

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра Эксплуатации и ремонта машин
Направление подготовки –350406 Агроинженерия
Магистерская программа – Технический сервис в сельском хозяйстве

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
ТЕМА: РАЗРАБОТКА УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Магистрант _____ Гаязов Ф.М.

Научный руководитель,
д. т. н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол №__ от _____ 2019 г.)

Руководитель магистерской программы,
д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ.....	
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	
1.1. Анализ причин потерь работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих СХМ.....	
1.2. Анализ существующих технологий упрочнения поверхностей деталей, работающих в абразивной среде.....	
1.2.1 Метод виброискрового упрочнения.....	
1.2.2. Методы электрохимического и электролитического упрочнения.....	поверхности деталей.....
1.2.3. Метод вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических.....	порошков (МКС).....
1.3. Формулирование цели и задач исследования.....	
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ.....	
2.1. Оценка сложности ремонта машин и определение его видов.....	
2.2. Исследование напряженности электрического поля в зоне горения дуги при вибродуговом упрочнении.....	
2.3. Влияющие факторы на микроплазменный разряд при вибродуговом упрочнении.....	
2.4. Методика упрочнения деталей с использованием металлокерамических порошков.....	

2.5. Методика упрочнения деталей машин с использованием
металлопорошков за
рубежом.....

2.6. Программа экспериментальных исследований.....

2.7. Методика экспериментальных исследований.....

2.8. Методика измерения твердости и микротвердости.....

2.9. Методика определения ударной вязкости металлокерамического
слоя.....

2.10. Определение износостойкости покрытий.....

2.11. Определение массы детали.....

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ
ПОРОШКОВ.....

3.1. Программа исследований.....

3.2. Установка для вибродугового упрочнения упрочнения с
использованием металлокерамических
порошков.....

3.2.1. Устройство и принцип работы.....

3.2.2. Подготовка к работе.....

3.2.3. Порядок работы.....

3.2.4. Техническое обслуживание.....

3.2.5. Возможные неисправности и способы их устранения.....

3.2.6. Указания мер безопасности при эксплуатации установки
вибродугового упрочнения.....

3.3 Порядок изготовления лабораторных образцов с нанесением
металлокерамических
паст.....

3.4 Оценка необходимого числа измерений.....

3.5 Исследование морфологии поверхности упрочненных образцов
вибродуговой обработкой с использованием МКП.....

ГЛАВА 4. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И
ОБРАБОТКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....

4.1. Организация и проведение эксплуатационных исследований
упрочненных стрелчатых лап в условиях хозяйства СХПК «Урал».....

4.2. Обработка результатов эксплуатационных исследований.....

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛИ.....

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В процессе эксплуатации современных сельскохозяйственных машин (СХМ), по мере изнашивания рабочих органов изменяются их массогабаритные, физико-механические свойства и геометрические размеры, что в свою очередь сказывается на эффективности эксплуатации СХМ.

Целью исследования является снижение затрат на восстановление и упрочнение рабочих органов СХМ путем применения вибродуговой обработки с использованием металлокерамических порошков. Сельскохозяйственная техника по условиям эксплуатации работает не круглый год и периодически устанавливается на сезонное хранение. От качества сезонного хранения во многом зависит эффективность эксплуатации сельскохозяйственной техники. В период хранения необходимо осуществлять все ремонтно-обслуживающие воздействия, связанные с восстановлением работоспособности и повышения ресурса рабочих органов СХМ. Повышенная износостойкость рабочих органов СХМ позволяет не только продлить их ресурс эксплуатации, но и обеспечить в процессе работы непосредственно в поле заданные агротехнические требования, предъявляемые к почвообрабатывающим машинам, а это в свою очередь позволяет повысить урожайность возделанных культур.

Согласно ГОСТам к восстановленным деталям и агрегатам, ремонт считается успешным в случае, если удастся достичь 70% от ресурса срока службы новой детали или нового агрегата. Использование технологий вибродугового упрочнения позволит повысить этот показатель до 170 %.

Цель работы. Исследование обоснования режимов и составов металлокерамических порошков при упрочнении рабочих органов СХМ на примере стрелчатых лап культиватора.

Задачи исследований

1. Разработать методику экспериментальных исследований;
2. Обосновать режимы и составы металлокерамических порошков при вибродуговом упрочнении, провести лабораторные и полевые исследования упрочненных опытных образцов ;
3. Провести статистическую обработку результатов экспериментальных исследований.

Объект исследований: Технологический процесс вибродугового упрочнения с использованием МКП.

Предмет исследований: Определение состава порошков и режимов вибродугового упрочнения при получении износостойких покрытий, их физико-механических и служебных свойств.

Методология и методика исследований. Теоретическое исследование включает обоснование возможности восстановления и упрочнения изношенного рабочего органа наплавкой твердых сплавов. Для подтверждения результатов исследования проведены эксплуатационные исследования.

Реализация результатов исследования: Установлена зависимость физико-механических и служебных свойств покрытий и порошков и режимов вибродугового упрочнения

Вклад автора в проведение исследований: Определены составы порошков и режимов вибродугового упрочнения рабочих органов СХМ. Исследовано зависимость физико-механических и служебных свойств покрытий порошков. Разработан технологический процесс упрочнение рабочих органов СХМ.

Апробация результатов исследований. Основные результаты работы были представлены и обсуждены на научно-практических конференциях Казанского ГАУ.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 3 печатных работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, пять глав, заключение и список используемой литературы, включающий 35 наименований. Работа содержит страниц, рисунков, таблиц.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Анализ причин потерь работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих СХМ

В агропромышленном комплексе Республики Татарстан (РТ) используются широкий спектр отечественных и зарубежных почвообрабатывающих СХМ. Основным рабочим органом которых является детали контактирующие непосредственно с почвой (стрельчатые лапы, лемеха, предплужники, диски сочников и т.д.). Такие условия работы предполагают интенсивное изнашивание, в следствие контакта рабочих органов почвообрабатывающих СХМ с абразивной средой (почва). Почвенные характеристики РТ различны. Имеются почвы каменистые, песчаные, суглинки, сероземы и т.д. На различных почвах интенсивность изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих СХМ различна, что приводит к различной скорости их изнашивания. Поэтому одни и те же рабочие органы почвообрабатывающих СХМ в различных районах РТ имеют значительное расхождение по срокам службы эксплуатации. Интенсивный износ рабочих органов почвообрабатывающих СХМ значительно влияет на эффективность эксплуатации этих машин. В следствие того, что в короткий сезонный период работы почвообрабатывающих СХМ появляется необходимость останавливать работу этих машин и менять их рабочие органы.

В следствие интенсивного износа при работе в агрессивной абразивной среде (почва) изменяются в значительной мере геометрические размеры рабочих органов почвообрабатывающих СХМ. Эти изменения могут составлять до десятков мм. Такое существенное нарушение в геометрии рабочих органов, в значительное мере сказывается на реализации заявленных агротехнических требований при работе этих СХМ. Они как правило существенно нарушаются. В свою очередь нарушение агротехнических

требований обязательно скажется на конечном результате, а именно будет снижение урожайности возделываемых культур.

Одним из основных почвообрабатывающих СХМ при междурядной обработки различных сельскохозяйственных культур являются культиваторы. На территории РТ используются культиваторы различных марок отечественных и зарубежных производителей. Основным рабочим органом этих культиваторов являются стрельчатые лапы. Количество стрельчатых лап на одном культиваторе варьируется в широких диапазонах в зависимости от ширины захвата. На секции КПС-4 при использовании лап 330 размера их установлено 9 штук. Такое количество стрельчатых лап на культиваторах предполагает их большое количество в условиях междурядной обработки по РТ.

Геометрия стрельчатых лап на всех культиваторах отечественного и зарубежного производства примерно одинаково. В современных стрельчатых лапах имеется зона носка симметричных крыльев (ножей), а также зона крепления стрельчатой лапы к стойке культиватора.

Все стрельчатые лапы культиваторов работают в условиях сильного динамического нагружения. Это приводит к тому, что помимо абразивного износа самих лап, происходит и другие отказы в системе. К таким отказам можно отнести разрушение стрельчатых лап, отрыв крепления стрельчатых лап, деформация стойки на которых крепятся стрельчатые лапы, деформация рамных конструкций культиватора (изгиб кручения).

Все выше перечисленные дефекты существенно влияют на эффективность работы культиватора. Поэтому для того, чтобы обеспечить заданные агротехнические требования при работе культиваторов перед началом их эксплуатации осуществляются все необходимые регулировки и правки, которые контролируются на специальных металлических площадках с использованием специальных приспособлений контроля и правки.

Правильность монтажа стрельчатой лапки на стойку осуществляется после их сборки в специальном шаблоне. Если имеются отклонения от

шаблона, стойку лапы культиватора подвергают горячей правке, после чего опять сопряжение контролируется в шаблоне.

Деформацию элементов рамы культиватора также контролируют в специальном приспособлении. При наличии избыточной деформации элементы рамной конструкции культиватора подвергаются холодной правке путем использования специальных растяжных устройств, которые позволяют устранить избыточный изгиб и кручение рамных конструкций.

После окончательной сборки культиватора его устанавливают на специальную размеченную ровную металлическую площадку, где тщательно контролируют и регулируют взаимной пространственное расположение стрелчатых лап. Отклонение их частей, таких как носок и крылья лап, не должно превышать заданных величин отклонения пространственного положения. Этот показатель составляет от 5 до 10 мм.

Нарушение пространственного положения стрелчатых лап в процессе эксплуатации как было сказано выше, ведет к нарушению агротехнических требований, а значит и к снижению урожайности возделываемой культуры. Нарушение геометрии стрелчатых лап в следствии их интенсивного износа является основной причиной изменения их пространственного положения. Поэтому обеспечение высокой износостойкости стрелчатых лап существенно влияет на эффективность эксплуатации культиваторов.

Для обеспечения заданной износостойкости стрелчатых лап при их производстве как правило используется легированные стали типа СТ-65Г. В их состав входит такие легирующие элемента, как углерод, марганец, кремний, хром, железо в различных пропорциях.

Но легированные стали, как правило, дорогие и современные производители особенно мелкосерийного производства используют менее дорогие материалы, что существенно сказывается на эффективности и эксплуатации стрелчатых лап.

Наиболее существенному износу у стрелчатых лап подвергаются носок и режущая часть крыльев стрелчатых лап.

Одним из путей снижения интенсивности износа стрелчатых лап является использование технологической операции наплавки твердосплавного материала типа сармайт с тыльной стороны лапы. Сармайт должен быть определенной толщины, чтобы обеспечить заданную износостойкость и эффект самозатачивания.[11]

Если толщина наплавленного сармайта слишком большой, то при истирании верхнего более мягкого слоя сармайт будет выдвигаться вперед, и за счет его хрупкости обламываться. В том случае, если толщина наплавленного слоя сармайта будет не достаточной, то эффект самозатачивания не будет происходить. .[17]

1.2. Анализ существующих технологий упрочнения поверхностей деталей, работающих в абразивной среде

Повышение износостойкости рабочих органов и поверхностей деталей машин, работающих в абразивной среде, весьма актуальная тема. Этими вопросами занимались такие ученые, как В.П. Горячкин, В.Н.Ткачев, Е.И. Черноиванов, Е.А. Пучин, Н.Р. Адигамов, С.Н. Шарифуллин, В.И. Литовченко, Н.Р. Бурункулов и др. Ими было предложено ряд технологий, связанных с повышением износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Основными методами, которые нашли более широкую практику применения в машиностроении по упрочнению рабочих поверхностей, являются:

1.2.1 Метод виброискрового упрочнения

Метод виброискрового упрочнения применяется, как правило при восстановлении и изготовлении высокоточных деталей машин.

Сущность метода заключается в том, что в воздушной среде между поверхностями и электродом создается микроплазменный разряд. Функционирование этого разряда позволяет перенести часть материала, который используется у электрода на упрочняющую поверхность, а также обеспечить диффузию материала электрода внутрь упрочняющей поверхности. Возникновение и обеспечение кратковременного качественного разряда удается получить в результате колебания электродного материала с частотой порядка 75-100Гц. В качестве электродов при виброискровом упрочнении используются электроды, содержащие сплавы тугоплавких металлов высокой твердости. Как правило эти электроды на основе титана, вольфрама, боридов металла, графита и др. элементов. Марки электродов в зависимости от их составов можно получить в справочной литературе. Они выпускаются серийно. В случаях, когда необходимо задать определенные физико-механические свойства такие электроды могут формироваться из отдельных композиций.

Общий вид виброискровой установки для упрочнения поверхности детали приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Общий вид установки для виброискрового упрочнения

В состав этой установки входит: блок формирования электроискрового сигнала с необходимыми инструментами управления и контроля процесса; устройство для формирования виброколебаний с частотой 75 Гц и держателем вольфрамового электрода; силовых кабелей для связей и коммуникаций.

Технологии виброискрового упрочнения имеют ряд преимуществ. К ним относятся:

1. Обеспечение качественного легирования поверхности с проникновением в глубь материала упрочняемой поверхности.
2. Минимальное световое и тепловое излучение.
3. Возможность работать без защитных очков и формы сварщика.
4. Четкое соблюдение зон упрочнения и исключения использования защитных материалов для изоляции поверхности.

5. Низкая энергоемкость процесса.

6. Высокий коэффициент переноса вольфрамового материала электрода на легирующую поверхность порядка 75-80%.

7. Отсутствие термических деформаций на поверхности.

8. Низкий вес установки, что позволяет ее использовать как переносную.

К недостаткам можно отнести не высокую производительность и затруднение использования металлокерамических порошков при виброискровом упрочнении.

Этот метод виброискрового упрочнения в области сельскохозяйственного производства может быть использован при упрочнении тонкостенных деталей, к которым можно отнести:

- режущую часть ножей дисков сошниковых сеялок
- режущая часть ножей зерноуборочных комбайнов
- ножи оборудования перерабатывающей промышленности
- высокоточные детали топливной аппаратуры (плунжеры, толкатели, тарелки толкателей)
- высокоточные детали гидросистем (золотники, плунжеры аксально-плунжерных насосов)
- зубья шестерен
- сегменты шпоночных сопряжений
- лопасти шнеков и турбин.

1.2.2. Методы электрохимического и электролитического упрочнения поверхности деталей

Электрохимический и электролитический методы нанесения упрочняющего покрытия весьма малозатратен и эффективен. Сущность этого метода заключается в следующем. Если в растворитель или в раствор какой-либо соли опустить металлический стержень (например, медный стержень в раствор серной кислоты), то он будет растворяться и переходить в раствор,

образуя по-ложительно заряженные ионы. По мере увеличения концентрации в растворе металл растворяется слабее. При достижении ее определенного значения раствор становится насыщенным и устанавливается подвижное равновесие: какие-то ионы металла переходят в раствор, и в то же - время такое же их количество из раствора оседает на металле [4].

