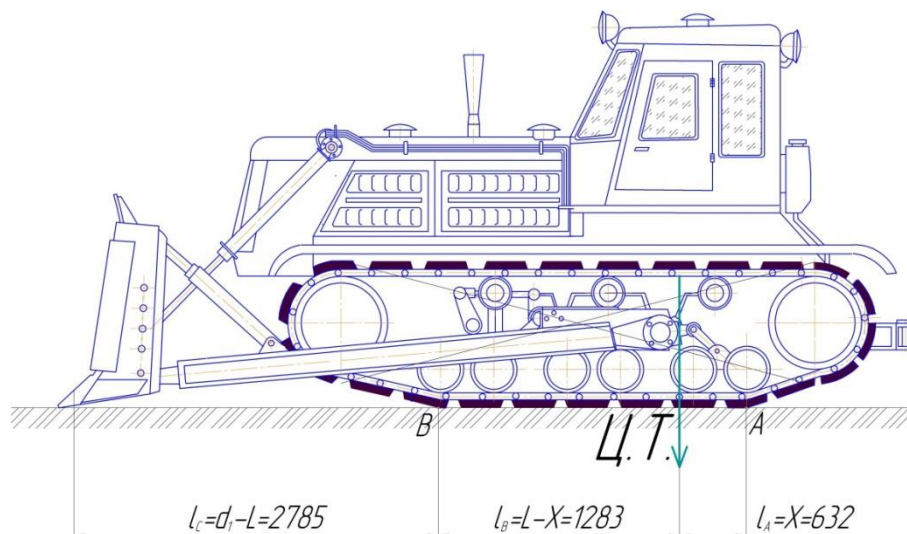


Рисунок 8 – Схема расстояний центра тяжести бульдозера



«Выбор геометрических параметров конструктивной схемы бульдозера и определение центра тяжести бульдозера

Основными геометрическими конструктивными параметрами бульдозера являются:

- расстояние от центра задней звездочки ходового механизма 1100 мм и от опорной поверхности 420 мм до точки закрепления толкающих брусьев на тракторе;
- длина толкающих брусьев 4200 мм;
- координата точки закрепления гидроцилиндров подъема и опускания рабочего органа на тракторе и расстояние между точками закрепления гидроцилиндров и толкающих брусьев» [12].

«Величину опускания отвалов ниже опорной поверхности базовой машины следует выбирать с учетом максимальной глубины копания определяемой по формуле:

$$h_{\max} = \frac{T_{н.б} - G(f \cos \psi \pm \sin \psi)}{\varphi_K \cdot K_p \cdot L}, \quad (38)$$

где  $\varphi_K$  – коэффициент, учитывающий влияние угла резания на удельное сопротивление грунта копанию, принимается равным 1,65;

$f$  – коэффициент сопротивления движению;

$\psi$  – расчетный угол подъема, принимается равным  $15^\circ$ » [15].

$$h_{\max} = \frac{189 - 209,9(0,1 \cos 15^\circ + \sin 15^\circ)}{1,65 \cdot 70 \cdot 3,92} = 0,25 \text{ м.}$$

«Координаты положения места закрепления гидроцилиндров подъема, опускания отвала определяют, учитывая угол поворота толкающих брусьев в вертикальной плоскости определяющий ход исполнительного механизма.

При определении координаты положения места закрепления гидроцилиндров графо-аналитическим способом, схематично в масштабе,

вычерчивают базовую машину (рисунок 9) и отвал с толкающими брусом принятой длины» [18].

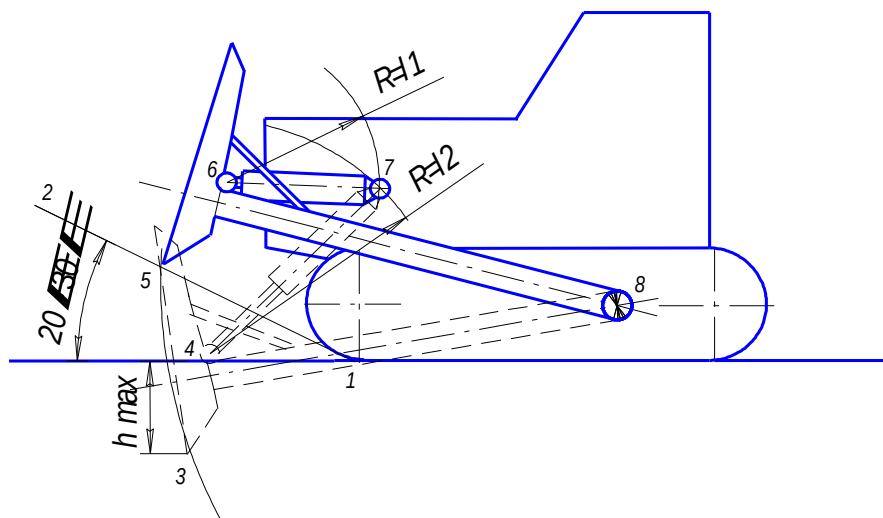


Рисунок 9 – Схема к определению координаты положения места закрепления гидроцилиндров подъема, опускания рабочего органа

«Вначале выполняют вспомогательные построения. Радиусом определяющим расстояние от точки закрепления толкающего бруса на базовой машине 8 до точки режущей кромки отвала 3, 5 проводят вспомогательную дугу 3-5. Затем из точки 1 проводят прямую 1-2. Точки пересечения 3 и 5 определяют верхнее и нижнее положение режущей кромки отвала. Точку 3 можно получить, отложив по вертикали максимальную глубину копания  $h_{\max}$ . После определения точек 3 и 5 из точек 4 и 6 проводят дуги радиусом  $l_1$  и  $l_2$ . Точка 7 пересечения дуг определяет координату места закрепления гидроцилиндров подъема, опускания отвала» [17].

Замечания:

- радиус  $l_2$  соответствует длине гидроцилиндра с полностью выдвинутым штоком, включая длину проушин для крепления, и принят равным 2000 мм;
- радиус  $l_1$  представляет собой длину гидроцилиндра с полностью втянутым штоком вместе с проушинами и составляет 1000 мм;

- при установке отвала в нижнее положение необходимо следить, чтобы корпус гидроцилиндра не соприкасался с гусеничными траками. Если подобное соприкосновение неизбежно, требуется скорректировать длину толкателей.
- начальные размеры гидроцилиндра определяются по исходным материалам, при этом выбранный ход поршня составляет 1000 мм.

После завершения предварительных расчетов проверяем соответствие указанных параметров положениям точек 7 и 8, уточняем фактический ход поршня и точное расстояние между этими точками.

«Положение центра тяжести бульдозера  $a$  принимаем из конструкторской документации прототипов либо определяем приближенно (рисунок 10), пользуясь известной массой прототипа, полагая, что масса ходовой части составляет 50% от общей массы бульдозера масса двигателя 40%, масса толкающих брусьев 4,5%, масса отвала 4,5%, масса гидроцилиндров подъема и опускания отвала 1%» [11].

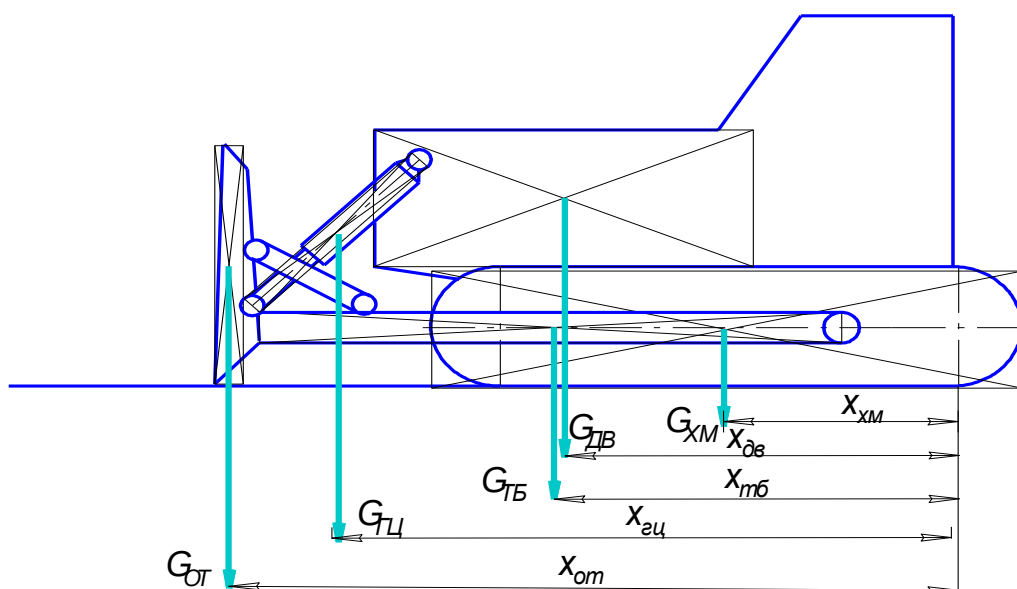


Рисунок 10 – Схема к расчету центра тяжести бульдозера

Значения  $a$  определим, воспользовавшись известной формулой из расчетной схемы:

$$a = x_a = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i}, \quad (39)$$

$$a = \frac{8,925 \cdot 1694 + 7,14 \cdot 2882 + 0,8 \cdot 2906 + 0,18 \cdot 4095 + 0,8 \cdot 4889}{17,85} = 2390 \text{ мм.}$$

Расчет бульдозера на устойчивость.

Для анализа устойчивости бульдозера примем во внимание дополнительное условие: помимо горизонтальных статических усилий, на отвал действуют также вертикальные силы, направленные вверх и противодействующие углублению отвала в грунт.

