Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»

На правах рукописи

НЕСТЕРКИН Геннадий Алексеевич

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ - УПЛОТНЕНИЕ»

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Леонов Олег Альбертович

Москва – 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ 10
1.1 Краткое описание современных особенностей состояния парка 10
сельскохозяйственных машин в России 10
1.2 Существующие методы выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте сельскохозяйственной техники 15
1.2.1 Современная классификация способов восстановления деталей 15
1.2.2 Современные методики выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте сельскохозяйственной техники 17
1.3 Методы взаимозаменяемости при ремонте 26
сельскохозяйственной техники 26
1.4 Классификация и применяемость уплотнительных устройств 34
в сельскохозяйственной технике 34
1.5 Общетехнические характеристики соединения «вал – уплотнение» 40
1.6 Механизм изнашивания и потеря герметичности соединений 42
«вал – уплотнение» 42
1.7 Способы восстановления соединений «вал – уплотнение» 48
1.8 Выводы, цели и задачи исследования 50
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПРИ ВОСТАНОВЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ - УПЛОТНЕНИЕ» 54
2.1 Разработка системы ремонтных размеров вала и подбора манжет 57
2.2 Применение метода установки ремонтных втулок при восстановлении соединений «вал – уплотнение» 60
2.6 Выводы 65
3 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 66
3.1 Теоретические основы проведения микрометрирования и дефектации поверхностей валов под манжету при ремонте 66
3.2 Контроль поверхности изношенного вала 67
3.3 Контроль поверхности вала после восстановления 69
3.4 Выбор средств измерений для контроля поверхности вала под втулку и внутреннего диаметра втулки 71
3.5 Выбор средств измерений для контроля поверхности вала после восстановления 75
3.6 Контроль внутреннего диаметра манжет 75
3.7 Выводы 76
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ 78
4.1 Исследование точностных параметров соединения и его элементов 79
4.2 Система селекции ремонтных размеров вала и подбор манжет 81
4.2.1 Реализация системы селекции ремонтных размеров вала и подбор манжет для первичного вала КПП ЯМЗ 81
4.2.2 Реализация системы селекции ремонтных размеров вала и подбор манжет для фланца КПП ЯМЗ 85

4.3 Применение метода установки ремонтных втулок при восстановлении соединений «вал - уплотнение» 87
4.4 Обоснование верхнего отклонения вала при применении ремонтных втулок соединения «вал – уплотнение» 92
4.5 Выводы 93
5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ 95
5.1 Методики расчета экономической эффективности 95
5.2 Основные элементы расчета экономического эффекта 97
от внедрения технологического процесса 97
5.3 Расчет экономического эффекта от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал-уплотнение» методом обработки под ремонтный размер 100
5.4 Расчет экономического эффекта от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал-уплотнение» методом установки тонкостенной втулки 104
5.5 Выводы 105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 106
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 109
Приложение 1. Акт о внедрении результатов научно-исследовательской работы, рекомендации к производству и свидетельство ЭВМ 126

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важную роль играет система импортозамещения техники и технологий в Российской Федерации [87, 99, 85]. Причем импортозамещение можно рассматривать как с позиции создания новых машин и оборудования, так и с позиции ремонта существующей техники. Практически все машины для сельского хозяйства, созданные в Российской Федерации, являются ремонтопригодными, в отличие от импортных. Использование зарубежной техники становится для сельхозтоваропроизводителей нерентабельным, так как любая поломка оборачивается не только покупкой дорогой запасной части, но долгим временем ожидания, что наносит определенный ущерб в виде потерь от простоя машины.

На сегодняшний день около 80 % машинно-тракторного парка России находится за пределами срока амортизации. Решением проблемы поддержания работоспособности такой техники является повышение качества ее ремонта на основе разработки технологий и технических средств, обеспечивающих повышение ресурса отремонтированных агрегатов до 100 % новых изделий, при цене 50…70 % от новых.

Уплотнительные соединения с резиновыми армированными манжетами широко распространены в отечественной технике, в частности в коробках передач и редукторах сельхозмашин. Отказы данных соединений встречаются довольно часто и проявляются в виде утечек уплотняемых жидкостей.

Например, по данным самого массового производителя силовых агрегатов (двигателей и коробок передач) – Ярославского моторного завода, известно, что в процессе эксплуатации двигателей ЯМЗ при наработке свыше 8-10 тыс. часов, на поверхности коленчатого вала под рабочими кромками передней и задней манжет появляется кольцевой износ на глубину до 0,2 мм, приводящий к течи масла. Замена старой манжеты на новую при таком износе течь масла не устраняет.

Применению методов взаимозаменяемости с одновременным использованием простых методов восстановления вала в соединении его с манжетой посвящена данная работа.

Настоящие исследования выполнены в рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 - 2030 годы» на кафедре метрологии, стандартизации и управления качеством ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Степень разработанности. Большой вклад в развитие теории и практики технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин, повышения их надежности внесли такие ученые, как А.А. Аникин, А.Н. Батищев, В.Н. Бугаев, Е.Л. Воловик, В.А. Деев, О.Н. Дидманидзе, М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, Ю.А. Конкин, В.Е. Кряжков, В.В. Курчаткин, С.С. Некрасов, А.В. Поляченко, Г.К. Потапов, Е.А. Пучин, М.Ф. Сагач, А.И. Сидоров, В.Я. Сковородин, Н.Ф. Тельнов, В.И. Цыпцин, С.С. Черепанов, В.И. Черноиванов, М.А. Халфин и др. ученые. В разработку методик расчета отклонений размеров деталей и соединений сельхозмашин большой вклад внесли В.М. Белов, Ф.Х. Бурумкулов, И.Г. Голубев, З.С. Дагис, М.Н. Ерохин, А.И. Иванов, П.А. Карепин, А.А. Куликов, В.В. Карпузов, П.П. Лезин, П.П. Лельчук, О.А. Леонов, В.П. Лялякин, В.М. Михлин, А.Г. Степанов, Л.К. Чеплан и др. ученые. Но вопросы применения методов взаимозаменяемости при восстановлении поверхности вала соединения «вал - уплотнение» решены еще не полностью.

Целью работы является обоснование использования методов взаимозаменяемости при формировании соединения манжеты с валом при ремонте сборочных единиц в совокупности с рациональными способами восстановления вала соединения «вал – уплотнение».

Поставленная цель достигается решением следующих основных **задач**:

1. Разработать методику комплектования деталей соединений «вал-уплотнение», включающую в себя расчет числа групп комплектации, назначение ремонтных размеров вала и подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении. Разработать методику расчета посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенных втулок.

2. Для соединения валов с манжетами коробки передач ЯМЗ-239 в виде соединений первичного вала и фланца определить количество ремонтных размеров валов и составить комплектовочную таблицу сборки валов с манжетами. Провести вероятностный расчет качества сборки соединений.

3. Апробировать методику расчета посадок тонкостенных втулок с целью восстановления поверхности первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 под манжету, опередить размеры тонкостенной втулки, рассчитать диапазон технологических натягов и выбрать рациональные посадки.

4. Определить ожидаемый экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» обработкой под ремонтный размер с последующим ППД взамен приобретения новых валов и экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» методом установки ремонтных втулок.

Объект исследований – соединения «вал - уплотнение» коробки передач ЯМЗ, широко применяемых в отечественной сельскохозяйственной и автомобильной технике.

Предмет исследований – вопросы обеспечения норм точности и взаимозаменяемости при ремонте вала соединения «вал – уплотнение».

Научная новизна. Получены зависимости для расчета ремонтных размеров валов и диаметров подбираемых к ним манжет с целью обеспечения заданного диапазона натягов в соединении. Для метода восстановления поверхности вала путем применения тонкостенной втулки, на основе безмоментной теории оболочек, получены теоретические зависимости для расчета и корректировки предельных натягов.

Теоретическая значимость. Разработана методика расчета количества ремонтных размеров вала и подбора манжет с целью сохранения наименьшего натяга соединения манжеты с валом, также разработана методика расчета и выбора посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенных втулок.

Практическая значимость работы заключается:

в рекомендации к внедрению в ремонтное производство системы ремонтных размеров вала с подбором манжет при ремонте коробок передач ЯМЗ-239;

в рекомендации к внедрению технологии восстановления поверхности вала методом установки ремонтной втулки с научно обоснованными точностными параметрами соединения «тонкостенное кольцо – вал» и использования оставшихся манжет.

Результаты исследований используются в учебном процессе – разработано практическое занятие «Расчет натягов при восстановлении размеров деталей методом использования тонкостенных ремонтных втулок».

Методы исследований выбирались на основе системного подхода к объекту исследований с использованием методов математического анализа, элементов теории взаимозаменяемости, теории вероятностей и математической статистики и теории сопротивления материалов. Применялась современные контрольно - измерительные приборы и стенды.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработка и апробация методики расчета количества ремонтных размеров вала с подбором манжет при условии обеспечения наименьшего натяга и ресурса соединения;

2. Разработка и апробация методики расчета наибольшего и наименьшего натягов в соединении по безмоментной теории оболочек при восстановлении поверхности вала вод манжету методом установки тонкостенной ремонтной втулки;

Достоверность результатов работы обеспечена использованием положений науки о взаимозаменяемости, элементов вероятности, теории прочности, заданной величиной доверительной вероятности (не ниже 0,95) и допускаемой величиной ошибки вычислительных операций (до 3 %).

Реализация результатов работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований рассмотрены и приняты к внедрению на

ООО «Завод АГРОМАШ», а также рекомендованы к внедрению Российской ассоциацией производителей специализированной техники и оборудования «РОССПЕЦМАШ», что подтверждено соответствующими актами.

Личный вклад автора в решение поставленных задач заключается в постановке задач, участии в проведении теоретических и экспериментальных исследований, в проведении расчетов, измерений и обработке полученных результатов, подготовки публикаций по выполненной работе.

Апробация результатов исследований. Основные положения и результаты исследований обсуждены и одобрены:

на Международном научно-практическом семинаре «Чтения академика В. Н. Болтинского» (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024 г.);

на Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Шарова Николая Михайловича (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024 г.);

на Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов», посвященной 100-летию со дня рождения ветерана Великой Отечественной Войны, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя РФ, д.т.н., профессора Николая Федоровича Тельнова (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024 г.);

на V Международной научной конференции «Модернизация, инновации, прогресс (МИП-V-2023)», организованной общественным учреждением «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений» (г. Красноярск, 2023);

на IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (г. Тула, Тульский государственный университет, 2023 г.);

на Международном научно-практическом семинаре «Чтения академика В. Н. Болтинского» (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023 г.);

на заседаниях кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством и научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина (г. Москва, 2021…2024 гг.).

Публикации. Основные положения теоретических исследований и практических рекомендаций по теме диссертации опубликованы в 9 научных работах, в том числе в 3 статьях в центральных журналах, рекомендованных ВАК РФ, в 1 статье в международной базе Scopus и 4 тезисах доклада. Также имеется 1 программа на ЭВМ, прошедшая государственную регистрацию.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 126 наименований и приложения. Диссертация изложена на 128 страницах и содержит 22 таблицы и 31 рисунок.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Краткое описание современных особенностей состояния парка сельскохозяйственных машин в России

Как количество, так и качество сельскохозяйственной продукции зависит от состояния новой и отремонтированной техники, применяемой для реализации производственных процессов. Одним из важнейших направлений развития машиностроения в России является создание новой техники и оборудования для АПК, а также внедрение современных технологий ремонта и поддержания в работоспособном состоянии используемых машин [51, 52, 53, 102].

Для развития отечественного сельскохозяйственного машиностроения необходимо сформировать благоприятные условия для инноваций в эту область, подготовить требуемые кадры, а также организовать поддержку поддержкой малых и средних предприятий, являющихся поставщиками серийной продукции на будущие сборочные конвейеры [4, 5, 55, 102]. Развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения не только будет способствовать обеспечению продовольственной безопасности России, но существенно сократит издержки и потери при производстве сельскохозяйственной продукции в связи с реализацией передовых технологий.

Пока новая техника находится на этапе создания, существенную роль в обеспечении продовольственной безопасности и обеспечения качества процессов в сельском хозяйстве играет модернизация, ремонт и обслуживание существующей техники, как отечественной, так и зарубежной [102].

Анализ динамики распределения основных видов сельскохозяйственной техники со сроком эксплуатации более десяти лет в Российской Федерации за период с 2018 по 2022 годы представлен на рисунке 1.1 [102], откуда видно, что в России существует значительное количество устаревшей техники, которая регулярно нуждается в мероприятиях по поддержанию ее в работоспособном состоянии, а учитывая сезонность работ и в ряде случаев специфическую годовую загрузку специальной

техники – возникают особенности к требованиям по параметрам надежности и безотказности во время полевых работ.

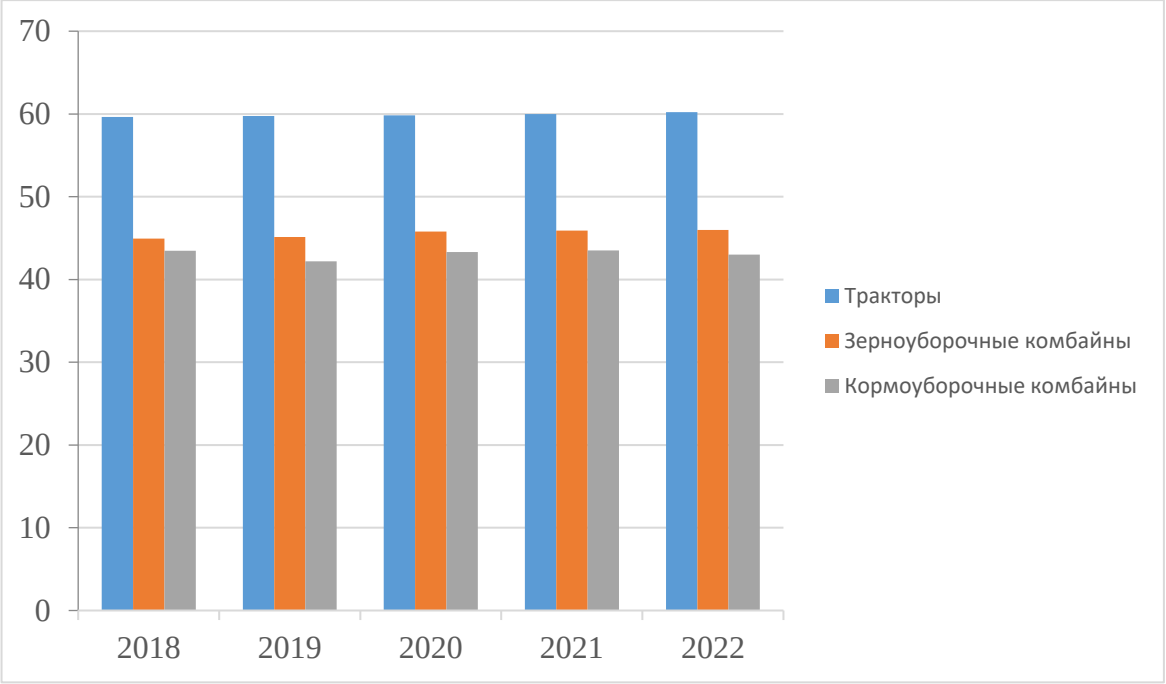

Рисунок 1.1 – Распределение основных видов техники со сроком эксплуатации более 10 лет в Российской Федерации, % [102]

С одной стороны, использование определенного ряда сельскохозяйственной техники только в короткий период эксплуатации, связанный с сезонностью работы, позволяет этой технике достаточно долго сохранять свои технические параметры, но с другой стороны низкий уровень надежности именно отечественной сельскохозяйственной техники требует повышенных затрат на техническое обслуживание, хранение и ремонт. Так как в случае отказа данной техники во время интенсивных работ требуются существенные затраты дополнительных ресурсов, что ведет к увеличению сроков выполнения работ и потерям производимой продукции [102, 54, 56, 36].

Вопросы повышения конкурентоспособности отечественной техники по сравнению с зарубежной стоят перед нашими конструкторами и машиностроителями. И не малую роль здесь играют не только технические и агро- требования,

которые закладываются для проектировании но и обеспечение параметров эксплуатационной надежности, долговечности, сохраняемости и ремонтопригодности [102, 53, 116, 100].

Для повышения конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной техники необходимо провести анализ рынка, определить слабые места и разработать стратегию улучшения качества продукции, снижения стоимости, повышения доступности сервиса и других параметров. Это может потребовать инвестиций в исследования и разработки, модернизацию производства, обучение персонала и другие меры.

В целом, повышение конкурентоспособности требует комплексного подхода, включающего в себя улучшение качества продукции, снижение её стоимости, повышение доступности и снижение стоимости ремонтных услуг, развитие инноваций в машиностроительной и сервисной сферах, а также эффективное продвижение техники и сервисных услуг на рынке.

На рисунках 1.2 и 1.3 представлена информация о динамике продаж новой сельскохозяйственной техники.

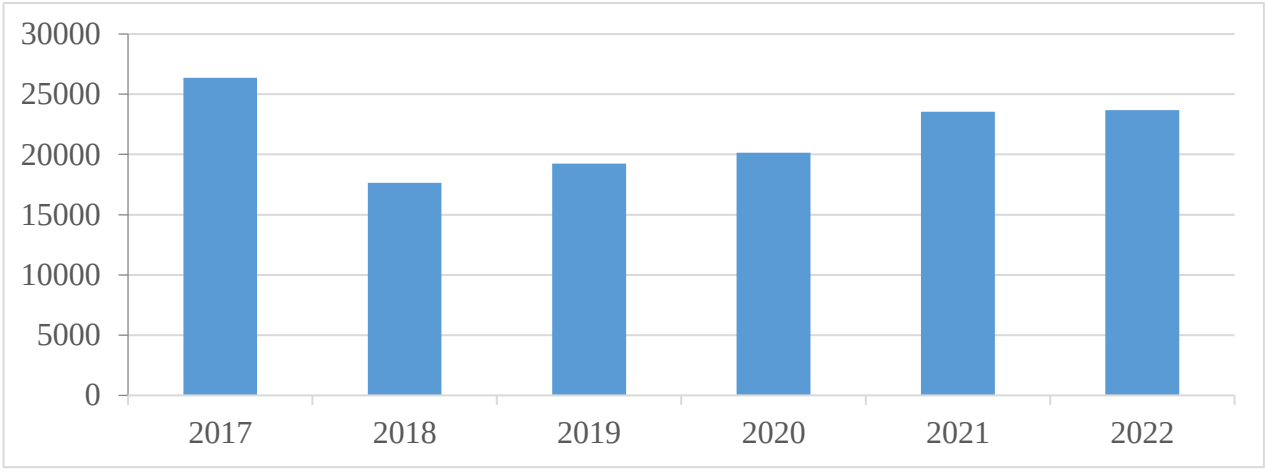

Рисунок 1.2 – Динамика количества новой сельскохозяйственной техники, реализованной производителями сельскохозяйственной техники сельскохозяйственным товаропроизводителям, ед. [102]

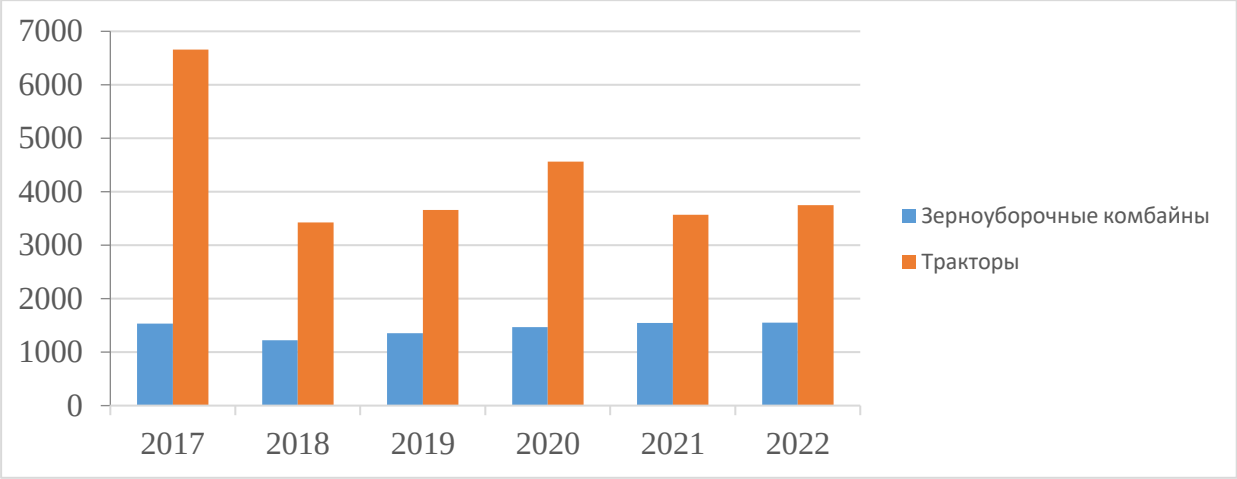

Рисунок 1.3 – Динамика количества новых тракторов и зерноуборочных комбайнов, реализованных производителями сельскохозяйственной техники сельскохозяйственным товаропроизводителям, ед. [102]

Из рисунка 1.4 видно, что есть определенная потребность и прогноз приобретения основных видов сельскохозяйственной техники [102, 118]. Дефицит тракторов, зерноуборочных комбайнов и кормоуборочных комбайнов составляет тысячи единиц.

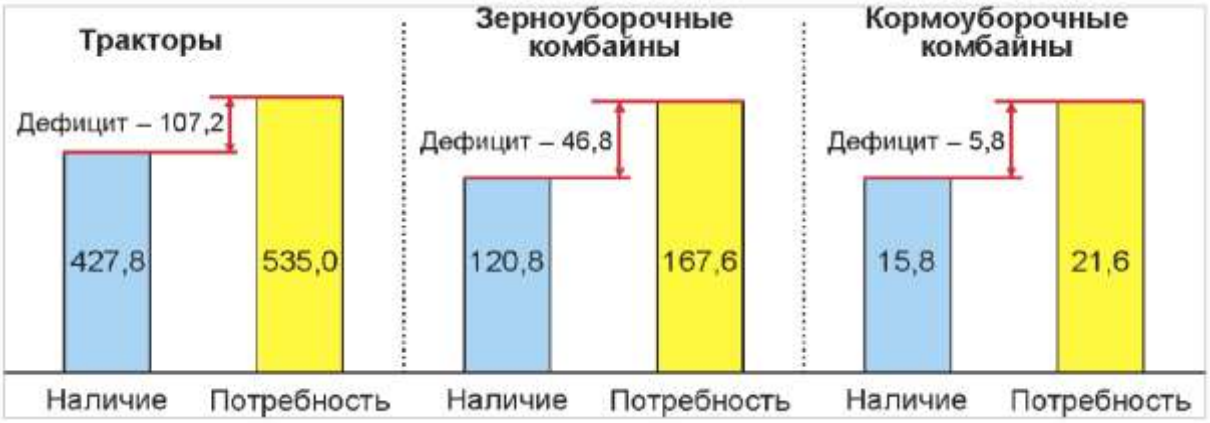

Рисунок 1.4 – Наличие и потребность основных видов сельскохозяйственной техники, тыс. ед. [84, 102]

Наличие сельскохозяйственной техники со сроком службы, превышающим амортизационный период, приводит к тому, что до 20 % имеющихся машин не могут участвовать в полевых работах [102, 104].

Результаты испытаний новой и модернизированной сельхозтехники показывают, что сельхозмашиностроении в России имеет определенные проблемы в области обеспечения качества и надежности производимых машин [102].

Иностранные модели сельхозтехники обладают более длительным сроком службы и требуют меньше затрат на ремонт. Но эта техника дороже, а стоимость запасных частей выше, также требуются оригинальные расходные материалы, а стоимость одного часа работы этих машин превышает российские аналоги [102].

Исследования показывают, что капитальный ремонт машины обходится в 2-3 раза дешевле, чем покупка новой. Себестоимость восстановленных деталей составляет всего 50-70 % от цены новых, при этом их ресурс составляет 80-90 % от ресурса новых [104, 102]. Теоретическое обоснование таких мероприятий описал в своих трудах профессор Иванов А.И. [33], он предложил осуществлять переборку бывших в эксплуатации деталей с анализом размеров ответственных поверхностей, соединяемых с другими деталями, и формировать пары трения математическим подбором соединений по величине допускаемого зазора, а также применять ремонтные размеры для сложных и дорогих деталей, которые бы имели в паре трения новые, специально изготовленные для этого случая, соединяемые и ними поверхности более простых деталей. В настоящее время ремонтные размеры применяются в соединениях шеек коленчатых и распределительных валов, а также в соединениях поршней с гильзами.

В настоящее время данная ситуация прослеживается и с деталями списанных автомобилей, комбайнов и другой сложной техники, применяемой в сельском хозяйстве [102, 112, 113]. В связи с этим, важно во время списания сельскохозяйственных машин сделать заключение о возможной их отправке на специализированное ремонтное предприятие с целью разборки, дефектовки и дальнейшего использования составляющих деталей этих машин при восстановлении аналогичных [102, 113, 1, 100].

1.2 Существующие методы выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте сельскохозяйственной техники

1.2.1 Современная классификация способов восстановления деталей

Огромный вклад ученых в области технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин в СССР до сих пор откладывает существенный отпечаток на развитие науки в этой области. Особенно это стало актуально в связи с необходимостью импортозамещения и нового толчка развития отечественного тракторо- и сельхозмашиностроения.

Для восстановления изношенных деталей применяют различные способы. Рассмотрим их подробнее.

Наплавка и напыление. На поверхность детали наносят слой металла или сплава, который превышает величину износа и допуска на последующую обработку. Это может быть сварка, наплавка, напыление материала или других методов.

Механическая обработка. Изношенные поверхности восстанавливают путём механической обработки (точение, фрезерование, шлифование и т. д.), под ремонтный размер что позволяет придать им первоначальную форму и размеры, но для этого требуются сопрягаемые детали ремонтных размеров.

Гальванические покрытия. Поверхности покрывают слоем металла (хромирование, никелирование, цинкование и др.) для защиты от износа и коррозии. Данные способы дают высокие коэффициенты износостойкости, но дороги в применении.

Пластическое деформирование. Методами пластического деформирования (правка, обкатка роликами, калибровка) восстанавливают форму и размеры деталей после нанесения покрытий.

Сварка и пайка. Сваркой устраняют трещины и сколы, пайкой - небольшие дефекты, причем в ряде случаев обеспечивается заданная работоспособность на протяжении всего срока службы.

Замена детали на новую. Если деталь сильно повреждена, её заменяют. Сопрягаемая деталь при этом должна иметь соответствующие размеры для формирования годного соединения.

Химико-термическая обработка. Для повышения твёрдости и износостойкости поверхностного слоя проводят цементацию, азотирование, цианирование и другие виды химико-термической обработки.

Использование дополнительных элементов. В некоторых случаях изношенную деталь можно восстановить, установив дополнительные элементы, например, втулки, пластины, компенсаторы. Этот способ является наиболее дешевым и не требует значительного технологического оснащения.

Выбор способа восстановления зависит от типа детали, ее конструктивных и технологических особенностей, степени износа поверхностей, требований к качеству и других факторов [89, 122, 124]. В зависимости от физической сущности процессов, технологических и других признаков существующие способы восстановления деталей были разделены на десять групп (таблица 1.1) [94].

Таблица 1.1 – Способы восстановления деталей [94]

Номер группы	Группа	Способ
1	Слесарно-механическая обработка	Обработка под ремонтный размер (РР). Постановка дополнительной ремонтной детали (ДРД). Перекомплектовка, и др.
2	Пластическое деформирование	Вытяжка, оттяжка. Правка на прессах, наклепом. Раздача. Раскатка шариком или роликом. Обжатие, и др.
3	Нанесение полимерных материалов	Напыление. Литье под давлением. Намазывание, и др.
4	Ручная сварка и наплавка	Газовая. Дуговая. Аргонодуговая. Плазменная, и др.
5	Механизированная дуговая сварка и наплавка	Автоматическая под флюсом. В среде защитных газов. С комбинированной защитой. Дуговая с газопламенной защитой. Порошковой проволокой или лентой и др. виды

Номер группы	Группа	Способ
6	Механизированные бездуговые способы сварки и наплавки	Индукционная. Электрошлаковая. Газовая. Лазерная и др.
7	Газотермическое напыление (металлизация)	Дуговое. Газопламенное. Пламенное, и др.
8	Гальванические и химические покрытия.	Железнение. Хромирование. Меднение. Цинкование, и др.
9	Термическая и химико-термическая обработка	Закалка, отпуск. Диффузионное борирование, цинкование, титанирование и т.п. Обработка холодом.
10	Другие способы	Заливка жидким металлом. Напекание. Пайка и др.