Переход ионов в раствор нарушает электрическую нейтральность металла и раствора. Вследствие электростатического притяжения между ионами в растворе и избыточными электронами на поверхности металла на границе металл — раствор возникает двойной электрический слой с определенной разностью потенциалов (напряжением), которая называется электродным потенциалом и измеряется в вольтах. Потенциал, соответствующий равновесию между металлом и раствором его соли, называется равновесным [8].

Значение электродного потенциала зависит от концентрации ионов металла в растворе. Потенциал металла, помещенного в раствор своих собственных ионов, активность которых составляет 1 моль-ион/л, называется нормальным, или стандартным. Металлы, размещенные в порядке возрастания их нормальных потенциалов, образуют электрохимический ряд напряжений.

Электролиз. Ионы, образовавшиеся в результате электролитической диссоциации, движутся в электролите беспорядочно. Если же в него на некотором расстоянии один относительно другого поместить два токопроводящих электрода, присоединенных к источнику постоянного тока, то под действием электрического поля ионы будут двигаться направленно. В цепи возникнет электрический ток. Электрод, присоединенный к отрицательному полюсу источника тока, называется катодом, а электрод присоединенный к положительному полюсу,— анодом. Положительно заряженные ионы (ионы металла и водорода) перемещаются к катоду и поэтому называются катионами, отрицательно заряженные ионы (ионы металлоидов и кислотных остатков) — к аноду и называются анионами [19].

Достигнув поверхности электродов, ионы разряжаются, превращаясь в нейтральные атомы или группы атомов. На катоде выделяются металлы и водород, а анод растворяется, и на его поверхности осаждается кислород. На электродах происходят также дополнительные процессы [4].

При протекании тока через ванну в связи с его различным механизмом прохождения на границах раздела между проводниками первого и второго родов (электроды и электролит). Происходят химические реакции: на катоде — реакция восстановления, связывающая электроны, а на аноде — окисления, освобождающая электроны. Химический процесс, протекающий на электродах при прохождении через электролит электрического тока, называется электролизом. Устройства, в которых за счет внешней электрической энергии совершаются химические превращения веществ, называются электролизерами, или гальваническими ваннами [14].

При гальваническом покрытии деталей в качестве электролита применяют обычно раствор соли осаждаемого металла (в электролит вводят также некоторые компоненты, улучшающие свойства покрытий, увеличивающие электропроводность электролита и т.д.). Катодом служат предварительно очищенные и подготовленные детали, подлежащие покрытию, а анодом — пластины из осаждаемого металла. Иногда используют аноды из металла или сплава, которые в данном электролите не растворяются (свинец), а также нерастворимые аноды из графита. На таких анодах обычно выделяется кислород [19].

Электролиз сводится в основном к тому, что находящиеся в электролите ионы металла разряжаются на катоде, переходя в атомарное состояние, и осаждаются на нем. Атомы образуют кристаллическую решетку, покрывая поверхность детали слоем металла. Анод растворяется (в случае электролиза с растворимым анодом), образуя новые ионы металла взамен выделившихся на катоде, тем самым поддерживая концентрацию электролита.

1.2.3. Метод вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических порошков (МКС)

Метод вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических порошков позволяет получить упрочненные поверхности с заданными физико-механическими свойствами.

Широкий диапазон физико-механических свойств открывает большие возможности для использования этого метода на различных деталях рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Общий вид установки для вибродугового упрочнения деталей машин приведен на рисунке 1.2.

Установка вибродугового упрочнения состоит из блока формирования кратковременного плазменного разряда, на котором установлены механизмы управления блоком, а также механизм контроля режимов. Питание блока осуществляется от серийного сварочного трансформатора типа Мастер 162.

Устройство, которое обеспечивает вибрацию электрода вмонтировано в держак. Графитовый электрод с медной оболочкой зафиксирован непосредственно в держке при помощи механической фиксации.



Рисунок 1.2 – Общий вид установки для вибродугового упрочнения с использованием МКС

Возникновение микроплазменного разряда осуществляется между вибрирующим электродом (частота) 80 Гц и обрабатываемой поверхности. В состав электрода входит графитовый материал в медной тонкостенной оболочке.

В зависимости от режимов обработки составов использования МКС применяются электроды различных диаметров от 6 до 12 мм.

Наличие кратковременного плазменного разряда в рабочей зоне позволяет насыщать упрочняемую поверхность углеродом, как непосредственно на поверхности, так и в глубину материала детали (до 2 – 3 мм).

Наличие связанного углерода в поверхностном слое обрабатываемой детали в значительной мере позволяет повысить твердость, а значит и износостойкость упрочненной поверхности.

Воздействие графитового электрода в процессе упрочнения на поверхность позволяет нарастить упрочненный слой над исходной поверхностью до 2 мм, что позволяет использовать этот метод не только при изготовлении детали, но и при их восстановлении.

Использование металлокерамических порошков различных составов способствует получению поверхностей с заданными физико-механическими свойствами, что в свою очередь позволяет проектировать физико-механические свойства упрочненной поверхности в заданных пределах.

Этот метод целесообразно использовать при упрочнении новых и вновь восстановленных деталях, которые работают в агрессивных абразивных средах. К таким деталям можно отнести:

- стрелчатые лапы культиваторов
- лемеха плугов
- предплужники

- поддерживающие и опорные катки гусеничных тракторов
- противорежущие ножи кормоуборочных комбайнов
- молотки дробилок кормоприготовительных машин
- несущие валы шнеков
- шнеки экструдеров маслодовильных машин.

К достоинствам этого метода упрочнения можно отнести следующее:

1. Получение упрочненных поверхностей с заданными физико-механическими свойствами, которые можно изменять довольно в широких диапазонах.
2. Сравнительно невысокая стоимость технологического оборудования и материалов.
3. Низкое энергопотребление.
4. Довольно высокая производительность процесса упрочнения.
5. Возможность использования оборудования как переносного для непосредственной работы в условиях мастерских и ремзон сельскохозяйственных предприятий.
6. Отсутствие необходимости использования персонала высокой квалификации.

К недостаткам метода виброуглового упрочнения с использованием МКП можно отнести высокую шероховатость обработанной поверхности, которая трудно поддается последующей механической обработке из-за высокой твердости поверхности HRC от 55 до 70 единиц.

1.3. Формулирование цели и задач исследования

В связи с проведенным анализом в первой главе для реализации выпускной квалификационной работы (магистерская диссертация) на тему «Разработка упрочняющих технологий повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин» предлагается для повышения износостойкости и ресурса работы стрелчатых лап разработать технологии

вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических порошков.

Для реализации предложенной темы была сформулирована нижеследующая цель исследования: Исследование обоснования режимов и составов металлокерамических порошков при упрочнении рабочих органов СХМ на примере стрелчатых лап культиватора.

Для достижения поставленной цели в выпускной квалификационной работе магистра были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Разработать методику экспериментальных исследований;
2. Обосновать режимы и составы металлокерамических порошков при вибродуговом упрочнении, провести лабораторные и полевые исследования упрочненных опытных образцов;
3. Провести статистическую обработку результатов экспериментальных исследований.

Для достижения поставленных целей необходимо провести теоретическое обоснование процессов вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических порошков.

Также необходимо разработать методику проведения лабораторных и эксплуатационных полевых исследований.

В этой методике должны быть указаны все необходимые действия и их порядок реализации.

Для подтверждения эффективности технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих СХМ необходимо провести полевые ресурсные исследования, с последующей статистической обработкой результатов этих исследований.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ

2.1. Оценка сложности ремонта машин и определение его видов

На основании исследования можно сделать вывод о том, что характер ремонтных воздействий при возобновлении годности применяемых в сельском хозяйстве машин в зависимости от их конструктивной сложности и состояния элементов может с достаточной точностью оцениваться показателем технологической сложности ремонтных работ

$C_{\text{тех}}$, определяемого как отношение суммарной трудоемкости наиболее ответственных и сложных конечных (сборочных, регулировочных, обкаточно-испытательных и других) операций к трудоемкости разборочных операций, то есть

Общая трудоемкость ремонтных работ во многом зависит от вида работ, оснащения технологическим оборудованием и необходимой технологической оснасткой. В качестве основных слагаемых общей трудоемкости работ можно выделить следующие составляющие:

$T_{\text{под}}$ — трудоемкость подборочных и контрольных операций, чел.-ч;

$T_{\text{сб}}$ — трудоемкость сборочных операций, чел.-ч;

$T_{\text{рег}}$ — трудоемкость регулировочных операций, чел.-ч;

$T_{\text{обпс}}$ — трудоемкость обкаточно-испытательных операций, чел.-ч;

$T_{\text{раз}}$ — трудоемкость разборочных операций, чел.-ч;

K_1, K_2, K_3, K_4 — коэффициенты, характеризующие средний разряд выполнения соответствующих операций по отношению к операциям разборки;

n_1, n_2, n_3, n_4 — число соответствующих конечных операций;

m — число операций на разборочных работах.

Принимая для упрощения эти условия и к конструктивно сложным машинам, выявляются соотношения между суммированными трудоемкостями разборочных и сборочно-регулирующих работ основных машин, показанных на рисунке. По этим соотношениям определяются значения показателя технологической сложности ремонтных работ, приведенные в Таблице 1. Анализируя значения показателя технологической сложности ремонтных работ, можно видеть закономерное увеличение их по мере повышения конструктивной сложности сельскохозяйственных машин. Совершенно очевидно, что для ремонта тракторов, зерноуборочных комбайнов требуется более высокий уровень

Предлагаемые технологии вибродугового упрочнения с использованием МКП рабочих органов почвообрабатывающих СХМ также являются одним из составляющих производственного процесса, обладающие определенной трудоемкостью.

Трудозатраты, которые тратятся на процесс упрочнения, в конечном итоге скажутся на эффективности проведения ремонтно-обслуживающих воздействий в процессе эксплуатации.

Для повышения эффективности исследования и обоснования технологического процесса вибродугового упрочнения рабочих органов СХМ с использованием МКП необходимо исследовать электромеханические характеристики самого процесса вибродугового упрочнения.

2.2 Исследование напряженности электрического поля в зоне горения дуги при вибродуговом упрочнении

В технологии упрочнения поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин, а в частности лап культиваторов металлокерамическими порошками есть свои особенности. Металлокерамические порошки наносятся на поверхность обрабатываемой детали в виде заранее подготовленной пасты, паста подготавливается

смешиванием порошков в жидком стекле. В состав входят связующее (жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ по ГОСТ 13078-81), наполнители в виде порошка (ПГ-10Н-01, B_4C ,) в различных соотношениях. До зажигания дуги на поверхности проводится сушка нанесенной композиции до затвердевания, и слой затвердевшей пасты оказывает значительное сопротивление на горение дуги. Для того чтобы обеспечить стабильное горение дуги между вибрирующим угольным электродом и упрочняемой поверхностью необходимо создать напряженность (Е) электрического поля, которая превышало бы минимальное пороговое значение зажигания дуги через нанесенный слой.

Известно, что зажигание дуги возможно двумя способами:

1. Возбуждение контактированием двух электродов;
2. Возбуждение дополнительным введением импульсного высокого напряжения и высокой частоты, т.е. оба способа должны иметь достаточную напряженность электрического поля.

В работе рассматривают предложенный методический подход Л.А. Сена, где говорится, что необходимо электрод и поверхность детали рассматривать как обкладки конденсатора, которые разделены между собой слоем сопротивления.

Рассматриваемый способ, предложенный Л.А. Сена показывает что, напряженность поля Е между обкладками подобного конденсатора при обычной вибродуговой наплавке, когда электрод попеременно контактирует с наплавляемой поверхностью определяется с помощью следующей зависимости:

$$E = k_E \cdot \frac{U_0}{\sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2}} \quad (2.1)$$

где Е – напряженность поля, В/мм;

k_E – коэффициент влияния напряженности электрического поля колебаний электрода в направлении наплавляемой поверхности, $\text{мм}^{5/3} \text{ Ом}^{2/3} / \text{с}^{2/3}$;

U_0 – напряжение с трансформатора, В;

R – сопротивление слоя композиционного материала между электродом и наплавляемой поверхностью детали, Ом;

S – площадь выступов на поверхности детали в зоне контакта с электродом, мм²;

a – ускорение электрода, мм/с².

Анализируя зависимость (2.1) можно утверждать, что повышение параметров в знаменателе, т.е. сопротивление слоя композиционного материала между электродом и наплавляемой поверхностью детали, ускорение электрода, площади выступов на поверхности детали в зоне контакта с электродом значительно снижают напряженность электрического поля.

По методике расчета Л.А. Сена в основном рассматриваются обычные наплавки деталей, в которых площадь неровностей поверхности детали и сопротивление очень малы и напряженность электрического поля остается достаточной для зажигания дуги. Зависимость (2.1) также не учитывает потери напряжения на аноде и катоде. При вибродуговом упрочнении с применением металлокерамического композита, композит на поверхности упрочняемой детали имеет значительно большее сопротивление по сравнению с известной вибродуговой наплавкой. Площадь сопротивления в контакте между электродом и поверхностью детали равна площади торца электрода.

В связи с вышесказанным в зависимость (2.1) необходимо ввести потери электрического напряжения на аноде U_a и катоде U_k . В литературе [10] определяется при использовании графитового электрода и стальной поверхности детали $U_k + U_a = 17...19$ В. Также необходимо учитывать толщину слоя композиционного материала между электродом и наплавляемой поверхностью детали.

С учетом вышеизложенного зависимость (2.1) приведена к виду:

$$\frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + k_a \sqrt[3]{a \cdot R^2 S^2} \right)} \quad (2.2)$$

где k_a – коэффициент влияющего действия (вибрация) электрода, $\text{с}^{2/3} \text{мм}^{-5/3} \text{Ом}^{2/3}$;

δ – количественное значение сформированного слоя МКП, мм.

Устойчивое горение электрической дуги в краткий рабочий период:

$$\frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + k_a \sqrt[3]{a \cdot R^2 S^2} \right)} \geq E_3 \quad (2.3)$$

где E_3 – характеристика нижней планки напряженности электрического поля, при которой обеспечивается стабильное горение дуги при вибродуговом упрочнении, В/мм.

2.3 Влияющие факторы на микроплазменный разряд при вибродуговом упрочнении

При упрочнении угольный электрод установки ВДГУ-2, используемой для вибродугового упрочнения, колеблется с амплитудой $A = 0,5 \dots 1,1$ мм и частотой $f = 25$ Гц и $f = 50$ Гц, т.е. его перемещения при колебаниях в вертикальном направлении могут быть описаны уравнением:

$$x = A \sin(2\pi f t), \quad (2.4)$$

где A – амплитуда колебаний электрода, мм;

f – частота колебаний электрода, Гц;

t – время, с.