При определенных усилиях, развиваемых гидравлической системой, трактор может опрокинуться вокруг точки  $A$ , вывешиваясь на отвале» [10].

«Величина горизонтальной статической силы, развиваемой тягачом,  $P_c$  уменьшается:

$$P_c = (G_{\delta} - P_z) \cdot \varphi_{ont} = T_{н\delta} - P_z \cdot \varphi_{ont}, \quad (40)$$

где  $P_z$  – вертикальная составляющая результирующей сил сопротивления на отвал;

$$P_z = T_{н\delta} \cdot \operatorname{tg} \nu, \quad (41)$$

где  $\nu$  – угол наклона результирующей, при копании плотного грунта вниз равен  $17^\circ$ , а при копании рыхлого грунта и перемещении его в траншее равен нулю» [12].

$$P_c = T_{н\delta} = 189 \text{ кН.}$$

Сила резания может быть определена из условий равновесия системы:

$$\sum M_A = P_c \cdot m - P_z \cdot l_2 + G_p \cdot l_o + G_z \cdot l_1 - 2 \cdot S' \cdot r = 0, \quad (42)$$

$$S' = \frac{P_c \cdot m - P_z \cdot l_2 + G_p \cdot l_o + G_e \cdot l_1}{2 \cdot r}, \quad (43)$$

$$S' = \frac{189 \cdot 420 + 7.84 \cdot 2822 + 22,05 \cdot 2900}{2 \cdot 2100} = 39 \text{ кН.}$$

Определение нагрузок на оборудование бульдозера (рисунок 11).

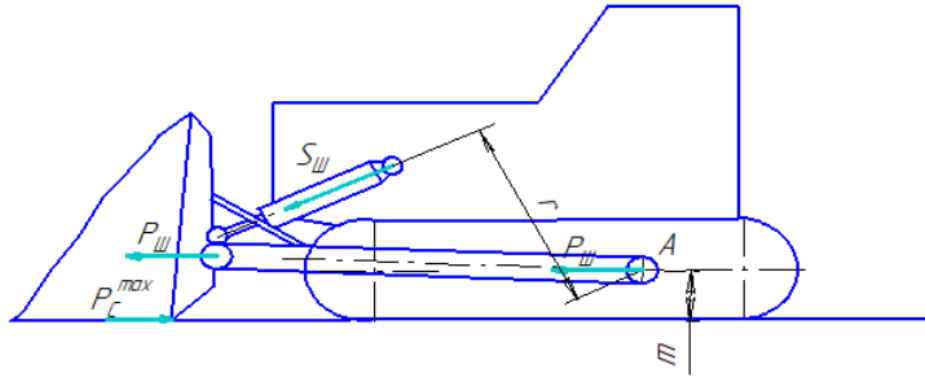


Рисунок 11 – Схема нагрузок в шарнирах рабочего органа

Максимальная величина горизонтального усилия, воздействующая на отвал бульдозера при движении, складывается из суммы тягового усилия, обеспечиваемого силой сцепления ходовой части с грунтом, и дополнительного динамического усилия, вызванного сопротивлением перемещения базового шасси.

Усилие определяется по формуле:

$$P_c^{\max} = 189 + 5,28 - 73 = 121,28 \text{ кН.}$$

Величина динамического усилия определяется по формуле:

$$P_{\text{дин}} = (0,794) / 1000 = 5,28 \text{ кН.}$$

Величина приведенной жесткости определяется зависимостью:

$$A_{np} = \frac{2500 \cdot 318622,5}{2500 + 318622,5} = 2480,5 \text{ кН}.$$

Жесткость препятствия принимается как массив мерзлого грунта 2500 кН/м.

Жесткость металлоконструкции навесного оборудования бульдозера:

$$A_2 \approx 17,85 \cdot 1000 \cdot 17,85 = 318622,5 \text{ кН/м}.$$

«Максимальная нагрузка, действующая на крепления шарниров толкающих брусьев:

$$P_{ш} = \frac{T_{нб} + V_{маш} \cdot \sqrt{A_{np} \cdot 1000 \cdot (M_{б} - M_o) / 1000 - P_1}}{2}, \quad (44)$$

где  $M_o$  – масса отвала» [19].

$$P_{ш} = \frac{189 + 0,794 \cdot \sqrt{2480,5 \cdot 1000 (17,85 - 2,85) / 1000 - 73}}{2} = 60,4 \text{ кН}.$$

Из суммы моментов  $\sum M_A = 0$  максимальная нагрузка в шарнирах гидроцилиндров:

$$S_{ш} = -\frac{P_C^{\max} \cdot m}{2 \cdot r}, \quad (45)$$

$$S_{ш} = -\frac{121,28 \cdot 540}{2 \cdot 2592} = 12,6 \text{ кН}.$$

Определение номинального давления в гидросистеме.

Номинальное давление в гидравлической системе выбирается из стандартного ряда, установленного ГОСТ 12445-80. Примем номинальное

давление в гидросистеме равным 16 МПа и оценим корректность данного выбора, используя данные о диаметре гидроцилиндра, равном 63 мм, и величину усилия, прикладываемого к штоку, которая определяется по формуле (46):

$$R_2' = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_n \cdot 10^6, \quad (46)$$

$$R_2' = \frac{3,14 \cdot 0,063^2}{4} \cdot 16 \cdot 10^6 = 49850,64 \text{ Н.}$$

Так как  $R_2' > R_2$  – значит, давление обеспечит работу гидроцилиндров.

Выполним подбор гидроцилиндра (рисунок 12).

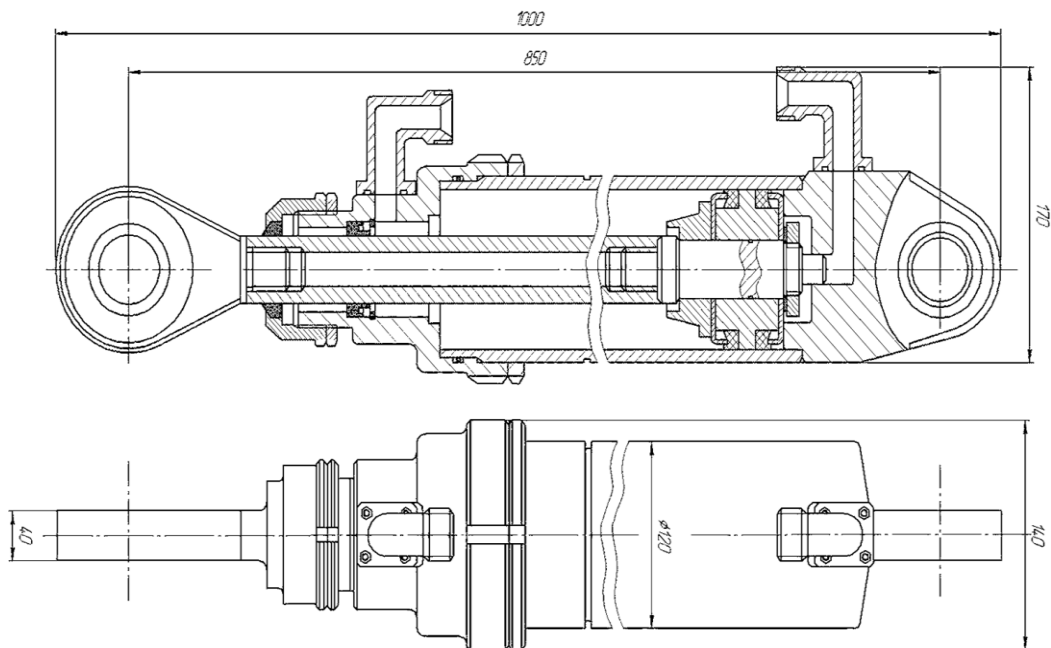


Рисунок 12 – Гидроцилиндр

«Выбор гидроцилиндра с диаметром именно 100 мм и диаметром штока 60 мм обосновывается конструктивными и экономическими соображениями. Это максимальный диаметр стандартного гидроцилиндра с ходом поршня 400 мм» [14].

Выбор рабочей жидкости.

Рабочая жидкость для гидропривода выбирается с учетом климатических условий, характера эксплуатации и номинального давления в системе. Когда рабочее давление превышает 10 МПа, рекомендуемая температура рабочей жидкости должна находиться в диапазоне от 50° до 60°С.

«Учитывая, что данный гидропривод предназначен для работы при положительной и отрицательной температуре, выбираем рабочую жидкость ВМГЗ» [14].

Параметры жидкости указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры рабочей жидкости

| Удельный вес при 50°С,<br>кг/м <sup>3</sup> | Кинематическая вязкость<br>при 50°С, мм <sup>2</sup> /с | Температурный интервал<br>применения, °С |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 860                                         | 10                                                      | от минус 40 до плюс 65                   |

Расчет параметров гидродвигателей.

«Диаметр гидроцилиндра с односторонним штоком определяется в зависимости от схемы его включения и направления действия нагрузки.

При подаче жидкости в поршневую полость диаметр определяется по формуле:

$$D = 2 \sqrt{\frac{R}{\pi \Delta p_{\text{ц}} \eta_{\text{змц}}}}. \quad (47)$$

При подаче жидкости в штоковую полость диаметр определяется по формуле:

$$D = 2 \sqrt{\frac{R_{\text{ш}}}{\pi \Delta p_{\text{ц}} \eta_{\text{змц}}}}, \quad (48)$$

где  $R$  – нагрузка на штоке, Н;



$\Delta p_u$  – перепад давления на гидроцилиндре, Па;

$\eta_{гмц}$  – гидромеханический коэффициент полезного действия гидроцилиндра, принимается равным в диапазоне от 0,93 до 0,97;

$\varphi$  – отношение площадей поршневой и штоковой полости, принимается равным 1,25» [15].