В ряде случаев требуемую посадку обеспечивают применением сопряженной детали с измененными размерами (ремонтными размерами) или постановкой компенсатора износа [94, 97].

1.2.2 Современные методики выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте сельскохозяйственной техники

При техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники применяется большое число способов и средств восстановления изношенных деталей [94, 97, 47, 12, 111, 66]. На выбор рационального способа влияют характеристики материала детали, вид поверхности, износ, стоимость восстановления и обработки и другие факторы. В.А. Шадричевым [115] разработана методика такого выбора, основанная на последовательном применении трех критериев [12]:

1) технологического (подбор возможных способов восстановления и обработки);

2) долговечности (возможность обеспечения определенного ресурса), который характеризуется коэффициентом долговечности $K_д$:

$$K_д = T_в / T_н, \qquad (1.1)$$

где $T_в$ и $T_н$ – ресурсы восстановленной и новой детали;

3) технико-экономического, характеризующегося соотношением

$$C_в \le K_д \cdot C_н, \qquad (1.2)$$

где $C_н$ и $C_в$ – соответственно затраты на новую и восстановленную детали.

Для отдельных поверхностей типовых деталей существуют десятки технологически приемлемых способов восстановления, различающихся между собой уровнем обеспечения надежности и стоимостью. Накоплен банк данных [94, 97, 47] об износостойкости деталей при использовании различных способов восстановления и обработки.

Профессор Кряжков В.М. [47] разработал подход к обоснованию целесообразности ремонта элемента детали по целому ряду критериев:

1) изучение режимов и условий работы детали, ее износа с предварительным обоснованием способов восстановления и их доступности;

2) оценка характеристик и параметров материалов восстанавливаемых элементов деталей с точки зрения износо- и теплостойкости, окисляемости, внутренней напряженности, макро- и микроструктуры, твердости, сопротивляемости усталости и обрабатываемости;

3) ускоренные стендовые испытания восстановленных поверхностей;

4) оценка выбранных способов производственных условиях.

Для окончательного решения необходимо изучить организационные и технологические вопросы восстановления деталей в их совокупности [97].

При обосновании организационных форм важно учесть: ремонтный фонд, номенклатуру восстанавливаемых деталей, количество деталей каждого наименования, технологическую однородность и кратность ресурса деталей и межремонтного интервала, существующую сеть ремонтных предприятий, расстояние до пункта восстановления, вид транспорта и загрузку оборудования.

Предварительный отбор возможных способов восстановления деталей в технологическом плане зависит от их характеристик: материала детали и термообработки; конфигурации, размера и массы детали; наличия баз для восстановления и

последующей обработки; шероховатости поверхности; видов неисправности и износов; сочетания неисправностей на одной детали; кратности восстановления и запаса на ремонт [110, 44, 46].

П.П. Лезин [59] дополнил В.А. Шадричева [115], обосновав следующий тезис: при использовании второго критерия (1.1) следует учитывать не только долговечность восстанавливаемой детали, но влияние выбранного способа на надежность сборочной единицы. При этом затраты на восстановление деталей он предлагает относить не к их ресурсу, а к ресурсу агрегата в целом [12].

Н.Ф. Тельнов [97] после анализа целого ряда методик обобщил и свел решение этой задачи к выбору рационального способа восстановления по двум направлениям: для конкретного ремонтного предприятия и для соответствующего региона (района, области, республики). В первом случае выбираемая технология привязывается к организационно-технологическим условиям данного ремонтного предприятия, а во втором – учитываются особенности региона с целью обеспечения безотказности во время напряженных полевых работ.

В.И. Черноиванов в работе [111] критикует существующие методы технико-экономической оценки и приводит зависимости надежности двигателя λ и ресурса T от приращения затрат, рисунке 1.5. В зоне I критерий (1.2) дает чрезмерно позитивные результаты для методов, обеспечивающих низкий $K_д$ при малых затратах. Наибольшую точность формула (1.2) имеет в зоне II. В зоне III стоимость восстановления может быть выше стоимости новой детали [66].

При технико-экономических расчетах, профессором, академиком РАН В.И. Черноивановым [113], рекомендуется вводить нормативный коэффициент восстановления ресурса детали $К_р^н$, который можно определять не только используя отношения ресурсов (1.1), но и с помощью данных об износостойкости детали. Целесообразна и его научная рекомендация установить комплексный показатель восстановления, учитывающий ресурс детали и суммарные затраты на восстановление и эксплуатацию. В этой работе используются также квалиметрические подходы к оценке качества восстановления с помощью интегрального и комплексного показателей [111, 66].

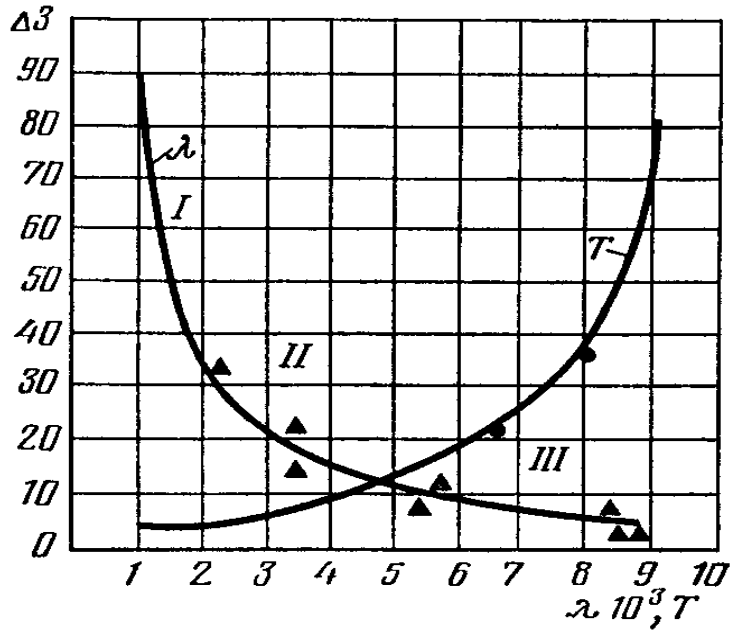

Рисунок 1.5 – Влияние повышения надежности двигателя λ(t) на затраты по его производству и эксплуатации

На кафедре ремонта и надежности машин МГАУ им. В.П. Горячкина, совместно с сотрудниками ГОСНИТИ была разработана нижеописанная методика выбора рационального способа восстановления изношенных деталей [66, 94]:

1. Выбор способа зависит от конструктивно-технологических особенностей рабочей поверхности деталей (формы и размера, материала и термообработки, поверхностной твердости и шероховатости), от условий ее работы (характера нагрузки, вида трения) и износа, а также от стоимости восстановления.

2. Для учета всех этих факторов рекомендуется последовательно пользоваться тремя критериями:

– технологическим, или применимости;

– долговечности;

– технико-экономическим (отношением себестоимости восстановления к коэффициенту долговечности).

Технологический критерий (критерий применимости) учитывает, с одной стороны, особенности подлежащих восстановлению поверхностей деталей, а с другой – технологические возможности соответствующих способов восстановления.

Классификация и принципиальная возможность применения десяти наиболее распространенных методов восстановления поверхностей деталей приведена в таблице 1.2 [94, 97].

Для дальнейшего сокращения числа возможных способов восстановления пользуются критерием долговечности, в соответствии с которым отбирают для последующего анализа только те из них, которые обеспечивают межремонтный ресурс восстановленной поверхности детали не ниже минимально допустимого.

При выборе рационального метода (способа) восстановления поверхностей деталей по критерию долговечности обычно пользуются коэффициентом долговечности (1.1).

В общем случае коэффициент долговечности является функцией трех переменных [94]:

$$K_д = f(K_и, K_в, K_{сц}), \qquad (1.3)$$

где $K_и$ – коэффициент износостойкости; $K_в$ – коэффициент выносливости; $K_{сц}$ – коэффициент сцепляемости.

Численные значения коэффициентов-аргументов определяют на основании стендовых и эксплуатационных испытаний новых и восстановленных деталей. Коэффициент долговечности численно принимают равным значению того коэффициента, который имеет наименьшее значение.

Так, при выборе способа наплавки применительно к деталям, не испытывающим в процессе работы значительных динамических и знакопеременных нагрузок, численные значения коэффициента долговечности определяются только численным значением коэффициента износостойкости, а для деталей, работающих в условиях динамических нагрузок, решающим признаком может оказаться коэффициент выносливости. Для деталей, восстановленных методами электролитического осаждения металлов и методами газотермического напыления (ДМ, ГН и ПН) и работающих также в условиях динамических нагрузок, решающим признаком может оказаться коэффициент сцепляемости [94].

Таблица 1.2 – Технологические характеристики способов восстановления изношенных поверхностей [94]

Характеристика	Условные обозначения способов восстановления										
	НУГ	**ВДН**	**НСФ**	**ДМ**	**ГН**	**ПН**	**Х**	**Ж**	**ЭКЛ**	**РН**	**ЭМО**
Виды металлов и сплавов по отношению к которым применим способ	Сталь	Сталь	Сталь	Все материалы	Все материалы	Все материалы	Сталь, ковкий и серы чугун	Сталь, ковкий и серы чугун	Все материалы	Все материалы	Сталь
Виды поверхностей, по отношению к которым применим данный способ	Наружные цилиндрические, плоские						Наружные и внутренние цилиндрические			Наружные и внутренние цилиндрические, плоские	Наружные цилиндрические
Минимальный наружный диаметр поверхности, мм	15	15	50	30	30	30	5	12	10	10	30
Минимальный внутренний диаметр поверхности, мм	-	-	-	-	-	-	40	40	60	40	-
Минимальная толщина наносимого покрытия, мм	0,5	0,5	1,5	0,3	0,3	0,3	0,05	0,1	0,1	1	0,05
Максимальная толщина наносимого покрытия, мм	3,5	3	5	3	1,5	3	0,3	1,5	1,5	6	0,12
Применимость способа по отношению к деталям, испытывающим знакопеременные нагрузки	Применим	Неприменим	Применим	Неприменим	Неприменим	Применим	Применим	Применим	Применим	Применим	Применим

П р и м е ч а н и е. НУГ - наплавка в среде диоксида углерода; ВДН - вибродуговая наплавка; НСФ - наплавка под слоем флюса; ДМ - дуговая металлизация; ГН - газопламенное напыление; ПН - плазменная наплавка; Х -хромирование электролитическое; Ж -железнение; ЭКП - электроконтактная приварка металлического слоя; РН - ручная наплавка; ЭМО - электромеханическая обработка.

Примерные значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, определенные по результатам исследований для наиболее распространенных методов восстановления, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Примерные коэффициенты износостойкости, выносливости, сцепляемости [94, 97]

Способ восстановления	$K_и$	$K_в$	$K_{сц}$
Наплавка в диоксиде углерода	0,85...1,1	0,9...1	1
Вибродуговая наплавка	0,85...1,1	0,62	1
Наплавка под слоем флюса	0,90...1,2	0,82	
Дуговая металлизация	1,0…1,3	0,6...1	0,6...0,8
Газопламенное напыление	1,0…1,3	0,6...1	0,6...0,8
Плазменное напыление	1,0…1,5	0,7...1	0,6...0,9
Хромирование	1,0...1,3	0,7...1	0,6...0,8
Железнение	0,9…1,2	0,8	0,65...0,8
Электроконтактная приварка металлического слоя	0,9…1,1	0,8	0,8...0,9
Ручная наплавка	0,9…1,1	0,8	1
Электромеханическая обработка	0,9…1,1	1,2	1
Обработка под ремонтный размер	1	1	1
Установка дополнительной детали	1	0,8	1
Пластическое деформирование	0,8…1,1	1	1

Из числа способов, отобранных по технологическому критерию, к дальнейшему анализу принимают те, которые обеспечивают коэффициент долговечности восстановленных поверхностей не менее 0,8.

Это обусловлено тем, что ресурс капитально отремонтированной машины или агрегата не должен быть менее 80 % ресурса новой машины (агрегата), т. е. ресурс восстановленной детали в капитально отремонтированном агрегате тем более не должен быть меньше 80% ресурса новой детали.

Если установлено, что требуемому значению $K_д$ для данной поверхности детали удовлетворяют два или несколько способов восстановления, оптимальный из них выбирают по технико-экономическому критерию [94]:

$$K_э = C_{вij} / K_д \rightarrow \min, \qquad (1.4)$$

где $K_э$ – технико-экономический критерий; $C_{вij}$ – затраты на восстановление i–й поверхности детали j-м способом, р. [11].

$$C_{вij} = (qC_{зij} + C_{мчij})T_{опij} \quad , \qquad (1.5)$$

где q – коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату; $C_{зij}$ – часовая заработная плата производственных рабочих при восстановлении i-й поверхности детали j-м способом, р.; $C_{мчij}$ – стоимость машино-часа работы оборудования при восстановлении i-й поверхности j-м способом, р.; $T_{опij}$ – время, затрачиваемое на восстановление i-й поверхности детали j-м способом, ч.

$$C_{мчj} = C_{мj} + C_{эj} + C_{рj} + Ц_j(a + E)n_j / T_{опij}NK_I \quad , \qquad (1.6)$$

где $C_{мj}$ – расходы на материалы за час работы при j-м способе восстановления, р.; $C_{эj}$ – энергетические расходы за час работы (электроэнергия, сжатый воздух, газ и др.) при j-м способе восстановления, р.; $C_{рj}$ – затраты на обслуживание и ремонт оборудования за 1 ч работы при j-м способе восстановления, р.; $Ц_j$ – стоимость оборудования при j-м способе восстановления, р.; a – норма амортизационных отчислений, р.; E – нормативный коэффициент эффективности; n_j –требуемое число единиц j-го оборудования для устранения i-го дефекта у N деталей; N – годовое число деталей, подлежащих восстановлению (годовая программа); K_i – коэффициент повторяемости i-го дефекта.

При обосновании способа затраты на восстановление i-й поверхности j-м способом также можно определить по формуле [94]

$$C_{вij} = C_{уij}S_i \quad , \qquad (1.7)$$

где $C_{вij}$ – себестоимость восстановления i-й поверхности j-м способом, р.; $C_{уij}$ – удельная себестоимость восстановления i-й поверхности j-м способом, р/см^2; S_i – площадь восстанавливаемой поверхности, см^2.

Примерные значения удельной себестоимости восстановления поверхностей различными способами [94], таблица 1.4.

Обобщая вышеизложенное, профессор Леонов О.А. сделал следующие заключения [66]:

1) теоретические основы выбора рационального способа восстановления, предложенные В.А. Шадричевым [115], развиваются в направлении технико-экономической оптимизации. Ресурс элемента детали при этом является чисто теоретическим фактором, а практически используются коэффициенты относительной износостойкости, полученные по данным испытаний. Уже стало формироваться различие между понятиями «ресурс детали» и «ресурс элемента детали», а достичь одинаковой надежности всех элементов детали в большинстве случаев нереально. Нужно исследовать все элементы детали (определять экономическую целесообразность восстановления быстроизнашиваемых элементов, выявлять остаточные ресурсы элементов, где процесс старения протекает медленно) с целью прогнозирования безотказности по конкретному элементу, использовать возможность обеспечения кратности ресурсов элементов.

Таблица 1.4 – Примерные значения удельной себестоимости восстановления поверхностей различными способами

Способ восстановления	Удельная себестоимость восстановления, р/см^2
Наплавка в диоксиде углерода	0,6...0,8
Вибродуговая наплавка	0,8…1
Наплавка под слоем флюса	1,2...1,4
Дуговая металлизация	0,8…1,2
Газопламенное напыление	0,8…1,2
Плазменное напыление	1...1,4
Хромирование	0,4…0,9
Железнение	0,05…0,5
Контактная приварка металлического слоя	0,85…1,2
Ручная наплавка	0,4…0,6
Эпоксидные композиции	0,3…0,6
Электромеханическая обработка	0,8…0,9
Обработка под ремонтный размер	0,08…0,14
Установка дополнительной детали	0,4…1
Пластическое деформирование	0,08…0,14

2) работоспособность сборочных единиц обеспечивается не отдельными деталями, а соединениями, износостойкость или сопротивление процессу старения, в

которых и обеспечивает ресурс сборочной единицы. Процессы, протекающие в соединении, зависят не только от характеристик одного элемента детали, но и от множества других факторов. Может быть, экономически целесообразно восстанавливать конкретными способами элементы детали с учетом образующегося соединения. К сожалению, методики выбора рациональных способов восстановления элементов именно для формирования соединения в настоящее время не существует.

1.3 Методы взаимозаменяемости при ремонте сельскохозяйственной техники

Теория точности и взаимозаменяемости в машиностроении развивалась в середине и конце прошлого века. Значительный вклад в нее внесли такие ученые, как А.И. Якушев, И.В. Дунин-Барковский, В. П. Булатов, И.Г. Фридлендер, и другие ученые.

В области ремонта сельскохозяйственной техники основоположником данного направления является профессор А.И. Иванов [33] который создал свою научную школу. Её представителями являются известные ученые и методисты – профессора В.М. Белов, А.А. Куликов, И.С. Серый, П.А. Карепин, О.А. Леонов, В.В. Карпузов, Н.Ж. Шкаруба, Г.Н. Темасова и др.

Точность и взаимозаменяемость – это ключевые понятия в машиностроении и в ремонте машин, которые определяют качество техники и её соответствие стандартам и нормативным документам [66, 33, 65, 23, 120].

Теория точности и взаимозаменяемости изучает методы обеспечения точности размеров, формы и расположения поверхностей деталей, а также их взаимного расположения в узлах и механизмах. Эта теория является основой для разработки, производства и ремонта высококачественных сборочных единиц и агрегатов, способных к взаимодействию друг с другом без дополнительной подгонки [66, 33].

Основные положения теории точности и взаимозаменяемости включают следующие элементы [76].

Понятие о точности. Точность – это степень соответствия действительных значений геометрических и других параметров изделия заданным значениям. Она

характеризуется погрешностью, которая может быть абсолютной или относительной.

Методы достижения точности. Для обеспечения точности используются различные методы, такие как метод полной и неполной взаимозаменяемости, метод групповой взаимозаменяемости, метод регулирования и пригонки. Выбор метода зависит от требований к изделию, его сложности и ряда экономических факторов.

Допуски и посадки. Допуски – это допустимые отклонения размеров, формы и расположения поверхностей. Посадки – это характер соединения деталей, определяемый величиной зазоров или натягов. Они могут быть подвижными или неподвижными.

Теория точности и взаимозаменяемости является важным инструментом для инженеров и технологов, занимающихся разработкой, производством и ремонтом машин и механизмов. По теории и практике взаимозаменяемости издано множество научных работ и существует целый ряд направлений исследований [112, 113, 94, 97, 66, 33, 65, 67, 108, 31, 20, 43, 17].

Применение методов взаимозаменяемости позволяет:

– ускорить процесс ремонта;

– снизить затраты на ремонт;

– повысить качество ремонта.

Методы взаимозаменяемости при ремонте машин успешно используются в следующих случаях [76]:

1) Замена изношенных деталей новыми. Это самый простой и распространённый метод, заключающийся в закупке запасных частей при ремонте. Он применяется, когда деталь полностью изношена и не может быть восстановлена.

2) Метод групповой взаимозаменяемости. Этот метод заключается в том, что детали сортируются на группы по размерам. Каждая группа имеет свой допуск на размер. При сборке детали подбираются таким образом, чтобы обеспечить требуемую точность соединения.

3) Применение компенсаторов. В качестве компенсаторов при ремонте деталей можно выделить метод постановки ремонтных втулок.

4) Восстановление деталей методами пластической деформации. При этом деталь деформируется таким образом, чтобы её размеры и форма соответствовали требованиям нормативной документации.

5) Метод регулирования. Метод регулирования заключается в использовании регулировочных устройств для обеспечения требуемой точности соединения. Регулировочные устройства могут быть механическими, гидравлическими или пневматическими.

6) Метод пригонки. Метод пригонки заключается в индивидуальной доработке одной из деталей для обеспечения требуемой точности соединения. Пригонка может осуществляться вручную или с использованием специального оборудования. Это достаточно трудоемкий процесс, который не применяется в массовом производстве.

Выбор метода взаимозаменяемости зависит от типа машины, характера повреждений и требований к точности сборки. Применение методов взаимозаменяемости позволяет обеспечить высокое качество и надёжность отремонтированных машин.

Наличие старого и изношенного технологического оборудования с большой зоной рассеяния параметров точности требует от ремонтников исследовать и внедрять новые методы назначения допусков и посадок, способы взаимозаменяемости. Эти методы описаны в работах А.И. Иванова [33], А.В. Черноиванова [111, 112, 113], М.Н. Ерохина [27, 28, 29, 30, 31, 32], И.Г. Голубева [20], П.А. Карепина [38, 39], О.А. Леонова [60-76], Н.Ж. Шкарубы [119], Г.Н. Темасовой [103, 104, 105] и др. исследователей.

Рассмотрим принципы выбора допусков и посадок.

Основные принципы выбора допусков и посадок заключаются в выполнении определенной номенклатуры свойств, или части из них [23, 124]:

1) Использование элементов функциональной целесообразности с позиции такого подхода к выбору допусков и посадок, который обеспечит надёжную работу соединения и будет соответствовать функциональному назначению сборочной единицы;

2) Использование системы отверстия или система вала, так, в системе отверстия основным является размер отверстия, а в системе вала - размер вала, следовательно, выбор системы зависит от конструктивных особенностей изделия и технологических возможностей производства;

3) Анализ экономической эффективности в плане реализации оптимального соотношения между стоимостью изготовления и эксплуатационными характеристиками изделия;

4) Использование стандартизации с позиции применения стандартных значений допусков и посадок, что упрощает проектирование и производство изделий;

5) Использование методов взаимозаменяемости – допуски и посадки должны обеспечивать взаимозаменяемость деталей и узлов, чтобы можно было легко заменять их при ремонте или модернизации;

6) Обеспечение технологичности – при выборе допусков необходимо учитывать технологические возможности производства, такие как точность оборудования, методы обработки и контроля.

7) Обеспечение простоты сборки и разборки – посадки должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить лёгкость сборки и разборки соединений без повреждения деталей;

8) Обеспечение долговечности с позиции правильно подобранных допусков и посадок, что будет способствовать увеличению срока службы изделия за счёт снижения износа и вероятности поломок;

9) Обеспечение требований безопасности – выбранные посадки должны обеспечивать безопасность эксплуатации изделия, предотвращая возможные аварии или травмы.

При выборе допусков и посадок необходимо провести анализ требований к изделию, учесть особенности конструкции и условия эксплуатации, а также оценить возможности производства. Это позволит создать надёжное и долговечное изделие с минимальными затратами на изготовление.

В настоящее время используют три метода выбора допусков и посадок [66, 33, 65, 125]: прецедентов, расчетный и табличный.

Метод прецедентов или аналогов заключается в том, что конструктор отыскивает в однотипных изделиях, ранее сконструированных и находящихся в эксплуатации, случаи применения сборочных соединений, аналогичных проектируемому.

Расчётный метод заключается в определении числовых значений допусков и предельных отклонений всех деталей, входящих в сборочную единицу, исходя из требований, предъявляемых к работе данного узла. Расчёты ведут методами полной и неполной взаимозаменяемости, а также вероятностным методом.

Табличный метод предполагает использование специальных справочников, содержащих таблицы рекомендуемых допусков и посадок для типовых соединений. Таблицы составлены на основе опыта проектирования и эксплуатации узлов с подобными соединениями.

Профессор А.И. Якушев в 60-х годах прошлого века ввел понятие коэффициента запаса точности, величина которого определяется по формуле [125, 126]

$$K_T = \frac{S_{F\max} - S_{F\min}}{S_{K\max} - S_{K\min}} = \frac{N_{F\max} - N_{F\min}}{N_{K\max} - N_{K\min}} = \frac{T_F}{T_K}, \qquad (1.8)$$

где S_{Fmax}, S_{Fmin} (N_{Fmax}, N_{Fmin}) – наибольшие и наименьшие функциональные зазоры (натяги); S_{Kmax}, S_{Kmin} (N_{Kmax}, N_{Kmin}) – наибольшие и наименьшие конструктивные зазоры (натяги); T_F и T_K – функциональный и конструктивный допуски и посадки.

Коэффициент запаса точности — это отношение допуска посадки, определяющего пределы функционирование соединения к допуску посадки нового соединения [15, 123]. Он показывает, во сколько раз можно изменить, не вызывая нарушения работоспособности механизма, зазор или натяг в соединении по сравнению с заданными значениями без нарушения его функциональной способности. Чем больше коэффициент запаса точности, тем выше точность сборки и надёжность работы соединения [50, 124].

Профессор А.И. Якушев делает заключение, что коэффициент запаса точности должен стремиться к максимуму, что приведет к увеличению запаса материа-

лов деталей на износ, т.е. больше будет эксплуатационный допуск посадки $T_Э$, который формирует функциональный допуск посадки в сумме с конструктивным допуском [126]:

$$T_F = T_K + T_Э. \quad (1.9)$$

Функциональный допуск посадки позволяет перейти к термину функциональной взаимозаменяемости.

Функциональная взаимозаменяемость – это свойство независимо изготовленных деталей занимать своё место в изделии без дополнительной обработки, при этом изделие должно соответствовать всем требованиям, предъявляемым к его работе [126].

Функциональную взаимозаменяемость обеспечивают путём нормирования (установления допустимых пределов) и контроля функциональных параметров:

– зазоров и натягов в соединениях;
– отклонений геометрической формы и расположения поверхностей;
– волнистости и шероховатости поверхностей и др.

При функциональной взаимозаменяемости обеспечивается работоспособность изделий с оптимальными показателями качества и с наименьшими затратами на их производство.

По данным исследований профессора Леонова О.А. [66], профессор В.М. Белов [11], исходя из технико-экономических критериев, в основе которых являются зависимости, полученные академиком Ю.А. Конкиным [42] по расчету рациональных сроков службы машин АПК, определяет, что коэффициент запаса точности должен быть $K_Т = 3$.

В результате анализа коэффициентов запаса точности профессором А.А. Куликовым [49] реальных соединений в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники, получено, что значения величин могут колебаться в широких пределах от 0,5 до 11 [66].

Уменьшение конструктивного допуска приводит к уменьшению допусков, образующих данное соединение, так как [66, 125]:

$$T_K = T_D + T_d, \qquad (1.10)$$

где T_D – допуск отверстия; T_d – допуск вала.

Уменьшение допуска размера вызывает определенные последствия [66, 125]:

– увеличение процента брака (рисунок 1.6 а);

– увеличение себестоимости изготовления из-за перехода на более точную операцию, обеспечивающую меньший допуск (рисунок 1.6 б).

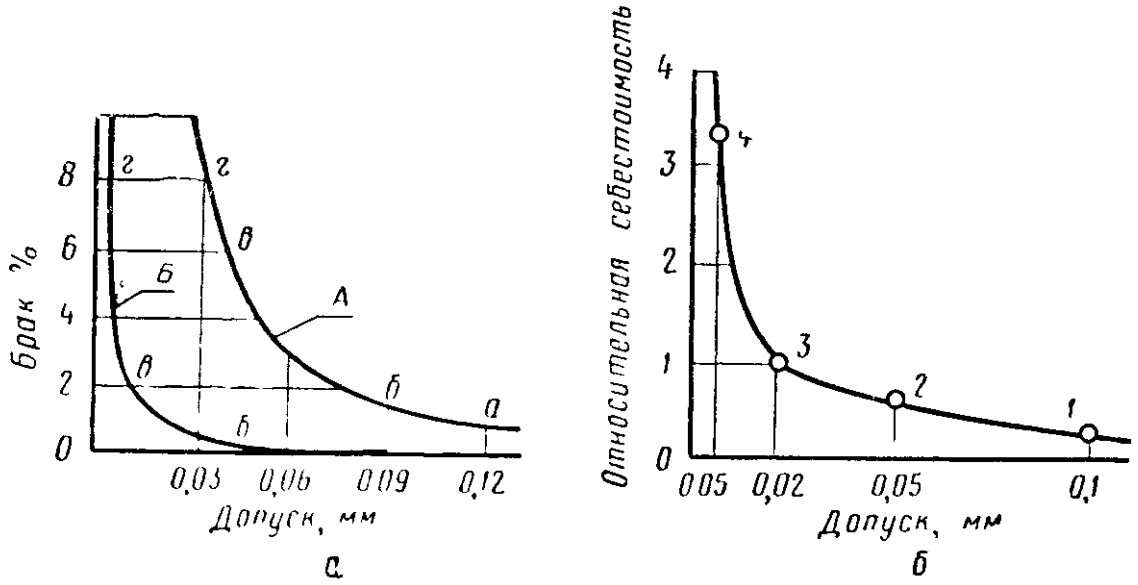

Рисунок 1.6 – Зависимость процента возможного брака (а) и относительной себестоимости (б) от допуска [16]:
1 – холодное волочение; 2 – точение; 3 – шлифование; 4 – притирка

Таким образом, при расчете и выборе допусков необходимо учитывать не только фактор долговечности, но и фактор стоимости [66]. С другой стороны, при ремонте машин можно не только восстановить заданную конструкторской документацией точность, но и сделать посадки точнее или грубее, в зависимости от требуемого результата – повысить долговечность конкретного соединения, или наоборот, привести конкретное соединение к долговечности остальных соединений – уравнять ресурс ряда соединений в агрегате, что приведет к экономической целесообразности принятия решения о восстановлении или утилизации агрегата в целом.