Таким образом, амплитуда ускорения электрода при вибродуговом упрочнении может изменяться в достаточно широком диапазоне:

$$a = x_{\max}'' = 4A\pi^2 f^2 = 12300 \dots 49300 \text{ мм/с}^2 \quad (2.5)$$

Предварительно проведенными исследованиями было установлено, что наиболее существенное влияние на сопротивление R затвердевшей пасты оказывает толщина слоя пасты, причем это влияние носит степенной характер, в аналитической форме имеющее вид [6]:

$$R = k_{\delta} \delta^5, \quad (2.6)$$

где $k_{\delta} = 28500 \text{ Ом/мм}^5$.

Площадь микронеровностей составляет:

$$S = 0,25\pi D^2 \quad (2.7)$$

где D – диаметр угольного электрода, мм.

Тогда с учетом приведенных выше результатов математическая зависимость напряженности электрического поля, определяющая условие устойчивого загорания дуги, может быть записана в следующем виде:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + 2,9 \cdot k_a \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_{\delta}^2 \cdot \delta^{10} \cdot D^4} \right)} \geq E_3 \quad (2.8)$$

Процесс зажигания дуги при вибродуговом упрочнении условно может быть разделен на три фазы:

- первая фаза, при которой в процессе взаимодействия электрода с затвердевшим слоем пасты при создании разности потенциалов $U_0 - (U_k + U_a) \approx 32 \dots 42 \text{ В}$ между электродом и металлической поверхностью возникает электрическое поле, при воздействии которого на слой пасты происходит изменение величины ее электрического сопротивления, приводящие к повышению электропроводности, возрастанию тока с одновременным уменьшением сопротивления и снижением напряжения до величины U_3 , при котором начинается процесс зажигания дуги;

- вторая фаза, при которой возникает «тонкая» дуга, поперечное сечение которой начинает увеличиваться, вследствие чего сопротивление расплавляемого слоя пасты, размещенного между угольным электродом и упрочняемой металлической поверхностью, снижается с одновременным снижением напряжения источника питания до U_d , при котором горение дуги становится устойчивым;

- третья фаза, при которой поперечное сечение дуги, ток наплавки и напряжения источника U_d стабилизируются на определенном уровне и начинается процесс вибродугового упрочнения.

2.4 Методика упрочнения деталей с использованием металлокерамических порошков

Анализ отечественных и зарубежных разработок показывает, что технологии имеют значительные перспективы при создании новой сельскохозяйственной техники и в техническом сервисе; в растениеводстве и животноводстве; переработке сельскохозяйственной продукции.

В России основными методами упрочнения деталей техники и в первую очередь почвообрабатывающей остаются индукционная, плазменная наплавка с применением комплексных металлокерамических материалов.

Индукционная наплавка

Применение упрочнения, для стрелчатых лап, позволяет повысить твердость рабочих поверхностей, а, следовательно, и ресурс эксплуатации почвообрабатывающих машин. Эффективность технологий упрочнения стрелчатых лап различными способами приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Эффективность технологий упрочнения

Применяемые технологии	Показатель HRC	Увеличение износостойкости в сравнении с серийной
Дуговая наплавка	56...64	1,4 – 2,6
Наплавка порошковыми проволоками	51...57	1,4 – 2,1
Индукционная наплавка сплавов типа «Сормайт»	61...68	2,2

Практика показала, что эти технологии имеют некоторые недостатки. Так при проведении этих операций температура не регулируется, что иногда приводит к перекаливанию деталей. Оптимальной считается индукционная наплавка сплавов типа «Сормайт», ПГ – С – УС – 25, ФБХ – 6 – 2. Наплавка на индукционной установке проводится при определенной температуре.

Рабочая температура контролируется датчиками установки. Эта технология доведена до стабильного качественного уровня. Специалистами предприятия проводятся работы по внедрению современных эффективных технологий упрочнения.

Ресурс упрочненных рабочих органов по сравнению с серийными в условиях суглинистых почв увеличивается.

Однако применяющиеся для упрочнения материалы дорогостоящие. При этом твердость покрытия и повышение ресурса не достигает требуемого уровня.

Методом детонационного напыления керамических и металлокерамических порошков разработаны технологические процессы восстановления более 10 наименований деталей сельскохозяйственных машин. При их использовании ресурс деталей почвообрабатывающей техники увеличился в 2-10 раз.

Учитывая применение структурных металлокерамических материалов, можно получить более высокие показатели срока службы упрочненных деталей.

Для наплавки металлокерамических композиционных материалов может быть использована низкотемпературная плазма – весьма эффективный процесс нанесения металлопокрытий. Завышенная стоимость используемых газов при плазменных технологиях существенно снижает эффективность применения плазменной наплавки для широкого использования.

Лазерные и электронные лучи в индустрии наплавки порошков имеют убедительную перспективу использования. Но при этом требуются большие капитальные затраты и высококвалифицированное обслуживание. В связи с этим требуется модернизация этих методов в направлении их упрощения и ценовой доступности с целью расширения масштабов применения для упрочнения материалами.

Детонационное напыление также обеспечивает высокие физико-механические свойства покрытий по сравнению с другими методами

газотермического напыления. Но до настоящего времени этот метод нанесения покрытий еще не отработан для применения высокодисперсных порошковых материалов. Сдерживающим фактором в данном случае является сам метод, в котором заложен принцип газового взрыва.

2.5 Методика упрочнения деталей машин с использованием металлопорошков за рубежом

В зарубежной практике широко используются металлокерамические порошки в форме пластин. Такие металлокерамические пластины были впервые испытаны на лемехах плугов.

В металлообработке буквально переворот произвели металлокерамические сплавы (МКС). Без них сегодня невозможна работа ни одного машиностроительного предприятия. Изучая свойства этих твердых сплавов, многие ученые выявили, что они имеют огромную износостойкость – в десятки и сотни раз выше, чем лучших сортов стали. Из МКС начали делать детали, работающие в экстремальных условиях изнашивания: большие нагрузки, абразив, отсутствие смазки (или смазка водой), высокие температуры, коррозионные среды и пр. Минимальное увеличение срока службы деталей из МКС – 10-15 раз. Однако МКС – весьма дорогие материалы (в среднем около 70 дол. за 1 кг)

Естественное решение – наносить МКС на детали, создавая на поверхности слой противостоящий износу.

Известные способы нанесения на детали покрытий сверх износостойкими материалами – индукционный, лазерный, плазменный, детонационный являются перспективными.

2.6 Программа экспериментальных исследований

Состояние вопроса

Рабочие органы почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин работают в высокоизносной абразивной среде. В этих условиях особое значение приобретают различные металлокерамические материалы в виде порошков и пластин, стойких к абразивному износу.

В состав таких материалов нами предлагается использовать недорогие и доступные композиционные металлокерамические составы (МКС), включающие оксид алюминия (Al_2O_3), оксид кремния (SiO_2), а также боронитридные соединения, алюминий (Al) или бемид (AlOOH), матричный компонент – стальной порошок.

В зарубежной практике металлокерамические материалы используются для изготовления и восстановления деталей двигателей (поршни, гильзы цилиндров, седла клапанов) и других машин, а также рабочих органов масло давящих и другой сельскохозяйственной техники.

За рубежом отработана технология применения износостойких керамических пластин для рабочих органов СХМ. Изготовленная опытная партия стрелчатых лап, упрочненных керамическими порошками, была представлена на испытание.

2.7 Методика экспериментальных исследований

Поэтому, опираясь на имеющийся в ФГОУ ВО «КазГАУ» экспериментальный задел по электровибродуговому методу упрочнения с использованием указанных недефектных, в 3-4 раза дешевле зарубежных исходных материалов и разработку на их основе ультрадисперсных композиционных порошков, обеспечит более высокий уровень качества упрочняющих покрытий и их физико-механических свойств до уровня твердости 80-85 HRC.

Теоретическое обоснование использования композиционных структурных материалов для упрочнения деталей, работающих в условиях

абразивного износа и больших нагрузок. Теоретическое обоснование формирования композиционных составов базируется на разъяснении современной физике металлов, причин их пластичности, прочности и ее увеличения. Данные качества композиционных материалов важны, так как работоспособность упрочняющего слоя зависит не только от твердости, но и от способности противостоять ударным и деформирующим нагрузкам. Причиной этому является недостаточная прочность (хрупкость) сверхтвердых компонентов. Композиционные материалы с металлической, более мягкой, а значит эластичной матрицей решают эту проблему прочности композиционного покрытия.

В целом можно отметить, что прочность и твердость материалов значительно выше таковых обычных материалов до их ультрадиспергирования, например металлических материалов примерно в 4-6 раз, но параметры пластичности ниже.

В процессе исследования необходимо провести анализ химических составов композиционных материалов, обеспечивающих покрытия без образования больших внутренних напряжений, вызывающих трещины, а также имеющих эластичную стальную матрицу, объединяющую твердые, износостойкие компоненты, например Al_2O_3 , SiO_2 (корундообразующие фазы), образующиеся карбиды и нитриды (Al_4C_3 , SiC , B_4C , BN , Si_3N_4) и другие.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию

- Определение микротвердости по толщине упрочненного слоя.
- Микроструктурный анализ упрочненного слоя (наплавленного и подложки).
- Проведение сравнительной износостойкости.
- Сравнительные исследования влияния на микротвердость наплавленного слоя и подложки и общую толщину упрочнения отдельно Al_2O_3 и SiO_2 с добавлением Al или AlOOH , с добавлением $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и карбомида NH_2CONH_2 вместе или без карбомида.

- Исследование влияния на микротвердость и износостойкость процентного содержания материалов, входящих в композит.

2.8 Методика измерения твердости и микротвердости

Твердость является весьма важным показателем качества упрочненной поверхности и характеризует не только сопротивляемость металла, но и однородность поверхности упрочняемой детали.

Измерение твердости производилось на твердомере Роквелла ТК-2. Измерения производили алмазным конусом при нагрузке 150 кг по схеме, представленной на рисунке 2.1. Такая методика нам позволила делать замеры твердости по ширине приваренного валика и получать данные твердости по его ширине. Измерения производились согласно известной методике.

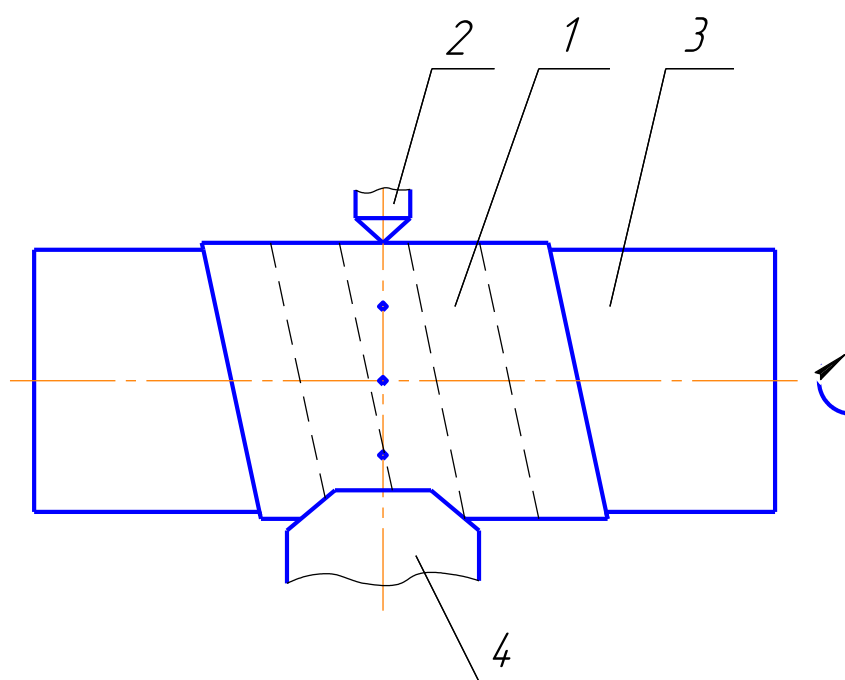


Рисунок 2.1 – Схема определения твердости поверхности: 1- покрытие; 2- алмазный наконечник твердомера; 3 – образец ;4 – стол – призма твердомера.



Рисунок 2.2 Твёрдомер Роквелла ТК-2

2.9 Методика определения ударной вязкости металлокерамического слоя

Между механическими свойствами, определенными при различных видах нагружения (растяжение, сжатие, кручение, изгиб и др.), существует связь. Наиболее четко эту связь выразил ученный Людвиг в виде так называемой обобщенной кривой деформации, которая была подтверждена в работах Н.Н. Давиденкова, Я.Б. Фридмана и др. Смысл обобщенной кривой деформации сводится к тому, что не обязательно оценивать поведение материала при том виде нагружения, при котором он работает [1].

Как известно, для получения механических характеристик широко используют испытание на растяжение.

Испытания на растяжения являются сложными, поэтому ученые всего мира искали более простые способы определения механических характеристик, которые не требовали бы вырезки образцов. В этой связи было обращено на метод твердости.

Испытание на твердость, вернее на вдавливание, можно рассматривать как одну из разновидностей механических испытаний. При

этом в результате постепенного увеличения нагрузки на наконечник металл ведет себя так же, как и при другом любом виде механических испытаний, и в общем случае последовательно претерпевает три стадии: упругую, пластическую и разрушение [6].

Метод твердости является самым незаменимым при оценке механических свойств металлов в процессе эксплуатации; для металлов, из которых трудно изготовить образцы резанием при оценке свойств поверхностного слоя.

Определение ударной вязкости a_n по отношению $\sigma_{0,2}/\sigma_B$

$\sigma_{0,2}$ - предел текучести

σ_B - предел прочности

В качестве показателя оценивающего склонность металла к хрупкости, широко используется ударная вязкость. При помощи ударной вязкости оценивают чувствительность металла к надрезу в условиях повышенной скорости деформации.

На промышленных предприятиях наиболее распространено определение ударной вязкости путем испытания призматических надрезанных образцов на маятниковых копрах. Ударную вязкость a_n оценивают величиной полной работы A , затраченной на ударный излом образца и отнесенной к площади поперечного сечения образца в надрезе F , т.е. $a_n = A/F$.

Главное достоинство ударной вязкости заключается в ее высокой чувствительности к термообработке, изменению режимов технологических процессов производства и обработки металлов, в возможности установления критического интервала хрупкости [10].

Известно, что ударная вязкость связана с объемом, вовлекаемым в пластическую деформацию в месте надреза. Деформируемый объем зависит от упрочняемости металла, которая может быть охарактеризована равномерной деформацией при растяжении или отношением $\sigma_{0,2}/\sigma_B$

Этим по-видимому, и объясняется наличие связи для частных случаев между a_n и $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. С увеличением $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ значение a_n уменьшается. Это послужило основанием для косвенной оценки a_n по отношению $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ [10].