Перепад давления на гидроцилиндре предварительно можно принять:

$$\Delta p_u = (0,8...0,9) p_n, \quad (49)$$

$$\Delta p_u = 0,82 \cdot 16 = 13,12 \text{ МПа.}$$

Определяем диаметры гидроцилиндров при подаче рабочей жидкости в поршневую полость:

$$D_1^n = 2 \sqrt{\frac{29,28 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 13,12 \cdot 10^6 \cdot 0,94}} = 0,135 \text{ м,}$$

$$D_2^n = 2 \sqrt{\frac{36,12 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 13,12 \cdot 10^6 \cdot 0,94}} = 0,095 \text{ м.}$$

Определяем диаметр гидроцилиндров при подаче рабочей жидкости в штоковую полость:

$$D_1^ш = 2 \sqrt{\frac{23,22 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 13,12 \cdot 10^6 \cdot 0,94}} = 0,055 \text{ м.}$$

Полученные значения диаметров гидроцилиндров округляют до стандартного (ближайшего большего) согласно ОСТ 22-1417-79. Принимаем диаметры гидроцилиндров равными:  $D_1$  140 мм;  $D_2$  100 мм.

«Определяем диаметры штоков гидроцилиндров по формуле:

$$d = D \sqrt{\frac{\varphi - 1}{\varphi}}, \quad (50)$$

где  $D$  – диаметр гидроцилиндра» [15].

$$d_1 = 0,14 \sqrt{\frac{1,25 - 1}{1,25}} = 0,076 \text{ м},$$

$$d_2 = 0,1 \sqrt{\frac{1,25 - 1}{1,25}} = 0,068 \text{ м}.$$

Диаметры штоков гидроцилиндров также округляем до стандартных значений. Принимаем диаметры штоков равными:  $d_1$  80 мм;  $d_2$  70 мм.

«Расход рабочей жидкости гидроцилиндрами определяется исходя из необходимых скоростей по формуле:

$$Q_y = 2 \frac{S v_n}{\eta_{oy}}, \quad (51)$$

где  $S$  – площадь соответствующей рабочей полости гидроцилиндра,  $\text{м}^2$ ;

$v_n$  – скорость перемещения поршня,  $\text{м/с}$ .

$\eta_{oy}$  – объёмный КПД гидроцилиндра, принимается равным в диапазоне от 0,98 до 0,99» [21].

Площадь поршневой полости гидроцилиндров определяется по формуле:

$$S_{nn} = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (52)$$

$$S_{nn}^1 = \frac{3,14 \cdot 0,14^2}{4} = 0,005 \text{ м}^2,$$

$$S_{nn}^2 = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,0031 \text{ м}^2.$$

Площадь штоковой полости гидроцилиндров определяется по формуле:

$$S_{un} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2), \quad (53)$$

$$S_{un.}^1 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,140^2 - 0,080^2) = 0,004 \text{ м}^2,$$

$$S_{un.}^2 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,1^2 - 0,07^2) = 0,0025 \text{ м}^2.$$

Определяем расход рабочей жидкости гидроцилиндрами при подаче в поршневую полость:

$$Q_{ц.1}^n = 2 \cdot \frac{0,005 \cdot 0,2}{0,98} = 0,002 \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$Q_{ц.2}^n = 2 \cdot \frac{0,0031 \cdot 0,16}{0,98} = 0,001 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Определяем расход рабочей жидкости гидроцилиндрами при подаче в штоковую полость:

$$Q_{ц.1}^ш = 2 \cdot \frac{0,004 \cdot 0,2}{0,98} = 0,0016 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$Q_{ц.2}^ш = 2 \cdot \frac{0,0025 \cdot 0,16}{0,98} = 0,0008 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Потери давления в гидроцилиндре зависят от схемы его включения.

$$\Delta p_{ц} = \frac{R}{S_{nn} \eta_{змц}}. \quad (54)$$

Потери давления при подаче жидкости в поршневую полость:

$$\Delta p_{ц1} = \frac{R_1^n}{S_{n.n}^1 \eta_{змц}}, \quad (55)$$

$$\Delta p_{ц1} = \frac{29,28 \cdot 10^3}{0,005 \cdot 0,94} = 6,23 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$\Delta p_{y2} = \frac{R_2^n}{S_{n,n}^2 \eta_{змц}}, \quad (56)$$

$$\Delta p_{y2} = \frac{36,12 \cdot 10^3}{0,0031 \cdot 0,94} = 12,4 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Потери давления при подаче жидкости в штоковую полость:

$$\Delta p_{y1} = \frac{R_1^{отпуск.}}{S_{ш.п}^1 \eta_{змц}}, \quad (57)$$

$$\Delta p_{y1} = \frac{23,22 \cdot 10^3}{0,004 \cdot 0,94} = 6,17 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

$\Delta p_{y2} = 0$  так как при работе штоковой полости гидроцилиндров привода среднего ножа усилие на штоки равно нулю.

«Полная мощность гидроцилиндров определяется по формуле:

$$N_y = \frac{R \nu_n}{\eta_y}, \quad (58)$$

где  $\eta_y$  – полный КПД гидроцилиндра, что можно принять равным 0,9» [21].

Мощность, развиваемая гидроцилиндрами при подъеме отвала:

$$N_{y1} = 2 \frac{R \nu_1}{\eta_y}, \quad (59)$$

$$N_{y1} = 2 \cdot \frac{23,22 \cdot 0,2}{0,9} = 10,32 \text{ кВт.}$$

Мощность при внедрении отвала в грунт:

$$N_{y1.1} = 2 \frac{R_1 \nu_n}{\eta_y}, \quad (60)$$

$$N_{и1.1} = 2 \cdot \frac{29,28 \cdot 0,2}{0,9} = 13,01 \text{ кВт.}$$

Результаты расчета параметров гидродвигателей сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчета гидродвигателей

| Гидро-двигатель | Усилие на штоке R, кН | Скорость поршня V, м/с | Диаметр гидроцилиндра/штока, мм | Расход гидроцилиндра Q, л/с | Перепад давления в гидроцилиндрах $\Delta p$ , МПа | Полная мощность гидроцилиндров N, кВт |
|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Ц1, Ц2          | 29,28<br>23,22        | 0,2                    | 140/80                          | 0,002<br>0,0016             | 6,23<br>6,17                                       | 13,01<br>10,32                        |

Выбор гидросхемы.

«Определив вышеприведенным расчетом гидроцилиндры и зная основные габаритные размеры и массовые характеристики прототипа выберем гидросхему, которая должна содержать следующие приспособления:

- гидроцилиндры управления бульдозерным оборудованием в количестве 2 штук, имеющие следующие характеристики:  $D=140$  мм;  $D_{ш}=80$  мм,  $H_{ш}=1000$  мм то есть (140-80×1000);
- гидроцилиндр перекоса отвала: 100-70×400;
- остальные приспособления согласно паспортных данных бульдозера» [3].

Примем гидросхему обозначения которой приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Обозначения гидросхемы

| Обозначение позиции | Наименование             | Количество |
|---------------------|--------------------------|------------|
| Ц1, Ц2              | Гидроцилиндр 140-80×1000 | 2          |
| Н                   | Насос                    | 1          |
| КО-1, КО-2          | Клапан обратный          | 2          |
| Ф                   | Фильтр                   | 1          |
| Р1                  | Распределитель           | 1          |
| Р2, Р               | Распределитель           | 2          |
| Б                   | Гидробак                 | 1          |

Зависимость производительности бульдозера от вида работ.

Эффективность работы бульдозеров сильно зависит от выбранного режима ведения работ. При движении под уклон резко возрастают тяговое усилие и объем перемещаемой земли, снижается сопротивление перемещению грунта. Напротив, при работе на подъем возникают негативные эффекты: понижается производительность, увеличиваются энергозатраты. Даже небольшой подъём трассы (около 10%) снижает производительность машины на внушительную величину – порядка 40-50%.

«По мере срезания слоя грунта и увеличения призмы волочения возрастает сопротивление перемещению бульдозера.

Чтобы полностью использовать силу тяги бульдозера, не рекомендуется врезаться на постоянную глубину (рисунок 13, а), целесообразнее в начале работы заглублять отвал на большую глубину, чем в конце цикла срезания (рисунок 13, б, в), т. е. толщина стружки должна быть переменной» [6].