Профессор И.Г. Голубев [20] обосновал и апробировал методику расчета и выбора расширенных допусков на восстанавливаемые детали. Условия выбора посадки, например, с зазором, такие [20]:

$$S_{min(в)} = S_{min(с)}; \quad (1.11)$$

$$S_{max(в)} = S_{пр(с)} \cdot (K - 1) / K + S_{max(с)} / K, \quad (1.12)$$

где $S_{min(в)}$, $S_{min(с)}$ – наименьшие зазоры восстановленного и серийного соединения; $S_{max(в)}$, $S_{max(с)}$ – наибольшие зазоры восстановленного и серийного соединения; $S_{пр(с)}$ – предельный зазор; K – относительная износостойкость.

Таким образом, подводя итоги анализа, можно слетать вывод, что теоретические основы расчёта и выбора точностных параметров соединений агрегатов сельскохозяйственной техники включают в себя несколько аспектов:

1) Расчёт зазоров и натягов в соединении. Проводится расчёт зазоров или натягов с учётом целого ряда факторов по условиям обеспечения функциональной взаимозаменяемости.

2) Назначение допусков размеров деталей. Устанавливаются допуски на размеры деталей с учётом их функционального назначения, технологичности изготовления и условий эксплуатации.

3) Выбор посадок. Определяются посадки для различных сопрягаемых деталей, исходя из условий работы соединения, требований к точности и надёжности.

4) Обеспечение взаимозаменяемости. Разрабатываются меры по обеспечению взаимозаменяемости деталей и узлов для упрощения ремонта и обслуживания техники.

5) Анализ точности сборки. Оценивается точность сборки соединения с учётом погрешностей изготовления и сборки деталей.

6) Шероховатость поверхности. Выбирается рациональная шероховатость поверхностей деталей для обеспечения требуемой точности, надёжности и долговечности контактируемых поверхностей.

7) Методы контроля. Определяются методы и средства контроля точностных параметров соединения для обеспечения их соответствия установленным требованиям.

В результате обобщения вышеизложенного, можно сделать вывод, что для расчёта и выбора точностных параметров можно применять различные методы, такие как метод прецедентов, расчётный метод, табличный метод и другие. Выбор метода зависит от конкретных условий и требований к соединению. Но наиболее рационально применять расчетный метод, который обеспечит функциональную взаимозаменяемость и долгий срок службы соединения.

1.4 Классификация и применяемость уплотнительных устройств в сельскохозяйственной технике

На рисунке 1.7 приведена [18, 19] классификация уплотнительных устройств подвижных соединений.

В уплотнительных устройствах сельскохозяйственных машин, в основном, применяются уплотнения контактного типа между неподвижными уплотнениями и вращающимся валом или между вращающимся валом и корпусом. Ниже приводится таблица 1.5, которая служит для ориентировочного подбора типа уплотнений в зависимости от условий эксплуатации, и категории сложности доступа к подшипниковому узлу [66].

В зависимости от величины окружной скорости, максимальной температуры в подшипниковом узле, избыточном давлении все сельскохозяйственные контактные уплотнительные устройства делятся на пять групп.

По виду конструкции наиболее применимы манжеты нормального исполнения. Согласно техническим условиям эти манжеты изготавливаются двух типов: однокромочные и однокромочные с пыльником. При этом манжеты первого типа предназначены для предотвращения вытекания уплотняемой среды, а манжеты второго типа кроме того и защиты от проникновения пыли [19, 25].

Манжеты изготавливаются в двух исполнениях, рисунок 1.8: с механически обработанной кромкой и с формованной кромкой. По ГОСТ [25] предусмотрены следующие размеры манжет: наружный диаметр от 16 до 530 мм; высота от 5 до 22 мм - для манжет первого типа, для манжет второго типа высота от 10 до 28 мм.

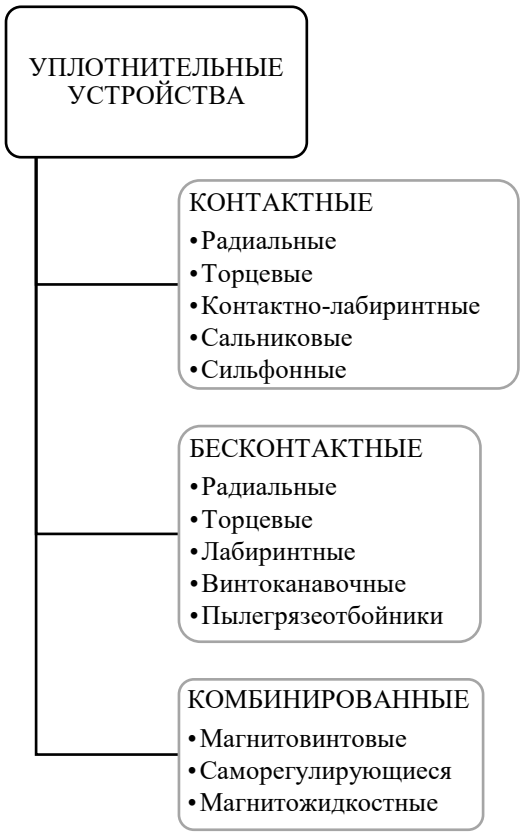

Рисунок 1.7 – Классификация уплотнительных устройств подвижных соединений

Согласно технических требований при изготовлении рабочая кромка и рабочая поверхность манжет должны быть гладкими и не иметь дефектов на расстоянии от кромки: до 2 мм – для валов диаметром до 19 мм; до 2,5 мм – для валов диаметром от 20 до 52 мм; до 3 мм – для валов диаметром от 55 мм и выше. На рабочих поверхностях не допускаются вырывы, трещины, расслоения, заусенцы, включения, а также возвышения и углубления, превышающие по высоте 0,1 мм и 0,3 мм [25].

В качестве достоинств резиновых армированных манжет можно выделить следующие:

– эластичность и гибкость;

– устойчивость к воздействию окружающей среды (устойчивы к влаге, маслам, многим химическим веществам и даже агрессивным средам, что делает их долговечными и надёжными);

– простота установки – установка резиновых манжет не требует специальных навыков или инструментов, что упрощает процесс монтажа и демонтажа;

– герметичность и самоподжимной уплотняющий эффект за счет пружины;

– широкий диапазон рабочих температур без потери своих упругих и уплотняющих свойств;

– низкая стоимость, так как манжета является стандартным изделием и изготавливается массовым способом;

– универсальность – резиновые армированные манжеты используются в агрегатах и сборочных единицах машин и механизмов в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, строительство и сельское хозяйство.

Таблица 1.5 – Подбор типа уплотнений в зависимости от условий эксплуатации

Показатели	Тип машин		
	Тихоходные	Среднескоростные	Быстроходные
1. Частота вращения главного вала, мин$^{-1}$	до 200	201-1500	1501-3000
2. Режим работы	легкий	легкий	легкий
3. Температура подшипникового узла при работе, ºС	50...60	60...70	70...90
4. Окружная скорость вращения вала, м/с	2	5	8
5. Избыточное давление масляной среды, кг/см^2	1...2	3...5	3...5
6. Категория сложности доступа к подшипниковому узлу	1	2	3
7. Группа окружной скорости машины	тяжелая	средняя	тяжелая
8. Применяемые уплотняющие устройства	резиновые армированные манжеты	грубошерстный войлок резиновые армированные манжеты	тонкошерстный войлок фетр, резиновые армированные манжеты

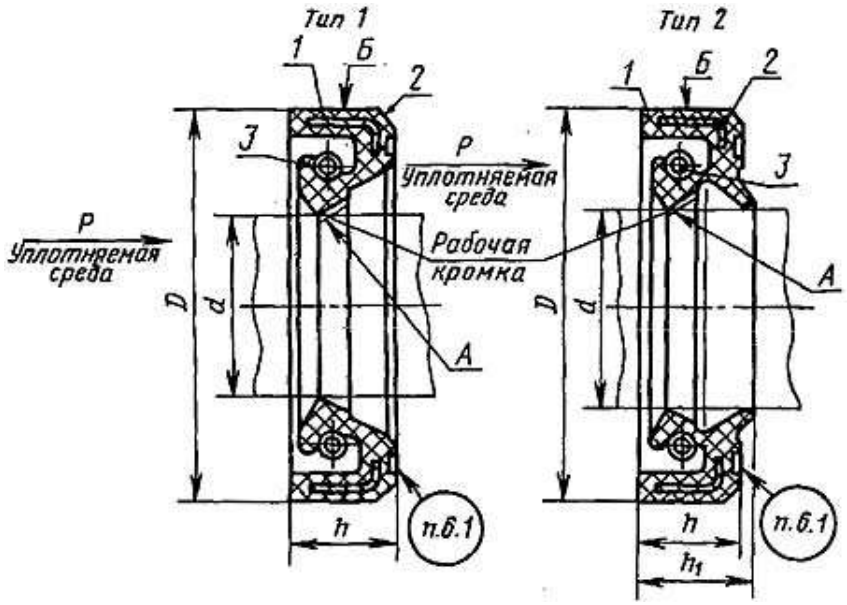

Рисунок 1.8 – Общий вид резиновых армированных манжет [25]

Однако стоит отметить, что конкретные достоинства резиновых армированных манжет могут варьироваться в зависимости от их типа и назначения. Перед выбором манжет необходимо учитывать условия эксплуатации и требования к изделию.

Недостатки манжет:

– потери на трение;

– усиление процессов старения уплотняемой жидкости или смазки и самого материала манжеты из-за взаимоокисления контактирующих поверхностей резины и уплотняемой жидкости;

– износ вала в зоне контакта с манжетой;

– ограниченный срок службы, проявляющийся старением материала и потерей свойств;

– чувствительность к некоторым химическим веществам;

– ускорение процесса старения, потеря упругости и прочности при определенных температурах;

– необходимость правильного подбора;

– возможность повреждения при неправильном использовании, например, при чрезмерном натяжении (натяге) или неправильной установке (с перекосом).

Манжеты работают в различных средах, включая минеральные масла, воду, дизельное топливо. Работоспособны при температуре от – 60 до +170 ºС (в зависимости от группы резины) [82]. Манжеты выпускаются следующих размеров [25]:

– наружный диаметр от 28 до 340 мм;

– внутренний диаметр от 18 до 300 мм;

– высота от 4 до 14 мм.

В современном сельскохозяйственном, тракторном и автомобильном машиностроении применение манжет в соединении типа «вал-уплотнение» весьма распространено, таблица 1.6 и 1.7. Так по данным В.М. Кряжкова [47], проведенный анализ конструктивно-технологических характеристик соединения «вал – уплотнение», по основным параметрам, показывает, что для сравнительно большого количества деталей (37 %) наиболее характерны диаметры валов 50...70 мм, материал - сталь 45, средняя масса 4 кг, твердость рабочей поверхности вала HRC 48...50 и их шероховатость R_a = 0,32 мкм [47]. Применяемость манжет двухкромочных типа 2 с пыльниками у энергонасыщенных тракторов составляет 68 %, однокромочных типа 1 – 23 %, и 96 % – с двумя рабочими кромками [47].

В силовых агрегатах техники, применяемой в сельском хозяйстве, уплотнения используются в двигателях, коробках передач и главных передачах, таблица 1.7 [66]. Наиболее распространены манжеты, приведенные в таблица 1.8.

Таблица 1.6 – Анализ точностных параметров соединения «вал – уплотнение» сельскохозяйственной техники [66]

Наименование и марка машины	Место установки соединения	Размер вала по чертежу, мм	Допуск, мкм	R_a, мкм
Трактор МТЗ–82	Вал трансмиссии Шестерня трансмиссии	Ø $30_{-0,14}$ Ø $50_{-0,05}$	140 50	1,6 0,63
Трактор Т–25	Вал трансмиссии Шестерня трансмиссии	Ø $25_{-0,045}$ Ø $45_{-0,100}$	45 68	0,63 0,8
Трактор Т–40	Вал главного сцепления Вал сцепления ВОМ Вилка ведущей шестерни Цапфа осевая	Ø $50_{-0,040}$ Ø $60_{+0,15}$ Ø $45_{-0,1}$ Ø $50_{+0,125}$	20 60 100 50	0,63 1,6 1,6 1,6
Сеноуборочная машина КИК–1,4	Вал главной коробки Вал червячного редуктора Вал основного редуктора	Ø $45_{-0,62}$ Ø $25_{-0,01}$ Ø $25_{-0,045}$	620 10 45	2,0 0,63 1,6

Таблица 1.7 – Применяемость манжет в силовых агрегатах и автомобилях для сельского хозяйства

Наименование и марка силового агрегата и автомобиля	Место установки соединения	Манжета, ГОСТ 8752-79
ЯМЗ-236, 238: ЗИЛ, МАЗ, УРАЛ, КРАЗ, Комбайны Дон, Енисей, СКР-7 «Кубань» и др.	Коленчатый вал (201) Коленчатый вал (201) Манжета первичного вала КПП (239) Манжета вторичного вала КПП (210) Манжета вторичного вала КПП (239) Манжета ТНВД (236)	2.2-140×170-13 2.3-64×95-10 1.2-52×72-8 2.2-70×92-10 1.2-100×125-12 2.2-24×46-10
ЗИЛ - 431480	Манжета ступицы заднего колеса Манжета ступицы Уплотнение подшипника карданного вала	2.2-140×170-1 2.2-125×155-3 1.2-25,3×38,5-1,7
КАМАЗ	Крышка заднего подшипника вторичного вала коробки передач Картер маховика Корпус подшипника гидромуфты Маховик двигателя Ступица заднего колеса Башмак рессоры задней подвески Крышка стакана подшипника ведущей конической шестерни заднего моста Крышка подшипника картера межосевого дифференциала Крышка подшипника заднего вала среднего моста	2.1-70×92 -1 1.2-105×130-1 2.2-100×125-1 1.2-25 ×42-1 2.2-140×170-1 1.2-115×145-1 2.2-70×92-1 2.2-70×92-1 2.1-70×92-1

Таблица 1.8 – Применяемость манжет 1.2-25×42-10 и 2.2-25×42-10 в силовых агрегатах техники для сельского хозяйства

Манжета, ГОСТ 8752-79	Место установки соединения
1.2-25×42-10, либо 2.2-25×42-10	Сальник ЯМЗ – водяного насоса и первичного вала КПП. Двигатели А-01, Т-150К, Д-440, К-700, МТЗ, ЮМЗ, Т-28, ДТ-75

1.5 Общетехнические характеристики соединения «вал – уплотнение»

Конструктивные, технологические и геометрические параметров соединения «вал – уплотнение» приведены в стандарте [25], и исследованы в ряде работ [66, 82] сведены в таблицы 1.9 и 1.10.

Таблица 1.9 – Нормированные и реальные параметры соединения «вал –резиновая армированная манжета» сельскохозяйственной техники [25,66]

Параметр	Нормированная величина	Реальное значение
Смазка	жидкостная	у 70 % соединений – жидкостная
Скорость скольжения, м/с	до 20	от 0 до 8
Рабочая температура, °С, для каучука: натурального бутадиен-нетрильного акрилового фторополимерного	 от –50 до +30 от – 40 до +100 от –20 до +130 от –25 до +200	 от –20 до +70 от –20 до +70 от –20 до +70 от –20 до +70
Гамма-процентный ресурс (95 %)	3000 ч. (120 000 км)	от 300 до 3000 ч

В результате анализа данных, представленных в таблицах 1.9 и 1.10, можно сделать вывод, что наблюдается существенное расхождение между стандартными параметрами и реальными. Также видно, что большая часть отклонений приходится на параметры точности в виде нарушения квалитетов и допусков, формируемых отклонений размеров, нарушения шероховатости вала, отличия отклонений от соосности и радиального биения вала относительно манжеты.

Таблица 1.10 – Нормированные параметры сопряженных с манжетами валов и отверстий корпусов [25, 66]

Параметр	Нормированное значение		Реальное значение	
	для вала	для отверстия	для вала	для отверстия
Допуск и отклонения	*h*10	*H*9	квалитет 6–11; отклонение от – 0,032 до + 0,150 мм	*H*7–*H*10
Шероховатость поверхности R_a мкм, при скорости скольжения: до 4 м/с свыше 5 м/с	 0,32…0,63 0,16…0,32	 1,25…2,5 1,25…2,5	 0,63…1,25 0,63…1,25	 0,63…3,2 0,63…3,2
Предельное радиальное биение вала *r*, мм, при частоте вращения, мин$^{-1}$: 0–1000 1000–2000 2000–3000 3000–4000	 0,18 0,15 0,12 0,10	–	новые - до 0,1; изношенные - до 0,5–0,6	–
Допускаемое отклонение от соосности при диаметре вала, мм: до 55 55–120 120–320 320–500	–	 0,10 0,15 0,20 0,25	–	Новые - до 0,2; изношенные - до 0,31

Причем именно увеличение квалитета, заложенное в стандарте по сравнению с требованиями к шероховатости поверхности вала, влияет на выбор конкретного технолога или рабочего, задействованного на операциях механической обработки, по 10-му квалитету выбрать шероховатость поверхности *Ra* не 0,32…0,63 мкм, а 0,63…1,25 мкм. Данное технологическое решение снижает трудоемкость и стоимость обработки, но отрицательно влияет на ресурс соединения. В свою очередь, из-за нарушения требуемых отклонений от соосности и радиального биения вала по отношению к манжете, стык в соединении манжеты с валом открывается

раньше, чем и объясняется раннее начало утечек и снижение ресурса исследуемого соединения ка до, так и после ремонта [61, 29, 66, 121].

Так же значительно изнашивает манжету и снижает ресурс соединения факт простой замены манжеты, когда в результате наличия изношенной канавки на валу от предыдущей манжеты, рабочая кромка новой манжеты начинает интенсивно изнашиваться, в связи с чем ремонт соединения в виде простой замены манжет без восстановления вала неэффективен.

Таким образом, необходимо исследование параметров точности соединения и вала для обеспечения качества ремонта.

1.6 Механизм изнашивания и потеря герметичности соединений «вал – уплотнение»

Теория герметичности контактных уплотнительных устройств базируется на гидродинамической и эластогидродинамической теории смазки. Эти теории позволяют определить условия, при которых достигается герметичность соединения [18, 19, 91].

Гидродинамическая теория смазки основана на эффекте всплытия вала при его вращении в слое жидкости. За счет вращения вала возникает гидродинамический клин, которое поднимает вал и образует зазор, обеспечивающий разделение поверхностей трения слоем жидкости. Это позволяет значительно снизить трение и износ деталей [68, 64].

Однако для обеспечения герметичности недостаточно изучения наличия или отсутствия гидродинамического эффекта. Необходимо также учитывать свойства материалов уплотнений и их способность деформироваться под действием давления. Для этого используется эластогидродинамическая теория смазки, которая рассматривает взаимодействие твёрдого тела и вязкой жидкости с учётом упругих свойств материала уплотнения. Эта теория позволяет определить рациональные параметры уплотнительного устройства, такие как форма, размеры и материал, наличие пружины и ее жесткости, для достижения наилучшей герметичности и достаточной надежности [66].

Обе теории являются важными инструментами для разработки основ теории уплотнительных систем с целью обеспечивая их надёжности, долговечности и заданного уплотняющего эффекта.

Таким образом, на настоящий момент законченной теории герметичности манжет не существует, поэтому зависимость утечек от толщины масляной пленки сформирована в виде выражения [18, 19]:

$$Q \sim \delta^s, \tag{1.13}$$

где s – показатель степени (обычно $s = 3$).

Наилучшим считается режим трения, когда происходит снижение коэффициента трения, утечек, износа манжеты, что соответствует определенному значению эквивалентного зазора. Эквивалентный зазор – это условный зазор между поверхностями трения, который характеризует условия работы уплотнительного устройства [18, 19, 43]. Чем меньше этот зазор, тем выше герметичность соединения и тем ниже коэффициент трения и износ деталей. Однако слишком маленький зазор может привести к повышенному давлению в зоне контакта и преждевременному износу уплотнения из-за перехода в режим граничной смазки. Поэтому важно найти рациональную величину эквивалентного зазора, при котором достигается наилучший режим трения. Чем больше эквивалентный зазор, тем больше увеличиваются утечки в результате перехода в гидродинамический режим смазки рабочей кромки манжеты.

В инженерной сфере утечки принято определять и нормировать в виде удельной величины [18, 19]:

$$\overline{Q} = \frac{Q}{B}, \tag{1.14}$$

где Q – скорость утечки в секунду или час, мм^3/с (см^3/ч); $B = \pi \cdot d$ – уплотняемый периметр, м; d – диаметр вала, м.

Классы герметичности для радиальных армированных манжет нормируются в зависимости от требований к конкретному изделию и его применению.

Например, стандарт ГОСТ 8752-79 «Манжеты резиновые армированные для валов. Технические условия» [25] устанавливает следующие классы герметичности:

1 класс – для защиты от проникновения пыли;

2 класс – для обеспечения герметичности при давлении до 0,005 МПа (0,05 кгс/см²);

3 класс – для работы в средах, где давление не превышает 0,1 МПа (1 кгс/см²) со скоростью вращения вала не более 30 м/с.

Также существуют другие стандарты и технические условия [22], которые могут устанавливать свои требования к классам герметичности радиальных армированных манжет.

Для радиальных армированных манжет наиболее распространены классы герметичности в виде 2–1 (величина удельных утечек 0,005…0,05 мм^3/(м·с)) и 2–2 (величина удельных утечек 0,05…0,5 мм^3/(м·с)) [25,66]. Для тяжелых условий работы используется класс 3–1, (величина удельных утечек 0,5…5,0 мм^3/(м·с)). По данным [30] величина удельных утечек для радиальных армированных манжет составляет $\overline{Q} \leq 10^{-2}$см^3/(см·ч) [66].

Зависимость между натягом и герметичностью соединения установлена Лавровым Г.Г. [57], а в работе Чернышева Г.Д. [114] рекомендуется величину натяга принимать равной 0,5…1,0 мм на радиус [66]. Но в целом, рекомендуется для каждого конкретного соединения проводить длительные стендовые или экспуатационные испытания с целью определения возможного диапазона величин натяга и давления, при которых будет наблюдаться повышение срока службы соединения до момента начала утечек [66].

Тепловой износ (схватывание 2-го рода) характеризуется определенными температурными зонами контакта. В исследованиях [66, 18, 19] показано, что нормальная температура в зоне контакта резиновой армированной манжеты с валом составляет 50…70 °С, а при увеличении данной температуры до 70…100 °С резко возрастает изнашивание рабочей кромки манжеты. Из-за превышения норм температуры происходят следующие изменения: увеличение твёрдости и хрупкости (при повышении температуры резина становится более жёсткой и склонной к растрескиванию); появлению трещин; разбуханию материала манжеты (под воздействием

тепла резина расширяется, что негативно сказывается на её свойствах); ускорение изнашивания вала (кромка манжеты, которая стала менее эластичной из-за повышения температуры, может сильнее тереться о вал, ускоряя его износ).

На контактную температуру оказывают влияние натяг, давление и частота вращения. Чем больше натяг, тем сильнее деформируется манжета при установке и эксплуатации, что может привести к увеличению трения и, как следствие, повышению контактной температуры. При увеличении давления кромки манжеты на вал растёт сила трения, что приводит к повышению контактной температуры. Частота вращения также оказывает влияние на контактную температуру, так как при ускорении вращения возникает более интенсивное трение между валом и манжетой, которое сопровождается выделением тепла.

На схватывание 1-го рода при контакте манжеты с валом, которое проявляется в виде механического износа и истирания поверхностей, оказывает влияние наличие абразива в зоне трения и шероховатость поверхности вала [66, 18, 19]. Снижение величины шероховатости поверхности вала до $R_a = 0{,}04…0{,}08$ мкм приводит к уменьшению и дестабилизации масляной пленки из-за малого количества смазки в неровностях, что, в свою очередь, затрудняет создание микро-гидродинамического трения. Увеличение величины шероховатости поверхности вала до $R_a > 1{,}25$ мкм приводит к увеличению интенсивности изнашивания кромки манжеты [18, 19]. Поэтому в стандарте и приведен диапазон шероховатостей поверхностей вала $R_a = 0{,}16…0{,}63$ мкм, когда формируется рациональная толщина масляной пленки. В свою очередь, в исследованиях профессора Т.М. Башта [9] рекомендуется использовать шероховатость поверхности вала для быстроходных валов в диапазоне $R_a = 0{,}08…0{,}32$ мкм. Стандарт [25] регламентирует для скорости скольжения $\upsilon < 2$ м/с $R_a = 0{,}63…1{,}25$ мкм, а для $\upsilon > 4$ м/с $R_a = 0{,}16…0{,}32$ мкм.

В исследованиях [41,123] был проведен анализ влияния способов обработки вала для формирования $R_a = 0{,}32$ мкм. Использовались такие способы, как шлифование кругом, пастой, шкуркой, электрохимическое шлифование. Оказалось, что данные способы характеризуются малым отличием профиля и микрорельефа по-

верхности. Дальнейшее исследование шероховатости поверхности вала при формировании ее различными способами восстановления и обработки проведено в работе [41], где в качестве наиболее рационального определен технологический процесс ППД шариками или роликами до $R_a = 0{,}1…0{,}3$ мкм для случая применения способа восстановления поверхности валов под уплотнение в коробках передач трактора «Кировец» и коленчатого вала дизеля СМД–14.

Вопросы изучения влияния на износостойкость применения сырых и закаленных поверхностей валов были исследованы профессором Т.М. Башта [9], который сделал выводы о том, что в случае отсутствия абразива в зоне трения износостойкость сырых валов оказывается в 1,5…2,0 раза выше закаленных. Рост количества абразива в смазочном материале приводит к обязательному повышению твердости поверхности вала. Установлен диапазон твердости поверхности вала в пределах HRC 15…55. Подтверждение этих исследований нашло в работах В.Т. Василенко [13], где установлено что, коррозия поверхности вала также снижает износостойкость соединения. Для снижения влияния коррозии рекомендуется применять такие виды стали, как Ш15, 9Х13, 2Х13, 20ХНР, 30ХСНА, 38ХГСА, 18ХГТ, в сельхозмашинах использовать такие виды стали, как 45Х, 45ХС [66].

Обычно трансмиссионное и моторное масла не оказывают значительного воздействия на манжеты. Однако при определённых температурных условиях и наличии серы в составе масла его химическая активность значительно возрастает, что может привести к нежелательному разбуханию и растрескиванию краёв манжеты. Из этого следует вывод, что каждому виду и типу масла должен соответствовать определенный тип резины или изделий на ее основе [27, 80], что сможет гарантировать определенный срок службы соединения. Резина и материалы на ее основе имеют свойство окисляться воздухом и утрачивать эластичность под действием ультрафиолета, а также стареть даже при отсутствии каких-либо воздействий. По данным ГОСНИТИ при хранении манжет 3…4 года ресурс их составляет 36…64 % от новых [66].

Оптимальным режимом функционирования соединения вала с манжетой считается такой, при котором параметры этого режима после периода приработки стабилизируются. В результате на поверхности вала формируется микрогидродинамическая масляная плёнка, существенно продлевающая срок службы соединения. [66, 61, 29, 45].

Чтобы компенсировать радиальное биение и отклонения от соосности, которые могут привести к раскрытию стыка, в соединении вала с манжетой необходимо создать натяг. При этом важно учесть взаимное влияние радиального биения и частоты вращения вала [66].

Износ контактируемых поверхностей – самая распространённая причина отказа манжет и валов [121, 60, 88, 58]. Он возникает из-за трения между поверхностями, которое приводит к их постепенному разрушению.

Износ может быть вызван различными факторами, например, такими как:

– недостаточная смазка, вызванная утечками или отсутствием ЕТО;

– повышенный натяг в соединении;

– повышенное давление в соединении;

– попадание загрязнений;

– неправильная установка – перекос, отклонение от соосности и радиальное биение вала;

– вибрация.

Для предотвращения износа необходимо обеспечить правильную смазку, защиту от загрязнений и правильную установку деталей. Также важно регулярно проверять состояние манжет и при необходимости заменять их.