О связи предела текучести $\sigma_{0,2}$ с $H_{0,2}$ и предела прочности σ_B с НВ было уже сказано выше. Поэтому отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ может быть определено методом твердости достаточно быстро и надежно $a_n = \sigma_{0,2}/\sigma_B$ [10]

σ_B определялась по $H_{\max}$ [А.С.365622 СССР]

Между $H_{\max}$ и σ_B для широкого круга материалов наблюдается устойчивая связь линейного характера.

$H_{\max}$ – твердость до предела текучести, МПа

Статическая обработка результатов определения $H_{\max}$ и σ_B по способу наименьших квадратов показала высокий коэффициент корреляции и весьма простое уравнение регрессии.

$$\sigma_B = 0,333 H_{\max}$$

Зависимость σ_B ($H_{\max}$) является универсальной и может быть использована для любых металлов в различных состояниях, включая и напыленные (упрочненные) металлы. [2]

Наиболее простым способом определения σ_B является определение его по НВ [2]. Экспериментальная зависимость между НВ и σ_B для конструкционных углеродистых и перлитных низкоуглеродистых сталей имеет почти прямолинейный характер.

Статистическая обработка результатов испытаний показала высокий коэффициент корреляции (0,938-0,99) [5], низкие доверительные интервалы и уравнения регрессии следующего вида:

$$\sigma_B = 0,365 \text{ НВ}^{0,989} [5].$$

Итоги по этой формуле показали, что для твердости полученной при наших исследованиях от НВ=865 кгс/мм² (8650 МПа) до НВ=1226 кгс/мм² (12260 МПа) предел прочности σ_B металлокерамического слоя соответственно равен 2984 и 4230 МПа.

Для конструктивных углеродистых и перлитных легированных сталей предел прочности σ_B составляет 440-1850 МПа, при твердости 1200-5000 МПа. [5].

Если сравнить полученные данные по пределу прочности σ_B металлокерамического слоя, то можно сделать заключение о том, что прочностные качества металлокерамики выше закаленной Ст.65Г из которой делаются детали почвообрабатывающей техники.

В заключение сделаем сравнительный расчет ударной вязкости a_n по твердости, используя выше изложенные данные:

$$\sigma_{0,2}=0,367 \text{ НВ} .$$

Для металлокерамических покрытий:

$$\sigma_{(0,2 \text{ min})}=0,367*8650=3174 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{(0,2 \text{ max})}= 0,367*12260=4499 \text{ МПа}$$

Для подложки детали из Ст.65Г

$$\sigma_{(0,2 \text{ min})}=0,367*1200=440 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{(0,2 \text{ max})}=0,367*5000=1835 \text{ МПа}$$

Расчет ударной вязкости по твердости a_n

Для металлокерамических покрытий

$$a_{H1}=3174/2984=1,06; a_{H2}=4499/4230=1,06$$

Для подложки детали из Ст.65Г

$$a_{H3}=440/440=1; a_{H4}=1835/1850=0,99$$

2.10 Определение износостойкости покрытий

Определение износостойкости покрытия из никеля проводили на машине трения 77МТ-1 кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского государственного аграрного университета. Т.к. испытываемая деталь не является плоской, проведение экспериментов непосредственно с этим образцом представляет определенные технические трудности. Поэтому эксперименты по определению износостойкости и твердости покрытий

проводились на пластинах из стали 40ХН размерами 50х25 мм и толщиной 3 мм. На поверхности пластин также было нанесено никелевое покрытие химическим способом. Одну партию пластин оставили без покрытия. Толщина никелевого покрытия составила 30 мкм. Покрытие из никеля подвергали термозакалке при температуре 400°С в течение 1 часа.

При определении износостойкости покрытия в качестве износогого инструмента использовали плитку от наждачного круга. Истирание производили методом сухого трения.

Техническая характеристика машины трения 77МТ-1.

Частота вращения вала эксцентрика 28-280 мин-1

Длина хода нижнего образца 52 мм

Нагрузка на образцы 50-750 Н

Масса и количество гирь нагружающего устройства:

-1 кг-3 шт.

-2 кг-2шт.

-5 кг-1 шт.

Максимальная относительная погрешность частоты вращения вала эксцентрика $\pm 3 \%$

Максимальная относительная погрешность интенсивности изнашивания эталонных образцов, нормированная по среднему значению $\pm 30 \%$

Потребляемая мощность, не более 1,3 кВт

Напряжение трехфазной сети 380 В, 50 Гц

Габаритные размеры:

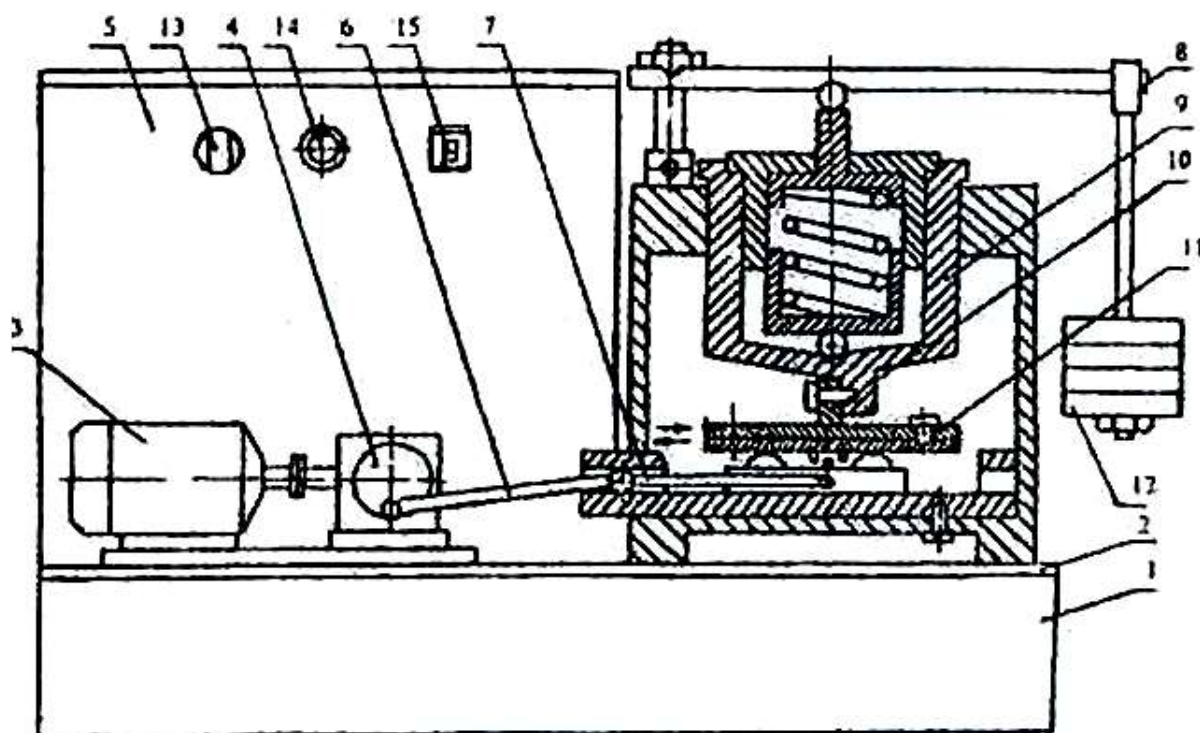
длина 910 мм

ширина 410 мм

высота 860 мм

Максимальная масса машины 190 кг

Истирание испытуемого образца производится за счет возвратно-поступательного движения износостойкого инструмента по нему с приложением усилия через нагружающее устройство.



1-основание; 2-станина; 3-двигатель постоянного тока; 4-редуктор; 5-панель управления; 6-шатун; 7-ползун; 8-рычаг; 9-стакан; 10-истираемый (испытуемый) образец; 11-подвижная тарелка с износостойким инструментом (нижний образец); 12-навеска с гирями; 13-регулятор скорости движения подвижной тарелки; 14-индикатор напряжения сети; 15-сетевой выключатель

Рисунок 2.3 – Схема машины трения 77МТ-1

Усилия давления на инструмент:

$$F = G_{СТ} + 2,5G_{РЫЧ} + 5G_{Г}, \quad (2.9)$$

где

$G_{СТ}$ – вес стакана, Н;

$G_{РЫЧ}$ – вес рычага, Н;

$G_{Г}$ – общий вес навески с гирями, Н.

Интенсивность износа:

$$J_m = h/l, \text{ мг/м}, \quad (2.10)$$

где

h – величина износа по массе, мг;

l – износный путь, м.

Скорость изнашивания:

$$i_m = h/t, \text{ мг/ч}, \quad (2.11)$$

где t – время испытания, ч.



а)



б)

Рисунок 2.4 - Машина трения 77MT-1 (а) и испытываемые образцы (б)

2.11 Определение массы детали

Измерения масс образцов до и после испытаний производили на лабораторных весах модели ВЛК-500 г. Весы лабораторные квадрантные 4-го класса модели ВЛК-500 г. предназначены для точного взвешивания вещества при проведении лабораторных анализов в различных отраслях народного хозяйства.

Основные технические характеристики весов модели ВЛК-500 г.

- пределы контроля, г 500
- цена деления основной шкалы, мг 1
- периоды контроля, мг 10
- пределы измерения, мг 0-100
- погрешность, мг ± 20

- стабилизация, с, не более 8
- рабочее напряжение, в 220
- мощность, Вт 17
- размерные характеристики, мм,
 - длина 370
 - ширина 355
 - высота 220
- Вес, кг, 10



Рисунок 2.5 – Весы модели ВЛК-500 г.

Все необходимые замеры на весах проводились согласно разработанных инструкций в четком соответствии с планом лабораторных исследований.

Перед взвешиванием контрольные образцы тщательно очищались и подвергались визуальному осмотру.

Данные весовых наблюдений записывались в журнал испытаний. Для обеспечения необходимой точности взвешивания повторность взвешивания каждого образца составляла три раза. При процессе взвешивания необходимо соблюдать оговоренные стандартом характеристики окружающей среды, а именно температура, влажность, скорость движения воздуха.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

3.1 Программа исследований

При изучение композиционных наноструктурных материалов нас интересовали получаемые свойства покрытий, а именно износостойкость, твердость, шереховатость покрытий после периода приработки, остаточные напряжения. Для определения данных физико-механических свойств необходимо подобрать оптимальные режимы виброэлектроискровой обработки, которые целесообразно выбирать из условия обеспечения высокой прочности рабочего органа дискового сошника. Чем больше сила и продолжительность тока, тем выше и прочность диска. Таким образом, необходимо задаться оптимальным интервалом прочности диска сошника, при котором хорошо работают восстанавливаемые детали [2].

Экспериментальные исследования мы разделили на следующие этапы:

- исследование прочности диска с покрытий композиционных материалов;
- исследование остаточных напряжений в покрытиях;
- исследование износостойкости покрытий и эксплуатационная проверка деталей, восстановленных с виброэлектроискровым упрочнением.

3.2.Установка для вибродугового упрочнения упрочнения с использованием металлокерамических порошков

Эксперименты по отработке технологических процессов упрочнения стрелчатых лап культиваторов проводилась на установке вибродугового упрочнения с использованием МКП.

Для проведения экспериментальных исследований технологий вибродугового упрочнения с использованием МКП была разработана производственная установка совместно кафедрой Технического сервиса Казанского ГАУ и ГОСНИТИ (г.Москва).

Установка для упрочнения приведена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 Установка для вибродугового упрочнения.

Комплект оборудования для вибродугового упрочнения с использования МКП деталей почвообрабатывающей техники (именуемый в дальнейшем «Установка») предназначен для упрочнения дисков, лап культиваторов, лемехов, деталей, работающих в условиях абразивного износа, перерабатывающей, строительной, добывающей и другой техники в стационарных и полевых условиях, ручным, механизированным и автоматизированным способом.

Функциональное назначение установки: вибродуговое упрочнение наплавкой металлокерамических стальных деталей, работающих в условиях абразивного износа.

Эксплуатационное назначение установки: повышение ресурса деталей и увеличение времени между заточками.

3.2.1. Устройство и принцип работы

В состав установки входит инверторный источник тока «Мастер - 162», для понижения рабочего напряжения 220 В до безопасного 60 В при обеспечении его плавной установки, начиная от 30 В и необходимого рабочего тока в пределах от 20 до 180 А, требуемого в процессе наплавки металлокерамики на поверхности деталей, работающих в условиях абразивного износа.

Установка также содержит блок управления, принципиальная схема которого выделена пунктиром на общей электрической схеме установки. При включении питания сети 220 В загорается сигнальный светодиод зеленого цвета. С трансформатора переменное напряжение поступает через контакты тумблера и разъема на вибратор. Тумблером осуществляется переключение частоты тока сети со 100 Гц до 50 Гц за счет включения в цепь обмотки вибратора диода. При этом индикация частоты питания вибратора 100 Гц осуществляется включением светодиода синего цвета, частота 50 Гц - светодиода красного цвета. Включение и выключение вибратора производится подачей питания на трансформатор.

3.2.2. Подготовка к работе

После хранения подготовить установку к работе, для этого:

1. Произвести установку силового блока на подготовленное для этого место. Для работы должны быть подготовлены угольные электроды, упрочняемые детали, необходимые защитные элементы.

2. Проверить затяжку болтов крепления сварочных проводов к силовым разъемам блока.

3. Проверить подключение или подключить корпус силового блока к заземлению. Использование нулевого провода питающей сети в качестве заземления недопустимо.

4. Подключить силовой блок к питающей сети и только после этого включить тумблер питания на лицевой панели силового блока. При этом включается сигнальная лампа красного цвета на лицевой панели силового блока.

5. Включить приточно-вытяжную вентиляцию.

6. Рабочий ток 60-180 А в зависимости от технологических требований упрочнения конкретных деталей устанавливается поворотом переключателя рабочего тока обязательно при снятии питающего напряжения силового блока.

Процесс упрочнения деталей начинается после установки рабочего тока.

По окончании работ следует отключить установку от сети питания, убрать неиспользованные угольные электроды, защитные элементы, произвести уборку рабочего помещения и включить вентиляцию.

3.2.3. Порядок работы

Подготовить заготовку к обработке.

1. Очистить заготовку от загрязнений, видимых невооруженным взглядом (частиц земли, пыли, и т.д.)

2. Очистить заготовку от ржавчины шлифовальной шкуркой или в камере струйно-абразивной обработкой.

3. Надёжно заземлить заготовку.

4. Нанести пасту МКП на упрочняемую поверхность.

Подготовить установку к работе.