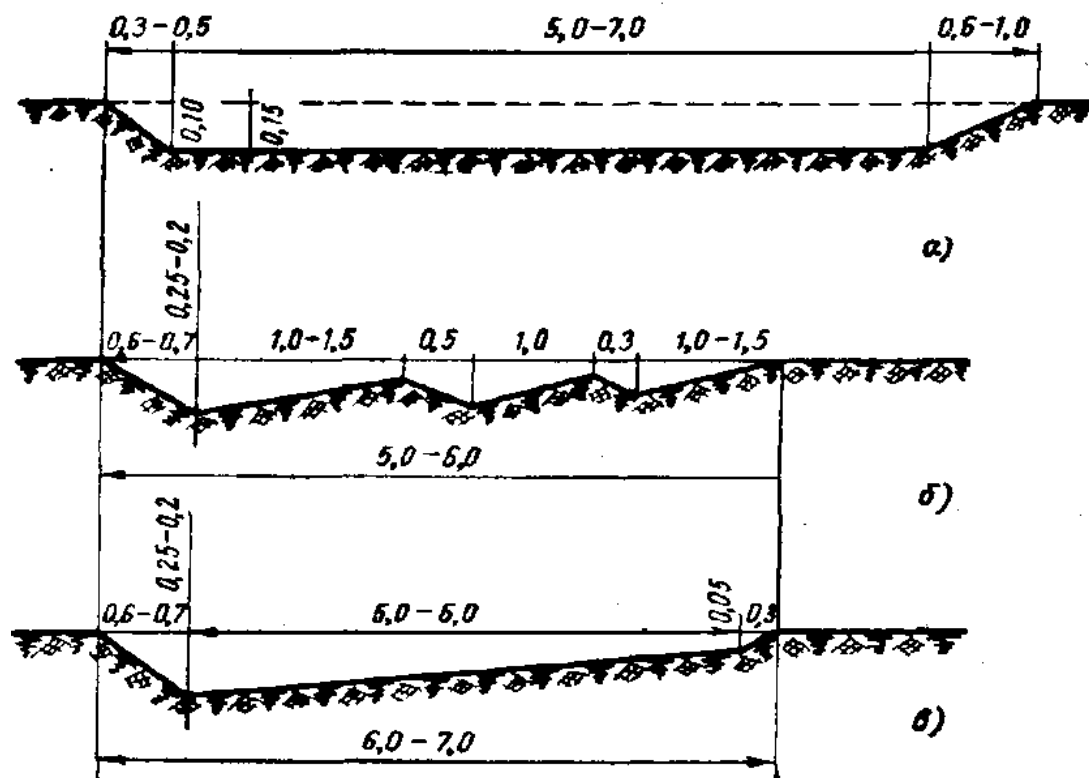


Рисунок 13 – Схема заглубления отвала при снятии стружки

«Обычно путь, за который бульдозер набирает грунт впереди отвала, составляет 5-7 м. Заглубление отвала и срезание грунта происходит на первой или второй передачах» [15].

«При резании и перемещении грунта производительность определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot V_{\phi} \cdot k_{\epsilon} \cdot k_{укл}}{T_{ц}}, \quad (61)$$

где  $k_{\epsilon}$  – коэффициент использования бульдозера по времени, принимается равным 0,9;

$k_{укл}$  – коэффициент, учитывающий, работает бульдозер под уклон или на подъем; при уклоне от 0 до 15%  $k_{укл}$  меняется от 1 до 2,25; при подъеме от 0 до 15%  $k_{укл}$  меняется от 1 до 0,5;

$V_{\phi}$  – фактический объем призмы волочения;

$T_{ц}$  – продолжительность цикла.

$$T_{ц} = \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_n}{V_n} + \frac{l_o}{V_o} + t_c + t_o + 2t_n, \quad (62)$$

где  $V_p$ ,  $V_n$  и  $V_o$  – скорости трактора при резании, перемещении грунта и обратном ходе;

$l_p$ ,  $l_n$  и  $l_o$  – длина пути резания, перемещения грунта и обратного хода бульдозера;

$t_c$  – время на переключение передачи, принимается равным 5 с;

$t_o$  – время на опускание отвала, принимается равным 1,5 с;

$t_n$  – время на поворот трактора, принимается равным 10 с» [22].

$$T_{ц} = \frac{80}{2,86} + \frac{80}{2,86} + \frac{80}{4,62} + 5 + 2 + 2 \cdot 10 \approx 100 \text{ с.}$$

$$V_{\phi} = \frac{L \cdot H^2}{2 \cdot k_1}, \quad (63)$$

$$V_{\phi} = \frac{3920 \cdot 1500^2}{2 \cdot 1.15} \approx 1,8 \text{ м}^3.$$

$$П = \frac{3600 \cdot 1,8 \cdot 0,85 \cdot 1,5}{100} = 120 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Выводы по разделу.

В настоящей конструкторской части проекта представлено полное описание конструкции бульдозера повышенной накопительной способности марки Т-180, акцентируя внимание на его отличительных особенностях и преимуществах перед стандартными машинами. Были рассмотрены функциональные узлы и механизмы, обеспечивающие эффективное выполнение земляных работ, особое внимание уделялось устройству рабочего органа (отвала), определяющему производственную способность и маневренность машины.

Далее был проведен основополагающий расчет конструкции бульдозера, охвативший важнейшие этапы и методы расчёта силовых нагрузок, мощностных характеристик и показателей производительности. Особое внимание уделено оценке влияния угла наклона местности, плотности грунта и глубины копания на эффективность работы бульдозера. Анализ позволил обосновать правильный подбор базовых параметров конструкции, а также составить конкретные рекомендации по использованию бульдозера в конкретных почвенно-климатических условиях.



## 4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [17].

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 рабочее навесное оборудование для трактора Т-180, 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:

$$T_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (64)$$

где  $F_{\text{д}}$  – 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].

$$T_{\text{д}} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{80} = 1552,5 \text{ ч.}$$

«Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства» [11].

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.

Спецификация операций узловой и общей сборки рабочего навесного оборудования для трактора Т-180 приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования процесса сборки

| Этапы переходов                                                                                                                                                   | Технические требования                                                                                               | Время на выполнение операции, мин. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| «Подсборка отвала                                                                                                                                                 | –                                                                                                                    | –                                  |
| Взять лобовой лист при помощи грузоподъемного оборудования                                                                                                        | Грузоподъемное оборудование должно соответствовать ГОСТ 27555-87. Допустимая нагрузка не менее 500 кг                | 5                                  |
| Осмотреть лобовой лист на наличие повреждений и дефектов                                                                                                          | Отсутствие трещин, коррозии и деформаций. Допустимые отклонения по геометрии не более $\pm 2$ мм                     | 2                                  |
| Взять боковой нож (2 шт.)                                                                                                                                         | Использовать сертифицированные ножи согласно ТУ 34-567-89. Масса каждого ножа не более 25 кг                         | 4                                  |
| Осмотреть боковой нож на наличие повреждений и дефектов                                                                                                           | Проверить остроту режущей кромки (допуск $\pm 5^\circ$ от нормы), отсутствие сколов и трещин                         | 2                                  |
| Взять средний нож (2 шт.)                                                                                                                                         | Соответствие ТУ 34-567-89. Масса каждого ножа не более 30 кг                                                         | 4                                  |
| Осмотреть боковой нож на наличие повреждений и дефектов                                                                                                           | Аналогично боковым ножам: проверка геометрии и целостности                                                           | 2                                  |
| Взять болт М18×70 ГОСТ 7811-70 (24 шт.), шайбу 18 ГОСТ 11371-78 (24 шт.), гайку М18 ГОСТ 15526-70 (24 шт.)                                                        | Крепежные элементы должны быть новыми, без следов коррозии. Резьба должна быть чистой и без повреждений» [4]         | 2                                  |
| Установить средний и боковые ножи на лобовой лист при помощи болтов М18×70 ГОСТ 7811-70 (24 шт.), шайб 18 ГОСТ 11371-78 (24 шт.), гаек М18 ГОСТ 15526-70 (24 шт.) | Затяжка болтов моментом 120 Н·м $\pm 5\%$ . Ножи должны быть установлены с зазором не более 1 мм между поверхностями | 24                                 |
| Взять балку (2шт.) при помощи грузоподъемного оборудования                                                                                                        | Грузоподъемное оборудование должно обеспечивать плавный подъем. Масса балки – до 100 кг каждая                       | 4                                  |

Продолжение таблицы 8

| Этапы переходов                                                                   | Технические требования                                                                                                  | Время на выполнение операции, мин. |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Осмотреть балку на наличие повреждений и дефектов                                 | Отсутствие трещин, деформаций. Проверить монтажные отверстия на соответствие чертежу.                                   | 2                                  |
| Взять палец (4 шт.),                                                              | Пальцы должны соответствовать ГОСТ 3128-70. Диаметр 20 мм, допуск $\pm 0,1$ мм                                          | 1                                  |
| «Установить балки на отвал при помощи пальцев                                     | Пальцы должны входить без заеданий, фиксация шплинтами ГОСТ 397-79. Зазор в соединениях не более 0,5 мм                 | 10                                 |
| Взять гидрораскос (2 шт.) при помощи грузоподъемного оборудования                 | Использовать стропы с нагрузкой не менее 200 кг                                                                         | 3                                  |
| Осмотреть гидрораскос на наличие повреждений и дефектов                           | Проверить герметичность штока, отсутствие подтеков масла. Ход штока – плавный, без заклиниваний                         | 2                                  |
| Взять палец (2 шт.), палец (2 шт.)                                                | Пальцы должны быть смазаны Литолом-24. Диаметр 18 мм, допуск $\pm 0,1$ мм                                               | 1                                  |
| Установить гидрораскос на балку и отвал при помощи пальцев                        | Оси гидрораскоса должны быть параллельны с отклонением не более $\pm 1^\circ$ . Затяжка пальцев с моментом 80 Н·м» [4]. | 4                                  |
| Взять тягу при помощи грузоподъемного оборудования                                | Масса тяги – до 40 кг. Строповка за центральную часть во избежание перекоса                                             | 2                                  |
| Осмотреть тягу на наличие повреждений и дефектов                                  | Отсутствие изгибов и трещин. Проверить резьбовые соединения на целостность                                              | 1                                  |
| Взять серьгу (2 шт.), палец (2 шт.), палец (2 шт.)                                | Серьги – по ГОСТ 4543-71. Пальцы – смазанные, диаметр 16 мм                                                             | 1                                  |
| Установить тягу на балку и отвал при помощи пальцев                               | Обеспечить соосность отверстий. Фиксация шплинтами. Люфт в соединениях не более 0,3 мм                                  | 5                                  |
| Взять гидроцилиндр (2 шт.) при помощи грузоподъемного оборудования                | Подъем только за проушины, избегая ударов                                                                               | 4                                  |
| Осмотреть гидроцилиндр на наличие повреждений и дефектов                          | Проверить отсутствие вмятин на корпусе, герметичность соединений. Ход штока – без задержек                              | 2                                  |
| Взять палец (4 шт.), палец (4 шт.)                                                | Пальцы – по ГОСТ 3128-70, смазанные. Диаметр 22 мм, допуск $\pm 0,1$ мм                                                 | 1                                  |
| Установить гидроцилиндр на отвал и раму трактора при помощи пальцев               | Оси цилиндров должны быть строго параллельны. Затяжка пальцев с моментом 100 Н·м                                        | 6                                  |
| Проверить качество выполненных операций и при необходимости выполнить регулировку | Провести функциональный тест: ход всех узлов должен быть плавным, без заклиниваний. Зазоры – в пределах нормы           | 20                                 |
| Итого:                                                                            |                                                                                                                         | 114                                |