В процессе ремонта манжеты всегда заменяются на новые, а поверхности валов под манжету целесообразно восстанавливать, особенно если данная деталь является достаточно дорогой.

1.7 Способы восстановления соединений «вал – уплотнение»

При ремонте соединения манжеты заменяются на новые, а шейки валов восстанавливаются. При ремонте валы восстанавливаются под номинальный размер различными способами, в том числе с применением ремонтных втулок и полимерных материалов [34, 35, 83]. Ведутся исследования по оценке показателей качества деталей и соединения [77, 79, 81], контактного давления на поверхностях [10, 32], обеспечения работоспособности [78], применяется размерный анализ для расчета отклонений от соосности манжеты и вала в конкретных сборочных единицах [61]. Изучаются вопросы качества финишной обработки поверхности вала [29].

Вместе с практическими исследованиями изучаются вопросы математического обеспечения взаимодействия контактирующих поверхностей соединения «вал-манжета», но пока не разработана теория герметичности резиновых армированных манжет.

В своей работе [41] Е.В. Касавченко подробно рассматривает методы восстановления, последующей обработки и упрочнения вала. Он определяет коэффициенты износостойкости как вала, так и манжеты при различных способах восстановления и обработки. Эта работа является продолжением исследований В.Н. Попова [93], который ранее проанализировал влияние различных способов восстановления вала на его износостойкость (таблица 1.11).

Цель анализа методов восстановления и обработки вала заключается в необходимости использования данных, полученных авторами [66, 123, 41, 27, 93], в последующих исследованиях. Рекомендуемые виды окончательной обработки вала не формируют винтовую линию, которая приводит к утечкам, это: шлифование врезанием, полирование шкуркой 14А6НМ31 ГОСТ 6456–75, обработка ППД (таблица 1.11).

Из таблицы 1.11 видно, что стоимостные характеристики способов восстановления различны, так как различны способы обработки.

Таблица 1.11 – Характеристики возможных и рекомендуемых [66, 123, 41, 27, 93] способов восстановления поверхности вала под манжету

Способ восстановления вала	Способ обработки вала	k_D	k_d	k	$C_в$	$C_о$	C	$C \cdot \varepsilon$
Эталонное соединение Вал – Сталь 45	Шлифование (Ш)	1,0	1,0	1,0	–	–	8,62	8,62
Наплавка Нп-30ХГСА под флюсом АН–348А	Ш +ППД	1,07	1,23	1,09	1,16	0,99	2,15	1,98
Наплавка Нп–30ХГСА в среде CO_2	Ш +ППД	1,18	0,99	1,11	1,12	0,99	2,03	1,81
Приварка контактной ленты 40Х	Ш +ППД	1,06	0,95	1,04	1,08	0,83	1,91	1,83
Обработка вала под РР	Ш +ППД	2,78	1,06	1,15	–	0,51	0,51	0,44
Вибродуговая наплавка Нп–80	Ш +ППД	1,05	1,08	1,06	1,19	0,99	2,18	2,04
Хромирование в саморегулирующемся электролите № 4	Ш	3,22	1,26	3,03	2,92	0,41	3,33	1,10

Условные обозначения: k_D ; k_d ; k – коэффициент относительной износостойкости соответственно манжеты, вала, соединения; $C_в$; $C_о$; C – себестоимость восстановления, обработки и общая для вала соответственно, руб. (в ценах 1980 г.); РР – ремонтный размер; ППД – поверхностно-пластическое деформирование; ФАБО – финишная безабразивная обработка; МСП – медьсодержащее покрытие.

Также можно увеличить запас точности путём уменьшения конструктивного допуска посадки [66], путем применения рациональных методов обеспечения норм взаимозаменяемости.

Все методы требуют определенных затрат, поэтому всегда нужно устанавливать насколько целесообразно их применение. С другой стороны, ремонтное производство в настоящее время утратило массовость – техника стала надежнее, отказов стало меньше и при ремонте чаще всего стали применяться наиболее простые и дешевые средства восстановления деталей, такие как замена детали на новую, обработка поверхности под ремонтный размер или постановка дополнительной детали – компенсатора.

Именно для восстановления поверхности вала под манжету в технической документации на ремонт в ряде случаев указывается обработка поверхности вала до

выведения следов износа на глубину до 0,3 мм и на уменьшенный вал устанавливаются новые манжеты, при этом будет наблюдаться уменьшение запаса на износ материала вала и снижение натяга манжеты на вал уже в начале эксплуатации отремонтированной сборочной единицы. Эту проблему можно решить путем применения ряда экономически целесообразных решений, которые исходят из накопленного опыта в такой науке, как основы взаимозаменяемости и технические измерения применительно к ремонтному производству.

С другой стороны, при ремонте узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники на повторный ремонт будут приходить уже восстановленные под ремонтный размер валы, прошедшие первый ремонт, которые опять будет необходимо восстановить, это особенно актуально, если вал достаточно дорогой – выполнен вместе с шестерню (валы редукторов и коробок передач) или имеет сложную форму (коленчатые и распределительные валы и т.п.). В таком случае можно обработать поверхность вала под втулку, внешний диаметр которой должен соответствовать номинальному размеру, причем можно использовать тонкостенные втулки толщиной 0,5…1,0 мм, что не будет оказывать влияние на прочностные характеристика вала и снижать его долговечность.

1.8 Выводы, цели и задачи исследования

1. В настоящее время существует множество способов восстановления изнашиваемых поверхностей деталей сельскохозяйственной техники. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Практически по всем известным методам восстановления имеются обобщенные данные об их характеристиках как по техническим, так и по экономическим критериям.

2. Работоспособность сборочных единиц обеспечивается не отдельными деталями, а соединениями, износостойкость или сопротивление процессу старения, в которых и обеспечивает ресурс сборочной единицы. Процессы, протекающие в соединении, зависят не только от характеристик одного элемента детали, но и от

множества других факторов, ка заложенных конструкцией, так и эксплуатационных.

3. Для расчёта и выбора точностных параметров можно применять различные методы, такие как метод прецедентов, расчётный метод, табличный метод и другие. Выбор метода зависит от конкретных условий и требований к соединению. Но наиболее рационально применять расчетный метод, который обеспечит функциональную взаимозаменяемость и долгий срок службы соединения.

4. Наряду с параметрами износостойкости существенную роль в обеспечении надежности и долговечности работы соединений с натягом играют параметры точности, такие как допуски размеров, отклонения и допуски посадки. Изучаются вопросы измерения натягов в процессе эксплуатации путем применения моделей параметрического отказа. При назначении рациональных ремонтных размеров валов и подбора к ним манжет необходима методика обоснования величин ремонтных размеров и разработка методики комплектования деталей соединений.

5. Чтобы сохранить уплотняющий эффект соединения, необходимо поддерживать определенные значения натяга, контактного давления и других характеристик на протяжении заданного времени с учетом формирования эластодинамической масляной пленки в соединении. Для этого можно использовать несколько методов: сформировать требуемую шероховатость поверхности, повысить износостойкость поверхности вала, увеличить износостойкость рабочей кромки манжеты, увеличить запас точности, уменьшив конструктивный допуск посадки.

6. Исследование надежности соединения вала с манжетой выявило, что фактические конструктивные характеристики вала отличаются от установленных норм в стандарте и нормативных документах. Параметры новых манжет обычно соответствуют нормативам и находятся в пределах допустимых значений.

На основании изучения состояния проблемы поставлены **следующие цели:**

обосновать использование методов взаимозаменяемости при формировании соединения манжеты с валом при ремонте сборочных единиц в совокупности с рациональными способами восстановления вала соединения «вал – уплотнение»;

апробировать предлагаемые методы взаимозаменяемости для условий формирования соединения манжеты с валом при ремонте коробки перемены передач ЯМЗ-239.

Для решения проблемы поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Разработать методику комплектования деталей соединений «вал-уплотнение», включающую в себя расчет числа групп комплектации, назначение ремонтных размеров вала и подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении. Разработать методику расчета посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенных втулок.

2. Для соединения валов с манжетами коробки передач ЯМЗ-239 в виде соединений первичного вала и фланца определить количество ремонтных размеров валов и составить комплектовочную таблицу сборки валов с манжетами. Провести вероятностный расчет качества сборки соединений.

3. Апробировать методику расчета посадок тонкостенных втулок с целью восстановления поверхности первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 под манжету, опередить размеры тонкостенной втулки, рассчитать диапазон технологических натягов и выбрать рациональные посадки.

4. Определить ожидаемый экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» обработкой под ремонтный размер взамен приобретения новых валов и экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» методом установки ремонтных втулок.

Для достижения поставленных целей и решения задач разработана структурная схема исследований (рисунок1.9).

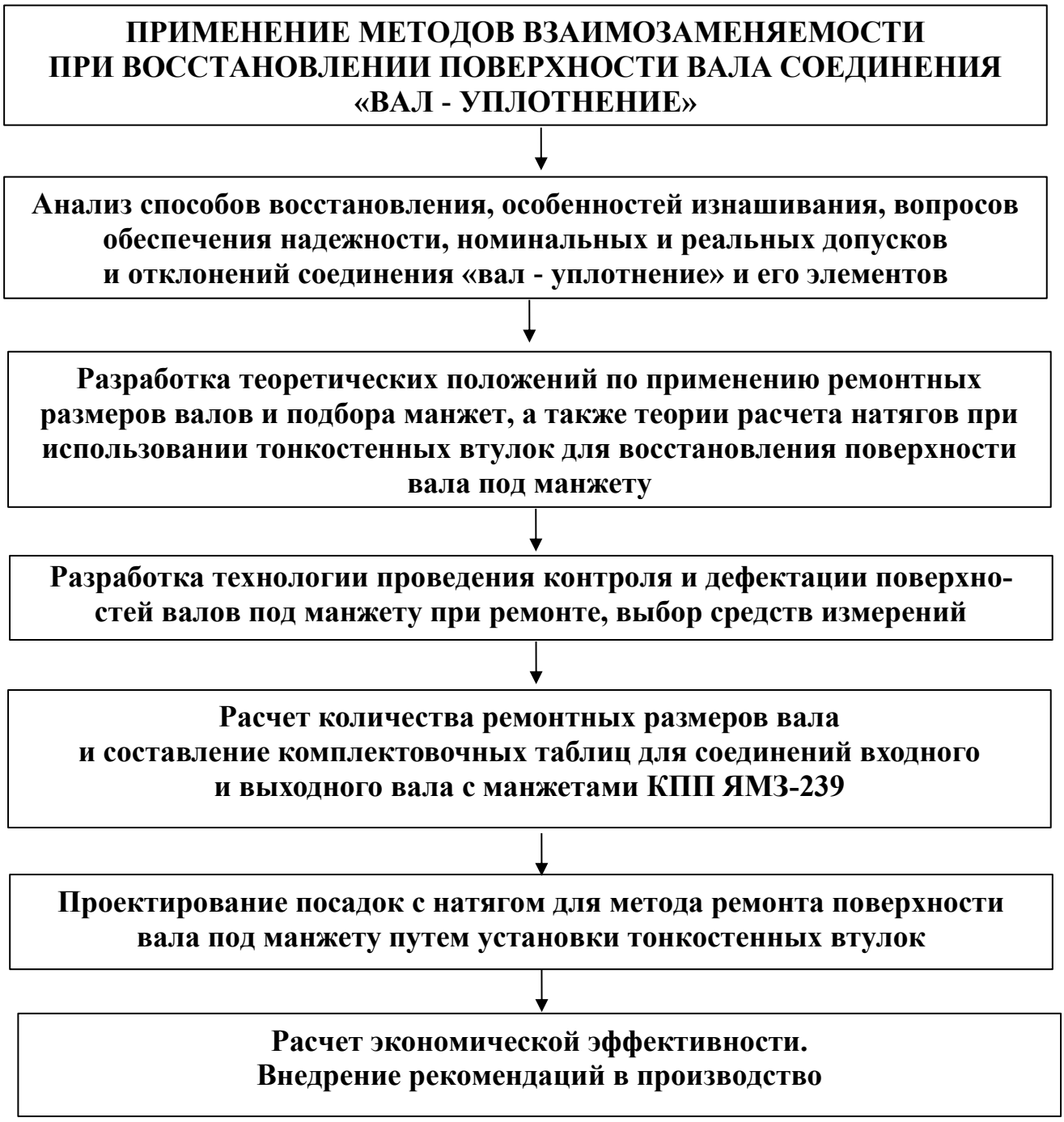

Рисунок 1.9 – Структурная схема исследований

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПРИ ВОСТАНОВЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ - УПЛОТНЕНИЕ»

Наряду с параметрами износостойкости существенную роль в обеспечении надежности и долговечности работы соединений с резиновыми армированными манжетами играют параметры точности, такие как допуски размеров, отклонения и допуски посадок [14, 15, 16, 63, 48]. При этом рациональное обоснование норм точности необходимо использовать как при финишной обработке деталей под ремонтный размер, так и при восстановлении поверхностей под номинальный размер путем постановки дополнительных деталей [3, 40].

Методы обработки под ремонтный размер можно классифицировать по различным критериям [37, 105, 21].

По типу обрабатываемой поверхности:

– наружная цилиндрическая поверхность;

– внутренняя цилиндрическая поверхность.

– По методу обработки:

– механическая обработка (точение, фрезерование, шлифование, полирование и т. д.);

– электрофизическая обработка (электроэрозионная, электрохимическая и др.);

– химическая обработка.

По степени восстановления первоначальной формы и размеров:

– полное восстановление;

– частичное восстановление.

По сложности выполнения:

– простые методы (например, точение, шлифование);

– сложные методы (требующие специального оборудования и навыков).

По точности обработки:

– черновая обработка;

– чистовая обработка;

– финишная обработка.

Обработка под ремонтный размер и полная взаимозаменяемость тесно связаны между собой. Обработка под ремонтный размер позволяет восстановить детали до таких размеров, чтобы они соответствовали требованиям полной взаимозаменяемости. В результате этого становится возможным заменять изношенные детали новыми или отремонтированными без потери качества и производительности. Если полную взаимозаменяемость при обработке по ремонтный размер соблюсти невозможно, то применяются методы неполной взаимозаменяемости. В результате чего становится возможным заменять изношенные детали новыми или отремонтированными, но с учётом возможных небольших корректировок для достижения необходимой точности [2, 17, 69].

По виду взаимозаменяемости сопрягаемых поверхностей:

– полная взаимозаменяемость;

– неполная взаимозаменяемость (селективная сборка, подбор деталей).

Это лишь некоторые из возможных классификаций методов обработки под ремонтный размер. В зависимости от конкретных условий и требований к ремонту могут быть использованы различные комбинации этих критериев.

Методы применения дополнительной детали при ремонте также можно классифицировать по различным критериям [92, 98].

По типу дополнительной детали:

– втулки;

– пластины;

– кольца;

– гильзы;

– пробки и т. д.

По материалу дополнительной детали:

– металл (сталь, чугун, цветные металлы и сплавы);

– неметаллические материалы (пластмассы, резина, дерево).

По способу крепления дополнительной детали к основной:

– запрессовка;

– нагрев охватывающей детали;

– охлаждение охватываемой детали;

– сварка;

– пайка;

– клёп;

– склеивание;

– механическое крепление (болты, винты, заклёпки).

По области применения:

– ремонт валов;

– восстановление отверстий;

– исправление резьбы;

– устранение трещин и пробоин и т. п.

По степени восстановления первоначальной формы и размеров:

– полное восстановление;

– частичное восстановление.

По сложности выполнения:

– простые методы (например, установка втулки);

– сложные методы (требующие специального оборудования и навыков).

В зависимости от конкретных условий и требований к ремонту могут быть использованы различные комбинации этих критериев.

Дополнительная деталь может быть изготовлена из различных материалов в зависимости от требований к прочности, износостойкости и других характеристик. Она может иметь различные формы и размеры, что позволяет подобрать оптимальный вариант для каждого конкретного случая.

Процесс ремонта методом постановки дополнительной детали включает в себя следующие этапы:

1) Подготовка поверхности: очистка от загрязнений, ржавчины и других дефектов;

2) Измерение износа: определение размеров изношенной поверхности;

3) Обработка: доведение размеров и формы изношенной поверхности до требуемых значений с целью установки на нее дополнительной детали.

4) Изготовление дополнительной детали: выбор материала, размера и формы дополнительной детали;

5) Установка дополнительной детали: закрепление дополнительной детали на изношенной поверхности с помощью запрессовки, нагрева, сварки, пайки или других методов;

6) Обработка: доведение размеров и формы восстановленной поверхности до требуемых значений.

Метод применения дополнительной детали является эффективным способом ремонта валов и широко применяется в различных отраслях промышленности [26, 109]. Однако он требует тщательной подготовки и выполнения всех этапов процесса для обеспечения надёжности, и долговечности отремонтированных деталей.

2.1 Разработка системы ремонтных размеров вала и подбора манжет

Применение ремонтных размеров деталей соединения – это один из методов восстановления работоспособности изношенных деталей. Он заключается в том, что изношенная деталь обрабатывается до заранее рассчитанного размера, после чего для неё подбирается или изготавливается ремонтная деталь (втулка, плёнка, уплотнение и т. д.) [37, 90].

Применение ремонтных размеров позволяет [70]:

– восстановить геометрическую форму и размеры детали;

– обеспечить необходимую шероховатость поверхности;

– обеспечить функциональную взаимозаменяемость.

Этот метод широко применяется при ремонте таких деталей, как валы, оси, гильзы цилиндров, поршни и др. Ремонтные размеры могут быть регламентированы заводом-изготовителем или определены непосредственно ремонтным предприятием.

Для применения метода ремонтных размеров необходимо провести следующие действия:

1) Определить степень износа детали. Для этого используются различные методы измерения, такие как микрометрирование, измерение индикаторными приборами и др.

2) Рассчитать ремонтные размеры. Это делается на основе данных о предельных размерах детали и о её износе.

3) Подобрать или изготовить сопрягаемые ремонтные детали. Они должны соответствовать расчётным размерам и обеспечивать необходимую точность и шероховатость поверхности.

4) Собрать соединение. После установки ремонтной части деталь должна соответствовать требованиям к точности и надёжности соединения.

5) Проверить качество ремонта. Провести испытания отремонтированной детали или узла, чтобы убедиться в их соответствии требованиям.

При назначении рациональных ремонтных размеров валов и подбора к ним манжет необходима методика комплектования деталей соединений.

Долговечность соединения «вал-уплотнение» обеспечивается заданными величинами натягов, получаемых при сборке. При эксплуатации происходит уменьшение натягов подвижного соединения из-за износа поверхности вала и манжеты, что приводит к началу утечек и отказу соединения.

При ремонте вала необходимо не только вывести следы износа, но и учесть припуск на обработку. Это объясняется изнашиванием поверхности вала и значительным искажением его геометрической формы (рисунок 2.1).

На основании исследований профессора Леонова О.А. [66], в результате анализа рисунка 2.1 [66], была получена усовершенствованная зависимость для расчета ремонтного размер вала

$$d_{\text{РР}} = (d_{\text{п}} + es - e) - \frac{2 \cdot \beta \cdot U}{1 + \beta}, \qquad (2.1)$$

где d_n – номинальный диаметр вала, мм; es – верхнее отклонение, мм; $\beta = U_{\max} / U_{\min}$ – коэффициент неравномерности износа; e – диаметральный припуск на отработку,

мм; U_{max} и U_{min} – наибольший и наименьший износ на сторону; $U = U_{max} + U_{min}$ – диаметральный межремонтный износ вала, мм.

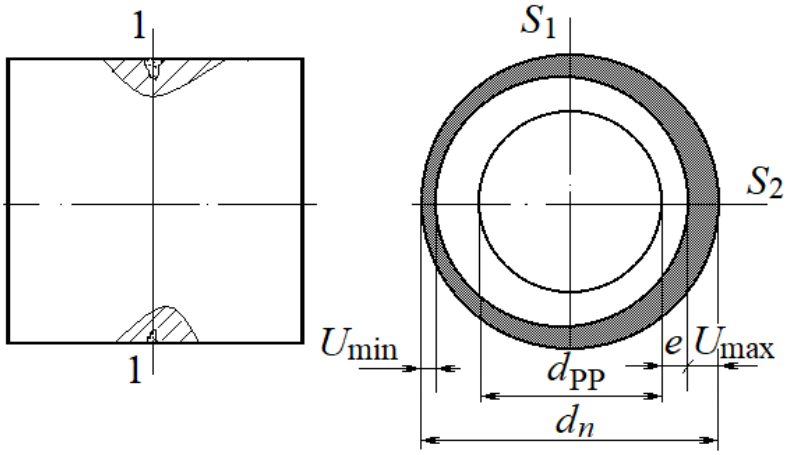

Рисунок 2.1 – Связь ремонтного размера вала с износом и припуском:
1-1 – измеряемое сечение; S_1, S_2 – измеряемые плоскости

Валы, обработанные под ремонтный размер, рассчитанный по формуле (2.1), соединяют с новыми манжетами. При этом в полученных соединениях не будет обеспечен наименьший конструктивный натяг, необходимый для обеспечения долговечности соединения.

При единичном и мелкосерийном производстве обычно применяется сплошная дефектация валов, поэтому рекомендуется использовать методику комплектации соединений путем использования группы ремонтных размеров (ГР). Число ремонтных размеров в группе можно определить следующим образом:

$$n = \frac{\omega_{d\,изн}}{T_d + (m - ei)}, \qquad (2.2)$$

где m – шаг между ремонтными размерами, ei – наименьшее отклонение вала, мм.

Для обеспечения равенства натягов нового и восстановленного соединения, манжеты к валам ремонтных размеров должны подбираться по внутреннему диаметру (рисунок 2.2). Верхние отклонения от номинального размера манжет, устанавливаемых на валы ремонтных размеров, определяем по формуле [66]:

$$ES'_{max} = ES_{max} - (d_n - d_{PP}). \qquad (2.3)$$

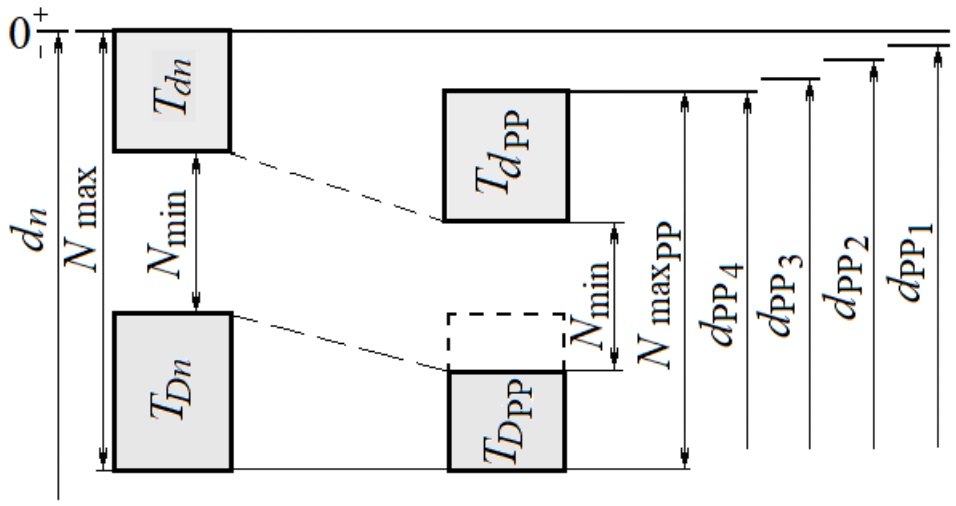

Рисунок 2.2 – Обоснование сортировки манжет по внутреннему диаметру при постановке на валы ремонтного размера (с целью сохранения наименьшего конструктивного натяга)

При таком подходе будет обеспечена функциональная взаимозаменяемость и эксплуатация отремонтированного соединения вала с манжетой начнется в заданных пределах конструктивных натягов резиновой армированной манжеты на вал.

Таким образом, разработана методика комплектования деталей соединений «вал-уплотнение», включающая в себя расчет числа групп и назначение ремонтных размеров вала и подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении, которая применима для восстановления всех соединений типа «вал-уплотнение», где уплотнением является стандартная резиновая армированная манжета (ГОСТ 8752-79). Перед расчетом ремонтных размеров необходимо провести анализ величин износа валов.

2.2 Применение метода установки ремонтных втулок при восстановлении соединений «вал – уплотнение»

Метод ремонтных втулок – один из способов восстановления изношенных деталей, который заключается в использовании дополнительных втулок для компенсации износа [66, 40].

В заранее обработанную изношенную поверхность детали запрессовывают или вставляют втулку, которая восстанавливает размеры и форму детали до требуемых в нормативной документации величин. Этот метод позволяет восстановить как наружные цилиндрические поверхности, так и внутренние отверстия.

Для применения метода ремонтных втулок необходимо провести следующие работы:

1) Определить степень износа деталей и установить его диапазон.

2) Подобрать размеры и материал ремонтной втулки. Она должна соответствовать размерам и форме новой детали, а также обеспечивать необходимую прочность соединения.

3) Установить ремонтную втулку на заранее подготовленную поверхность. Это можно сделать с помощью запрессовки, клея, и других способов.

4) Обработать поверхность ремонтной втулки. После установки ремонтной части деталь должна соответствовать требованиям к точности и надёжности соединения.

5) Проверить качество ремонта. Провести испытания отремонтированной детали или узла, чтобы убедиться в их соответствии требованиям.

Метод установки ремонтных втулок нашел широкое применение при ремонте различных деталей, однако при восстановлении соединений «вал – уплотнение» он не используется.

Установка втулок намного экономичнее таких способов восстановления как наплавка и приварка контактной ленты, т.к. не расходуется электроэнергия и не приобретается дорогостоящее оборудование. Формирование поверхности вала происходит автоматически – упругая втулка «копирует» поверхность вала, рисунок 2.3.

Поверхность втулки можно моделировать по твердости, шероховатости поверхности, обработке ППД, поэтому все вышеприведенные расчеты точности остаются актуальными и для данного способа восстановления.

Использование классической методики расчета натягов в соединении дает большие искажения в расчетах [125].

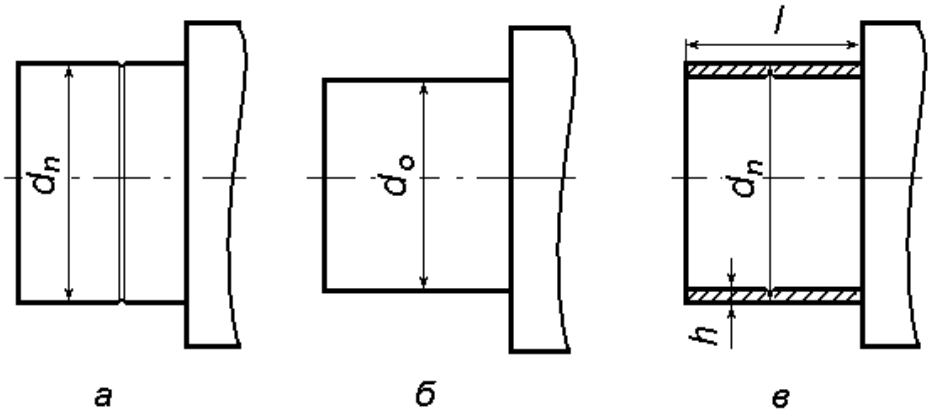

Рисунок 2.3 – Этапы формирования соединения с ремонтной втулкой:

а – исходная изношенная поверхность вала под манжету;

б – вал, обработанный на толщину втулки;

в – соединение вала и тонкостенной втулки

В случае, когда охватывающая или охватываемая детали являются тонкостенными – при отношении толщины стенки к диаметру h/D<0,2, расчет величины натяга в соединении целесообразно осуществлять по безмоментной теории оболочек, где натяг определяется по формуле [123]

$$N = \frac{p}{2}\left[\frac{D_1^2}{E_1 h_1} + \frac{D_2^2}{E_2 h_2}\right], \qquad (2.3)$$

где D_1 и D_2 – срединные диаметры, м; h_1 и h_2 – толщина каждой оболочки, м; E_1 и E_2 – модули упругости материала вала и втулки, Па.

Наименьшее давление $p_{\min}$ на контактируемых поверхностях, необходимое для передачи крутящего момента $M_{кр}$, можно определить по формуле [14, 125]

$$p_{\min} = \frac{2 \cdot \mathrm{M_{кр}}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot l \cdot f}, \qquad (2.4)$$

где f – коэффициент трения; l – длина соединения, м; d – диаметр соединения, м.