1. Установить графитовый электрод в оправку вибратора. Конструкция должна предусматривать надёжное крепление оправки к

вибратору через резьбовое отверстие на конце электрододержателя. графитовый электрод также должен быть надёжно зафиксирован в оправке.

2. Для избежания поломки оборудования, при включении установки вибратор должен находиться в руке оператора.

Произвести включение установки клавишным переключателем. При этом должен загореться зелёный светодиод. Выбор режима осуществляется переключением клавишного переключателя. При загорании синего светодиода частота вибрации электрододержателя составляет 100 Гц, при загорании красного – 50 Гц.

Обработка поверхности должна проводиться квалифицированным специалистом.

По окончании работ отключить установку от источника питания, очистить от пыли и продуктов сгорания.

3.2.4. Техническое обслуживание

В процессе транспортирования и эксплуатации следует предохранять корпус силового блока, электрододержатель от ударов и других механических повреждений.

Следить за чистотой технологического оборудования.

Контролировать состояние резьбовых соединений.

Контролировать контакты в силовых кабелях оборудования.

Периодичность технического обслуживания установки приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1. График технического обслуживания

№№	Наименование операции	Ежедн.	Ежемес.	Обсл. орг.
1	Внешний осмотр	+	-	-
2	Очистка установки от пыли	+		
3	Контроль резьбы	-	+	-
4	Контроль контактов		+	+
5	Контроль питающей сети		+	+
6	Подготовка к работе		-	+
7	Контроль систем защиты			+

3.2.5. Возможные неисправности и способы их устранения

В процессе эксплуатации установки вибродугового упрочнения могут возникнуть технические неисправности. Все возникающие неисправности необходимо устранять после остановки работы установки. Перечень этих неисправностей, возможные причины и способы их устранения приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Основные неисправности установки

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Не работает световая индикация	Не подключено питание к установке	Включить питание, проверить токоподводящие провода
Отсутствует вибрация электрода	Отсутствует токоподвод к рабочему органу, пробой силового кабеля	Проверить кабель на наличие повреждений или заменить

3.2.6. Указания мер безопасности при эксплуатации установки вибродугового упрочнения.

К работам с установкой допускаются только лица, изучившие настоящую инструкцию и прошедшие проверку знаний по правилам эксплуатации электросварочного оборудования и техники безопасности при обращении с ним.

При работе с установкой необходимо соблюдение «Правил технической эксплуатации электроустановок» и «Правил техники безопасности при эксплуатации установок потребителем» (ПТЭ и ПТБ) И требование стандартов системы безопасности труда (ССБТ).

Уровни шума, создаваемого установкой на рабочем месте, по должны превышать пороговых значений по ГОСТ 12.1.003.

Помещение для выполнение работ должно соответствовать Санитарным нормам проектирования промышленных предприятий СП 245-71 и Противопожарным требованиям СН и П II-2-80 предприятий и населенных мест. Все электрооборудование, находящееся подтоком сетевого

напряжения, должно быть надёжно заземлено. Заземление осуществляется проводом сечением не менее 6мм^2 по ГОСТ 12.1.030.

При работе на данном оборудовании необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ «Работы электросварочные. Требования безопасности».

Установка должна подключаться только к однофазной питающей сети переменного тока напряжением 220В.

Во избежание поражения высоким напряжением, корпус установки должен быть заземлен через заземляющий провод сечением не менее 4мм^2 . Работа без заземления ОПАСНА ДЛЯ ЖИЗНИ.

Запрещается работа на установке со снятыми крышками, закрывающими его силовую часть.

Запрещается перемещение силового блока, включенного в сеть. Сварочное оборудование считается отключенным, если отключен сетевой провод или другое отключающее устройство вне установки.

Пол помещения, где проводятся сварочные работы, должен быть несгораемым.

Рабочее место должно ограждаться щитами из несгораемого материала и обязательно быть оборудовано системой пожаротушения для электроустановок.

Помещение для сварочных работ должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией.

Защита лица и глаз оператора по сварочным работам при проведении цементации поверхностей деталей с использованием данной установки должно обеспечиваться маской сварщика.

Для защиты рук должны быть использованы рукавицы (краги).

3.3 Порядок изготовления лабораторных образцов с нанесением металлокерамических паст

Для упрочнения образцов мы взяли материал диска сошника сеялки, и с этого диска делали маленькие квадратные образцы для нанесения разных порошков и упрочнения.

Готовили металлокерамические пасты. Изготовление нанопорошков каждого наименования выполняется отдельно друг от друга.

Для приготовления упрочняющих паст МКП были использованы различные порошки, которые были приведены на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Компоненты металлокерамических композиций

Для приготовления металлокерамических порошков, были использованы порошки:

- карбит бора B_4C
- криолит технический
- алюминиевый порошок
- порошок ПГ-10Н-01

- порошок ферромарганца
- порошок феррохрома
- порошок нитрита титана.

На рисунке 3.3. представлен образец №1 для проведения лабораторных исследований. На этот образец было нанесено карбид бора (B_4C), криолита (Na_2AlF_6) и водный раствор жидкого стекла (Na_2SiO_4).



Рисунок 3.3. Образец №1 для проведения лабораторных исследований

На рисунке 3.4 представлен образец для проведения лабораторных исследований, на котором использовалась МКП следующего состава карбид бора (B_4C), алюминиевого порошка (Al) и водный раствор жидкого стекла (Na_2SiO_4).



Рисунок 3.4. Образец №2 для проведения лабораторных исследований

На рисунке 3.5 представлен образец для проведения лабораторных исследований, на котором использовалась МКП следующего состава: алюминиевого порошка(Al), криолита(Na_2AlF_6) и водный раствор жидкого стекла(Na_2SiO_4).



Рисунок 3.5. Образец №3 для проведения лабораторных исследований

На рисунке 3.6 представлен образец для проведения лабораторных исследований, на котором использовалась МКП следующего состава - матричный порошок ПГ10Н-01, порошок нитрита титана и фольфрама, водный раствор жидкого стекла(Na_2SiO_4)



Рисунок 3.6. Образец №4 для проведения лабораторных исследований

На рисунке 3.7 представлен общий вид всех образцов(№1,№2,№3,№4), которые были приготовлены для проведения лабораторных исследований по физико-механическим характеристикам упрочненного слоя.



Рисунок 3.7. Общий вид всех лабораторных образцов.

Образцы с нанесенными на них разведенных в жидком стекле металлокерамических композиций подвергались тщательному просушиванию. после высушивания эти образцы поступали на вибродуговое упрочнение при различных режимах вибродуговой обработки.

На рисунке 3.8 показан общий вид образцов после проведения вибродугового упрочнения на различных режимах обработки.

Эти образцы в дальнейшем были подвергнуты всем необходимым исследованиям в лабораторных условиях на износостойкость, на качество сцепления материала, на ударную вязкость, а также определение шероховатости после упрочнения.



Рисунок 3.8. Общий вид образцов после проведения виброуглового упрочнения

3.4 Оценка необходимого числа измерений

Одной из задач планирования экспериментальной работы является определение необходимого числа экспериментов, позволяющего получить достоверные результаты. Эта операция выполняется по принятой (известной) методике, изложенной ниже [5].

Так как вариабельность результатов определяется большим числом разнообразных причин, то распределение полученные данные нам чаще всего подчиняется нормальному закону распределения.

В том случае, когда причиной вариабельности результатов измерений является гетерогенность свойств объектов совокупности, средняя арифметическая всех измерений даёт представление о наиболее вероятном значении выхода[5].

На практике для оценки выхода используется средняя арифметическая из ограниченного числа измерений n , степень вариабельности которых можно оценить на основании размахов варьирования.

Такое значение средней арифметической является оценкой истинного значения:

где (3) $tp(n-1)$ – значение коэффициента Стьюдента для вероятности P при числе измерений n определяется по (табл. 3.1).

Таблица 3.1 - Уровни достоверности

Число степеней свободы	Уровень достоверности		Число степеней свободы	Уровень достоверности		Число степеней свободы	Уровень достоверности	
	95%	99%		95%	99%		95%	99%
1	12,71	66,66	12	2,18	3,06	23	2,07	2,81
2	4,30	9,92	13	2,16	3,01	24	2,06	2,80
3	3,18	5,84	14	2,14	2,98	25	2,06	2,79
4	2,78	4,60	15	2,13	2,95	26	2,06	2,78
5	2,57	4,03	16	2,12	2,92	27	2,05	2,77
6	2,45	3,71	17	2,11	2,90	28	2,05	2,76
7	2,36	3,50	18	2,10	2,88	29	2,04	2,76
8	2,31	3,36	19	2,09	2,86	30	2,04	2,75
9	2,26	3,25	20	2,08	2,84	40	2,02	2,70
10	2,23	3,17	21	2,07	2,83	60	2,00	2,66
11	2,20	3,11	22	2,06	2,82	120	1,98	2,62

Число степеней свободы f определяется по формуле: $f = l(n-1)$,

где l – количество групп повторных определений, проведенных в одинаковых условиях, а n – число вариантов в таких группах.

В нашем случае $l = 1$, $n = 8$, значит $f = 1(8-1)=7$.

По таблице 6 определяем коэффициент Стьюдента $f_1=2,36$ при уровне достоверности 95% и $f_2=3,5$ при достоверности 99%.

Произведение $tp[n-1]$ является не чем иным, как доверительным интервалом, на величину которого с вероятностью p истинное значение может отличаться. Отсюда следует, что средняя арифметическая тем определеннее отражает истинное значение, чем меньше величина этого доверительного интервала:

Выражение можно преобразовать для решения задачи об установлении необходимого числа измерений, обеспечивающую заданную экспериментатором величину отклонения средней арифметической от истинного значения.

где I_p – задаваемое с вероятностью p максимально допустимое отклонение среднего значения от истинного, m - число измерений в предварительном эксперименте, проводимом для оценки точности метода.

3.5 Исследование морфологии поверхности упрочненных образцов вибродуговой обработкой с использованием МКП

Морфология поверхности образца приведена на рисунке 3.9. Она весьма неоднородная. Распределение элементов по поверхности образца также неоднородно. В состав поверхностно слоя образца входят в больших концентрациях углерод, кислород, натрий, кремний и железо, никель. Средняя концентрация данных элементов, измеренная с относительно большой площади (2×2 мм²) приведена на рисунке 3.10.

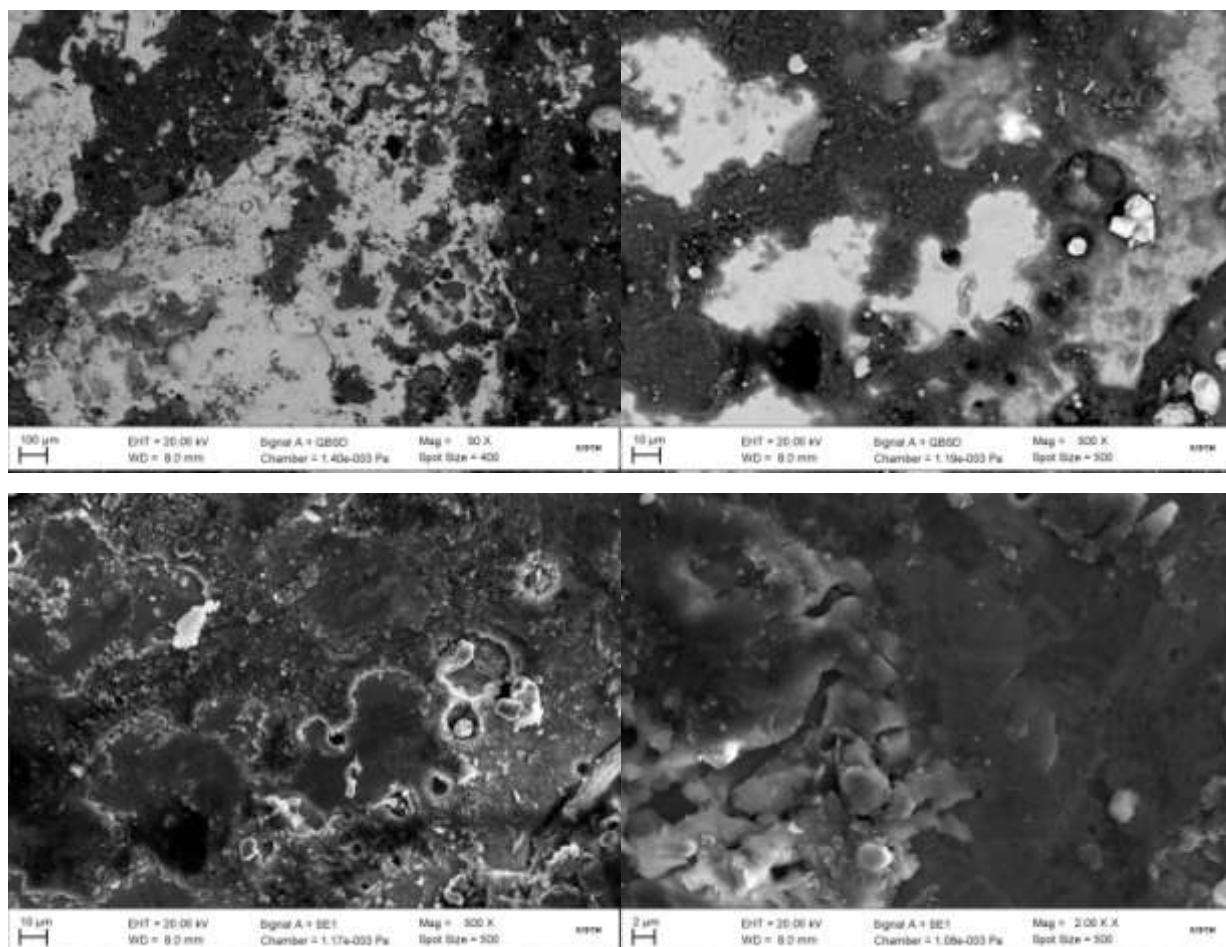


Рисунок 3.9 - Морфология поверхности образца 2-5 после обработки

Параметры обработки: Все элементы
(Нормализован)

Количество итераций = 5

Эталон :

C CaCO₃ 1-июн-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-июн-1999 12:00 AM

Na Albite 1-июн-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-июн-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-июн-1999 12:00 AM

S FeS₂ 1-июн-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-июн-1999 12:00 AM

Mn Mn 1-июн-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-июн-1999 12:00 AM