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n} . \quad (65)$$

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:

$$t_{шт}^{общ} = t_{он}^{общ} + t_{он}^{общ} \cdot \left( \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (66)$$

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].

$$t_{шт}^{общ} = 114 + 114 \cdot \left( \frac{3 + 5}{100} \right) = 123,12 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки принимаем 124 мин.

## **4.2 Проектирование технологического процесса сборки рабочего навесного оборудования для трактора**

Мы формируем пошаговый порядок выполнения монтажных работ, последовательно прописывая используемые инструменты и специальное оборудование для каждой отдельной операции. Затем проводим расчет

нормативных временных затрат на каждую операцию и заносим все данные в итоговую таблицу № 9.

Таблица 9 – Технологический процесс сборки

| Номер операции | Наименование операции | Номер позиции | Этапы и переходы технологического процесса                                                                 | Используемое оборудование                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Время, мин. |
|----------------|-----------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 005            | Сборочная             | 1             | Подборка отвала                                                                                            | Кран-балка (грузоподъемность 1 т, ГОСТ 27555-87), стропы текстильные (ГОСТ 25573-82), стропы цепные (ГОСТ 30188-94), тележка гидравлическая (грузоподъемность 200 кг), линейка металлическая (ГОСТ 427-75), шаблон угловой (ТУ 34-567-89), шуп наборный (ГОСТ 882-75), калибр-пробка для проверки отверстий, динамометрический ключ (диапазон 50–200 Н·м), набор гаечных ключей (рожковых, накидных), головки с воротком (размеры под болты М12–М24), молоток слесарный (вес 0,5 кг, ГОСТ 2310-77), домкрат гидравлический | 45          |
|                |                       | 2             | Взять лобовой лист при помощи грузоподъемного оборудования                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 3             | Осмотреть лобовой лист на наличие повреждений и дефектов                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 4             | Взять боковой нож (2 шт.)                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 5             | Осмотреть боковой нож на наличие повреждений и дефектов                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 6             | Взять средний нож (2 шт.)                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 7             | Осмотреть боковой нож на наличие повреждений и дефектов                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 8             | Взять болт М18×70 ГОСТ 7811-70 (24 шт.), шайбу 18 ГОСТ 11371-78 (24 шт.), гайку М18 ГОСТ 15526-70 (24 шт.) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
|                |                       | 9             | Установить средний и боковые ножи на лобовой лист при помощи болтов из п. 8                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
| 010            | Сборочная             | 1             | Взять балку ( 2шт.) при помощи грузоподъемного оборудования                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 49          |
|                |                       | 2             | Осмотреть балку на наличие повреждений и дефектов                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |



Продолжение таблицы 9

| Номер операции | Наименование операции | Номер позиции | Этапы и переходы технологического процесса                          | Используемое оборудование                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Время, мин. |
|----------------|-----------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 010            | Сборочная             | 3             | Взять палец (4 шт.), палец (4 шт.)                                  | (5 т), зубило, кернер, подставки регулируемые для фиксации отвала, кондуктор для точной установки ножей, тиски слесарные (крепление на верстак), лебедка ручная (тяговое усилие 500 кг), смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-87), герметик для гидравлических соединений, шплинты (ГОСТ 397-79), ветошь, растворитель |             |
|                |                       | 4             | Установить балки на отвал при помощи пальцев                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 5             | Взять гидрораскос (2 шт.) при помощи грузоподъемного оборудования   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 6             | Осмотреть гидрораскос на наличие повреждений и дефектов             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 7             | Взять палец (2 шт.), палец (2 шт.)                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 8             | Установить гидрораскос на балку и отвал при помощи пальцев          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 9             | Взять тягу при помощи грузоподъемного оборудования                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 10            | Осмотреть тягу на наличие повреждений и дефектов                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 11            | Взять серьгу (2 шт.), палец (2 шт.), палец (2 шт.)                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 12            | Установить тягу на балку и отвал при помощи пальцев                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 13            | Взять гидроцилиндр (2 шт.) при помощи грузоподъемного оборудования  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 14            | Осмотреть гидроцилиндр на наличие повреждений и дефектов            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 15            | Взять палец (4 шт.), палец (4 шт.)                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |
|                |                       | 16            | Установить гидроцилиндр на отвал и раму трактора при помощи пальцев |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |

Продолжение таблицы 9

| Номер операции | Наименование операции | Номер позиции | Этапы и переходы технологического процесса                                        | Используемое оборудование | Время, мин. |
|----------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|
| 015            | Регулировочная        | 1             | Проверить качество выполненных операций и при необходимости выполнить регулировку | —                         | 20          |

Дополнительные требования при сборке и испытаниях.

Общие требования к сборке:

- чистота и порядок на рабочем месте – перед сборкой все детали должны быть очищены от грязи, масла и коррозии;
- проверка комплектности – перед началом работ убедиться, что все детали и крепежные элементы соответствуют спецификации;
- использование смазки – все трущиеся поверхности, пальцы и резьбовые соединения должны быть обработаны смазкой Литол-24 (ГОСТ 21150-87);
- контроль моментов затяжки – болты и гайки должны затягиваться с указанным усилием (проверяется динамометрическим ключом);
- фиксация соединений – после затяжки все резьбовые соединения должны быть зашплинтованы или застопорены.

Требования к гидравлическим компонентам:

- герметичность соединений – перед установкой проверить гидроцилиндры и шланги на отсутствие течи.
- плавность хода штоков – после монтажа гидроцилиндров проверить их работу на холостом ходу (без нагрузки).
- давление в системе – после сборки провести тестовый запуск гидравлики, убедившись в отсутствии скачков давления.

Контроль геометрии и соосности:

- проверка параллельности осей – оси крепления гидроцилиндров, тяг и раскосов должны быть параллельны с допуском  $\pm 1^\circ$ ;
- зазоры в соединениях – максимально допустимый зазор в шарнирных соединениях – 0,5 мм;
- проверка режущей кромки ножей – отклонение угла заточки не должно превышать  $\pm 5^\circ$  от нормы.

#### Испытания после сборки

- функциональная проверка – проверить работу всех подвижных узлов (подъем/опускание отвала, угол поворота);
- тест под нагрузкой – произвести пробную работу с грунтом для проверки жесткости конструкции;
- контроль затяжки крепежа – после первых 10 часов работы проверить момент затяжки критичных болтовых соединений.

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки рабочего навесного оборудования для трактора Т-180.

#### Выводы по разделу.

В данном разделе научно обоснован выбор оптимального технологического процесса, произведен расчет трудоемкости сборочных операций, а также разработан и отображен визуально в графической части выпускной квалификационной работы детализированный технологический процесс сборки рабочего навесного оборудования для трактора Т-180.

## 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 10 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 10 – 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 и 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 относится:

- 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 11).

Таблица 11 – Технологический паспорт процесса обслуживания навесного оборудования

| Технологический процесс                                 | Технологическая операция, вид выполняемых работ                                                                                                                                                                                                                                            | Наименование должности работника, выполняющего работу | Оборудование, техническое устройство, приспособление                                                                                                                                                                                                                                                                           | Материалы, вещества                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Обслуживание навесного оборудования для трактора Т-180 | – проверить отсутствие посторонних стуков и шумов в конструкции навесного оборудования для трактора Т-180;<br>– проверить состояние оборудования на наличие повреждений;<br>– проверить состояние гидравлической системы привода;<br>– выполнить смазку и регулировку механизмов навесного | Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда» [11]   | Кран-балка (грузоподъемность 1 т, ГОСТ 27555-87), стропы текстильные (ГОСТ 25573-82), стропы цепные (ГОСТ 30188-94), тележка гидравлическая (грузоподъемность 200 кг), линейка металлическая (ГОСТ 427-75), шаблон угловой (ТУ 34-567-89), щуп наборный (ГОСТ 882-75), калибр-пробка для проверки отверстий, динамометрический | Смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-87), герметик для гидравлических соединений, шплинты (ГОСТ 397-79), ветошь, растворитель |

Продолжение таблицы 11

| Технологический процесс | Технологическая операция, вид выполняемых работ | Наименование должности работника, выполняющего работу | Оборудование, техническое устройство, приспособление                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Материалы, вещества |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                         | оборудования для трактора Т-180                 |                                                       | ключ (диапазон 50–200 Н·м), набор гаечных ключей (рожковых, накидных), головки с воротком (размеры под болты М12–М24), молоток слесарный (вес 0,5 кг, ГОСТ 2310-77), домкрат гидравлический (5 т), зубило, кернер, подставки регулируемые для фиксации отвала, кондуктор для точной установки ножей, тиски слесарные (крепление на верстак), лебедка ручная (тяговое усилие 500 кг) |                     |

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 12 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса.