Тогда наименьший натяг можно определить по выражению, которое образуется путем подстановки зависимости (2.3) в формулу (2.4):

$$N_{\min} = \frac{\mathrm{M_{кр}}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot l \cdot f}\left[\frac{D_1^2}{E_1 h_1} + \frac{D_2^2}{E_2 h_2}\right]. \qquad (2.5)$$

Наибольшее давление $p_{\max}$ на контактируемых поверхностях, определяется по формуле [125]:

$$p_{\max} = \frac{2h}{D}\sigma_{\text{доп}}, \qquad (2.6)$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – предельное допускаемое давление, Па.

Тогда наибольший натяг можно определить по выражению, которое образуется путем подстановки зависимости (2.6) в формулу (2.4):

$$N_{\max} = \sigma_{\text{доп}} \frac{2h}{D}\left[\frac{D_1^2}{E_1 h_1} + \frac{D_2^2}{E_2 h_2}\right].$$

Предельные расчетные натяги должны быть скорректированы исходя из условий сборки. В общем виде формулу для корректировки любого предельного натяга можно записать так [14, 66]:

$$N_{T\,\min}^{\max} = N_{P\,\min}^{\max} + \sum_{i=1}^{n} k_i \cdot \Delta N_i, \qquad (2.7)$$

где k_i – коэффициент, в котором учтена степень влияния i-й поправки; ΔN_i – величина поправки.

В реальных условиях предельные технологические натяги определяются по выражениям [14, 66]:

$$N_{T\max} = k \cdot N_{P\max} + \Delta N_R + \Delta N_t, \qquad (2.8)$$

$$N_{T\min} = N_{P\min} + \Delta N_R + \Delta N_t + \Delta N_n, \qquad (2.9)$$

где ΔN_R – поправка на смятие шероховатости поверхности вала и втулки при сборке; ΔN_t – поправка на температурное расширение деталей; $\Delta N_П$ – поправка на уменьшение натяга при повторных запрессовках в процессе эксплуатации и ремонта (по экспериментальным данным [66] $\Delta N_n = 5…10$ мкм); k – коэффициент, в котором учтено увеличение удельного давления у торцов втулки (определяется по графику [86] в зависимости от отношения l/d_n);

Коэффициент, в котором учтено увеличение удельного давления у торцов втулки при запрессовке из-за ее конечности (расчет в теории сопротивления материалов по формуле Ламе – Гадолина ведется для теоретически бесконечных деталей), называется коэффициентом краевого эффекта. Он зависит от соотношения диаметра вала и отверстия, а также от величины натяга. Точный расчет коэффициента краевого эффекта достаточно сложен и требует учета многих факторов, таких как свойства материалов, условия трения, геометрия деталей, отклонения формы и

т. д. Однако для приближенных расчетов можно использовать эмпирические формулы, таблицы коэффициентов и графики, которые учитывают основные параметры соединения.

Поправку на смятие шероховатости определяем по формулам [14, 66, 125]

$$\Delta N_R \le 2 \cdot k_R \cdot \eta \cdot T_N \cdot K_ф \cdot K_K , \qquad (2.10)$$

или, если параметры шероховатости известны,

$$\Delta N_R \le 2 \cdot k_R \cdot (R_{ad} \cdot \eta_d + R_{aD} \cdot \eta_D), \qquad (2.11)$$

где k_R – коэффициент перевода параметра R_a в R_z; η – общий коэффициент смятия шероховатости поверхностей или отдельно вала η_d и отверстия η_D; $T_N = N_{Pmax} - N_{Pmin}$ – расчетный допуск посадки; $K_ф$ и K_K – коэффициенты, в которых учтена погрешность формы и предполагаемый квалитет; R_{ad}, R_{aD} – параметры шероховатости вала и отверстия.

Смятие шероховатостей поверхностей отверстия и вала при запрессовке — это процесс деформации микронеровностей на поверхностях соединяемых деталей, которые входят в контакт друг с другом. Это происходит при соединении двух деталей с натягом, когда вал запрессовывается в отверстие с усилием, превышающим силу трения между поверхностями. В результате запрессовки происходит пластическая деформация микровыступов на поверхностях вала и отверстия, что приводит к их смятию и увеличению площади контакта между деталями. Этот процесс обеспечивает достаточно прочное соединение и улучшает распределение нагрузки между деталями. Однако чрезмерное смятие может привести к уменьшению прочности соединения и снижению его надёжности. Поэтому важно контролировать усилие запрессовки и выбирать оптимальные параметры процесса для обеспечения надёжного соединения деталей.

Установлено, что с целью стабилизации фактической площади контакта в соединении с натягом необходимо ввести ограничение [14, 66]:

$$[\Delta N_R] \le 10 \cdot \eta \cdot ([R_{ad}] + [R_{aD}]), \qquad (2.12)$$

где $[R_{ad}]$ и $[R_{aD}]$ – предельно допустимые параметры шероховатости поверхности (для наиболее используемых размеров – от 18 до 120 мм: при прессовании $[R_{ad}]$ =

1,25 мкм и $[R_{aD}]$ = 2,5 мкм; при нагреве или охлаждении деталей значения $[R_{ad}]$ и $[R_{aD}]$ увеличивают в два раза).

Поправку на температурное расширение определяем по формуле [66, 125, 86]:

$$\Delta N_t = [\alpha_D \cdot (t_D - t) - \alpha_d \cdot (t_d - t)] \cdot d_n, \quad (2.13)$$

где α_d и α_D – коэффициенты линейного расширения материала вала и втулки; t_d и t_D – рабочие температуры отверстия и вала (подставляется поочередно верхнее и нижнее значение диапазона); t = 20 °С – температура сборки.

Таким образом, разработана методика расчета посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенных втулок. Данная методика включает в себя расчет наибольшего и наименьшего предельных натягов, их корректировку и выбор посадки, что позволяет определять технологические натяги для фиксации тонкостенных втулок на валу с целью отсутствия возможности проворачивоемости втулки относительно поверхности вала при эксплуатации уплотнительного соединения.

2.6 Выводы

1. Разработана методика комплектования деталей соединений «вал-уплотнение», включающая в себя расчет числа групп и назначение ремонтных размеров вала и подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении, которая применима для восстановления всех соединений типа «вал-уплотнение», где уплотнением является стандартная резиновая армированная манжета (ГОСТ 8752-79). Перед расчетом ремонтных размеров необходимо провести анализ величин износа валов.

2. Разработана методика расчета посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенных втулок. Данная методика позволяет определять технологические натяги для фиксации тонкостенных втулок на валу с целью отсутствия возможности проворачивоемости втулки относительно поверхности вала при эксплуатации уплотнительного соединения.

3 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Теоретические основы проведения микрометрирования и дефектации поверхностей валов под манжету при ремонте

В специализированной литературе по ремонту машин описано несколько методов контроля поверхностей валов [94, 33].

Микрометрирование – один из самых точных методов измерения размеров и определения износа поверхности вала. Микрометрирование позволяет получить точные данные о диаметре, длине, конусности и других геометрических параметрах вала с помощью измерительного инструмента для линейных размеров. Этот метод широко применяется в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности для контроля качества продукции и проведения ремонта узлов и агрегатов различной техники.

На основе принципов микрометрирования формируется такой специфический вид контроля, как дефектация, последовательность действий при которой состоит из следующих операций [118, 104

1) внешний осмотр;
2) выявление частых дефектов;
3) выявление редких дефектов;
4) выявление скрытых дефектов – полостей, трещин, раковин;
5) определение шероховатости поверхности.

При дефектации валов формируются следующие виды заключений:

– размер вала попадает в заданные пределы и является годным;

– размер вала выходит за конструктивные границы, установленные для новых деталей, но не менее размера, допустимого без ремонта;

– размер вала выходит, как за конструктивные границы, так и за допустимый без ремонта размер, но его можно восстановить;

– размер вала выходит, как за конструктивные границы, так и за допустимый без ремонта размер, а восстанавливать его нецелесообразно.

Если полученные величины выше нормируемых, то элемент детали идет на восстановление.

Принято заключение о годности вала делать исходя из следующих соотношений [14]:

$d_{\min} \le d_{u\min} \le d_{\max}$ и $\Delta_{\max} \le \Delta$ поверхность вала признается годной;

$d_{u\min} \ge d_{доп}$ и $\Delta_{\max} \le \Delta$ – считается допустимой;

$d_{пр} \le d_{u\min} \le d_{доп}$ и $\Delta_{\max} \ge \Delta$ – требует восстановления;

$d_{u\min} \le d_{пр}$ – отправляется в утиль.

где размер вала, установленный технической документацией; $d_{\max}$ – наибольший предельный размер вала, установленный технической документацией; $\Delta_{\max}$ – наибольшее отклонение формы или расположения поверхностей по результатам контроля; Δ – нормированное отклонение формы или расположения поверхностей; d_{umin} – наименьший размер вала в результате контроля износа; $d_{\text{доп}}$ – допускаемый размер вала; $d_{\text{пр}}$ – предельный размер вала.

3.2 Контроль поверхности изношенного вала

Износ поверхности вала под манжету обычно равномерный по всей площади контакта, и имеет вид узкой полоски, рисунок 3.1. Перемещение поверхности вала относительно манжеты оказывает самое существенное влияние на процесс изнашивания, и чем больше отклонение от соосности или радиальное биение вала, тем больше будет величина износа, а абразив в зоне трения значительно ухудшает проблему.

Применение универсальных средств измерений с плоскими наконечниками здесь невозможно. Чтобы выявить действительный размер и величину износа вала в данном месте, необходимо использовать микрометр со специальными вставками, рисунок 3.2.

Также может быть использован комплект вставок для микрометра МВМ которые применяются для контроля метрической резьбы, рисунок 3.3.

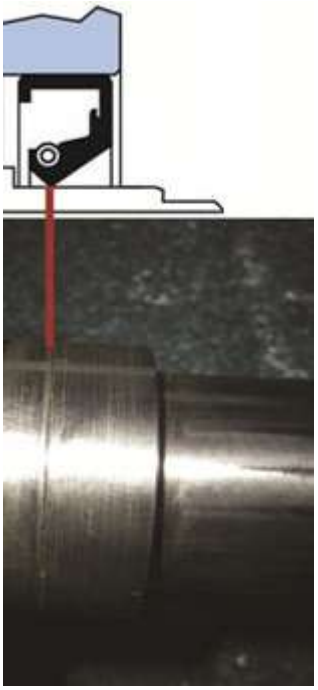

Рисунок 3.1 – Износ поверхности вала под манжету

Рисунок 3.2 – Микрометр со специальными вставками

Рисунок 3.3 – Комплект вставок для микрометра МВМ

Также можно использовать микрометры с острыми наконечниками, рисунок 3.4.

Рисунок 3.4 – Микрометр с острыми наконечниками.

Изношенный вал следует контролировать по внешнему диаметру по двум взаимно перпендикулярным плоскостям S1 и S2, рисунок 3.5 [14].

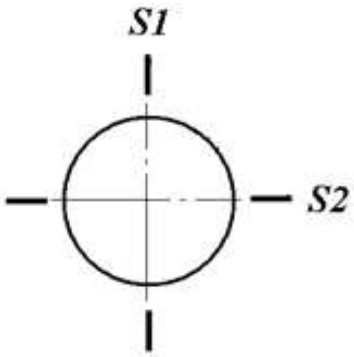

Рисунок 3.5 – Измеряемые плоскости при контроле изношенного элемента вала под манжету

3.3 Контроль поверхности вала после восстановления

Вал контролируется по двум сечениям и двум плоскостям S1 и S2, рисунок 3.6 [118, 14].

Определяется средний размер по выражению [14]:

$$\overline{X}_{ср} = \frac{X_{1-S1} + X_{1-S2} + X_{2-S1} + X_{2-S2}}{4}, \qquad (3.1)$$

где $X_{1\text{-}S1}$ - действительный размер в сечении 1-1 и плоскости $S1$; $X_{1\text{-}S2}$ - действительный размер в сечении 1-1 и плоскости $S2$; $X_{2\text{-}S1}$ - действительный размер в сечении 2-2 и плоскости $S1$; $X_{2\text{-}S2}$ - действительный размер в сечении 2-2 и плоскости $S2$.

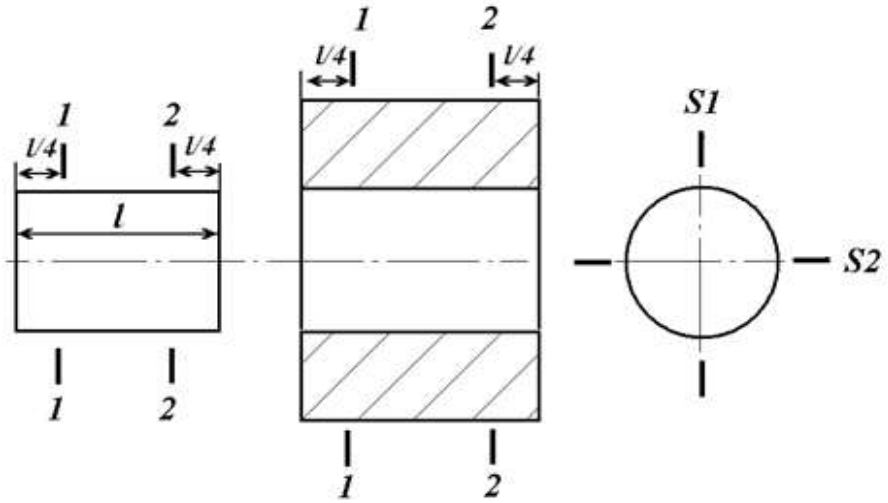

Рисунок 3.6 – Измеряемые сечения и плоскости нового и восстановленного вала

Определяется овальность по выражениям [14]:

$$\Delta_{o1} = \frac{X_{1-S1} - X_{1-S2}}{2}; \quad (3.2)$$

$$\Delta_{o2} = \frac{X_{2-S1} - X_{2-S2}}{2}. \quad (3.3)$$

Из двух полученных значений выбирают большее.

Определяется конусообразность по выражениям [54]:

$$\Delta_{KS2} = \frac{X_{1-S1} - X_{2-S1}}{2}; \quad (3.4)$$

$$\Delta_{KS2} = \frac{X_{1-S2} - X_{2-S2}}{2}. \quad (3.5)$$

Из двух полученных значений выбирают большее.

Выбранные значения не должны превышать допустимые отклонения формы контролируемых деталей.

3.4 Выбор средств измерений для контроля поверхности вала под втулку и внутреннего диаметра втулки

В связи с тем, что в процессе проектирования новой технологии восстановления методом использования тонкостенных втулок для поверхностей валов получена посадка $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\frac{+0{,}019}{+0{,}072}_{+0{,}053}\right)$, необходимо выбрать средства измерения для контроля вала $\varnothing 50{,}5s6$ и отверстия $\varnothing 50{,}5H6$.

Для проведения контроля средства измерения выбираются по условию [69, 24, 96]:

$$\Delta lim \le \delta, \qquad (3.6)$$

где Δlim – предельная погрешность СИ; δ – допускаемая погрешность измерения.

Для вала $d_{\text{п}} = \varnothing 50{,}5s6$, имеем $T = 19$ мкм и $\delta = \pm 5$ мкм [24].

Для втулки $\varnothing 50{,}5H6$, имеем $T = 19$ мкм и $\delta = \pm 5$ мкм [24].

Таким образом, допускаемая погрешность измерений одинакова для вала и отверстия и по значению $\delta = \pm 5$ мкм следует выбирать средства измерений.

По условию (3.4) выбираем следующие средства измерений:

Для вала $d_{\text{п}} = \varnothing 50{,}5s6$ – скоба рычажная СРП-75-0,001 повышенной точности с величиной отсчета 0,001 мм (диапазон измерений ±0,07 мм) ЧИЗ, при работе в руках, $\Delta lim = \pm 2{,}5$ мкм;

Для отверстия $D_{\text{п}} = \varnothing 50{,}5H6$ – Нутромер индикаторный электронный НИЦ повышенной точности 50-100 0,001 ЧИЗ, $\Delta lim = \pm 5$ мкм.

Определяем коэффициент точности измерений [96]:

$$A_{\text{мет}}(\sigma) = (\sigma_{\text{мет}} / T)\cdot 100\ \%, \qquad (3.7)$$

где $\sigma_{\text{мет}}$ – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения, $\sigma_{\text{мет}} = \Delta lim/2$, мкм; T – допуск контролируемого параметра, мкм.

Рассчитываем среднее квадратическое отклонение погрешности измерения:

$\sigma_{\text{метd}} = \Delta lim_{\text{d}} / 2 = 2{,}5 / 2 = 1{,}25$ мкм;

$\sigma_{\text{метD}} = \Delta lim_{\text{D}}/2 = 5 / 2 = 2{,}5$ мкм.

Коэффициент точности измерений равен:

$A_{метd}$ (σ) = ($\sigma_{метd}/T$)·100 % = (1,25 /19)·100% = 6,6 %;

$A_{метD}$ (σ) = ($\sigma_{метD}/T$)·100 % = (2,5 /19)·100% = 13,2 %.

Отношение допуска к среднему квадратическому отклонению равно:

$T/\sigma_{тех}$ = 19 / 6,2 = 3,06.

Общетеоретическая схема контроля с исходной зоной рассеяния контролируемого параметра, зонами рассеяния погрешностей измерений, а также с указанием формирования параметров разбраковки приведена на рисунке 3.7 [96].

По номограммам, представленным на рисунках 3.8 и 3.9, определяем параметры разбраковки [56]:

m_1 – число неправильно принятых изделий в процентах от числа принятых, m_{1d} = 1,8%, m_{1D} = 3,2%;

n_1 – число неправильно забракованных изделий в процентах от числа годных, n_{1d} = 2,5%, n_{1D} = 7,2%;

c_1 – вероятностная величина выхода измеряемого параметра за каждую границу допуска у неправильно принятых изделий, $c_{1(1)}$ = 0,07·19 = 1,33 мкм, $c_{1(2)}$ = 0,16·19 = 3,04 мкм.

Полученные данные по результатам расчетов параметров разбраковки при использовании выбранных средств измерений вала и отверстия посадки втулки на вал $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}019\\ \overline{+0{,}072}\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$ сведем в таблицу 3.1.

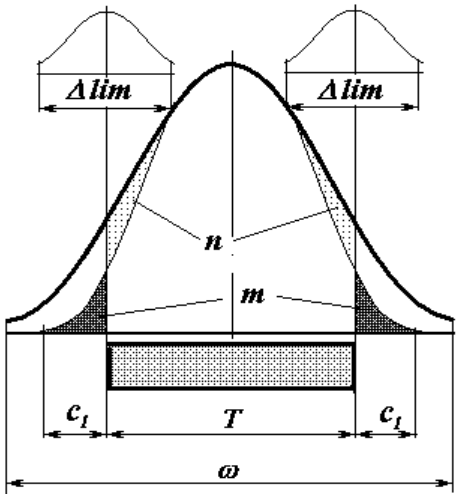

Рисунок 3.7 – Схема допускового контроля [56]

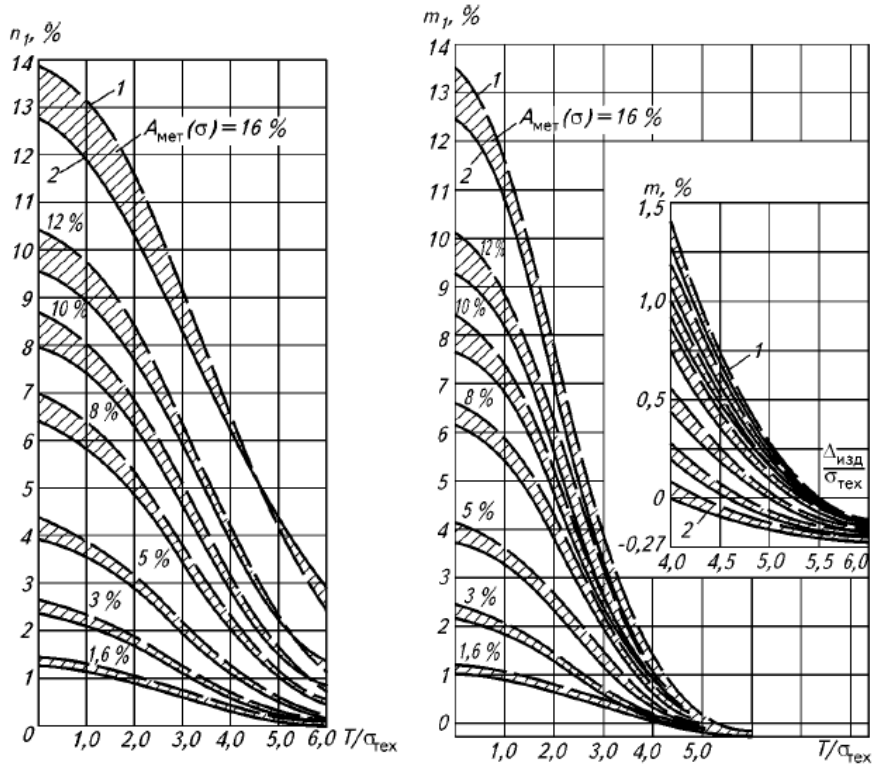

Рисунок 3.8 – График для определения количества неправильно принятых деталей (m_1, %) от количества принятых, и неправильно забракованных деталей (n_1) от количества годных, в зависимости от $A_{мет}$ (δ) и $T/\sigma_{тех}$ [96]

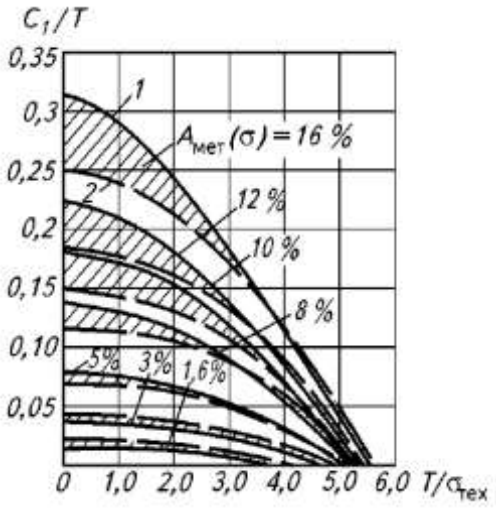

Рисунок 3.9 – График для определения предельной величины выхода размера за границу поля допуска от количества принятых деталей (c), в зависимости от $A_{мет}$ (δ) и $T/\sigma_{тех}$ [96]

Таблица 3.1 – Характеристики выбранных средств измерений валов и отверстий, образующих соединение $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}019\\ \hline +0{,}072\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение, для средства измерений	
			вала $\varnothing 50{,}5s6$	отверстия $\varnothing 50{,}5H6$
Средство измерений	-	-	Скоба рычажная СРП-75-0,001	Нутромер индикаторный электронный НИЦ повышенной точности
1. Диапазон измерений	ДИ	мкм	50-75	50-100
2. Цена деления	ЦД	мм	0,001	0,001
2. Погрешность измерений	Δlim	мкм	±2,5	±5
3. Коэффициент точности измерений	$A_{\text{мет}}(\sigma)$	%	6,6	13,2
4. Среднеквадратическое отклонение погрешности измерения	$\sigma_{\text{мет}}$	мкм	1,25	2,5
5. Допуск размера	T	мкм	19	19
6. Число неправильно принятых изделий	m_1	%	1,8	3,2
7. Число неправильно забракованных изделий	n_1	%	2,5	7,2
8. Вероятностная величина выхода измеряемого параметра за границу допуска	c_1	мкм	1,33	3,04

Таким образом выбраны средства измерений для контроля вала и отверстия, образующих посадку тонкостенной втулки на вал $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}019\\ \hline +0{,}072\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$. Параметры разбраковки имеют достаточно малые значения, но рекомендуется использовать сплошной контроль, так как имеет место вероятный выход размеров за границу поля допуска.

3.5 Выбор средств измерений для контроля поверхности вала после восстановления

Для проведения контроля средства измерения выбираются по классическому условию (3.6).

Для наружного диаметра фланца (выходной вал коробки перемены передач) $d_{\text{п}} = \varnothing 100h10(_{-0,14})$ имеем T = 140 мкм и δ = ± 30 мкм [96].

Для первичного вала коробки передач $d_{\text{п}} = \varnothing 52h10(_{-0,12})$ имеем T = 120 мкм и δ = ± 30 мкм [96].

Таким образом, допускаемая погрешность измерений одинакова и по значению δ = ± 30 мкм следует выбирать средства измерений валов.

По условию (3.6) выбираем следующие средства измерений, причем первое – с погрешностью, которая ближе к допускаемой; второе – точнее:

1) Микрометр гладкий МК-75 и МК-100 при работе в руках, Δlim = ±15 мкм;

2) Рычажный микрометр МР-75-0,002 и МР-100-0,002 при работе в руках, Δlim = ±13 мкм.

Таким образом выбраны средства измерений для контроля вала после восстановления. Для повышения точности измерений рекомендуется использовать для контроля размера наружного диаметра фланца под манжету $\varnothing 100h10(_{-0,14})$ рычажный микрометр МР-100-0,002, а для контроля диаметра под манжету первичного вала коробки передач – рычажный микрометр МР-75-0,002. Погрешность средств измерений приведена для условий работы в руках.

3.6 Контроль внутреннего диаметра манжет

Для определения внутреннего диаметра манжеты в исследованиях использовался двухкоординатный измерительный прибор ДИП-6 с оптико-электронной измерительной системой НИИК-890, рисунок 3.10.

Рисунок 3.10 – Контроль внутреннего диаметра манжеты

3.7 Выводы

1. Выявлено, что износ поверхности вала под манжету обычно равномерный по всей площади контакта, и имеет вид узкой полоски. Для дефектации поверхности вала под манжету предложено использовать микрометр со специальными вставками или с острыми наконечниками.

2. Разработаны методики измерений размеров валов при дефектации и для контроля качества восстановленных поверхностей валов под втулку и при обработке под ремонтные размеры.

3. Для условий восстановления поверхности вала с помощью использования тонкостенных втулок вала выбраны средства измерений обработанной под втулку поверхности вала ∅50,5*s*6 – скоба рычажная СРП- 75-0,001 повышенной точности с величиной отсчета 0,001 мм, а для отверстия втулки ∅50,5*H*6 – нутромер индикаторный электронный НИЦ повышенной точности 50-100 0,001.

4. Для контроля поверхности вала после восстановления выбраны средства измерений:

– для наружного диаметра фланца $d_{\text{п}}$ = ∅100*h*10($_{-0,14}$) – рычажный микрометр МР-100-0,002;

– для первичного вала коробки передач $d_{\text{п}} = \varnothing 52h10(_{-0,12})$ рычажный микрометр МР-75-0,002.

5. Для определения внутреннего диаметра манжеты рекомендовано использовать двухкоординатный измерительный прибор ДИП-6 с оптико-электронной измерительной системой НИИК-890, погрешность измерений которого формируется микровинтами движения стола в горизонтальном направлении.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Надежность современных уплотнительных узлов сельскохозяйственной техники недостаточна. Вследствие износа поверхности вала и манжеты при эксплуатации уменьшаются натяги в подвижном соединении, что приводит к началу утечек и отказу узла. Утечки технических жидкостей в агрегатах составляют 20...30 % от общего числа отказов, в межремонтный период отказы уплотнений встречаются в 1,5 раза чаще, чем у новой техники. При ремонте сельскохозяйственной техники все уплотнения подлежат замене и от 10 до 80 % сопряженных с ними деталей требуют замены или восстановления [66, 82]. Величина износа небольшая, но процесс восстановления рабочей поверхности вала имеет определенные показатели трудоемкости, фондоемкости и энергоемкости, что приводит к увеличению суммарных затрат на восстановление вала, хотя замена вала на новый в большинстве случаев обходится потребителю дороже, чем его восстановление. При этом приходится еще нести экономические потери, связанные с простоем техники из-за отсутствия запасных частей на складе предприятия.

Вопросами обеспечения долговечности уплотнительных узлов при ремонте сельскохозяйственной техники занимались такие ученые, как Баусов А.М. [107, 106, 7, 8, 6], Ерохин М.Н. [29, 30, 28], Леонов О.А. [66, 65, 62], Мельников О.М. [82, 80, 77, 79], Левицкий Ю.А. [58], Юрченко Н.И. [41], Касавченко Е.В. [27], Попов В.Н. [93] и другие ученые.

Дорогостоящие методы ремонта, такие как наплавка под слоем флюса или в среде углекислого газа в настоящее время не применяются, так как ремонтное производство утратило массовость – техника стала надежнее, отказов стало меньше и при ремонте чаще всего стали применяться наиболее простые и дешевые средства восстановления деталей, такие как замена на новую, обработка под ремонтный размер или постановка дополнительной детали – компенсатора. Рассмотрим применение этих простых способов восстановления работоспособности уплотнительных узлов сельскохозяйственной техники.