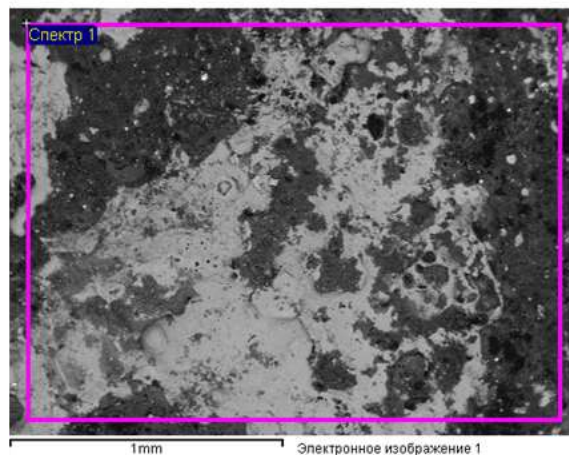
Ni Ni 1-июн-1999 12:00 AM

W W 1-июн-1999 12:00 AM

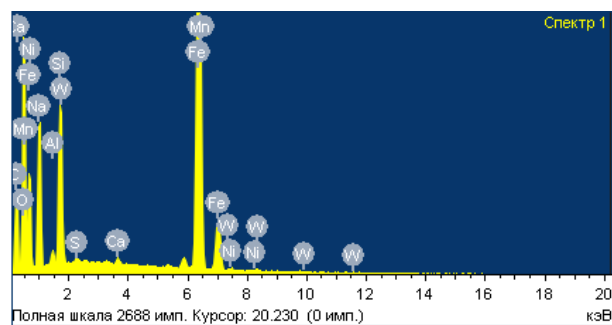
Элемент	Весовой %	Атомный%
C K	18.24	35.74
O K	20.51	30.18
Na K	10.40	10.65
Al K	0.49	0.43
Si K	4.95	4.15
S K	0.13	0.09
Ca K	0.25	0.14
Mn K	0.95	0.41
Fe K	42.34	17.85
Ni K	0.47	0.19
W M	1.28	0.16
Итого 100.00		

Итого 100.00

Комментарий: 20 kV, BSE, HV



а



б

Рисунок 3.10 - Элементный состав образца 2-5 после обработки

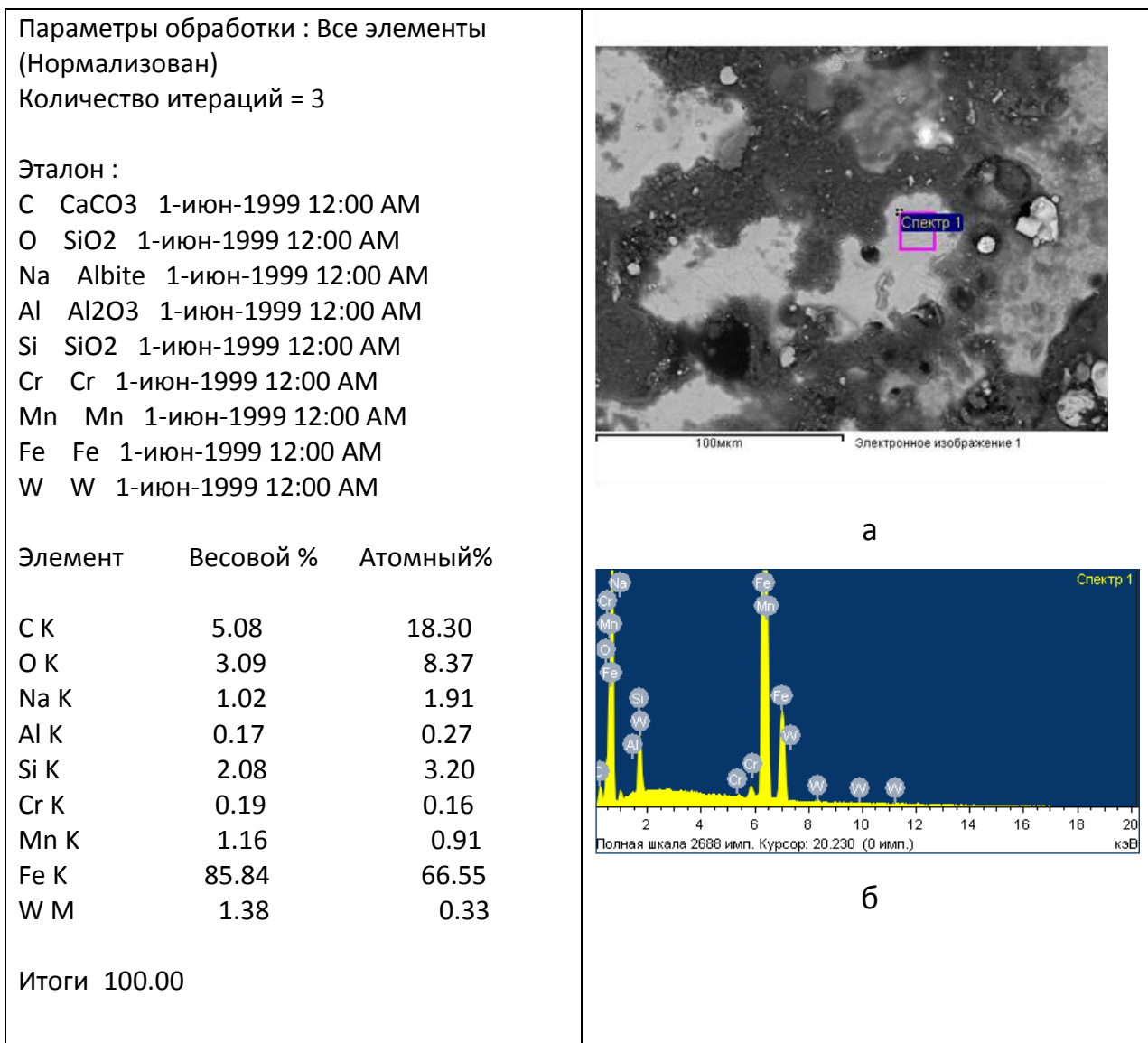


Рисунок 3.11-Элементный состав с локального участка образца 2-5 стали после обработки

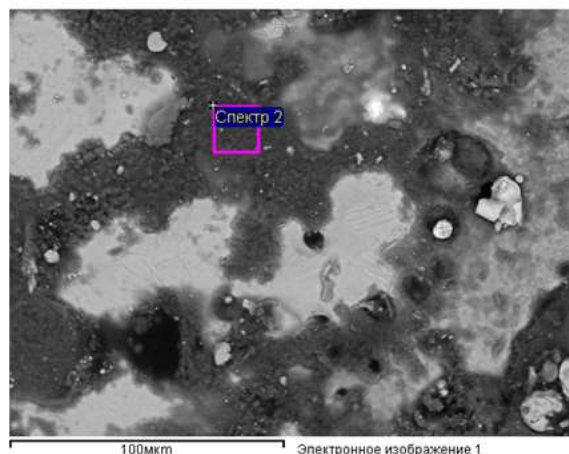
Элементный анализ с относительно большой площади образца (2x2 мм²) показывает наличие в больших концентрациях углерода, кислорода, натрия и железа. Исследования локальных участков показывает (рис. 3.12) наличие также большого содержания кремния. В некоторых локальных участках преобладающим элементом является железо. В основном образец покрыт продуктами электрода.

Количество итераций = 5

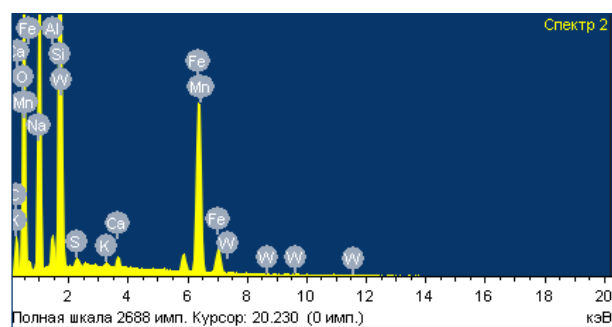
C	CaCO3	1-июн-1999 12:00 AM
O	SiO2	1-июн-1999 12:00 AM
Na	Albite	1-июн-1999 12:00 AM
Al	Al2O3	1-июн-1999 12:00 AM
Si	SiO2	1-июн-1999 12:00 AM
S	FeS2	1-июн-1999 12:00 AM
K	MAD-10 Feldspar	1-июн-1999 12:00 AM
Ca	Wollastonite	1-июн-1999 12:00 AM
Mn	Mn	1-июн-1999 12:00 AM
Fe	Fe	1-июн-1999 12:00 AM
W	W	1-июн-1999 12:00 AM

Элемент	Весовой %	Атомный%
C K	15.45	26.47
O K	32.30	41.57
Na K	4.86	13.31
Al K	1.05	0.80
Si K	12.50	9.16
S K	0.28	0.18
K K	0.14	0.08
Ca K	0.49	0.25
Mn K	1.68	0.63
Fe K	20.11	7.41
W M	1.12	0.13

Итого 100.00



a



6

Рисунок 3.12 - Элементный состав с локального участка образца 2-5 после обработки

На рисунке 3.13 приведена рентгенограмма образца 2-5, измеренная в геометрии Брэгга. У исходной рентгенограммы была вычтена базовая линия (фон), а наблюдаемые пики были аппроксимированы 7 пиками с гауссовской

формой линии. Параметры этих линий приведены в таблице 3.2. Из анализа полученных данных следует, что наиболее интенсивные линии скорее всего связаны с альфа-Fe и гамма-Fe. Причем содержание альфа-Fe гамма-Fe приблизительно одинаковые. Менее интенсивные линии обусловлены продуктами от обрабатывающих электродов.

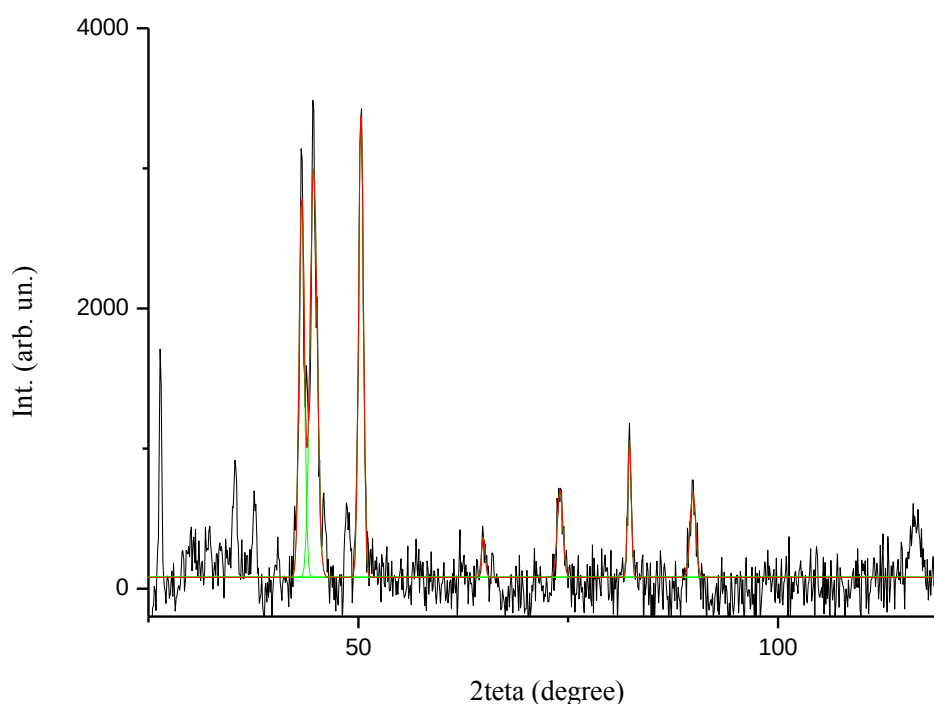


Рисунок 3.13- Рентгенограмма образца 2-5 стали после обработки

Таблица 3.2 - Расчетные параметры рентгенограммы образца 2-1

N	2teta (degree)	Int.	фаза
1	43,27	С.	гамма-Fe
2	44,677	С.	альфа-Fe
3	50,326	С.	гамма-Fe
4	64,902	Сл.	альфа-Fe
5	74,046	Сл.	гамма-Fe
6	82,315	Сл.	альфа-Fe
7	89,865	Сл.	гамма-Fe

Исследования образцов на морфологию составов производилась в Физическом институте им. Арбузова в научно-исследовательских лабораториях. На исследование были представлены упрочненные образцы, которые были получены в результате их обработки на различных режимах и с различными составами МКС.

Исследования морфологии опытных образцов позволило с высокой степенью достоверности судить о составах химических элементов в поверхностном и глубинном слое.

ГЛАВА 4. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Организация и проведение эксплуатационных исследований упрочненных стрельчатых лап в условиях хозяйства СХПК «Урал»

Производственные полевые исследования упрочненных стрельчатых лап осуществлялись в 2018-2019 гг. на полях хозяйства СХПК «Урал» Кукморского района РТ.

Для проведения полевых испытаний было упрочнено по технологиям обоснованной в 3 главе 18 стрельчатых лап типа размера 330. Фото упрочненных стрельчатых лап приведено на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1. Упрочненные стрельчатые лапы типа размера 330 перед установкой на культиватор КПС-4

По методике полевых исследований на каждый культиватор было установлено в шахматном порядке 9 упрочненных новых стрельчатых лап и 9 серийных новых стрельчатых лап.

Тем самым обеспечивалось поддержание равных условий работы испытываемых стрельчатых лап. Сборка опытных культиваторов осуществлялась в условиях ЦРМ СХПК «Урал». На рисунке 4.2 и 4.3 показан монтаж новых и серийных стрельчатых лап.



Рисунок 4.2. Парная установка опытной упрочненной и серийной новой стрельчатой лапы



Рисунок 4.3. Подготовленный к полевым условиям опытный культиватор КПС-4

Шахматная установка новых серийных и новых упрочненных стрельчатых лап рядом друг с другом позволит более полно и объективно оценить характеристику износа этих лап и выявить значение износа за весь период наработки.

Общая наработка в период весенних полевых работ на испытуемых культиваторах составила: опытный культиватор №1 – 600 га; опытный культиватор №2 – 580 га.

Эти культиваторы работали на возделывании полей под картофель и пшеницу.

В процессе полевых исследований периодически производился осмотр и измерения размеров, определение величины износа, а также определение отклонения от геометрической формы стрельчатых лап.

Также в процессе полевых исследований оценивались возникновения внезапных отказов. Под внезапными отказами подразумеваются срыв стрельчатой лапы со стойки, деформация и разрушение самих стрельчатых лап.

В процессе культивации одновременно с рыхлением почвы осуществлялось внесение жидких удобрений. На рисунке 4.4 показан опытный культиватор комбинированного действия в процессе полевых исследований.



Рисунок 4.4. Опытный культиватор с экспериментальными стрелчатymi лапами и устройством для внесения жидких удобрений

Наличие жидкости в почве при культивации также создает определенные условия для работы стрелчатых лап.

Микрометраж стрелчатых лап осуществлялся периодически в течении всей наработки работы культиватора. Для этого использовались специальные шаблоны и универсальные измерительные средства контроля размеров.