Таблица 12 – Результаты идентификации профессиональных рисков

| Операция                                                       | ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» | Источник возникновения ОиВПФ        |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Проверка отсутствия посторонних стуков и шумов в конструкции | «Острые кромки, заусенцы и                                                              | Элементы конструкции базовой машины |

Продолжение таблицы 12

| Операция                                                                                                                                                                                                                                                                    | ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» | Источник возникновения ОиВПФ                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>навесного оборудования для трактора Т-180.</p> <p>2 Проверка состояния оборудования на наличие повреждений.</p> <p>3 Проверка состояния гидравлической системы привода.</p> <p>4 Выполнить смазку и регулировку механизмов навесного оборудования для трактора Т-180</p> | шероховатость на поверхностях деталей трактора, навесного оборудования                  |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | Запыленность и загазованность воздуха                                                   | Поднимающаяся пыль от инструмента, ног» [10].                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | «Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования                            | Элементы конструкции базовой машины                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | Возможность поражения электрическим током                                               | Инструмент в зоне проведения технического обслуживания                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | Отсутствие или недостаток естественного света                                           | Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12]. |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | «Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой                          | Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [12]  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | «Напряжение зрительных анализаторов                                                     |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | Монотонность труда, вызывающая монотонию                                                |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 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                                                            |

## Продолжение таблицы 12

| Операция | ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» | Источник возникновения ОиВПФ                                                                                      |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                         | помещении, где производится технологический процесс» [12].                                                        |
|          | «Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой                          | «Однообразно повторяющиеся технологические операции.<br>Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12] |
|          | Напряжение зрительных анализаторов                                                      |                                                                                                                   |
|          | Монотонность труда, вызывающая монотонию» [14]                                          |                                                                                                                   |

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.

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

| Профессиональный риск                                                | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Средства индивидуальной защиты                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»        | Организационно-технические мероприятия: <ul style="list-style-type: none"><li>– инструктажи по охране труда;</li><li>– содержание технических устройств в надлежащем состоянии</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12]. |
| «Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля» | Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания.<br>Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией.<br>Санитарно-гигиенические мероприятия: <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> | Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12]. |

Продолжение таблицы 13

| Профессиональный риск    | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Средства индивидуальной защиты                               |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| «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 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</li> </ul> | Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20]. |

Продолжение таблицы 13

| Профессиональный риск                      | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Средства индивидуальной защиты                                                            |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | систем;<br>– использование шумоподавляющих материалов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                           |
| «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 аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением;</li> <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> | Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12]. |

Продолжение таблицы 13

| Профессиональный риск                                                                | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Средства индивидуальной защиты |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                      | <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> |                                |
| 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> </ul>                                                                                                                                       | —                              |



Продолжение таблицы 13

| Профессиональный риск | Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Средства индивидуальной защиты |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [7].</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 вовлеченности;</li> <li>– внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы;</li> <li>– «регламентированные перерывы и микропаузы, 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» [20].</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 14).

Таблица 14 – 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 | Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, |

Продолжение таблицы 14

| Участок | Оборудование | Класс пожара | Опасные факторы пожара                                             | Сопутствующие проявления факторов пожара                              |
|---------|--------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|         |              |              | концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения | 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, вертолёт (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.

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).

План 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 (ПЛАС) 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 отвала бульдозерного оборудования гусеничного трактора Т-180 (таблица 15).

Таблица 15 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании отвала бульдозерного оборудования гусеничного трактора

| Перечень мероприятий по профилактике и устранению пожарной угрозы                                                                           | Нормативные требования к поддержанию 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                                                 |
| 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» [6]                                                              |
| «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.

При ТО оборудования необходимо проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания.

## **5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого процесса обслуживания отвала бульдозерного 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 — это не просто охрана природы, а продуманная система мер, обеспечивающая устойчивое развитие общества и сохранение благоприятной природной среды для будущих поколений. Такой подход подразумевает баланс интересов экономики, экологии и социальной сферы, позволяющий минимизировать негативное влияние человеческой деятельности на природу и поддерживать качество жизни населения на высоком уровне.

В рамках настоящего раздела идентифицируются вредные и опасные экологические факторы, возникающие в процессе технического обслуживания навесного оборудования трактора Т-180.

Результаты идентификации вносятся в таблицу № 16, которая предназначена для дальнейшего анализа и выработки эффективных мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду и здоровье персонала.

Таблица 16 – Идентификация вредных и опасных экологических факторов

| Технологический процесс                                 | Антропогенное воздействие на окружающую среду:                                                               |                       |                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                         | атмосфера                                                                                                    | гидросфера            | литосфера                                                                                                                       |
| «Обслуживание навесного оборудования для трактора Т-180 | 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]. |

Для минимизации вреда от пыли и СОЖ требуется комплексный подход: технический – фильтрация и модернизация оборудования, организационный – обучение персонала, контроль норм, экологический – правильная утилизация отходов. Составляем сводную таблицу 17 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 17 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда

| Вредный фактор                                       | Способ устранения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Примечание                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мелкодисперсная пыль                                 | Фильтрация:<br>– циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%);<br>– рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%);<br>– субмикронной пыли (используют коронный разряд).<br>мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов).<br>– электрофильтры – для субмикронной пыли | –                                                                                                                                                     |
| Испарения СОЖ и масляных аэрозолей                   | Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха.<br>Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС).<br>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).<br>ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м <sup>3</sup> (СанПиН 1.2.3685-21). |
| Отходы различного типа: металлическая стружка и лом; | Пере熔ка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в спецпечах. Сортировка и захоронение/                                                                                                                                                                                                                                         | –                                                                                                                                                     |



Продолжение таблицы 17

| Вредный фактор                                               | Способ устранения                                                                                   | Примечание |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| промасленная ветошь, спецодежда; твердые коммунальные отходы | переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах                                             |            |
| 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 целях обеспечения безопасной эксплуатации и соответствия экологическим стандартам проекта были выполнены следующие важные мероприятия:

- составлен технологический паспорт процесса обслуживания навесного оборудования для трактора Т-180, содержащий подробную инструкцию по проведению безопасного ремонта и обслуживания, а также требования к квалификации исполнителей и необходимым средствам индивидуальной защиты;
- проведен глубокий анализ потенциальных профессиональных рисков, возникающих при эксплуатации оборудования, разработаны и внедрены действенные меры для их существенного сокращения, включая внедрение современных средств контроля состояния здоровья работников и улучшение эргономики рабочих мест;
- 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

Основной задачей анализа является определение целесообразности инвестиций, сравнение ожидаемой выгоды с предполагаемыми расходами, а также прогнозирование будущей доходности и окупаемости вложенных средств.

Основные исходные данные представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Исходные данные

| Наименование                           | Условные обозначения | Единица измерения | БТ    | НТ    |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------|-------|-------|
| Производительность                     | П                    | м³/ч              | 120   | 135   |
| Масса техники                          | –                    | т                 | 19    | 20    |
| Установленная мощность                 | –                    | кВт               | 130   | 130   |
| Количество обслуживающего персонала    | –                    | чел               | 1     | 1     |
| Оптовая цена                           | Ц                    | тыс. р.           | 160,0 | 240,0 |
| Средняя трудоемкость устранения отказа | Г <sub>о</sub>       | чел.-ч.           | 4,5   | 4,5   |

«Годовая производительность машины определяется по формуле:

$$П = П_{\text{г}} \cdot T_{\text{г}}, \quad (67)$$

где  $П_{\text{г}}$  – среднечасовая техническая производительность машины в натуральных измерениях;

$T_{\text{г}}$  – количество машино-часов работы в год на одну машину» [8].

«Количество машиночасов работы в год на одну машину определяется по формуле:

$$T_{\text{г}} = \frac{\Phi}{\left( \frac{1}{k_{\text{см}} \cdot t_{\text{см}}} + D_p + \frac{T_n}{T_{\text{об}}} \right)}, \quad (68)$$

где  $\Phi$  – фонд рабочего времени, дней, принимается равным 255 дней;

$k_{см}$  – средний коэффициент сменности работы машины, см/дней, принимается равным 1,4 см/дней;

$t_{см}$  – средняя продолжительность рабочей смены, ч., принимается равным 7,71 ч.;

$D_p$  – количество дней нахождения машины в ТО и Р приходящееся на 1 маш·ч./раб.;

$T_{п}$  – средняя продолжительность одной перебазировки машины, дней, так как не перебазируется, принимается равным 0;

$T_{об}$  – среднее количество машино-часов, маш.-ч., принимается равным 1000 маш.-ч» [8].

«Количество дней нахождения машины в ТО и Р:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n B_i H_i}{k_x \cdot T_{ц}} + \frac{B_o}{t_o}, \quad (69)$$

где  $k_x$  – коэффициент, принимается равным 1,2;

$B_i$  – нормативная продолжительность выполнения технических обслуживаний и ремонтов;

$H_i$  – количество технических обслуживаний и ремонтов за межремонтный цикл;

$B_o$  – средняя продолжительность устранения одного отказа, дни;

$t_o$  – наработка машины на отказ, принимается равным 150 маш.-ч.;

$T_{ц}$  – межремонтный цикл, маш.-ч» [8].

Значение числителя формулы (69) для традиционной техники принимаем равной 0,0103 дн./маш.-ч.