4.1 Исследование точностных параметров соединения и его элементов

Фото первичного вала коробки передач ЯМЗ в сборе с роликовым подшипником приведено на рисунке 4.1. В таблице 4.1 представлены нормируемые точностные параметры первичного вала в соединении с манжетой 1.2–52×72–8. В таблице 4.2 представлены нормируемые точностные параметры валов и манжет 1.2–100х125–12 выходного вала (фланца) коробки передач ЯМЗ-239

Рисунок 4.1 – Фото первичного вала коробки передач ЯМЗ в сборе с роликовым подшипником

Таблица 4.1 – Параметры точности валов и манжет 1.2–52×72–8 первичного вала коробки передач [101]

Наименование измеряемого диаметра	Номинальный размер с отклонениями, мм	Допуск, мм	Размер предельно допустимый без ремонта, мм
Вал	$52_{-0,12}$	0,12	57,7
Отверстие манжеты	$52^{-2,0}_{-3,0}$	1,0	*

*при ремонте все манжеты заменяются на новые

На рисунке 4.2 показаны места дефектации первичного вала коробки передач ЯМЗ с указанием видов дефектов.

На рисунке 4.3 представлен эскиз выходного вала - соединения фланца с манжетой коробки передач ЯМЗ-239.

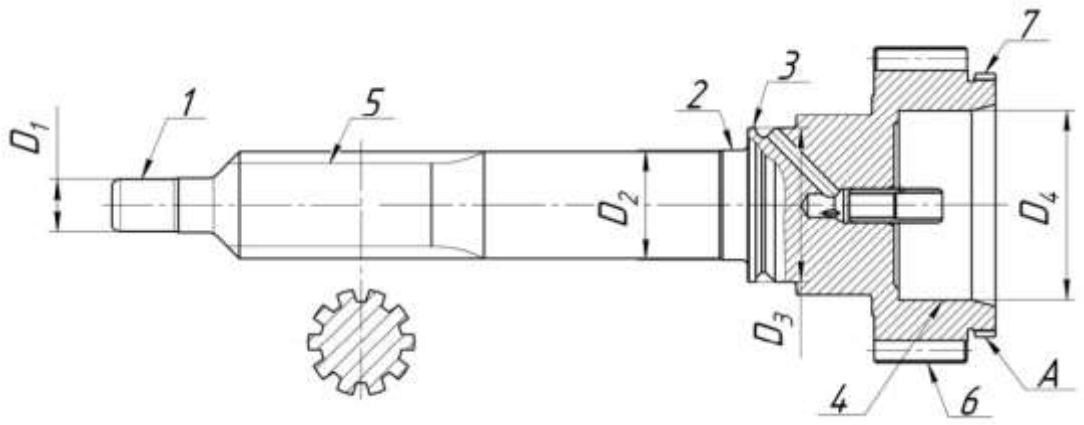

Рисунок 4.2 – Ремонтный эскиз первичного вала коробки передач ЯМЗ с указанием дефектов:

1 – Износ шейки под передний подшипник; 2 – износ шейки под манжету; 3 – износ поверхности под забор масла; 4 – износ выточки под передний подшипник вторичного вала; 5 – износ шлиц под ведомый диск сцепления; 6 – износ или поломка основного зубчатого венца; 7 – износ или поломка шлиц под ступицу синхронизатора 4-й передачи

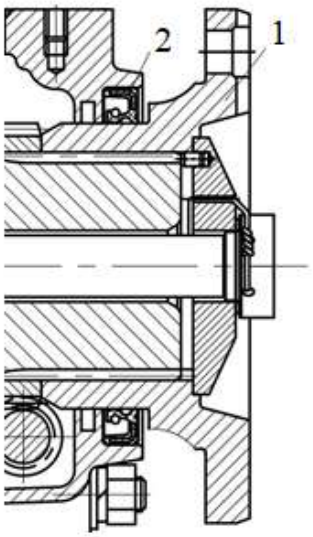

Рисунок 4.3 – Эскиз соединения фланца с манжетой коробки передач ЯМЗ:

1 – фланец; 2 – манжета

Таблица 4.2 – Параметры точности валов и манжет 1.2–100х125–12 выходного вала (фланца) коробки передач ЯМЗ-239 [101]

Наименование измеряемого диаметра	Номинальный размер с отклонениями, мм	Допуск, мм	Размер предельно допустимый без ремонта, мм
Вал	$100h10(_{-0.14})$	0,14	99,7
Отверстие манжеты	$100^{-2.0}_{-3.0}$	1,0	*

*при ремонте все манжеты заменяются на новые

4.2 Система селекции ремонтных размеров вала и подбор манжет

4.2.1 Реализация системы селекции ремонтных размеров вала и подбор манжет для первичного вала КПП ЯМЗ

Как видно из таблицы 4.1, необходимо обеспечить заданные натяги в соединении при ремонте. Но исходя из данных, видно, что если применять допустимый без ремонта размер, то натяги будут в пределах 1,7–3,0 мм. При этом нарушается граница наименьшего конструктивного натяга на 0,16 мм. Износ наружной поверхности вала в виде фланца контролируется при дефектации и находится в пределах 0,1–0,5 мм. Таким образом часть фланцев будет забракована из-за нарушения и этой границы от 0,3 до 0,5 мм.

Долговечность соединения «вал-уплотнение» обеспечивается заданными величинами натягов, получаемых при сборке. При эксплуатации происходит уменьшение натягов подвижного соединения из-за износа поверхности вала и манжеты, что приводит к началу утечек и отказу соединения.

В коробке передач двигателя ЯМЗ допуск на наружный диаметр вала равен 0,12 мм, а допуск отверстий манжет составляет 1 мм (таблица 1), поэтому до выведения следов износа можно обрабатывать валы с сохранением параметров точности и твердости (твердость поверхности вала HRC 30...50) на малую глубину до 0,5 мм путем финишного шлифования под ремонтный размер.

На основании п. 2.1 можно определить ремонтный размер вала [66], используя зависимость

$$d_{\text{РР}} = (d_{\text{n}} + es - e) - \frac{2 \cdot \beta \cdot U}{1 + \beta}, \qquad (4.1)$$

где d_n – номинальный диаметр вала, мм; es – верхнее отклонение, мм; $\beta = U_{\max} / U_{\min}$ – коэффициент неравномерности износа; e – диаметральный припуск на отработку, мм; $U_{\max}$ и $U_{\min}$ – наибольший и наименьший износ на сторону; $U = U_{\max} + U_{\min}$ – диаметральный межремонтный износ вала, мм.

Валы, обработанные под ремонтный размер, рассчитанный по формуле (1), соединяют с новыми манжетами. При этом в полученных соединениях не будет обеспечен наименьший конструктивный натяг, необходимый для обеспечения долговечности соединения.

При единичном и мелкосерийном производстве обычно применяется сплошная дефектация валов, поэтому рекомендуется использовать методику комплектации соединений путем использования группы ремонтных размеров (ГР). Число ремонтных размеров в группе можно определить следующим образом:

$$n = \frac{\omega_{d\,изн}}{T_d + (m - ei)}, \qquad (4.2)$$

где m – шаг между ремонтными размерами, ei – наименьшее отклонение вала, мм.

Для обеспечения равенства натягов нового и восстановленного соединения, манжеты к валам ремонтных размеров должны подбираться по внутреннему диаметру. Верхние отклонения от номинального размера манжет, устанавливаемых на валы ремонтных размеров, определяем по формуле [66]:

$$ES'_{\max} = ES_{\max} - (d_{\text{n}} - d_{\text{РР}}). \qquad (4.3)$$

Рассмотрим предлагаемую методику комплектования на примере.

Для исследований были отобраны 100 изношенных первичных валов коробки передач ЯМЗ-239 и 100 новых манжет 1.2–52×72–8. Проведены измерения изношенной поверхности вала под манжету, и внутренних диаметров отверстий манжет (таблица 4.3, рисунок 4.4, 4.5).

Таблица 4.3 – Параметры рассеяния диаметров изношенных валов и новых манжет

Параметры распределения	Манжеты (новые)	Валы (изношенные)
Среднее арифметическое, мм	49,5875	51,806
Среднее квадратическое отклонение, мм	0,177	0,109
Зона рассеяния, мм	1,060	0,655

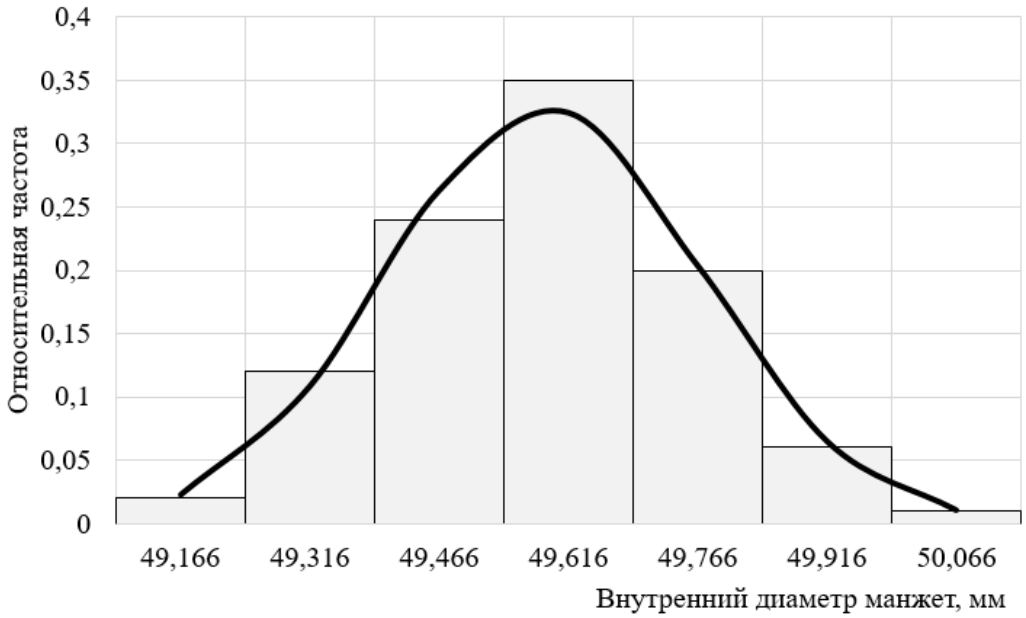

Рисунок 4.4 – Распределение внутренних диаметров новых манжет

Из рисунка 4.3 видно, что распределение внутренних диаметров новых манжет находится в пределах допуска и все измеренные мажеты являются годными.

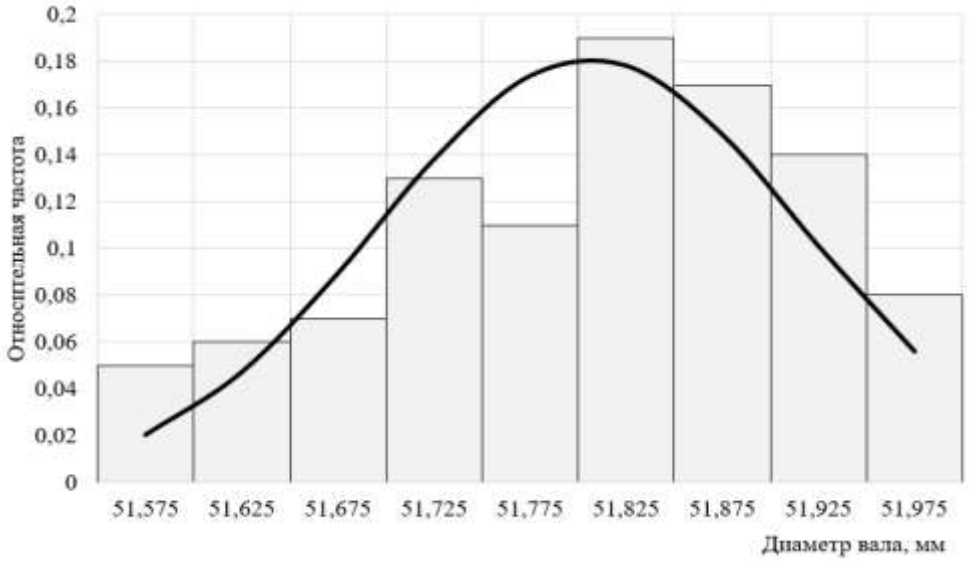

Рисунок 4.5 – Распределение изношенной поверхности вала под манжету

Из рисунка 4.5 видно, что износ поверхности вала под манжету достигает величины 0,5 мм, но большая часть распределена ближе к номинальному размеру. Вероятность появления валов, имеющих износ поверхности под манжету менее допустимого 51,7 мм (таблица 4.1) составила 33%. При сборке с новыми манжетами разброс натягов в пределах ±3σ составит от 1,7 мм до 3 мм, при этом граница наименьшего натяга, равного 2 мм, будет нарушена у 15% соединений. Остальные 67% валов могут быть обработаны под ремонтный размер 51,4 мм, определенный по формуле (1) – до выведения следов износа с учетом припуска на обработку. В этом случае, в соединиях новых манжет с валами, обработанными под ремонтный размер, разброс натягов в пределах ±3σ составит от 1,6 мм до 3 мм, при этом граница наименьшего натяга равного 2 мм будет нарушена у 20% соединений.

Применим предлагаемую методику комплектации, для этого рассчитаем число ремонтных размеров валов в группе по формуле (2) и определим отклонения внутренних диаметров манжет по критерию сохранения наименьшего конструктивного натяга для каждого ремонтного размера. В результате расчета получим $n = 3{,}7$, поэтому примем $n = 4$ и составим комплектовочную таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Комплектовочная таблица для соединения «вал-уплотнение»

Ремонтный размер, мм		Маркировка	Припуск на обработку	Размеры подбираемых манжет, мм
при расчете по допуску	при расчете по зоне рассеяния			
$51{,}8_{-0{,}12}$	$51{,}8_{-0{,}072}$	1Р	0,05	$52^{-2{,}2}_{-3{,}0}$
$51{,}7_{-0{,}12}$	$51{,}7_{-0{,}072}$	2Р	0,05	$52^{-2{,}3}_{-3{,}0}$
$51{,}6_{-0{,}12}$	$51{,}6_{-0{,}072}$	3Р	0,05	$52^{-2{,}4}_{-3{,}0}$
$51{,}5_{-0{,}12}$	$51{,}5_{-0{,}072}$	4Р	0,05	$52^{-2{,}5}_{-3{,}0}$

Используя характеристики полученных рассеяний, таблица 4.3, определены вероятности появления валов и манжет в каждой размерной группе при комплектовании, и рассчитаны вероятности появления соединений по каждой группе (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Вероятности появления валов и манжет, попадающих в ремонтную группу при комплектовании

Ремонтная группа	Диапазоны размеров валов, мм	Вероятность, появления валов	Диапазоны размеров манжет, мм	Вероятность появления манжет
1Р	51,85 и более	0,34	49,0…49,8	0,88
2Р	51,85…51,75	0,35	49,0…49,7	0,73
3Р	51,75…51,65	0,23	49,0…49,6	0,53
4Р	51,65 и менее	0,07	49,0…49,5	0,31

Из таблицы 4.5 видно, что при применении предлагаемой методики вероятность появления соединений с гарантированным натягом не менее 2 мкм составляет 88% (так на 100% валов, обработанных под ремонтные размеры, хватает 88% манжет), что свидетельствует о незавершенной сборке.

Для повышения процента сборки соединений следует закупать на 12…15 % больше манжет, чем обрабатываемых под ремонтный размер валов. Остальные манжеты (12%) могут быть собраны с новыми валами, которые заменяют выбракованные валы в процессе дефектации по другим причинам.

4.2.2 Реализация системы селекции ремонтных размеров вала и подбор манжет для фланца КПП ЯМЗ

Рассмотрим предлагаемую методику и на примере подбора манжет под ремонтные размеры фланцев коробки передач ЯМЗ, для этого назначим четыре ремонтных размера по диапазону износа и определим отклонения внутренних диаметров манжет по критерию сохранения наименьшего конструктивного натяга. При этом учтем тот факт, что для обеспечения требуемой для резиновых армированных манжет шероховатости поверхности необходимо проводить такую финишную обработку, как чистовое шлифование, при котором с запасом достигается точность по 8-му квалитету, где допуск на размер при диаметре 100 мм равен 54 мкм. В результате расчета и ввода нового квалитета составим комплектовочную таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Комплектовочная таблица для соединения фланцев с манжетами коробки передач ЯМЗ-239

Размер вала (фланца) с отклонениями, мм	Маркировка	Отклонения подбираемых манжет, мм	Натяг в соединении, мм
$100h8(_{-0.054})$	Н	$100^{-2.0}_{-3.0}$	+1,946…+3,000
$99{,}8_{-0.054}$	1Р	$100^{-2.2}_{-3.0}$	+1,946…+3,000
$99{,}7_{-0.054}$	2Р	$100^{-2.3}_{-3.0}$	+1,946…+3,000
$99{,}6_{-0.054}$	3Р	$100^{-2.4}_{-3.0}$	+1,946…+3,000
$99{,}5_{-0.054}$	4Р	$100^{-2.5}_{-3.0}$	+1,946…+3,000

Наименьший натяг (таблица 4.6) в соединении будет равен 1,946 мм, что выше нормируемого значения 1,86 мм, в результате предлагаемой комплектации и обработки вала под рациональный допуск по 8-му квалитету достигается увеличение наименьшего натяга, что положительно отразится на долговечности отремонтированного соединения.

При среднесерийном ремонтном производстве, когда необходимо достичь определенного такта производства и унификации процессов, можно использовать только второй ремонтный размер $99{,}7_{-0.054}$, и заранее подбирать манжеты только по одному виду верхнего отклонения. Остальные манжеты из партии могут быть соединены с новыми фланцами, которые будут идти на замену выбракованных в процессе дефектации по другим причинам (износ шлицев, износ отверстий и т.д.).

Таким образом, разработана и апробирована методика комплектования деталей соединений «вал-уплотнение», включающая в себя расчет числа групп и назначение ремонтных размеров вала и подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении, которая применима для восстановления всех соединений типа «вал-уплотнение», где уплотнением является стандартная резиновая армированная манжета (ГОСТ 8752-79). Перед расчетом ремонтных размеров необходимо провести анализ величин износа валов.

4.3 Применение метода установки ремонтных втулок при восстановлении соединений «вал - уплотнение»

Одним из способов восстановления изношенной поверхности под номинальный размер является метод установки ремонтных втулок [54]. Этот метод нашел широкое применение при ремонте различных деталей, в том числе может быть использован и для восстановления поверхности вала под манжету. Авторизованный дистрибьютер SKF реализует тонкостенные втулки толщиной 0,28±0,05 мм, которые изготовлены из запатентованного материала, имеющие высокие характеристики пластичности и прочности, также этот материал обладает хорошей износостойкостью [94], рисунок 4.6.

Рисунок 4.6 – Применение втулки SKF под манжету

Но данная технология вызывает определенные вопросы. Так, для входного вала КПП ЯМЗ 239, имеющего диаметр под манжету $\varnothing 52h10\ (_{-0,12})$, размер внутреннего диаметра втулки SKF с маркировкой CR 99204 будут составлять 51,99 мм. Возникает вероятность проворачивания втулки на валу из-за наличия зазора, хотя на поверхность вала можно нанести герметик или эпоксидный клей. Но самый главный недостаток такой конструкции - прирост диаметра вала на 0,56±0,1 мм, а т.к. резиновая армированная манжета имеет пружину, давление кромки на вал возрастет и износ манжеты увеличится.

Установка тонкостенных ремонтных втулок, обработанных под номинальный размер, таких вопросов не вызывает. Поверхность втулки при желании можно моделировать по материалу, твердости, шероховатости поверхности, обработке ФАБО, ППД и др. способами. Под такие втулки необходимо обрабатывать вал на обоснованный меньший размер и формировать посадку втулки на вал с натягом. Метод установки ремонтных втулок нашел широкое применение при ремонте различных деталей, однако при восстановлении соединений «вал – уплотнение» он не используется.

Установка втулок намного экономичнее таких способов восстановления как наплавка и приварка контактной ленты, т.к. не расходуется электроэнергия и не приобретается дорогостоящее оборудование. Формирование поверхности вала происходит автоматически – упругая втулка «копирует» поверхность вала, п.2.2.

Поверхность втулки можно моделировать по твердости, шероховатости поверхности, обработке ППД, поэтому все вышеприведенные расчеты точности остаются актуальными и для данного способа восстановления.

Использование классической методики расчета натягов в соединении дает большие искажения в расчетах [80], поэтому целесообразно осуществлять расчеты натягов по безмоментной теории оболочек, где натяг определяется по формуле [125]:

$$N = \frac{p}{2}\left[\frac{D_1^2}{E_1 h_1} + \frac{D_2^2}{E_2 h_2}\right], \qquad (4.4)$$

где D_1 и D_2 – срединные диаметры, м; h_1 и h_2 – толщина каждой оболочки, м; E_1 и E_2 – модули упругости материала вала и втулки, Па.

Наименьшее давление $p_{\min}$ на контактируемых поверхностях, необходимое для передачи крутящего момента $M_{кр}$, можно определить по формуле [14, 123]

$$p_{\min} = \frac{2 \cdot \mathrm{M_{кр}}}{\pi \cdot d_н^2 \cdot l \cdot f}, \qquad (4.5)$$

где f – коэффициент трения; l – длина соединения, м; d – диаметр соединения, м.

Наибольшее давление $p_{\max}$ на контактируемых поверхностях, определяется по формуле [123]:

$$p_{\max} = \frac{2h}{D}\sigma_{\text{доп}}, \qquad (4.6)$$

где $\sigma_{доп}$ – предельное допускаемое давление, Па.

Предельные расчетные натяги должны быть скорректированы исходя из условий сборки. Методика приведена в п.2.2.

Выбор посадки осуществляется по условиям:

$$N_{\text{Cmax}} \le N_{\text{Tmax}}; \qquad (4.7)$$

$$N_{\text{Cmin}} \ge N_{\text{Tmin}}, \qquad (4.8)$$

где N_{Cmax} и N_{Cmin} – предельные стандартные натяги.

Для соединений «вал-уплотнение» первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 следует определять диаметр и толщину проектируемой тонкостенной втулки исходя из конструктивных особенностей вала. Вначале вал имеет диаметр 25 мм под подшипник, далее диаметр 50 мм под шлицевое соединение со сцеплением и далее 52 мм под уплотнение. Поэтому назначать обработку поверхности вала под уплотнения с целью формирования соединения с тонкостенной втулкой необходимо с учетом ступенчатой геометрии вала. Исходя из вышеизложенного для гарантированного прохода втулки через шлицевую поверхность вала при монтаже, ее внутренний диаметр должен быть не менее 50,5 мм.

Используя формулы (4.4) – (4.8), проведен расчет величин давлений, натягов и поправок для соединения тонкостенной втулки с первичным валом ∅50,5 коробки передач ЯМЗ-239, с целью формирования восстановленного соединения поверхности вала под манжету $\varnothing 52h10$. Исходные данные и результаты расчета сведены в таблицу 4.7, сравнение выбранных посадок показано на рисунке 4.7.

В результате расчета получены посадки, представленные на рисунке 4.7, откуда видно, что более жесткие условия по точности получаются при расчете посадки для соединения, где обе детали изготавливают по 6-му квалитету – $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\frac{+0{,}019}{+0{,}072}_{+0{,}053}\right)$. Также можно использовать посадку $\varnothing 50{,}5\frac{H7}{s6}\left(\frac{+0{,}030}{+0{,}072}_{+0{,}053}\right)$, что приведет к расширению поля допуска на обработку отверстия тонкостенной втулки и, следовательно, снизит себестоимость обработки втулки. Небольшое нарушение

границы наименьшего натяга в данном случае вполне допустимо, но при этом следует уменьшить силу резания при шлифовании втулки до 600 Н. Также можно не обрабатывать поверхность втулки, если она заранее будет изготовлена с заданной шероховатостью поверхности и радиальным биением в соответствии с требованиями к валам по ГОСТ 8752-79 [25] «Манжеты резиновые армированные для валов. Технические условия». Но при этом необходимо определить размер обработки с учетом последующей деформации материала, хотя в допуск 100 мкм все должно точно попасть.

Таблица 4.7 – Расчет натягов для соединений «вал – втулка»

Параметр	Ед. изм.	Обозначение	Значение для соединения «вал – уплотнение» ∅52*h*10
Диаметр соединения	м	d_n	0,052
Длина соединения	м	l	0,009
Толщина оболочки вала	м	h_1	0,026
Толщина оболочки втулки	м	h_2	0,00075
Диаметр вала (после обработки)	м	d_n	0,0505
Отношение *h/D*	–		0,015
Срединный диаметр втулки	м	D_2	0,05125
Срединный диаметр вала	м	D_1	0,026
Наибольшая сила резания при шлифовании	Н	$P_{рез}$	700
Коэффициент трения	–	f	0,1
Наибольший крутящий момент	Н·м	$M_{кр}$	8,75
Модуль упругости вала (Сталь)	Па	E_d	2E+11
Модуль упругости втулки (Сталь)	Па	E_D	2E+11
Предел текучести вала	Па	$[\sigma_T]_d$	363000000
Предел текучести втулки	Па	$[\sigma_T]_D$	363000000
Наименьшее давление	Па	$p_{r\min}$	2428192,62
Наибольшее допустимое давление	Па	$p_{\max}$	10782178,22
Наименьший расчетный натяг	мкм	$N_{P\min}$	21,42
Наибольший расчетный натяг	мкм	$N_{P\max}$	95,10
Шероховатость поверхности вала	мкм	R_{ad}	0,63
Шероховатость поверхности втулки	мкм	R_{aD}	1,25
Поправка на смятие шероховатости	мкм	ΔN_R	7,55
Рабочая температура	°С	t	–40 … +100
Наименьший технологический натяг	мкм	$N_{T\min}$	28,97
Наибольший технологический натяг	мкм	$N_{T\max}$	102,65
Стандартная посадка	–	–	50,5*H*6/*s*6 50,5*H*7/*s*6

Рисунок 4.7 – Сравнение выбранных посадок

На рисунке 4.8 показано соединение тонкостенной втулки с первичным валом коробки передач ЯМЗ-239, поверхность втулки обработана под номинальный размер $\varnothing 52h10(_{-0,12})$ и шероховатостью поверхности R_a = 0,32 мкм, в соответствии с требованиями нормативной документации.

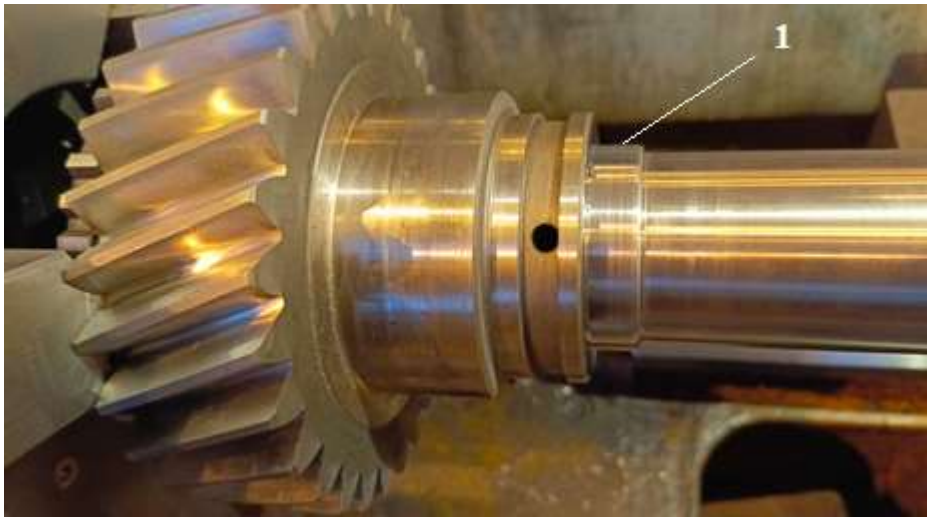

Рисунок 4.8 – Соединение тонкостенной втулки с первичным валом коробки передач ЯМЗ-239: 1 – установленная тонкостенная втулка

Таким образом, разработана методики расчета посадок с натягом, для восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенных втулок. Данная методика позволяет определять технологические натяги для фиксации тонкостенных втулок на валу с целью отсутствия возможности проворачиваемости

втулки относительно поверхности вала при эксплуатации уплотнительного соединения. Методика апробирована на соединении тонкостенной втулки с первичным валом коробки передач ЯМЗ-239. В результате расчётов определены размеры тонкостенной втулки, получен диапазон технологических натягов и выбраны посадки $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}019\\ \overline{+0{,}072}\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$ и $\varnothing 50{,}5\frac{H7}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}030\\ \overline{+0{,}072}\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$,

4.4 Обоснование верхнего отклонения вала при применении ремонтных втулок соединения «вал – уплотнение»

После сортировки и подбора манжет, часть манжет окажется невостребованными (допуск «невостребованных» манжет обозначен пунктиром. Возникает задача – как использовать данные манжеты? При использовании только способа обработки под ремонтный размер эти манжеты целесообразно устанавливать на новые валы. Но из схемы 4.7 видно, что наибольший натяг у таких соединений будет меньше положенного. А при использовании способа установки тонкостенных втулок есть возможность увеличить величину верхнего отклонения *es* до показанного на схеме 4.9 величины. Она определяется из формулы [66]:

$N_{max} = es - EJ$,

откуда $es = N_{max} + EJ$.