После завершения полевых исследований культиваторы были доставлены в ЦРМ СХПК «Урал», где было произведено окончательное исследование характеристик износа серийных новых и экспериментальных упрочненных стрелчатых лап. На рисунке 4.5 показаны упрочненные и серийные стрелчатые лапы, установленные рядом на опытном культиваторе после завершения полевых работ.



Рисунок 4.5 Упрочненные и серийные стрелчатые лапы после наработки опытного культиватора 600 га

На представленных фотографиях наглядно видно степень износа упрочненной и серийной стрелчатых лап, работающих в одинаковых условиях при одинаковой наработки.

Заключительные контрольные измерения показали, что экспериментальные упрочненные стрелчатые лапы не потеряли своей геометрической формы и геометрических размеров, тогда как серийная стрелчатая лапа получила изменения геометрических форм и геометрических размеров на 30% в сторону уменьшения.

Испытуемые стрелчатые лапы были демонтированы с опытного культиватора и сданы на склад хранения для использования в следующем сезоне.

Полевые исследования упрочненных стрелчатых лап типа размера 330 показали, что их ресурс 1,8–2 раза выше, чем ресурс новых серийных стрелчатых лап типа размера 330.

По результатам полевых эксплуатационных исследований были составлены соответствующие акты, которые приведены в приложении.

4.2. Обработка результатов эксплуатационных исследований

При эксплуатации современных СХМ очень важно контролировать такие показатели как ремонтпригодность, безотказность, долговечность. Эти показатели являются составляющими надежности. Оценкой этих показателей используя численные значения во многом помогает судить об эффективности эксплуатации СХМ.

Все машины работают в различных условиях и в процессе их эксплуатации возникают ряд факторов, связанные с возникновением отказов системы. Эти отказы могут быть как постепенными, так и внезапными. Поэтому количественная оценка и статистическая обработка данных по этим отказам позволяют оценить и проанализировать эффективность эксплуатации современных СХМ.

Построение статистического ряда и статистических графиков

Планы наблюдений

Стандартом (ГОСТ 17510 - 79) предусмотрено пять планов наблюдений для получения информации о надежности технических объектов:

[NUN], [NUT], [NU τ], [NRT], [NR τ],

где N – количество наблюдаемых объектов;

U- план, при котором негодные детали устраняются и утилизируются;

T - наработка;

τ – число выходов из строя (отказов);

R – план, при котором негодные детали подлежат восстановлению и вновь устанавливаются на технику.

План испытания:

[NUN] – контроль за N до возникновения отказов и выход на предельное состояние, при котором детали не заменяются;

[NU τ] – контролируется N объектов до возникновения отказов или предельного состояния выбывшие из строя изделия не заменяются и не ремонтируются;

[NUT] - под наблюдение поставлено N изделий наблюдения ведутся в течение времени T, отказавшие изделия не заменяются новыми и не восстанавливаются;

[NRT] - под наблюдение поставлено N изделий, наблюдения ведутся в течение времени T, отказавшие изделия заменяются новыми или восстанавливаются;

[NR τ] - под наблюдение поставлено N изделий наблюдения ведутся до возникновения τ отказов или предельных состояний, отказавшие изделия заменяются новыми или восстанавливаются.

Таким образом, первые три плана применяются при наблюдениях за восстанавливаемыми объектами, а два последних – при наблюдениях за восстанавливаемыми объектами.

В результате наблюдений мы имеем массив чисел или так называемый простой статистических ряд, представляющий собой таблицу, в которой

указаны номера опытов i и значения наблюдаемой случайной величины t_i . Часто записываются только значения t_i .

В процессе контроля за работой исследуемого культиватора получены статистические данные наработки на отказ, которые представлены в виде ряда чисел (план наблюдений [NUN]):

10 17 23 25 28 29 31 35 41 50 55 68 78 88 99 110 129 136 142 147 146 166 175
180 204 216 239 256 295 319 385 392 407 435 534 590.

Всего 36 значения случайной величины.

Представленный в таком виде простой статистический ряд не дает наглядного представления об интересующей нас случайной величине и поэтому требуется дополнительная обработка полученных данных наблюдения.

Предварительные вычисления

Для придания полученному массиву чисел большей компактности и наглядности его подвергают поразрядной группировке, а таблица, в которой производится эта группировка, называется статистическим рядом.

Вычислим величину рассеивания (размах ряда) S :

$$S = t_{\max} - t_{\min}, \quad (4.1)$$

где $t_{\max}$ – максимальная наработка;

$t_{\min}$ – минимальная наработка.

$$S = 592 - 9 = 583 \text{ ч.}$$

Вычисляем количество разрядов K :

$$K = I + 3,322 \lg n; \quad (4.2)$$

$$K = \sqrt{n},$$

$$\text{где } n \text{ – количество контролей.} \quad (4.3)$$

$$K = \sqrt{36} = 6$$

Размер разряда l :

$$l = \frac{S}{K}. \quad (4.4)$$

$$l = \frac{583}{6} = 91 \text{ ч.}$$

Значение сдвига C в заданных характеристиках:

$$t_{\min} \geq C \geq t_{\min} - \frac{1}{2}.$$

Принимаем $C = 0$.

Начало первого разряда a_1 принимаем равным величине сдвига, т.е.

$$a_1 = C.$$

v_k принимаем:

$$t_{\max} + \frac{1}{2}l \geq v_k \geq t_{\max};$$

Принимаем $v_k = 600$ ч. Длина ряда будет:

$$l = \frac{v_k - a_1}{K};$$

$$l = \frac{600 - 0}{6} = 100 \text{ ч.}$$

Построение таблицы статистического ряда

Все рассчитанные данные сведены в таблицу 4.1,

где i - порядковый номер разряда;

a_i - начало i -го разряда;

v_i - конец i -го разряда;

$l_i = v_i - a_i$ - длина i -го разряда;

$t_i = \frac{a_i + v_i}{2}$ - середина i -го разряда;

n_i - число объектов, сохранивших работоспособность в промежутке наработки от 0 до a_i ;

n_{i+1} - число объектов, сохранивших работоспособность в промежутке наработки от 0 до v_i ;

m_i - частота или число отказавших объектов в i -ом разряде, т.е. в промежутке наработки от a_i до v_i ;

$\hat{q} = \frac{m_i}{n}$ - частость или статистическая вероятность отказа в i -ом

разряде;

$\hat{Q}$ - накопленная частость или статистическая вероятность отказа в промежутке наработки от 0 до τ_i ;

$\hat{P}_i$ - статистическая вероятность безотказной работы в промежутке наработки от 0 до τ_i ;

$\hat{\lambda}_i$ - статистическая интенсивность отказов в i -ом разряде;

$\hat{f}_i = \frac{\hat{q}_i}{l_i}$ - статистическая плотность распределения наработки до отказа

в i -ом разряде.

Таблица 4.1 – Статистический ряд наработки до отказа

AI	Bi	Ti	Li	Ni	Ni+1	Mi	qi=Mi/N	Qi	Pi	$\hat{\lambda}_i \cdot 10^2$	$\hat{f}_i \cdot 10^{-2}$
0	100	50	100	36	21	15	0,416667	0,416667	0,583333	0,526316	0,416666667
100	200	150	100	21	12	9	0,25	0,666667	0,333333	0,545455	0,25
200	300	250	100	12	7	5	0,138889	0,694444	0,305556	0,526316	0,138888889
300	400	350	100	7	4	3	0,083333	0,888889	0,111111	0,545455	0,083333333
400	500	450	100	4	2	2	0,055556	0,944444	0,055556	0,666667	0,055555556
500	600	550	100	2	0	2	0,055556	1	0	2	0,055555556

$$\sum = 36 \quad \sum = 1$$

Сумма отказов по всем разрядам равна общему числу испытываемых объектов, т. е.

$$\sum_{i=1}^k m_i = n; \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^k m_i = 15 + 9 + 5 + 3 + 2 + 2 = 36.$$

Значение $\hat{Q}_i$ определяется из выражение:

$$\hat{Q}_i = \sum_{i=1}^i \frac{m_i}{n}, \quad (4.6)$$

т. е. если $\frac{m_i}{n}$ - это статистическая вероятность отказа только в i -ом разряде, или частость, то $\hat{Q}_i$ - статистическая вероятность отказа нарастающим итогом или накопленная частость, т. е. не что иное, как статистическая функция распределения наработки до отказа $\hat{F}(t)$. Поскольку $n = const$, формула примет вид:

$$\hat{Q}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i. \quad (4.7)$$

Статистическая вероятность безотказной работы находится вычитанием вероятности отказа из единицы:

$$\hat{P}_i = 1 - \hat{Q}_i. \quad (4.8)$$

Если расчеты проведены правильно, то

$$Q_i = \sum_{i=1}^k \frac{m_i}{n} = 0,416667 + 0,25 + 0,138889 + 0,083333 + 0,055556 + 0,055556 = 1.$$

Интенсивность отказов – отношение числа объектов, отказавших за время какой-либо промежуток времени, к среднему числу объектов, находящихся в этом промежутке в работоспособном состоянии, деление на этот промежуток времени, при условии, что отказавшие объекты не можем заменять с работоспособными объектами:

$$\hat{\lambda}_i = \frac{m_i}{n_{icp} l_i}, \quad (4.9)$$

где $n_{icp} = \frac{n_i + n_{i+1}}{2}$ - среднее число работоспособных в i -ом разряде объектов.

Построение статистических графиков функции распределения и плотности распределения наработки до отказа

График $\hat{Q}_i$ представляет собой статистическую функцию распределения наработки до отказа, а $\hat{f}_i$ - статистическую плотность распределения или гистограмму. Площадь каждого прямоугольника гистограммы имеет определенный смысл, а именно – это статистическая вероятность попадания случайной величины в тот или иной разряд, что в этом примере есть статистическая вероятность отказа в соответствующем разряде.

По условиям построения площадь гистограммы равна единице и по всем показателям гистограмма есть не что иное, как статистическая плотность распределения наработки до отказа.

Определение математического ожидания, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации

Математическое ожидание случайной величины является важнейшей цифровой характеристикой, указывающей на среднее значение этой случайной величины.

Среднеквадратичное отклонение характеризуется разбросом значений случайной величины относительно ее математического ожидания.

При наличии статистического ряда оценку математического ожидания и среднеквадратического отклонения производим по выражениям:

$$\hat{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i m_i ; \quad (4.10)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^k (t_i - \hat{m})^2 m_i} . \quad (4.11)$$

Показываем расчеты в виде таблицы.

Таблица 4.2 – К расчету $\hat{m}$ и $\hat{\sigma}$

#	Ti	Mi	Ti*Mi	Ti-m	((Ti-m) 2)*Mi
1	50	15	750	-127,778	244907,4
2	150	9	1350	-27,7778	6944,444
3	250	5	1250	72,22222	26080,25
4	350	3	1050	172,2222	88981,48

5	450	2	900	272,2222	148209,9
6	550	2	1100	372,2222	277098,8

$$\Sigma = 6400 \Sigma = 792222.2.$$

$$m = t_{cp} = \frac{1}{36} \cdot 6400 = 177.77792 \text{ ч.}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{36-1} \cdot 792222.2} = 150.4$$

Относительный разброс характеризуется коэффициентом вариации V:

$$V = \frac{\sigma}{\hat{m} - c}, \quad (4.12)$$

$$V = \frac{150}{178 - 0} = 0.842$$

Нахождение закона распределения наработки до отказа

Предварительные недостатки

Первый замечания заключается в том, что в статистических распределениях всегда есть элементы случайности, связанные с тем, что число испытаний ограничено, что рассматривались именно те, а не другие изделия данной марка, давшие именно те, а не другие показатели, что сами испытания могли содержать в себе замечания и ошибки измерений и т.д.

Второй замечание состоит в том, что статистические характеристики не имеют аналитического формула в функции наработки, что затрудняет их использование при расчетах на надежность.

В связи с этим статистическое распределение должно быть скорректировано таким образом, что из этих были исключены элементы случайности, и чтобы оно показывало лишь определенные черты статистического предмета.

А если другими словами, по статистическому распределению должен быть определен так называемый «теоретический» закон распределения данной случайной величины. Эта задача решается в три этапа.

На первом этапе качественно выражается характер распределения, то есть решается какому закону подчиняется случайная величина; нормальному, экспоненциальному, закону Вейбулла и т.д.

На втором этапе предусматриваются параметры выбранного закона распределения и построено его теоретические графики.

На третьем этапе проверяется, соответствует ли принятый теоретический закон распределения статистическим данным.

Определение характера закона распределения

Характер предполагаемого закона распределения проверяется исходя из трех факторов: физической сущности случайной величины с учетом области применения того или иного закона распределения; внешнего вида гистограммы, сравнивая её с различными кривыми $f(t)$; величины коэффициента вариации V .

По первому фактору, в нашем случае, вполне естественно предположить, что наработка до отказа подчиняется экспоненциальному закону, так как известно, что этому закону подчиняется наработка до внезапного отказа.

По второму фактору также можно сделать вывод о наличии здесь экспоненциального закона, так как гистограмма больше всего соответствует кривой именно экспоненциального закона.

По третьему фактору имеются следующие рекомендации:

при $V < 0,3$ скорее всего имеет место ЗНР;

при $0,3 < V < 0,5$ может иметь место, как ЗНР, так и ЗРВ;

при $V > 0,5$ имеет место ЗРВ;

при $V = 1$ имеет место ЭЗР как частный случай ЗРВ.

В нашем случае можно предположить наличие ЭЗР, так как $V = 0,8462$, что довольно близко к единице. Итак, принимаем гипотезу о том, что исследуемая случайная величина подчиняется экспоненциальному закону распределения [5].

Определение параметров экспоненциального закона распределения и построение графиков

ЭЗР характеризуется следующими выражениями:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

$$F(t) = Q(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

где $P(t)$ - вероятность безотказной работы;

$Q(t)$ - вероятность отказа или функция распределения;

$f(t)$ - плотность распределения.

Единственным параметром является интенсивность отказов $\lambda = \frac{1}{m} = \frac{1}{\sigma}$,

так как $m = \sigma$. Ранее мы нашли $\hat{m} = 178 \text{ ч.}$, $\hat{\sigma} = 150.4 \text{ ч.}$

Принимая

$$\frac{m + \hat{\sigma}}{2} = m = \sigma = \frac{178 + 150.4}{2} = 162.2 \text{ ч.}$$

находим:

$$\lambda = \frac{1}{m} = \frac{1}{162.2} = 0.0060093 \text{ ч}^{-1}.$$

Запишем выражения (17), (18), (19) в более определенном виде:

$$f(t) = 0.0060093 e^{-0.0060093 * t}, \quad (4.13)$$

$$F(t) = Q(t) = 1 - e^{-0.0060093 * t}, \quad (4.14)$$

$$P(t) = e^{-0.0060093 * t}.$$

Таким образом, мы получили теоретический закон распределения наработки до отказа.