Тогда для БТ:

$$D_p = \frac{0,0103}{1,2} + \frac{0,35}{150} = 0,0109 \text{ дн/маш. – ч.},$$

$$T_z = \frac{255}{(0,093 + 0,0109)} = 2454 \text{ маш. – ч./год};$$

$$P_g = 67,16 \cdot 2454 = 164,811 \text{ тыс.м}^3/\text{год}.$$

Для НТ:

$$P_g = 84,83 \cdot 2454 = 208,173 \text{ тыс.м}^3/\text{год}.$$

«Величину капитальных затрат для БТ и НТ можно определить по формуле:

$$K = k_b \cdot C, \quad (70)$$

где  $k_b$  – коэффициент перехода от оптовой цены к среднебалансовой стоимости объекта капиталовложений;  
 $C$  – оптовая цена» [8].

Для БТ: 134,4 тыс. руб., для НТ: 89,6 тыс. руб.

Определяем текущие затраты.

«Затраты на основную заработную плату оператора определяются по формуле:

$$Z_o = 1,62 \cdot k_c \cdot n \cdot G, \quad (71)$$

где  $k_c$  – средний коэффициент к тарифной ставке, принимается равным 1,105;  
 $n$  – количество операторов в одну смену;

$G$  – часовая тарифная ставка работы, принимается равной 156,88 р./маш.-ч» [8].

Тогда для БТ

$$З_o = 1,62 \cdot 1,105 \cdot 1 \cdot 156,88 = 280,83 \text{ р./маш.-ч.}$$

НТ:

$$З_o = 1,62 \cdot 1,105 \cdot 1 \cdot 156,88 = 280,83 \text{ р./маш.-ч.}$$

«Затраты на выполнение ТО и Р машины определяются по формуле:

$$P_{рем} = 1,3 \cdot 1,2 k_c c_T \left[ \frac{\sum_{i=1}^n r_i H_i}{k_x T_{\text{ц}}} + \frac{r_o}{t_o} \right] \cdot (1 + 0,846 \cdot k_{\text{зч}}), \quad (72)$$

где  $k_c$  и  $r_o$  – трудоемкость выполнения ТО и текущих ремонтов;

принимается равным 1,105 и 4,5 чел.-ч.;

1,2 – средний коэффициент, учитывающий премии рабочих;

$c_T$  – часовая тарифная ставка среднего разряда работы 139,2 р.

$k_{\text{зч}}$  – коэффициент перехода от суммы основной заработной платы технической эксплуатации машины к стоимости запасных частей, принимаем равным 1,3;

$t_o$  – средняя наработка на отказ» [7].

Значение числителя для формулы (72) принимаем равным 0,0147.

Для БТ и НТ:

$$P_{\text{рем}} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 139,2 \cdot \left[ \frac{0,0147}{0,82} + \frac{4,5}{150} \right] \cdot (1 + 0,846 \cdot 1,3) = 0,52 \text{ р./маш. - ч.}$$

«Амортизационные отчисления машины определяются по формуле:

$$A = 1,1 \cdot a_n \frac{K}{T_z}, \quad (73)$$

где  $a_n$  – нормы амортизационных отчислений в долях единицы, принимаем равным 0,15» [8].

$$A_{BT} = 1,1 \cdot 0,24 \frac{134,4}{2454} = 14,46 \text{ р.},$$

$$A_{HT} = 1,1 \cdot 0,24 \frac{89,6}{2454} = 9,64 \text{ р.}$$

«Затраты на топливо для строительных машин определяются по формулам:

$$Z_{\text{от}} = 1,1 \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{от}i} \cdot W_i, \quad (74)$$

где:  $\Pi_{\text{от}}$  – тариф на топливо;

$W_i$  – затраты топлива на 1 маш.-ч. работы машины» [8].

$$W_i = N_{\text{э}} \cdot k_{\text{СП}}. \quad (75)$$

$$Z_{\text{отHT}} = 1,1 \cdot 50,5 \cdot 0,198 = 10,99 \text{ р./маш. - ч.},$$

$$Z_{\text{отБТ}} = 1,1 \cdot 50,5 \cdot 0,198 = 10,99 \text{ р./маш. - ч.}$$

«Затраты на смазочные материалы определяются по формуле:

$$Z_c = k_e \cdot Z_{\text{от}}, \quad (76)$$

где  $k_e$  – коэффициент перехода от затрат на электроэнергию к затратам на смазочные материалы, принимается равным 0,22» [7].

$$Z_{сБТ} = 0,22 \cdot 10,99 = 2,42 \text{ р./маш. – ч.,}$$

$$Z_{сНТ} = 0,22 \cdot 10,99 = 2,42 \text{ р./маш. – ч.,}$$

Расчетные величины сводим в таблицу 19.

Таблица 19 – Калькуляция текущих затрат

| Статьи затрат                  | Обозначения | Затраты, руб. |        |
|--------------------------------|-------------|---------------|--------|
|                                |             | БТ            | НТ     |
| Зарплаты операторам            | $Z_o$       | 280,83        | 280,83 |
| Отчисления на социальные нужды | 30%         | 84,25         | 84,25  |
| Затраты на ТО и Р              | $P_{рем}$   | 0,52          | 0,52   |
| Отчисления на амортизацию      | $A$         | 14,46         | 9,64   |
| Затраты на топливо             | $Z_{дт}$    | 10,99         | 10,99  |
| Затраты на смазку              | $Z_c$       | 2,42          | 2,42   |
| Общая сумма затрат             | $C$         | 393,47        | 393,47 |

«Годовой экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \Pi'' \left[ \frac{C'}{\Pi'} - \frac{C''}{\Pi''} + E_n \left( \frac{k'}{\Pi'} - \frac{k''}{\Pi''} \right) \right], \quad (77)$$

где  $\Pi''$  – годовой объем работ, выполняемый с использованием НТ;

$C$  – себестоимость;

$k$  – капиталовложения;

$E_n$  – нормативный коэффициент сравнения эффективности капитальных вложений, принимается равным 0,15» [8].

$$\mathcal{E} = 208,179 \cdot \left[ \frac{393,47}{67,17} - \frac{25,22}{84,83} + 0,15 \cdot \left( \frac{134,400}{164,811} - \frac{89,600}{208,179} \right) \right] = 86,8 \text{ р.}$$

Удельная фондоемкость вычисляется по формуле:

$$\Phi_y = \frac{K}{\Pi_y}. \quad (78)$$

$$\Phi_{yBT} = \frac{134,4}{164,811} = 0,45 \text{ р./м}^3,$$

$$\Phi_{yHT} = \frac{89,6}{208,179} = 0,30 \text{ р./м}^3.$$

Годовые эксплуатационные издержки вычисляются по формуле:

$$\mathcal{E}_u = C \cdot \Pi_i, \quad (79)$$

$$\mathcal{E}_u = 30,04 \cdot 2454 = 73718 \text{ р.},$$

$$\mathcal{E}_u = 25,22 \cdot 2454 = 61890 \text{ р.}$$

«Снижение затрат на материалы определим по формуле:

$$\Delta Q = (g_y' - g_y'') \Pi'', \quad (80)$$

где  $g_y'$  и  $g_y''$  -соответственно, удельная материалоемкость продукции, вырабатываемой техникой до и после модернизации» [7].

«Определим удельную материалоемкость по формуле:

$$g_y = \frac{Q}{T_{cl} \cdot k_M \cdot \Pi}, \quad (81)$$

где  $Q$  – масса машины, т;

$k_M$  – коэффициент использования материала, принимается равным 0,8;

$T_{cl}$  – срок службы машины» [8].

$$g_y' = \frac{13,1}{8 \cdot 0,8 \cdot 164,811} = 0,011 \text{ кг/м}^3,$$



$$g_y'' = \frac{6,9}{8 \cdot 0,8 \cdot 208,179} = 0,005 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда  $\Delta Q$  будет:

$$\Delta Q = (0,011 - 0,005) \cdot 208,179 = 1,250 \text{ т/год.}$$

Срок окупаемости затрат вычисляем по формуле:

$$T_{ок} = \frac{Ц_M}{\mathfrak{E}_z}, \quad (82)$$

$$T_{цнт} = \frac{80,0}{43,46} = 1,8 \text{ года.}$$

«Снижение затрат труда на единицу выпускаемой продукции, (на 1 модернизацию машины) вычисляем по формуле:

$$\Delta R = \left[ \frac{T_z \left( n + \frac{r_o'}{t_o} \right)}{\Pi'} - \frac{T_z \left( n + \frac{r_o''}{t_o} \right)}{\Pi''} \right] \Pi'', \quad (83)$$

где  $n$  – число членов экипажа, чел» [8].

$$\Delta R = \left[ \frac{2454 \left( 1 + \frac{4,5}{150} \right)}{164,811} - \frac{2454 \left( 1 + \frac{4,5}{150} \right)}{208,179} \right] \cdot 208,179 = 315 \text{ чел.ч/год.} \quad (84)$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 20.

Таблица 20 – Основные технико-экономические показатели модернизации

| Показатели                                  | Единица измерения | Величины |       |
|---------------------------------------------|-------------------|----------|-------|
|                                             |                   | Проект   | База  |
| Масса машины                                | т                 | 20       | 19    |
| Мощность двигателя                          | кВт               | 130      | 130   |
| Эксплуатационная часовая производительность | м <sup>3</sup> /ч | 135      | 120   |
| Инвентарно-расчетная стоимость машины       | тыс. р.           | 160,0    | 240,0 |
| Удельная фондоемкость                       | р./т              | 0,30     | 0,45  |
| Годовые эксплуатационные издержки           | р./год            | 61890    | 73718 |
| Затраты на модернизацию                     | р.                | 80000    | –     |
| Снижение удельной металлоемкости            | т                 | 1,250    | –     |
| Годовой экономический эффект                | тыс. р.           | 86,8     | –     |
| Срок окупаемости затрат                     | год               | 1,8      | –     |
| Снижение затрат труда                       | чел.-ч./год       | 315      | –     |

Выводы по разделу.