Для 4-го ремонтного размера наибольший натяг (таблица 4.7) N_{max} = 3 мм. Тогда получим: $es = 3 + (-2{,}4) = +0{,}6$ мм.

Таким образом, при использовании обработки под ремонтный размер, целесообразно «невостребованные» манжеты собирать вместе с валами, восстановленными методом установки ремонтной втулки.

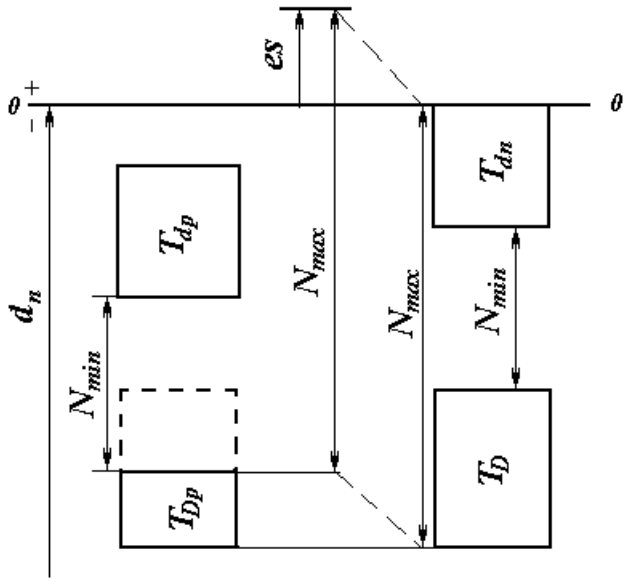

Рисунок 4.9 – Обоснование верхнего отклонения вала при применении ремонтных втулок (с целью сохранения наибольшего конструктивного натяга)

4.5 Выводы

1. Для соединения вала с манжетой первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 ∅52 мм при применении предлагаемой методики получено четыре ремонтных размера вала ($51{,}8_{-0{,}072}$, $51{,}7_{-0{,}072}$, $51{,}6_{-0{,}072}$, $51{,}5_{-0{,}072}$) и составлена комплектовочная таблица сборки валов с манжетами (соответственно $52^{-2{,}2}_{-3{,}0}$, $52^{-2{,}3}_{-3{,}0}$, $52^{-2{,}4}_{-3{,}0}$, $52^{-2{,}5}_{-3{,}0}$) с целью сохранения наименьшего натяга в соединении. Аналогично для фланца коробки передач ЯМЗ-239 ∅100 мм получено четыре ремонтных размера вала ($99{,}8_{-0{,}054}$, $99{,}7_{-0{,}054}$, $99{,}6_{-0{,}054}$, $99{,}5_{-0{,}054}$) и составлена комплектовочная таблица сборки валов с манжетами (соответственно $100^{-2.2}_{-3.0}$, $100^{-2.3}_{-3.0}$, $100^{-2.4}_{-3.0}$, $100^{-2.5}_{-3.0}$). В результате проведенного вероятностного анализа качества сборки соединений рекомендовано закупать на 15 % больше манжет, чем обрабатываемых под ремонтный размер валов.

2. При среднесерийном ремонтном производстве, когда необходимо достичь определенного такта производства и унификации процессов, можно использовать только второй ремонтный размер $\varnothing 51{,}7_{-0{,}072}$ для первичного вала и $\varnothing 99{,}7_{-0.054}$ для фланца, при этом заранее подбирать манжеты только по одному виду верхнего отклонения.

3. При повторном поступлении валов соединения «вал – уплотнение», обработанных под ремонтный размер, предложено использовать установку тонкостенных ремонтных втулок. В результате апробации методики расчета посадок тонкостенных втулок с целью восстановления поверхности первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 под манжету определены размеры тонкостенной втулки, получен диапазон технологических натягов и выбраны посадки $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}019\\ \overline{+0{,}072}\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$ и $\varnothing 50{,}5\frac{H7}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}030\\ \overline{+0{,}072}\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$,

5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

5.1 Методики расчета экономической эффективности

Оценка экономической эффективности играет ключевую роль в принятии управленческих и технических решений [70, 71, 72, 75]. Она позволяет провести анализ и сравнение различных проектов, определить их потенциальную прибыльность и принять обоснованные решения на основе полученных данных. Одним из важных аспектов оценки экономической эффективности является определение затрат. Существует несколько методов, которые могут быть использованы для оценки экономической эффективности [75]. При выборе подходящего метода оценки экономической эффективности необходимо учитывать особенности проекта и доступные данные [72, 75]. Оценка экономической эффективности не является одноразовым процессом, и регулярное проведение оценки позволяет отслеживать изменения в эффективности проекта и принимать соответствующие меры [75]. Например, если оценка показывает низкую прибыльность проекта, можно рассмотреть варианты оптимизации процессов или поиска альтернативных решений.

На сегодняшний день существуют три основные методики оценки экономической эффективности управленческих и технических решений. Первая из них – методика ЮНИДО (Организация Объединенных Наций по экономическому и промышленному развитию) [72, 75]. Эта методика была разработана в 1994 году и включает в себя методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Вторая методика, известная как «Методика-88», представляет собой комплексную оценку эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса [75]. Вместе с методическими рекомендациями и комментариями по их применению, эта методика является важным инструментом для оценки эффективности научно-технических проектов. Третья методика, известная как методика сравнительной экономической эффективности, применяется в условиях рыночной экономики для государственных предприятий и оценки проектов на народнохозяйственном уровне. Она

позволяет сравнивать различные проекты и выбирать наиболее эффективные варианты [71, 75].

Методика ЮНИДО и методика-88 применяются в частных и акционерных предприятиях, однако методика-88 рекомендуется особенно для предприятий с участием работников и является наиболее широко используемой для оценки эффективности научно-технических мероприятий. Она помогает определить, насколько успешно проект способствует научно-техническому прогрессу и приносит выгоду предприятию [71, 75].

Оценка экономической эффективности является важным шагом при принятии управленческих и технических решений. Благодаря этим методикам можно провести анализ и сравнение различных проектов, определить их потенциальную прибыльность и принять обоснованные решения на основе полученных данных.

Оценка экономической эффективности играет ключевую роль в процессе принятия управленческих и технических решений. Она позволяет провести анализ и сравнение различных проектов, определить их потенциальную прибыльность и принять обоснованные решения на основе полученных данных. Одним из важных инструментов, используемых для оценки экономической эффективности, является расчет инвестиционного дохода (ROI). Этот показатель позволяет определить, насколько успешно инвестиции в проект окупятся в течение определенного периода времени. Чем выше значение ROI, тем более прибыльным считается проект.

При оценке экономической эффективности необходимо учитывать не только финансовые показатели, но и другие факторы, такие как социальные и экологические. Ведь успешный проект должен быть не только прибыльным, но и соответствовать целям и ценностям организации, а также учитывать влияние на окружающую среду и общество.

Кроме того, при оценке экономической эффективности необходимо учитывать возможные риски и неопределенности. Для этого проводятся сценарный анализ и чувствительность проекта к изменению различных параметров. Это позволяет принять во внимание возможные изменения в экономической и политической

ситуации, а также конкурентную среду. В итоге, оценка экономической эффективности является неотъемлемой частью процесса принятия решений. Она позволяет оценить потенциальные риски и прибыльность проекта, а также учесть социальные и экологические факторы. Такой анализ помогает принять обоснованные решения и достичь успеха в бизнесе. В связи с этим целью исследования является оценка экономический эффективности обработки вала под ремонтный размер.

5.2 Основные элементы расчета экономического эффекта от внедрения технологического процесса

Применительно к отраслям агропромышленного комплекса, экономический эффект мероприятий научно-технического прогресса (НТП) целесообразно рассчитывать, учитывая использование продукции в течение определенного периода времени. Для этого используется методика, изложенная в источнике [75]. Суммарный экономический эффект за годы расчетного периода определяется по формуле [71, 75]:

$$Э_т = Р_т - З_т , \quad (5.1)$$

где $Р_т$ – стоимостная оценка результатов осуществления мероприятия НТП за расчетный период, $З_т$ – стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятия НТП за расчетный период.

При расчете экономического эффекта необходимо учесть различные временные факторы, чтобы привести затраты и результаты к единому моменту времени, который называется расчетным годом. Обычно в качестве расчетного года выбирают календарный год, предшествующий началу выпуска продукции или использованию новой технологии, методов организации труда или управления.

Чтобы привести разновременные затраты и результаты всех лет периода реализации мероприятия к расчетному году, используется коэффициент α_t [71, 75]:

$$\alpha_t = (1 + E_H)^{t_p - t}, \quad (5.2)$$

где E_H – норматив приведения разновременных затрат и результатов, который численно равен нормативу эффективности капитальных вложений, t_p – расчетный год, t – год, на который приводятся затраты и результаты.

Для определения стоимостной оценки результатов за расчетный период применяется следующая формула [71, 75]:

$$\mathrm{P_T} = \sum_{t=t_n}^{t_к} P_t \cdot \alpha_t \,, \qquad (5.3)$$

где P_t – стоимостная оценка результатов в t-м году расчетного периода; $t_н$ – начальный год расчетного периода; $t_к$ – конечный год расчетного периода.

Важно отметить, что определение начального и конечного года расчетного периода имеет большое значение для планирования и оценки эффективности мероприятий НТП (научно-технической программы). Начальный год обычно связан с началом финансирования проекта, а конечный год – с завершением всех этапов жизненного цикла мероприятия. Однако, в ряде случаев, конечный год расчетного периода может быть определен исходя из нормативных сроков обновления производства. Это означает, что если есть требование обновить определенное производство каждые, например, 5 лет, то конечный год расчетного периода будет соответствовать этому сроку. Такое определение конечного года расчетного периода в соответствии с нормативными сроками обновления производства имеет смысл, поскольку позволяет учесть не только финансовые исходы, но и обновление технической базы предприятий. Это помогает поддерживать конкурентоспособность и эффективность народного хозяйства. При определении конечного года расчетного периода также важно учесть все этапы жизненного цикла мероприятия НТП. Это включает в себя разработку, освоение, серийное производство и использование результатов в народном хозяйстве. Каждый из этих этапов требует времени и ресурсов, и их продолжительность может варьироваться в зависимости от сложности и масштаба мероприятия. Таким образом, определение конечного года расчетного периода должно учитывать все вышеперечисленные факторы, чтобы обеспечить адекватную оценку эффективности мероприятий НТП. Это позволит правильно планировать и организовывать научно-технические программы, способствуя развитию народного хозяйства и повышению его конкурентоспособности.

Это описание методики расчета экономического эффекта мероприятий НТП в агропромышленном комплексе. Такой подход позволяет учесть различные факторы, связанные с временными изменениями затрат и результатов, и определить общий экономический эффект за период реализации мероприятий.

Стоимостная оценка результатов определяется как сумма основных ($Р_о$) и сопутствующих ($Р_с$) результатов. Основные результаты мероприятий могут быть оценены с использованием двух подходов.

В первом подходе, для новых предметов труда, стоимостная оценка основных результатов определяется следующим образом [71, 75]:

$$P_t^0 = \frac{А_t}{У_t} \cdot Ц_t, \quad (5.4)$$

где $А_t$ – объем применения новых предметов труда в году t; $У_t$ – расход предметов труда на единицу продукции, производимой с их использованием в году t, $Ц_t$ – цена единицы продукции, с учетом эффективности ее применения, выпускаемой с использованием новых предметов труда в году t.

Во втором подходе, для средств труда длительного пользования, стоимостная оценка основных результатов определяется следующим образом [71, 75]:

$$P_t^0 = Ц_t \cdot А_t \cdot В_t, \quad (5.5)$$

где $Ц_t$ – цена единицы продукции, с учетом эффективности ее применения, производимой с помощью новых средств труда в году t, $А_t$ – объем применения новых средств труда в году t; $В_t$ – производительность средств труда в году t.

Затраты на реализацию мероприятия НТП за расчетный период включают затраты при производстве и использовании продукции. Они могут быть разделены на две категории: затраты при производстве продукции за расчетный период и затраты при использовании продукции без учета затрат на приобретение самой продукции за расчетный период.

Затраты при производстве (использовании) продукции рассчитываются единообразно. Они включают в себя затраты на все ресурсы в году t, включая затраты на получение сопутствующих результатов.

Для мероприятий НТП, характеризующихся стабильностью технико-экономических показателей по годам расчетного периода, можно рассчитать экономический эффект [71, 75]:

$$Э_Т = \frac{Р_Г - З_Г}{R_р + Е_Н}, \quad (5.6)$$

где $Р_Г$ – неизменная по годам расчетного периода стоимостная оценка результатов мероприятий НТП, включающая основные и сопутствующие результаты; $З_Г$ – неизменные по годам расчетного периода затраты на реализацию мероприятия НТП; $R_р$ – норма реновации основных фондов при использовании продукции, определяемая с учетом фактора времени.

Проведем расчет экономической эффективности внедрения технологического процесса обработки под ремонтный размер валов под резиновые армированные манжеты.

5.3 Расчет экономического эффекта от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал-уплотнение» методом обработки под ремонтный размер

Для определения экономической эффективности технологического процесса обработки вала под ремонтный размер необходимо сравнить затраты на его реализацию с затратами на покупку нового вала коробки передач силовых агрегатов ЯМЗ.

При анализе экономической эффективности технологического процесса необходимо учесть все аспекты, связанные с затратами. Важно учесть не только прямые затраты, такие как заработная плата, материалы и приобретение ремонтного фонда, но и косвенные расходы, включающие организацию производства и управление. Затраты на заработную плату являются одним из ключевых факторов, влияющих на экономическую эффективность процесса.

Необходимо учесть затраты на оплату труда работников, занятых в процессе производства, а также возможные премии и дополнительные выплаты. Оптимизация рабочего времени и повышение производительности могут снизить затраты на заработную плату и улучшить эффективность процесса.

Материалы также играют важную роль в определении экономической эффективности. Необходимо учесть стоимость закупки материалов, их расход в процессе производства и возможные потери или брак. Анализ структуры затрат на материалы может помочь в определении оптимального поставщика или варианта использования материалов для снижения расходов.

Приобретение ремонтного фонда также является важным аспектом, который нельзя игнорировать при оценке экономической эффективности. Ремонтный фонд включает в себя инструменты, оборудование и запасные части, необходимые для обслуживания и ремонта технологического процесса. Расходы на приобретение и обновление ремонтного фонда должны быть учтены при сравнении различных вариантов.

Организация производства и управление также могут существенно влиять на экономическую эффективность. Необходимо учесть затраты на аренду или покупку производственного помещения, обслуживание оборудования, энергозатраты и другие операционные расходы. Оптимизация производственных процессов и улучшение системы управления могут привести к снижению затрат и повышению эффективности.

После учета всех затрат, связанных с заработной платой, материалами, приобретением ремонтного фонда и организацией производства, необходимо проанализировать полученные данные и сравнить их с затратами на покупку нового вала. Это позволит принять решение о выборе наиболее выгодного варианта. Однако при оценке экономической эффективности технологического процесса необходимо также учитывать другие факторы, такие как качество продукции, сроки производства, конкурентоспособность на рынке и потребности потребителей. Возможно, наиболее выгодный вариант с точки зрения затрат может не соответствовать требованиям рынка или не обеспечивать необходимое качество. Поэтому важно принимать во внимание все аспекты при принятии решения о выборе оптимального технологического процесса.

Результаты трудоемкости и затрат на процесс обработки вала под ремонтный размер представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Себестоимость процесса обработки вала под ремонтный размер

Операция	Трудоемкость, чел.-ч	Затраты на заработную плату, руб.	Затраты на материалы, руб.	Себестоимость выполнения, руб.
Очистка вала	0,09045	476,22	319,07	795,29
Внешний осмотр	0,00243	12,79	8,57	21,37
Установка и снятие вала	0,00162	8,53	5,71	14,24
Проверка размера вала индикаторной скобой	0,001485	7,82	5,24	13,06
Механическая обработка (шлифование)	0,027	142,16	95,24	237,40
Полировка и доводка	0,06345	334,06	223,82	557,89
Сборка	0,003	15,80	10,58	26,38
Контроль	0,0018	9,48	6,35	15,83
Итого	0,191235	1006,85	674,59	1681,44

Себестоимость обработки вала под ремонтный размер составила 1681,44 руб. Стоимость нового вала – 8250 руб. В связи с этим обработка под ремонтный размер является экономически выгодным.

Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала определяется по выражению (5.1). Для этого адаптируем формулы (5.3) и (5.5) для наших условий, в результате получим [71, 75]:

$$Р_т = \sum_{tн}^{tк} Ц_t \cdot W_t \cdot \alpha_t , \quad (5.7)$$

где $Ц_t$ − цена нового вала в году t; W_t − средняя программа восстановления валов на предприятии в t-м году (W_t = 1000 шт.).

В свою очередь, можно преобразовать формулу (5.5) [71, 75]:

$$З_Т = \sum_{tн}^{tк}(W_t \cdot C_t + K_t - Л_t) \cdot \alpha_t , \quad (5.8)$$

где C_t − себестоимость восстановления вала в t году.

Единовременные затраты составили K_t = 3952 тыс. р. Они складываются из покупки и установки универсального круглошлифовального станка 3У132ВМ, комплекта оснастки, универсального токарно-винторезного станка модели 1К62. Для очистки валов используется имеющаяся на предприятии моечная машина ОМ−4267.

Исходные данные и результаты расчета экономического эффекта от внедрения технологического процесса представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчета экономического эффекта от внедрения технологического процесса обработки вала соединения «вал − уплотнение» под ремонтный размер

Показатели	Значение, тыс. руб.	
	Базовый год	Проектный год
Стоимостная оценка результатов с учетом фактора времени	8250	8250
Затраты по годам с учетом фактора времени	5633	1681
Экономический эффект	2617	6569

Технологический процесс восстановления вала обработкой под ремонтный размер является эффективной альтернативой покупке новых валов. Это позволяет существенно сэкономить средства.

Однако, помимо сокращения затрат на приобретение новых валов, внедрение этого технологического процесса также приводит к увеличению долговечности соединений «вал-уплотнение». Это означает, что валы, подвергнутые обработке, становятся более надежными и долговечными. Для определения годового экономического эффекта, возникающего только благодаря повышению долговечности соединений «вал-уплотнение», проводится расчет по специальной формуле.

Таким образом, внедрение технологического процесса восстановления вала обработкой под ремонтный размер не только позволяет сэкономить средства на приобретение новых валов, но и увеличивает долговечность соединений «вал-уплотнение». Это приводит к дополнительному годовому экономическому эффекту, который помогает оправдать инвестиции и обеспечить долгосрочную надежность оборудования.

Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» обработкой под ремонтный размер в базовом году составит 2617 тыс. рублей, а в проектном – 6569 тыс. рублей при программе ремонта 1000 ед. валов в год.

5.4 Расчет экономического эффекта от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал-уплотнение» методом установки тонкостенной втулки

После обработки вала под заданные отклонения на вал монтируют ремонтную деталь – втулку с заданными размерами. Соединение производят путём запрессовки с соответствующим натягом или нагревом втулки. Втулки приобретаются у проверенных поставщиков, так как себестоимость изготовления втулки на специализированном заводе значительно ниже. Стоимость приобретаемой втулки для формирования посадки ∅50,5*H*6/s6 составляет 325 руб. Таким образом, стоимость ремонта вала составит 2001,44 руб. Стоимость нового вала – 8250 руб.

Исходные данные и результаты расчета экономического эффекта от внедрения технологического процесса представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты расчета экономического эффекта от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» методом установки тонкостенной втулки

Показатели	Значение, тыс. руб.	
	Базовый год	Проектный год
Стоимостная оценка результатов с учетом фактора времени	8250	8250
Затраты по годам с учетом фактора времени	5958	2006
Экономический эффект	2292	6244

Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» методом установки тонкостенной втулки в базовом году составит 2292 тыс. рублей, а в проектном – 6244 тыс. рублей при программе ремонта 1000 ед. валов в год.

5.5 Выводы

1. Оценка экономической эффективности обработки вала под ремонтный размер является важным инструментом для принятия обоснованных управленческих и технических решений. Она позволяет оценить потенциальную прибыльность проекта и выбрать наиболее выгодное решение на основе анализа и сравнения различных методов оценки.

2. Внедрение технологического процесса восстановления вала соединения «вал уплотнение» обработкой под ремонтный размер с последующим применением профилактических и диагностических мероприятий позволит достичь значительного экономического эффекта. Внедрение технологического процесса восстановления вала соединения «вал уплотнение» является выгодным и перспективным шагом для компании. Он позволит сэкономить средства, оптимизировать производственные процессы и снизить негативное воздействие на окружающую среду, возникающее из-за утечек трансмиссионной смазки.

3. Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» обработкой под ремонтный размер в базовом году составит 2617 тыс. рублей, а в проектном – 6569 тыс. рублей при программе ремонта 1000 ед. валов в год.

4. Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления вала соединения «вал − уплотнение» методом установки тонкостенной втулки в базовом году составит 2292 тыс. рублей, а в проектном – 6244 тыс. рублей при программе ремонта 1000 ед. валов в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика комплектования деталей соединений «вал-уплотнение», включающая в себя: расчет ремонтных размеров вала и их отклонений; расчет числа групп комплектования для валов и манжет; подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении. На базе безмоментной теории оболочек получены математические выражения и разработана методика расчета натягов при восстановлении поверхности вала под манжету с помощью тонкостенных втулок. Данная методика позволяет определять наименьший натяг из условия требуемой фиксации втулки на валу и наибольший натяг из условия работы материала втулки только в зоне упругих деформаций.

2. Для соединения вала с манжетой первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 ∅52 мм при применении предлагаемой методики получено четыре ремонтных размера вала ($51{,}8_{-0{,}072}$, $51{,}7_{-0{,}072}$, $51{,}6_{-0{,}072}$, $51{,}5_{-0{,}072}$) и составлена комплектовочная таблица сборки валов с манжетами $52^{-2{,}2}_{-3{,}0}$ $52^{-2{,}2}_{-3{,}0}$, $52^{-2{,}3}_{-3{,}0}$, $52^{-2{,}4}_{-3{,}0}$, $52^{-2{,}5}_{-3{,}0}$). В результате проведенного вероятностного анализа качества сборки соединений рекомендовано закупать на 15 % больше манжет с целью обеспечения сборки 100 % соединений. Для фланца коробки передач ЯМЗ-239 ∅100 мм получено четыре ремонтных размера вала ($99{,}8_{-0{,}054}$, $99{,}7_{-0{,}054}$, $99{,}6_{-0{,}054}$, $99{,}5_{-0{,}054}$) и составлена комплектовочная таблица сборки валов с манжетами (соответственно $100^{-2.2}_{-3.0}$, $100^{-2.3}_{-3.0}$, $100^{-2.4}_{-3.0}$, $100^{-2.5}_{-3.0}$).

3. В результате апробации методики расчета посадок тонкостенных втулок с целью восстановления поверхности первичного вала коробки передач ЯМЗ-239 под манжету определены размеры тонкостенной втулки, получен диапазон технологических натягов и выбраны посадки $\varnothing 50{,}5\frac{H6}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}019\\ \hline +0{,}072\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$ и $\varnothing 50{,}5\frac{H7}{s6}\left(\begin{matrix}+0{,}030\\ \hline +0{,}072\\ +0{,}053\end{matrix}\right)$.

4. Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления поверхности вала под манжету обработкой под ремонтный размер в базовом году составит 2617 тыс. руб., а в проектном – 6569 тыс. руб. при программе

ремонта 1000 ед. валов в год. Экономический эффект от внедрения технологического процесса восстановления поверхности вала под манжету методом установки тонкостенной втулки в базовом году составит 2292 тыс. рублей, а в проектном – 6244 тыс. рублей при программе ремонта 1000 ед. валов в год.

Рекомендации производству

1. Для повышения долговечности соединений валов с резиновыми армированными манжетами необходимо при ремонте сборочной единицы не только заменять старые манжеты на новые, но и обязательно восстанавливать поверхность вала с требуемыми параметрами функциональной взаимозаменяемости – нормами точности по величинам требуемых натягов, шероховатости поверхности в пределах R_a =0,16…0,32 мкм, а также радиального биения и отклонения от соосности манжеты относительно вала.

2. При первом ремонте соединения вала с манжетой рекомендуется использовать систему ремонтных размеров валов с подбором манжет с целью сохранения предельных натягов в соединении. В случае повторного ремонта следует применять тонкостенные ремонтные втулки с и последующей обработкой поверхности вала под номинальный размер с поверхностно – пластическим деформированием до шероховатости поверхности R_a =0,1…0,32 мкм. Посадки тонкостенных втулок на вал следует определять по разработанной методике для каждого номинального размера с расчетом требуемых предельных натягов в соединении тонкостенной втулки и поверхностью вала.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Проведенные диссертационные исследования могут служить основой для дальнейшего развития и совершенствования методов функциональной взаимозаменяемости посадок резиновых армированных манжет на валы.

Перспективными направлениями развития темы являются:

1. Разработка методики и технологии использования полимерных втулок для восстановления поверхности вала под манжету;

2. Разработка методики и технологии применения еще более тонкостенных втулок, толщиной вплоть до 0,5 мм, в том числе и с целью временного устранения утечек без замены манжеты при отказе соединения во время полевых работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварский Н. Д. Технико-технологическое обеспечение сельского хозяйства, основа продовольственной безопасности России / Н. Д. Аварский, А. В. Алпатов, С. В. Сидоренко [и др.] // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2024. – № 8(114). – С. 58-75. – DOI 10.33938/248-58.

2. Авдеева, А. Н. Коллективная форма обучения на практических занятиях по модулю "взаимозаменяемость" / А. Н. Авдеева // Теория и практика современной науки. – 2021. – № 11(77). – С. 142-145.

3. Акимова, О. В. Метрологическое обеспечение, правила и нормы, при достижении единства и требуемой точности измерений / О. В. Акимова // Научный Лидер. – 2022. – № 14(59). – С. 10-12

4. Алексеев К. И. Проблемы развития производства сельскохозяйственной техники в России в условиях санкционного давления / К. И. Алексеев, И. А. Александров, А. Н. Ставцев, Е. А. Силко // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2024. – № 3(109). – С. 109-119. – DOI 10.33938/243-109.

5. Алексеева, Н. А. Сельскохозяйственное машиностроение: состояние, проблемы, перспективы развития отрасли / Н. А. Алексеева // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. – 2019. – Т. 29, № 5. – С. 557-563. – DOI 10.35634/2412-9593-2019-29-5-557-563.

6. Баусов, А. М. Магнитожидкостные уплотнения в подшипниковых узлах сельскохозяйственной техники / А. М. Баусов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2003. – № 7. – С. 54-56. – EDN UCZGAL.

7. Баусов, А.М. Исследование свойств магнитных смазочных материалов / А. М. Баусов, В. В. Кувшинов, Е. Л. Орешков, В. В. Терентьев // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2017. – № 4(21). – С. 96-102. – EDN YKGZTE.

8. Баусов, А.М. Рекомендации по проектированию комбинированных магнитожидкостных уплотнений подшипниковых узлов / А. М. Баусов, М. С. Сайкин, И. В. Семенов, А. Н. Шевяков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2007. – № 5. – С. 53-55. – EDN KTNCSH.

9. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие.– М.: Машиностроение, 1971. – 671с.

10. Белов М.И. Оценка давления уплотнения на вал / М.И. Белов, М.Н. Ерохин // Агроинженерия. 2020. № 2(96). С. 29-33. DOI 10.26897/2687-1149-2020-2-29-33.

11. Белов, В. М. Повышение надежности оценки качества деталей методом расчета и выбора средств контроля линейных размеров / В. М. Белов, Г. И. Бондарева // Международный технико-экономический журнал. – 2010. – № 1. – С. 65-69.

12. Бондарева Г. И. Теоретические основы выбора рациональных способов восстановления деталей / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова // Сельский механизатор. – 2019. – № 5. – С. 38-39.

13. Василенко, Владислав Трофимович. Исследование радиальных (манжетных) уплотнений валов самолетных агрегатов [Текст] : Автореферат дис. на соискание учен. степени кандидата техн. наук / Киевский ин-т Гражд. Воздуш. Флота. - Киев : [б. и.], 1964. - 17 с.