Таблица 4.3 – К расчету $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$

T	0	100	200	300	400	500	600
Альфа*T	0	0,609335	1,218669	1,828004	2,437339	3,046673	3,656008
P(T)	1	0,543713	0,295624	0,160734	0,087393	0,047517	0,025836
F(T)=Q(T)	0	0,456287	0,704376	0,839266	0,912607	0,952483	0,974164
F(T)=10^-	0,609334689	0,331303	0,180134	0,097941	0,053252	0,028954	0,015742

Проверка соответствия принятого теоретического закона статистическим данным

Рассматриваем самый распространенный критерий согласия X^2 (критерий Пирсона):

$$X^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{(\hat{q}_i - q_i)^2}{q_i}, \quad (4.15)$$

где $\hat{q}_i$ - статистическая вероятность попадания случайной величины в i -ый разряд;

q_i - теоретическая вероятность попадания случайной величины в i -ый разряд, вычисленная на основании принятого теоретического закона распределения.

Чем больше разница между $\hat{q}_i$ и q_i , тем больше будет и величина X^2 , которая поэтому и это называется мерой расхождения. Мера расхождения сама является случайной величиной, закон распределения которой зависит от числа этих испытаний n и от закона распределения исследуемой случайной величины.

К. Пирсон показал, что эта мера расхождения при достаточно больших n подчиняется так называемому распределению X^2 , которое практически не зависит ни от $F(t)$, ни от n , а зависит лишь от одного параметра r , называемого числом степеней свободы:

$$r = k - (\varphi + 1), \quad (4.16)$$

где k - число разрядов статистического ряда;

φ - число параметров принятого закона распределения.

Тогда если теоретический закон выбран правильно, то вероятность того, что полученное расхождение X^2 произошло по чисто случайным причинам, будет достаточно велика. Эта вероятность P не должна быть меньше 0,1.

Для нахождения величины P в зависимости от X^2 и r , а для них специально составлены таблицы.

Таким образом, последовательность проверки по критерию Пирсона следующая:

1. Определяем меру расхождения X^2 .
2. Определяем число степеней свободы r по формуле .
3. По X^2 и r при помощи таблиц определяем величину P .

Если $P > 0,1$ закон принимается, а при $P < 0,1$ - закон отбрасывается.

Для определения X^2 удобнее пользоваться формулой, которая получена из формулы путем подстановки $\frac{m_i}{n}$ вместо $\hat{q}_i$:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - nq_i)^2}{nq_i}, \quad (4.17)$$

где q_i – теоретическая вероятность отказа в i -ом разряде.

$$q_i = F(b_i) - F(a_i) \quad (4.18)$$

где a_i - начало i -го разряда;

b_i - конец i -го разряда.

Расчеты сведем в таблицу 4.4

Таблица 4.4 – К расчету X^2

I	m_i	q_i	$N q_i$	$(m_i - nq_i)^2 / nq_i$
1	15	0,456287	16,42634	0,123853
2	9	0,248089	8,931211	0,00053
3	5	0,134889	4,856013	0,004269
4	3	0,073341	2,640276	0,049011
5	2	0,039876	1,435552	0,221937
6	2	0,021681	0,780528	1,905266
7	4	36	0,790381	2,304866

Определив величину X^2 , находим число степеней свободы:

$$r = k - (\varphi + 1) = 6 - (1 + 1) = 4,$$

так как у ЭЗР имеется только один параметр λ и поэтому $\varphi=1$.

Зная X^2 и r по таблице приложения находим, что $P = 0.5762$. Так как $0.5762 > 0.1$, приходим к выводу, что принятый экспоненциальный закон

распределения с параметром $\lambda = 0.006093 \text{ч}^{-1}$ не противоречит статистическим данным о времени безотказной работы объекта.

Анализ кривых и вычисление вероятности отказа и безотказной работы в заданном интервале наработки.

Имея не противоречащий опытным данным теоретический закон распределения наработки до отказа, можем найти значение вероятности отказа и безотказной работы в любом интервале наработки по формулам:

$$Q(a; b) = F(b) - F(a); \quad (4.19)$$

$$P(a; b) = 1 - Q(a; b)$$

где $Q(a; b)$ – вероятность отказа в интервале наработки от a до b ;

$F(b)=Q(b)$ – вероятность отказа в интервале наработки от 0 до b ;

$F(a)=Q(a)$ – вероятность отказа в интервале наработки от 0 до a ;

$P(a; b)$ – вероятность безотказной работы в интервале наработки от a до b .

Согласно исходным данным: $a=100$ ч; $b = 300$ ч.

$$F(b) = F(250) = 1 - e^{-0.006093(t)} = 0.7820;$$

$$F(a) = F(50) = 1 - e^{-0.006093(t)} = 0.2626;$$

$$Q(a; b) = F(b) - F(a),$$

$$P(a; b) = 1 - Q(a; b),$$

$$Q(250; 350) = 0,5193$$

$$P(250; 350) = 1 - 0,5193 = 0,4806$$

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛИ

Технологические операции при вибродуговом упрочнении с использованием МКП:

- очистка;
- нанесение тонкого слоя МКП;
- сушка детали.

Упрочнение одной стрелчатой лапы – 18 мин.

Затраты энергии на упрочнение одной стрелчатой лапы -3,2 кВт/ч.

Расходные материалы на одну стрелчатую лапу приходится 38 руб.

Затраты электроэнергии на одну стрелчатую лапу ($\mathcal{E}_д$) – 18 руб.

Заработная плата рабочего составляет на упрочнение одной стрелчатой лапы ($C_{срд}$) – 58,5 руб.

Годовая программа вибродугового упрочнения стрелчатых лап (H_r) – $226 \cdot 12 = 2712$ шт.

Общие затраты на упрочнение одной детали, руб.

$$O_{зд} = \mathcal{E}_д + M_д + \Gamma \mathcal{E}_д + C_{срд} = 21,6 + 40 + 20 + 58,5 = 140,1 \text{ руб.} \quad (5.1)$$

$$\mathcal{E}_{фд} = P * H_{рд} * \Pi_{нд} - H_{гд}(\Pi_{нд} - O_{зд}) = 3 * 2712 * 840 - 2712 (840 + 140,1) = 4176480 \text{ руб []}.$$

Таблица 5.1 – Перечень исходных данных

Наименование	Исходное (базовые)	Проектируемы е
--------------	--------------------	-------------------

1 Вес, кг.	3	5,305
2 Цена, руб.	1900	1900
3 Производственные рабочие, чел.	2	2
4 Зарплата рабочего, руб/ч	120	120
5 Отчисления на амортизацию, %	14	14
6 Процент РТО, %	8	8
7 Время работы, час.	240	240
8 Период эксплуатации, лет	2,5	3
9 Мощность, кВт	5	3,2
10 Производительность, шт/ч	0,5	1,2

Металлоемкость:

$$M_e = \frac{G}{W_q \cdot T_{год} \cdot T_{ед}} = \frac{2}{0,48 \cdot 230 \cdot 2} = 0,009 \quad (5.2)$$

где G – вес, кг; W_q – производительность, шт/час; $T_{год}$ – загрузка, час;
 $T_{ед}$ – работа установки, лет.

Получаем:

$$F_e = \frac{C_б}{W_q \cdot T_{год}} = \frac{2000}{0,48 \cdot 10^3 \cdot 230} = 0,018 \quad (5.3)$$

где $C_б$ – стоимость, руб;

$$F_e^{X0} = \frac{5000}{3,82 \cdot 10^3 \cdot 230} \approx 5,69 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед};$$

$$F_e^{X1} = \frac{8887}{4,08 \cdot 10^3 \cdot 230} \approx 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед}.$$

Трудоемкость:

$$T_e = \frac{n_p}{W_q} = \frac{1}{0,48 \cdot 10^3} = 0,21 \quad (5.4)$$

где n_p – рабочие, чел.

$$T_e^{X0} = \frac{1}{3,82 \cdot 10^3} \approx 0,262 \cdot 10^{-3} \text{ чел·ч/ед}.$$

$$T_e^{X1} = \frac{1}{4,08 \cdot 10^3} \approx 0,245 \cdot 10^{-3} \text{ чел·ч/ед}.$$

Себестоимость:

$$S = C_{3П} + C_{PTO} + A = 21 + 2,17 = 24,4 \quad (5.5)$$

Заработная плата:

$$C_{3П} = Z \cdot T_e = 100 \cdot 0,21 = 21 \quad (5.6)$$

Отчисления на ремонт:

$$C_{PTO} = \frac{C_{\delta} \cdot H_{PTO}}{100 \cdot W_q \cdot T_{\text{год}}} = \frac{2000 \cdot 7}{100 \cdot 0,51 \cdot 230} = 1,27 \quad (5.7)$$

где H_{PTO} – норма ремонта, %.

Амортизация:

$$A = \frac{C_{\delta} \cdot a}{100 \cdot W_q \cdot T_{\text{год}}}, \quad (5.8)$$

где a – норма амортизации, %.

$$C_{3П}^{x0} = 80 \cdot 0,262 \cdot 10^{-3} \approx 21 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{3П}^{x1} = 50 \cdot 0,245 \cdot 10^{-3} \approx 19,6 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{PTO}^{x0} = \frac{5000 \cdot 7,7}{100 \cdot 3,82 \cdot 10^3 \cdot 230} = 0,43 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{PTO}^{x1} = \frac{8887 \cdot 7,7}{100 \cdot 4,08 \cdot 10^3 \cdot 230} = 0,73 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$A^{x0} = \frac{5000 \cdot 10}{100 \cdot 3,82 \cdot 10^3 \cdot 230} = 0,57 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$A^{x1} = \frac{8887 \cdot 10}{100 \cdot 4,08 \cdot 10^3 \cdot 230} = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$S^{x0} = (21 + 0,43 + 0,57) \cdot 10^{-3} = 22 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$S^{x1} = (19,6 + 0,73 + 0,97) \cdot 10^{-3} = 21,3 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

Годовую экономию

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = S_0 - S_1 \cdot W_q \cdot T_{\text{год}} = 24,4 - 22,5 \cdot 0,48 \cdot 230 = 210 \quad (5.9)$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 22 - 21,3 \cdot 10^{-3} \cdot 4,08 \cdot 10^3 \cdot 230 = \approx 657 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты:

$$C_{\text{прив}} = S + E_H \cdot F_e = 21 + 0,15 \cdot 0,018 = 21, \quad (5.10)$$

где E_H – эффективность капитальных вложений; F_e – фондоемкость, руб/ед; k – удельные капитальные вложения, руб/ед.

$$C_{\text{прив}} = 21 \cdot 10^{-3} + 0,15 \cdot 5,69 \cdot 10^{-3} = 22,85 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{\text{привл}} = 19,6 \cdot 10^{-3} + 0,15 \cdot 2,43 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

Годовой эффект:

$$E_{\text{год}} = (C_{\text{прив}} - C_{\text{привл}}) \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}} = (22,85 - 20) \cdot 0,48 \cdot 230 = 110, \text{ руб.} \quad (5.11)$$

$$E_{\text{год}} = (22,85 - 20) \cdot 4,08 \cdot 230 = 2674 \text{ руб.}$$

Окупаемость установки вибродугового упрочнения:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{б1}}}{E_{\text{год}}} = \frac{1800}{110} = 1,6 \quad (5.12)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{2674}{657} \approx 4 \text{ года.}$$

$$E_{\text{эф}} = \frac{E_{\text{год}}}{C_{\text{б}}}, \quad (5.13)$$

$$E_{\text{эф}} = \frac{657}{5000} \approx 0,1314.$$

Таблица 5.2 – Показатели сравнения

	Показатели	Существующий	Новый	Новый в % к существующему
1	2	3	4	5
1	Производительность, ед/час	$4 \cdot 10^3$	$5,08 \cdot 10^3$	1,1
2	Фондоемкость, руб/ед	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$3,43 \cdot 10^{-4}$	44,1
3	Энергоемкость	14,9	11,95	85
4	Металлоемкость, кг/ед	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-3}$	2,1
5	Трудоемкость, чел·ч/ед	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	92,9
6	Затраты на ед.продукции, руб/ед.	$12 \cdot 10^{-3}$	$11,3 \cdot 10^{-3}$	98
7	Приведенные затраты, руб/ед	$14 \cdot 10^{-3}$	$12,1 \cdot 10^{-3}$	89
8	Годовая экономия, руб	1315		-
9	Экономический эффект, руб	170950		-
10	Срок окупаемости, лет	1,6		-
11	Эффективность	0,4		-

Анализируя значения показателей в таблице, видим, что годового перерасхода средств не наблюдается, а наоборот мы получаем годовой экономический эффект. Это объясняется тем, что сравниваемая конструкция менее производительна и имеет большую балансовую стоимость.

Внедряемая конструкция по расчетам должна быть экономически целесообразна.

Внедрение установки вибродугового упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин в условиях хозяйств РТ позволит в значительной мере повысить эффективность эксплуатации этих машин.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Произведен анализ существующих методов поверхностного упрочнения деталей сельскохозяйственных машин. Которые выявил преимущество использование вибродугового упрочнения с использованием МКП деталей типа стрелчатые лапы культиватора.

2. Обоснована необходимость использование различных составов металлокерамических порошков, при восстановлении и упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин.

3. Разработана методика экспериментальных исследований, позволяющая оценить физико – механические свойства упрочненных поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин.

4. Результаты лабораторных исследований по разработанной методике показали, что микротвёрдость образцов упрочненных с использованием металлокерамических порошков составов: Na_3AlF_6 , B_4C , Al , ПГ10Н-01 и водный раствор жидкого стекла (Na_2SiO_4), позволило получить твердость в пределах от 58-75 HRC.

5. Экспериментальные исследования на машине трения 77 МТ-1 показали, что износостойкость лабораторных образцов в зависимости от металлокерамических порошков по сравнению с контрольным образцом возрастает 2,5- 3,5 раза.

6. Разработан технологический процесс поверхностного упрочнения режущих частей стрельчатых лап культиватора для использования в производстве.

7. Проведены эксплуатационные полевые исследования упрочненных стрельчатых лап в хозяйстве СХПК «Урал» в 2018-2019 гг., которые показали эффективность эксплуатации упрочненных стрельчатых лап. По результатам полевых исследований было установлено, что ресурс экспериментальных стрельчатых лап по сравнению с серийными лапами повышается 1,8-2 раза.

8. Проведено технико – экономическое обоснование, использования технологического процесса вибродугового упрочнения стрельчатых лап культиваторов с использованием МКП. Это обоснование показало, что годовой экономический эффект от внедрения этих технологии составит 170950 руб.