Раздел посвящен обоснованию эффективности модернизации отвала тракторов марки Т-180 с точки зрения экономики. Расходы на переоборудование составляют 80 тысяч рублей. Экономическая обоснованность проекта заключается в следующем:

- Затраты возвращаются в течение примерно 1,8 года, благодаря снижению текущих затрат на эксплуатацию техники.
- Увеличение срока эксплуатации и повышение производительности делают использование обновленного трактора более выгодным.
- Конструкция модернизированного отвала удовлетворяет актуальным стандартам сельскохозяйственной и строительной техники.

Таким образом, представленная модернизация является оправданной и перспективной мерой для повышения экономической отдачи от эксплуатации тракторной техники модели Т-180.

## Заключение

В соответствии с утвержденной темой дипломного проекта была проведена модернизация отвала бульдозера для гусеничного трактора, который позволил бы выполнять более эффективную разработку грунта.

В работе затрагивается проблема необходимости совершенствования конструкции бульдозерного отвала для повышения его производительности.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие этапы:

- проведен анализ современных тенденций и направлений развития рабочих органов бульдозеров, предложена классификационная схема;
- выполнены расчеты тяговых характеристик базового шасси гусеничного трактора Т-180;
- разработана новая конструкция отвала, включающая дополнительные элементы (боковые ограничители), повышающие объем захвата и эффективность обработки грунта;
- произведены необходимые инженерные расчеты нового оборудования, обеспечивающего повышенную вместимость материала;
- рассчитаны трудозатраты и разработан оптимальный технологический процесс сборки модернизированной конструкции;
- изучены аспекты экологической безопасности и соответствия нормативным требованиям;
- оценена экономическая целесообразность внедрения новой технологии.

Выполнение указанных мероприятий позволило существенно повысить технические показатели и снизить расходы на выполнение земляных работ, подтвердив необходимость модернизации бульдозерного оборудования.

## Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Банников С. А. «Трактор Т-150: Учебник для подгот. рабочих на производстве/ С.А. Банников, В.А. Родичев. - Москва : Высш. школа, 1977. 200 с.
- 2 Беляев В. П. Конструкция автомобилей и тракторов: учебное пособие для самостоятельной работы студентов: для студентов вузов, обучающихся по специальности Автомобиле- и тракторостроение / В. П. Беляев; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. Автомобили. - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2010. 74 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 : Академия, 2009. 556 с.
- 4 Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин: учебное пособие для студентов специальности - Наземные транспортно-технологические средства: практикум/ М.Д. Герасимов; Минобр РФ, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2017. 115 с.
- 5 Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта» [8]. Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. 22 с.
- 6 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.

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

8 Демура Н. А. Экономика предприятия: учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства и направления подготовки - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. 124 с.

9 Дубинин Н. Н. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств: учебное пособие для студентов специальности - Наземные транспортно-технологические средства специализации Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях/ Н. Н. Дубинин; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 258 с.

10 Зузов В. Н. «Механика наземных транспортно-технологических средств» [4]: 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

11 Кротов С. В. Расчеты на прочность и жесткость элементов конструкций и сооружений с применением ANSYS : учебное пособие / С. В. Кротов; Росжелдор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Ростовский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО РГУПС). - Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. 95 с.

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

13 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.

14 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.

15 Основные характеристики и тенденции развития современных отечественных и зарубежных сельскохозяйственных тракторов: учебное пособие» [5]/ 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.

16 Перегудов Н. Е. Основы создания трехмерных моделей деталей и сборочных единиц автотракторной техники: учебное пособие» [9]/ Н.Е. Перегудов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Липецкий государственный технический университет. - Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2021. 112 с.

17 Савкин А. Н. «Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств: 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 Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград: ВолгГТУ, 2014. 211 с.

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

19 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта: электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2021. 12 с.

20 Шубин А. А. Разработка технологического процесса изготовления детали: учебное пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Технология производства наземных транспортно-технологических средств» [2]/ А. А. Шубин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Калужский филиал. - Калуга : Манускрипт, cop. 2018. 65 с.

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

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

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

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

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

## Спецификации

[illegible]

Рисунок А.1 – Спецификация на общий вид бульдозера



Продолжение Приложения А

| Перв. примен. |  |  | Формат    | Зона | Поз.            | Обозначение               | Наименование      | Кол.                         | Примечание |  |
|---------------|--|--|-----------|------|-----------------|---------------------------|-------------------|------------------------------|------------|--|
|               |  |  |           |      |                 |                           |                   |                              |            |  |
|               |  |  |           |      |                 |                           | Документация      |                              |            |  |
|               |  |  | A1        |      |                 | 25.ДП.01.108.61.02.000.СБ | Сборочный чертеж  | 1                            |            |  |
|               |  |  |           |      |                 |                           | Сборочные единицы |                              |            |  |
| Справ. №      |  |  | A1        | 1    |                 | 25.ДП.01.108.61.01.000    | Отвал             | 1                            |            |  |
|               |  |  |           | 2    |                 | 25.ДП.01.108.61.02.000    | Брус              | 2                            |            |  |
|               |  |  |           | 3    |                 | 25.ДП.01.108.61.03.000    | Гидрораскос       | 1                            |            |  |
|               |  |  |           | 4    |                 | 25.ДП.01.108.61.04.000    | Гидроцилиндр      | 2                            |            |  |
|               |  |  | A3        | 5    |                 | 25.ДП.01.108.61.05.000    | Тяга              | 1                            |            |  |
|               |  |  |           |      |                 |                           | Детали            |                              |            |  |
|               |  |  | A3        | 6    |                 | 25.ДП.01.108.61.02.006    | Серьга            | 1                            |            |  |
|               |  |  | A4        | 7    |                 | 25.ДП.01.108.61.02.007    | Палец             | 1                            |            |  |
|               |  |  | A4        | 8    |                 | 25.ДП.01.108.61.02.008    | Палец             | 1                            |            |  |
| Подп. и дата  |  |  |           |      |                 |                           |                   |                              |            |  |
| Инв. № докл.  |  |  |           |      |                 |                           |                   |                              |            |  |
| Взам. инв. №  |  |  |           |      |                 |                           |                   |                              |            |  |
| Подп. и дата  |  |  |           |      |                 |                           |                   |                              |            |  |
| Инв. № подл.  |  |  |           |      |                 |                           |                   |                              |            |  |
|               |  |  | Изм.      | Лист | № докум.        | Подп.                     | Дата              | 25.ДП.01.108.61.02.000       |            |  |
|               |  |  | Разраб.   |      | Зинуров И.Э.    |                           |                   | Оборудование<br>бульдозерное |            |  |
|               |  |  | Пров.     |      | Угарова Л.А.    |                           |                   |                              |            |  |
|               |  |  | Н.контр.  |      | Угарова Л.А.    |                           |                   | ТГУ, АТс-2001а               |            |  |
|               |  |  | Утв.      |      | Бобровский А.В. |                           |                   |                              |            |  |
|               |  |  | Копировал |      |                 |                           |                   |                              | Формат А4  |  |

Рисунок А.2 – Спецификация на оборудование для бульдозера

### Продолжение Приложения А

|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|----------------------|-----------------|----------|----------------------|----------------------------|------|------------|
| Формат               | Зона            | Поз.     | Обозначение          | Наименование               | Кол. | Примечание |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| Перв. примен.        |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      | Документация               |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      | A1              |          | 25.ДПО1108.61.01.000 | Сборочный чертеж           | 1    |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      | Сборочные единицы          |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 | 1        | 25.ДПО1108.61.01.000 | Боковой нож                | 2    |            |
|                      |                 | 2        | 25.ДПО1108.61.02.000 | Средний нож                | 2    |            |
|                      |                 | 3        | 25.ДПО1108.61.03.000 | Любовой лист               | 1    |            |
| Справ. №             |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      | Стандартные изделия        |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 | 4        |                      | Болт М18 х 70 ГОСТ 7811-70 | 24   |            |
|                      |                 | 5        |                      | Шайба 18 ГОСТ 11371-78     | 24   |            |
|                      |                 | 6        |                      | Гайка М18 ГОСТ 15526-70    | 24   |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| Подп. и дата         |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| Инв. № экз.          |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| Взам. инв. №         |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| Подп. и дата         |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| Инв. № подл.         |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      |                            |      |            |
| 25.ДПО1108.61.01.000 |                 |          |                      |                            |      |            |
| Изм.                 | Лист            | № докум. | Подп.                | Дата                       |      |            |
| Разраб.              | Зинуров И.Э.    |          |                      |                            |      |            |
| Проб.                | Угарова Л.А.    |          |                      |                            |      |            |
| Н.контр.             | Угарова Л.А.    |          |                      |                            |      |            |
| Утв.                 | Бобровский А.В. |          |                      |                            |      |            |
| Отвал                |                 |          |                      |                            |      |            |
|                      |                 |          |                      | Лит.                       | Лист | Листов     |
|                      |                 |          |                      | Д                          |      | 1          |
|                      |                 |          |                      | ТГУ, АТс-2001а             |      |            |

Рисунок А.3 – Спецификация на оборудование для бульдозера