14. Вергазова, Ю. Г. Взаимозаменяемость цилиндрических соединений со шпонками при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вергазова Юлия Геннадьевна. – Москва, 2018. – 136 с. – EDN JDMXRR.

15. Вергазова, Ю. Г. Запас точности и долговечность соединения / Ю. Г. Вергазова // Символ науки: международный научный журнал. – 2015. – № 11-1. – С. 14-16

16. Вергазова, Ю. Г. Обоснование посадки с натягом выходного вала редуктора со звездочкой / Ю. Г. Вергазова, Д. А. Пупкова // Модернизация, Инновации, Прогресс (МИП-V-2023) : сборник научных статей по материалам V Международной научной конференции, Красноярск, 13–15 сентября 2023 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 69-74. – DOI 10.47813/mip.5.2023.9.69-74.

17. Волошина Н. А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Практикум : Учебное пособие для вузов / Н. А. Волошина, О. В. Филипович, Н. А. Балакина, Г. В. Невар. – Санкт Петербург : ООО "Издательство Лань", 2024. – 192 с. – ISBN 978-5-507-48035-7.

Г. Н. Темасова ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Московский гос. агроинженерный ун-т им. В. П. Горячкина". – Москва : ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. – 134 с.

18. Голубев А.И., Кондаков Л.А. Уплотнения и уплотнительная техника. М.: Машиностроение, 1985. 463с.

19. Голубев Г.А., Кукин Г.Н., Лазарев Г.Е., Чичинадзе А.В. Контактные уплотнения вращающихся валов. М.: Машиностроение, 1976. 264с.

20. Голубев И.Г. Обеспечение долговечности восстановленных деталей и соединений сельскохозяйственной техники и увеличенными допусками размеров и посадок. Дис. … докт. техн. наук.- М. РГАУ, 1997.

21. Горохов, В. А. Восстановление формы и размеров деталей машин : Учебник / В. А. Горохов, В. П. Иванов. – Старый Оскол : ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2019. – 228 с. – ISBN 978-5-94178-661-9.

22. ГОСТ 14896-84. Манжеты уплотнительные резиновые для гидравлических устройств. Технические условия. : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 1885-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 1885 – 54 с.

23. ГОСТ 25346-2013. Основы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2014-02-18 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2014 – 35 с.

24. ГОСТ 8.051–81. ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

25. ГОСТ 8752-79. Манжеты резиновые армированные для валов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов,1990.

26. Григорян, Г. Г. Анализ способов ремонта деталей типа «вал» / Г. Г. Григорян // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере технического сервиса машин, технологического оборудования и безопасности жизнедеятельности : Материалы Национальной (Всероссийской) научной конференции Института агроинженерии, Челябинск, 24–26 февраля 2021 года / Под редакцией Н.С. Низамутдиновой. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2021. – С. 36-45.

27. Ерохин М. Н. Влияние объемного модифицирования на физико-механические свойства резиновых армированных манжет / М. Н. Ерохин, О. М. Мельников, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2021. – № 4. – С. 41-47. – DOI 10.52261/02346206_2021_4_41.

28. Ерохин М. Н. Методика расчета натяга для соединений резиновых армированных манжет с валами по критерию начала утечек / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Ю. В. Катаев, О. М. Мельников // Вестник машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 41-44. – EDN RMYNAQ.

29. Ерохин М. Н. Нормирование шероховатости поверхностей валов в соединениях с резиновыми армированными манжетами / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2024. – № 2. – С. 104-111. – DOI 10.52261/02346206_2024_2_104. – EDN GZLZWL.

30. Ерохин М. Н. Применение размерного анализа для расчета суммарного отклонения от соосности манжеты относительно вала / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. – № 6. – С. 61-67. – DOI 10.31857/S0235711921060067. – EDN ITEXLG.

31. Ерохин М. Н. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 8. – С. 701-704. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-8-701-704.

32. Ерохин М.Н. Методика расчета контактного давления манжеты на вал / М.Н. Ерохин, М.И. Белов, О.М. Мельников // Вестник машиностроения. 2020. № 11. С.39-45. DOI 10.36652/0042-4633-2020-11-39-45.

33. Иванов А.И. Основы взаимозаменяемости и технические измерения. Колос, 1975.

34. Игнаткин И. Ю. Способ восстановления вала редуктора с применением упрочненной ремонтной детали / И. Ю. Игнаткин, А.В. Дроздов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 9. С. 13-17. DOI 10.31044/1684-2561-2020-0-9-13-17.

35. Игнаткин И. Ю. Способ восстановления изношенной поверхности вала редуктора в соединении «вал-манжета» с применением ремонтной втулки и полимерных материалов / И. Ю. Игнаткин, А.В. Дроздов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 6(94). С. 40-45. DOI 10.34677/1728-7936-2019-6-40-45.

36. Иовлев, Г. А. Техническая и экономическая оценка систем технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина, В. С. Зорков // Аграрная наука. – 2023. – № 4. – С. 129-136. – DOI 10.32634/0869-8155-2023-369-4-129-136.
исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2016. – 568 с.

37. Истомин А. Б. Способы восстановления деталей в ремонтном производстве / А. Б. Истомин, И. В. Лизунов, В. О. Дмитриев, В. Б. Козлов // Главный механик. – 2021. – № 6. – С. 59-73. – DOI 10.33920/pro-2-2106-05

38. Карепин, П. А. Обеспечение качества сельскохозяйственной техники при изготовлении и ремонте моделированием размерных связей в сборочных узлах : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Карепин Петр Алексеевич. – Москва, 2002. – 491 с.

39. Карепин, П. А. Стандартизация как способ реализации системного построения сложного комплекса требований для моделей систем менеджмента качества двигателестроительных предприятий аэрокосмической промышленности / П.

А. Карепин // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – № 6(327). – С. 52-62. – DOI 10.14489/hb.2024.06.pp.052-062.

40. Карпузов В.В. Повышение долговечности сборочных единиц с жесткими компенсаторами при ремонте машин. Автореф. дис. канд. техн. наук. − М.: МИИСП, 1985. − 16 с.

41. Касавченко Е.В. Исследование и разработка методов повышения надежности уплотнительных узлов тракторов «Кировец» при капитальном ремонте: Дис. канд. тех. наук. – Л. – Пушкин: ЛСХИ, 1980. – 196 с.

42. Конкин, Ю. А. Экономика технического сервиса на предприятиях АПК / Ю. А. Конкин, М. Ю. Конкин, Ю. В. Чутчева ; Под общей редакцией Ю.А. Конкина. – Москва : ООО "Издательство "Триада", 2007. – 572 с. – ISBN 978-5-9546-0035-3.

43. Корытов М. С. Взаимозаменяемость, допуски и посадки : Электронный ресурс: лабораторный практикум / СибАДИ; составители: М. С. Корытов, В. В. Акимов, И. М. Князев, А. Ф. Мишуров. – 2-е издание, стереотипное. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – 59 с.

44. Котомчин, А. Н. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 1(71). – С. 84-97. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-1-84-97.

45. Кравченко И. Н. Оценка работоспособности и долговечности восстановленных деталей и соединений / И. Н. Кравченко, С. А. Величко, А. В. Мартынов [и др.] // Технология металлов. – 2023. – № 7. – С. 42-48. – DOI 10.31044/1684-2499-2023-0-7-42-48.

46. Кравченко, И. Н. Обоснование рационального способа восстановления деталей рабочих органов бетоносмесительных машин : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кравченко Игорь Николаевич. – Балашиха, 2003. – 223 с.

47. Кряжков В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. М.: Машиностроение, 1989. 335с.

48. Кудрин, Л. П. Допуски и посадки гладких поверхностей : учебное пособие / Л. П. Кудрин. – Челябинск : Южно-Уральский государственный университет, 2022.

49. Куликов, А. А. Особенности метрологического обеспечения в сельском хозяйстве / А. А. Куликов, И. И. Сапожников, А. Е. Петухов // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25–26 января 2022 года. Том Часть 2. – Москва: ООО «Сам полиграфист», 2022. – С. 258-261.

50. Курасов В. С. Механика: Детали машин : Учебное пособие / В. С. Курасов, В. В. Куцеев, С. Г. Руднев, В. М. Погосян. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2013. – 196 с

51. Кушнарев Л. И. Комплексное инновационное развитие производства, науки и образования / Л. И. Кушнарев, В. Ф. Алешин, С. Л. Кушнарев, В. В. Зимин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2020. – № 7. – С. 3-8. – DOI 10.31044/1684-2561-2020-0-7-3-8.

52. Кушнарев, Л. И. К стабильно высокому качеству продукции машиностроения / Л. И. Кушнарев, Д. Л. Севостьянова // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2022. – № 2. – С. 32-36.

53. Кушнарев, Л. И. Качество продукции - основа конкурентоспособности российского машиностроения / Л. И. Кушнарев, С. Л. Кушнарев // Технический сервис машин. – 2023. – № 2(151). – С. 48-55.

54. Кушнарев, Л. И. Обеспечение работоспособности техники в гарантийный период эксплуатации / Л. И. Кушнарев // Сельский механизатор. – 2020. – № 4. – С. 2-3.

55. Кушнарев, Л. И. Повышение конкурентноспособности российской техники / Л. И. Кушнарев // Сельский механизатор. – 2023. – № 6. – С. 2-3.

56. Кушнарев, Л. И. Проблема повышения надежности машин и оборудования / Л. И. Кушнарев // Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62, № 2. – С. 5-9. – DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-2-5-9.

57. Лавров, Г.Г. Влияние предварительного и полного натягов радиальных самоподжимных уплотнений на их герметичность и долговечность / Г.Г. Лавров - Москва : Общетехн. отд., 1959. - 33 с.

58. Левицкий Ю.А. Исследование предельного износа и способов восстановления деталей манжетных уплотнений вращающихся валов при ремонте тракторов и сельскохозяйственных машин: Автореф. дис. …канд. техн. наук. Челябинск, чимэсх, 1974. 18с.

59. Лезин П. П. Основы научных исследований использования сельскохозяйственной техники : Учеб. пособие / П. П. Лезин. - Саранск : МГУ, 1983. - 78 с.

60. Леонов О. А. Расчет и выбор посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету запрессовкой тонкостенных втулок / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 12. – С. 990-994. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-12-990-994.

61. Леонов О. А. Исследование влияния параметров макрогеометрии на герметичность соединений вала с манжетой / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Л. А. Гринченко [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 6. – С. 40-47. – DOI 10.31857/S0235711923060111. – EDN ETCVUM.

62. Леонов О. А. Организация и проведение стендовых испытаний соединений резиновых армированных манжет с валами / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, О. М. Мельников [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2024. – № 2. – С. 66-74. – DOI 10.31857/S0235711924020091. – EDN QVRJAQ.

63. Леонов О. А. Проектирование калибра-скобы для контроля диаметра промежуточного вала при ремонте двигателей ЗМЗ / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба,

64. Леонов О. А. Расчет допуска посадки с зазором для повышения относительной износостойкости соединений / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова [и др.] // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, № 3. – С. 261-269. – DOI 10.32864/0202-4977-2023-44-3-261-269. – EDN TFDITN.

65. Леонов, О. А. Взаимозаменяемость унифицированных соединений при ремонте сельскохозяйственной техники / О. А. Леонов ; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2003. – 166 с. – ISBN 5-86785-121-4.

66. Леонов, О. А. Обеспечение качества ремонта унифицированных соединений сельскохозяйственной техники методами расчета точностных параметров : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Леонов Олег Альбертович. – Москва, 2004. – 324 с.

67. Леонов, О. А. Обеспечение норм взаимозаменяемости соединений "вал - втулка" при ремонте машин в АПК / О. А. Леонов, Ю. Г. Вергазова. – Иркутск : ООО "Мегапринт", 2017. – 141 с. – ISBN 978-5-905624-87-2.

68. Леонов, О. А. Определение предельных функциональных зазоров подшипника скольжения в условиях гидродинамической смазки / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова // Трение и износ. – 2024. – Т. 45, № 4. – С. 327-334. – DOI 10.32864/0202-4977-2024-45-4-327-334. – EDN GNTFQY.

69. Леонов, О. А. Основы взаимозаменяемости / О. А. Леонов, Ю. Г. Вергазова. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2021. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-6969-7.

70. Леонов, О. А. Оценка обработки цилиндров под ремонтный размер / О. А. Леонов, У. Ю. Антонова, В. В. Лазарь // Сельский механизатор. – 2022. – № 7. – С. 38-39. – DOI 10.47336/0131-7393-2022-7-38-39.

71. Леонов, О. А. Оценка экономической эффективности обработки вала под ремонтный размер / О. А. Леонов, Г. Н. Темасова, Г. А. Нестеркин // Модернизация, Инновации, Прогресс (МИП-V-2023) : сборник научных статей по материалам V Международной научной конференции, Красноярск, 13–15 сентября 2023 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 28-38. – DOI 10.47813/mip.5.2023.9.28-38. – EDN LIBCVJ.

72. Леонов, О. А. Практикум по экономике качества / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2023. – 156 с. – ISBN 978-5-507-44996-5. – EDN QJQOMF.

73. Леонов, О. А. Совершенствование селективной сборки соединения "цилиндр - поршень" для условий мелкосерийного ремонтного производства / О. А. Леонов, У. Ю. Антонова // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 2(22). – С. 60-67.

74. Леонов, О. А. Современные методики выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте техники / О. А. Леонов, Г. А. Нестеркин, Г. Н. Темасова // Модернизация, Инновации, Прогресс (МИП-V-2023) : сборник научных статей по материалам V Международной научной конференции, Красноярск, 13–15 сентября 2023 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 10-27. – DOI 10.47813/mip.5.2023.9.10-27.

75. Леонов, О. А. Экономика качества, стандартизации и сертификации : Допущено Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 27.03.01 "Метрология и стандартизация" / О. А. Леонов, Г. Н. Темасова, Н. Ж. Шкаруба. – Москва : Издательский Дом "Инфра-М", 2019. – 251 с. – (Высшее образование. Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-005371-4. – EDN XUHFYE.

76. Леонов, О.А. Основы взаимозаменяемости: учебное пособие / О. А. Леонов, Ю. Г. Вергазова — Москва: Росинформагротех, 2017. — 180 с.

77. Мельников О. М. Оценка показателей качества деталей и соединения «вал-манжета» / О. М. Мельников, С.П. Казанцев, О.В. Чеха // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2019. – № 5(93). – С. 8-13. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13.

78. Мельников О. М. Работоспособность соединений «вал-манжета» и повышение их надежности // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2018. – № 2(84). – С. 50-54. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-2-50-54.

79. Мельников О.М. Совершенствование уплотнительных устройств подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники / О.М. Мельников, С.П. Казанцев, И.Ю. Игнаткин // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 68-72. DOI 10.26897/2687-1149-2022-3-68-72.

80. Мельников, О. М. Влияние фторорганических соединений на физико-механические свойства резины для манжетных уплотнений сельскохозяйственной техники / О. М. Мельников // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2018. – № 3(85). – С. 42-46. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-3-42-46.

81. Мельников, О. М. Оценка показателей качества деталей и соединения "вал-манжета" / О. М. Мельников, С. П. Казанцев, О. В. Чеха // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 5(93). – С. 8-13. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13.

82. Мельников, О. М. Повышение работоспособности уплотнительных устройств подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мельников Олег Михайлович. – Москва, 2020. – 161 с.

83. Мельников, П. О. Повышение ресурса уплотнительных устройств валов сельскохозяйственной техники / П. О. Мельников // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 277-282.

84. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации: официальный сайт – URL: https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/

85. Моисеев, В. В. Импортонезависимость России : история и современность / В. В. Моисеев. – Москва : ООО «Директ-Медиа», 2023. – 444 с. – ISBN 978-5-4499-3624-0.

86. Мягков В.Д. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х т. – М.: ЕЕ-медиа, 2024.

87. Национальные проекты России: официальный сайт – URL: https://национальныепроекты.рф/news/kurs-na-operezhenie-kak-v-rossii-realizuyut-programmu-importozameshcheniya/

88. Нестеркин, Г. А. Выбор вида упрочнения методом ППД поверхности вала под манжету при ремонте машин / Г. А. Нестеркин // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (г. Москва, 19-20 декабря 2023 г.), посвященной 100-летию со дня рождения ветерана Великой Отечественной Войны, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя РФ, д.т.н., профессора Николая Федоровича Тельнова, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2024. – С. 472-475.

89. Нестеркин, Г. А. Выбор рационального способа восстановления деталей / Г. А. Нестеркин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 12. – С. 53-54.

90. Новиков И. А. Современные проблемы и направления развития ремонта и обслуживания автомобилей / И. А. Новиков, А. Н. Новиков, Н. А. Загородний, А. Г. Шевцова. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – 521 с. – ISBN 978-5-361-00778-3.

91. Огар П. М. Определение контактных давлений герметизации на этапе проектирования уплотнительных соединений / П. М. Огар, В. С. Федоров, А. С. Кожевников, К. Н. Фигура // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 4(40). – С. 7-12. – DOI 10.18324/2077-5415-2018-4-7-12

92. Певцов, Д. С. Применение метода установки дополнительной детали при ремонте машин / Д. С. Певцов, М. Р. Теркулов, И. Ф. Фомина // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : Межвузовский сборник научных трудов. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2017. – С. 521-525.

93. Попов В.Н. Исследование работоспособности и выбор рациональных способов восстановления деталей уплотнительных узлов сельскохозяйственных тракторов: Дис. канд. техн. наук. – Л. – Пушкин: ЛСХИ, 1975. – 191 с.

94. Пучин Е. А. Технология ремонта машин: Учебник / Е. А. Пучин, В. С. Новиков, Н. А. Очковский и др./ Под ред. Е. А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с.

95. Пышко, Е. Ю. Стандартизация деталей для производства / Е. Ю. Пышко, Ж. В. Кумова // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 2-3. – С. 61-65.

96. РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (По применению ГОСТ 8.051-81) – М.: Изд-во стандартов, 1987.

97. Ремонт машин: Учебное пособие / Под ред. Тельнова Н.Ф. М.: Агропромиздат, 1992. – 560с.

98. Свечников, А. С. Технический ремонт и обслуживание сельскохозяйственной техники в полевых условиях / А. С. Свечников, Л. А. Новопашин // Устойчивое научно-техническое развитие агропромышленного комплекса РФ : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Екатеринбург, 30 октября 2023 года. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2023. – С. 275-277.

99. Середа, Н. А. Оценка емкости рынка инновационной сельскохозяйственной техники в условиях реализации стратегии импортозамещения / Н. А. Середа, П. С. Евгеньев // Региональная экономика: теория и практика. – 2016. – № 10(433). – С. 128-137.

100. Сидоров, Б. Б. Математическая модель управления возрастной структурой парка машинотракторного парка на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР / Б. Б. Сидоров, М. Ю. Карелина // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 3(321). – С. 20-23. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-3-20-23.

101. Справочное пособие по ТО и ремонту семейства девятиступенчатых коробок передач типа ямз-239 14.01002 – 00. spravochnoe_posobie_po_kpp_yamz-239-1.pdf (dizele-ekspress.ru).

102. Темасова Г.Н. Совершенствование инструментов и методов мониторинга потерь от брака на предприятиях технического сервиса агропромышленного комплекса. дис. ... доктора технических наук : 4.3.1. / Темасова Галина Николаевна; [Место защиты: Рос. гос. аграр. ун-т]. – Москва, 2024. – 209 с.

103. Темасова, Г. Н. Допусковый контроль валов в ремонтном производстве / Г. Н. Темасова // Сельский механизатор. – 2023. – № 8. – С. 40-41. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-8-40-41.

104. Темасова, Г. Н. Организация системы контроля затрат на качество на предприятиях технического сервиса АПК : монография / Г. Н. Темасова ;

105. Темасова, Г. Н. Оценка брака в ремонтном производстве: инновационный подход к контролю деталей типа «вал» / Г. Н. Темасова // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 2(153). – С. 48-58. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-2-48-58.

106. Терентьев, В. В. Исследование герметизирующей способности комбинированного магнитожидкостного уплотнения подшипниковых узлов / В. В. Терентьев, А. М. Баусов, М. В. Торопов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 25-31. – EDN UPMWEF.

107. Терентьев, В. В. Исследование трения в магнитожидкостном уплотнении / В. В. Терентьев, А. М. Баусов, М. В. Торопов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1. – С. 13-19. – EDN GSNKVL.

108. Трухачев В. И. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – Москва : ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с. – ISBN 978-5-6049928-2-1.

109. Хохлов, П. И. Выбор рациональных способов восстановления сопряжения "вал-подшипники качения" коробки передач тракторов "Кировец" / П. И. Хохлов, П. А. Ильин, Ш. М. Казиев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2020. – № S49. – С. 60-64.

110. Цыпкина, И. В. Обоснование способов восстановления деталей машин / И. В. Цыпкина, И. И. Титова // Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее : Материалы XXIV Международной научно-производственной конференции. В 2 томах, Майский, 27–28 мая 2020 года. Том 1. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2020. – С. 83-84.

111. Черноиванов, В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин, И. Г. Голубев. – Правдинский : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических

112. Черноиванов, В. И. Развитие системы ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка / В. И. Черноиванов // История науки и техники. – 2019. – № 12. – С. 11-19.

113. Черноиванов, В. И. Системный подход для агропромышленного комплекса / В. И. Черноиванов, Г. К. Толоконников // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 12(294). – С. 2-6.

114. Чернышев, Г. Д. Конструирование и исследование нового унифицированного семейства дизелей для большегрузных автомобилей и тягачей : Доклад, обобщающий содерж. конструкторских и науч.-исслед. работ по новому семейству

четырехтактных дизелей, выполн. и внедр. в производство на Яросл. моторном заводе, представл. на соискание учен. степени кандидата техн. наук / Моск. автомоб.-дор. ин-т. - Москва, 1964. - 46 с.

115. Шадричев В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей: учебник для вузов. / В.А. Шадричев – Л.: «Машиностроение», 1976 – 560 с.

116. Швайко, Б. А. Организация технического сервиса как ключевое направление повышения качества машиностроительной продукции сельскохозяйственной отрасли / Б. А. Швайко // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 5(119). – С. 72-75.

117. Шевченко А.А., Кокорева О.Г. Статико – импульсная обработка как эффективный метод тяжело нагруженных металлоконструкции // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: https://scienceforum.ru/2018/article/2018009495 (дата обращения: 27.09.2024).

118. Шкаруба Н. Ж. Совершенствование метрологического обеспечения ремонтного производства агропромышленного комплекса : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / Шкаруба Нина Жоровна; [Место защиты: Рос. гос. аграр. ун-т]. – Москва, 2019. – 40 с.

119. Шкаруба, Н. Ж. Совершенствование метрологического обеспечения ремонтного производства агропромышленного комплекса : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Шкаруба Нина Жоровна. – Москва, 2019. – 274 с.

120. Шрон, Л. Б. Особенности применения размерного анализа при ремонте машин / Л. Б. Шрон, В. Б. Богуцкий // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 26. – С. 80-85. – DOI 10.26160/2658-3305-2024-26-80-85.

121. Щукин, А. Ю. Анализ уплотнительных узлов транспортно-технологических машин / А. Ю. Щукин // Направления развития технического сервиса : Ма-

териалы национальной студенческой научно-практической конференции, Екатеринбург, 25 ноября 2021 года. Том Выпуск 5. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2021. – С. 114-118.

122. Эффективность электромеханической осадки шпоночных пазов на валах при ремонте машин / С. А. Яковлев, В. И. Курдюмов, О. Ф. Симонова [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. – Т. 17, № 12(204). – С. 570-573. – DOI 10.36652/1813-1336-2021-17-12-570-573. – EDN UKJJQI.
Ю. Г. Вергазова [и др.] // Агроинженерия. – 2021. – № 6(106). – С. 50-55. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-6-50-55.

123. Юрченко Н.И. Повышение работоспособности поверхностей деталей, сопряженных с манжетами уплотнительных устройств сборочных единиц энергонасыщенных тракторов: Дис. канд. техн. наук. – М.: МИИСП, 1991. – 324 с.

124. Яковлев, С. А. Технологическое обеспечение качества электромеханической обработки деталей при ремонте сельскохозяйственных машин : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Яковлев Сергей Александрович, 2023. – 423 с. – EDN YNNIIC.

125. Якушев А.И., Бежелукова Е.Ф., Полуталов В.Н. Допуски и посадки ЕСДП СЭВ для гладких цилиндрических деталей (расчет и выбор). М.: Изд-во стандартов, 1978. 256с.

126. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов И.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1986.

Приложение 1. Акт о внедрении результатов научно-исследовательской работы, рекомендации к производству и свидетельство ЭВМ

АГРОМАШ www.agromh.com

Общество с ограниченной ответственностью «Завод «АГРОМАШ» (ООО «Завод «АГРОМАШ»)
ИНН 2456012447 КПП 213001001 ОГРН 1082456000461
428028, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д.101, кабинет 114А
Тел.: +7 8352 30-43-33 8 800 700 10 89 info@agromh.com

07.10.2024 № АМ-исх/1157

на № _____ от _____

АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Настоящий акт составлен о внедрении результатов законченной научно-исследовательской работы «Применение методов взаимозаменяемости при восстановлении поверхности вала соединения «вал - уплотнение», выполненной в ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева на кафедре метрологии, стандартизации и управления качеством института механики и энергетики имени В.П. Горячкина. Авторы работы: д.т.н., профессор Леонов О.А., соискатель ученой степени, преподаватель Нестеркин Г.А.

Результатами законченной научно-исследовательской работы являются разработанные методические рекомендации, включающие в себя:

1. Методику комплектования деталей соединений «вал-уплотнение» при ремонте сборочных единиц, включающую в себя расчет числа групп комплектации, назначение ремонтных размеров вала и группирование к ним манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении.

2. Методику расчета посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом запрессовки тонкостенных втулок.

5. Компьютерную программу для расчета ремонтных размеров валов под резиновые армированные манжеты.

В результате апробации вышеназванных методик установлено, что:

при единичном ремонтном производстве рационально использовать четыре ремонтных размера вала с интервалом 0,1 мм; при серийном ремонтном производстве следует применять один ремонтный размер – 0,3 мм;

при использовании тонкостенных втулок (1,5 мм) с целью восстановления поверхности валов под манжеты следует применять посадки втулок на вал *H6/s6* и *H7/s6*.

Результаты исследований рекомендованы к использованию при ремонте поверхностей валов под уплотнение при проведении ремонтных работ для сельскохозяйственных тракторов, выпускаемых ООО «Завод «АГРОМАШ».

Генеральный директор Р.А. Семенов

Продолжение приложения

РОССПЕЦМАШ
Российская ассоциация производителей специализированной техники и оборудования

400/24-16.2 22.10.24
Исх № От На №

121609, Москва, Осенний бульвар, 23
тел./факс: +7 (495) 781 37 56
info@rosspetsmash.ru
www.rosspetsmash.ru

РЕКОМЕНДАЦИИ К ВНЕДРЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Настоящий документ составлен о рекомендации к внедрению результатов законченной научно-исследовательской работы "Применение методов взаимозаменяемости при восстановлении поверхности вала соединения "вал - уплотнение", выполненной в ФГБО ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в соответствии с программой научно-исследовательских работ Государственного заказа Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на кафедре метрологии, стандартизации и управление качеством. Авторы работы: д.т.н., профессор Леонов О.А., соискатель ученой степени, преподаватель Нестеркин Г.А.

В качестве объекта внедрения предложены:

1. Методика комплектования деталей соединений "вал-уплотнение" при ремонте валов, включающую в себя расчет числа групп комплектации, назначение ремонтных размеров вала и подбор манжет по критерию сохранения наименьшего натяга в соединении.

2. Методика расчета посадок с натягом для восстановления поверхности вала под манжету методом запрессовки тонкостенных втулок.

3. Вероятностный расчет качества сборки соединений.

4. Компьютерная программа для расчета ремонтного размера вала под резиновую армированную манжету.

Данные методики будут рекомендованы российским производителям сельскохозяйственной техники к использованию при ремонте поверхностей валов под уплотнение при оказании сервисных гарантийных и постгарантийных услуг для сборочных единиц сельхозмашин.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов научно – исследовательской работы может быть достигнут за счет снижения затрат на ремонт и повышения качества продукции.

Директор **А.В.Елизарова**

Продолжение приложения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024619708

«Расчет ремонтного размера вала под резиновую армированную манжету»

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» (RU)***

Авторы: ***Нестеркин Геннадий Алексеевич (RU), Гринченко Лаврентий Александрович (RU), Леонов Олег Альбертович (RU)***

Заявка № **2024618294**
Дата поступления **16 апреля 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***25 апреля 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов