

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель директора  
ФГБНУ «Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ»  
А.В. Соколов  
«10» \_\_\_\_\_ 2025 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» на диссертационную работу Лапаева Андрея Валентиновича на тему: «Восстановление соединений «вал–манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса в диссертационный совет 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

**Актуальность темы.** Восстановление работоспособности уплотнительных устройств валов и, в частности, соединений «вал-манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственных машин является обязательным при ремонте техники. Нарушение герметичности соединений «вал–уплотнение» приводит к увеличению расхода смазочных материалов, нарушению режимов смазки в узлах и преждевременному выходу из строя деталей, а следовательно, к вынужденному ремонту, простоям и большей потребности в запасных частях. Научно обоснованное решение поставленных задач, связанных с восстановлением герметичности и обеспечением работоспособности уплотнительных устройств подшипниковых узлов, позволит существенно повысить эффективность использования сельскохозяйственной техники. В этой связи диссертационная работа Лапаева А.В., направленная на восстановление работоспособности уплотнительных устройств подшипниковых узлов, является актуальной.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

Соискатель детально изучил состояние научной проблемы, сформулировал цель и задачи исследований.

Обоснованность и достоверность основных научных положений диссертационной работы обусловлены использованием современных приборов и оборудования, определяется достаточным объемом теоретических и экспериментальных исследований. Автор корректно использовал известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. На основании выполненных исследований автором обоснованы положения и выводы, имеющие научную ценность.

*В первом выводе* представлены результаты обзорного анализа и сообщается, что наиболее перспективным методом восстановления рабочей поверхности вала в соединении «вал–манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники является использование тонкостенной ремонтной втулки упрочненной осаждением нитридов титана методом PVD. Вывод носит констатирующий характер.

*Во втором выводе* сообщается о том, что теоретически установлена оптимальная толщина стенки втулки в пределах 0,2...0,8 мм, обеспечивающая функциональный натяг в соединении «вал манжета». Определен минимальный уровень упрочнения рабочей поверхности втулки для подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники – 14700 МПа. Вывод обладает новизной, достоверность подтверждена результатами эксперимента.

В третьем выводе указывается, что экспериментально установлены:

- тонкостенные ремонтные втулки из стали AISI 321 без упрочнения и с упрочненной поверхностью TiN показали трибологические свойства превосходящие свойства эталонных образцов по силе трения пуска до 10%, по установившейся силе трения до 33 и 43 % соответственно;
- износ рабочей поверхности тонкостенной ремонтной втулки с упрочненной поверхностью TiN составил 10% от износа эталонного образца;

– износостойкость трибосоединения, состоящего из манжеты и тонкостенной ремонтной втулки из стали AISI 321 без упрочнения относительно эталонного образца, увеличилась на 10%, а трибосоединения, состоящего из манжеты и тонкостенной ремонтной втулки с упрочненной поверхностью TiN, увеличилась на 22%.

Вывод обладает новизной, достоверность которого подтверждена результатами экспериментальных исследований.

*Четвертый вывод* о том, что разработана технология изготовления тонкостенной ремонтной втулки. Вывод носит констатирующий характер.

*Пятый вывод* о результатах незавершенного эксплуатационного испытания восстановленного соединения «вал-манжета». Вывод носит констатирующий характер.

*Шестой вывод* о том, что стоимость тонкостенной ремонтной втулки из стали AISI 321 без упрочнения составила 430 руб., из стали AISI 321 с упрочнением TiN – 580 руб., что составляет 1/16 стоимости втулки иностранных производителей. Вывод носит констатирующий характер.

### **Научная новизна и достоверность полученных результатов**

Научная новизна работы состоит в обосновании параметров тонкостенной ремонтной втулки, обеспечивающей восстановление соединений «вал–манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники. Достоверность результатов исследования обеспечивается сходимостью теоретических и экспериментальных данных, полученных при выполнении работы с использованием комплексной методики исследований, включающей теоретический анализ, лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания уплотнительных устройств. Для обработки экспериментальных данных применялись методы теории вероятностей, математической статистики, компьютерные программы.

## **Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов**

Проведенные исследования доказали возможность применения тонкостенных ремонтных втулок, как эффективного способа ремонта соединения «вал-манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники.

Результаты, представленные автором в диссертационной работе, позволяют на основании определения параметров втулок по предложенным зависимостям, разработать технологию изготовления тонкостенной ремонтной втулки вала для увеличения ресурса соединения «вал–манжета».

*Теоретическая значимость работы заключается:* в получении формулы для определения толщины тонкостенной ремонтной втулки, обеспечивающей оптимальный функциональный натяг в соединении; в определении минимального уровня твердости поверхности втулки для валов агрегатов, работающих в условиях абразивного изнашивания; в анализе влияния упрочнения рабочей поверхности втулки на износостойкость и фрикционные характеристики соединения «вал–манжета».

*Практический интерес представляет:* предложенный способ восстановления герметичности уплотнений применением тонкостенной ремонтной втулки с упрочненной рабочей поверхностью, позволяющий проводить ремонт соединения «вал-манжета» в минимальные сроки.

## **Оценка содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, включающих 60 рисунков и 31 таблицы, заключения, списка литературы, включающего 136 наименований. Объем диссертации – 137 страниц.

Диссертация имеет законченный характер, качество оформления соответствует предъявляемым требованиям.

Во *Введении* обоснована актуальность темы, приведена степень ее

разработанности, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, изложены теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, количество публикаций соискателя по теме диссертации, структура и объем диссертационной работы в соответствии с действующими требованиями.

*В первой главе* представлен анализ состояния парка сельскохозяйственной техники, анализ условий эксплуатации сельскохозяйственной техники и их влияния на работоспособность соединений «вал–уплотнение»; рассмотрены уплотнения, применяемые в сельскохозяйственной технике, дефекты в соединениях «вал–манжета», требования к поверхности вала в зоне контакта с уплотнением; проанализированы методы восстановления рабочих поверхностей валов в зоне контакта с манжетой; проведен анализ работ по упрочнению. Это отражено в выводах по главе. Выполненный обзор позволил оценить степень разработанности темы и сформулировать цель и задачи исследования.

*Вторая глава* посвящена обоснованию основных параметров тонкостенных ремонтных втулок с целью обеспечения оптимальных условий работы уплотнительного узла. По результатам теоретических исследований была установлена зависимость толщины тонкостенной ремонтной втулки от параметров вала и манжеты, обеспечивающая функциональный натяг в соединении; определен минимальный уровень упрочнения рабочей поверхности тонкостенной ремонтной втулки в соединении «вал–манжета» в зависимости от твердости абразива.

*В третьей главе* представлены программа и методики экспериментальных триботехнических исследований: испытания рабочей поверхности втулок на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы, испытания для определения сил трения и температуры в зоне контакта вала и манжеты, испытаний для определения износостойкости

исследуемых соединений, эксплуатационных испытаний тонкостенных ремонтных втулок, определения износа рабочей поверхности втулок профилографированием.

*В четвертой главе* представлены результаты исследований по определению толщины ремонтной втулки для обеспечения заданного суммарного удельного контактного усилия, по определению необходимой микротвердости рабочей поверхности тонкостенной ремонтной втулки, результаты изготовления тонкостенной ремонтной втулки по заданным параметрам, результаты экспериментальных триботехнических испытаний исследуемых соединений и эксплуатационных испытаний тонкостенных ремонтных втулок.

Тонкостенные ремонтные втулки, изготовленные из стали AISI 321 без упрочнения, и с упрочнением TiN, показали трибологические свойства превосходящие свойства эталонных образцов по силе трения пуска до 10%, по установившейся силе трения до 33 и 43 % соответственно.

Износ рабочей поверхности тонкостенных ремонтных втулок с поверхностным упрочнением TiN составил 10% от износа втулки, изготовленной по ГОСТ 8752–79. Тонкостенные ремонтные втулки из стали AISI 321 без упрочнения рабочей поверхности при отсутствии абразива в смазочном материале показал уменьшение износа на 70% относительно эталонного образца за счет лучшего микрорельефа рабочей поверхности.

Износостойкость трибосоединений «вал–манжета», состоящих из манжеты и тонкостенных ремонтных втулок с поверхностным упрочнением TiN, относительно эталонного образца увеличилась на 22%, из манжеты и тонкостенных ремонтных втулок из стали AISI 321 без упрочнения рабочей поверхности – на 10%.

*В пятой главе* «Расчетный экономический эффект» соискателем показано, что для обеспечения восстановления работоспособности соединения «вал-манжета» может использоваться два вида тонкостенных ремонтных втулок:

- из стали AISI 321 без упрочнения рабочей поверхности (цена 430 руб.);
- из стали AISI 321 с упрочнением рабочей поверхности TiN (цена 580 руб.).

Цена тонкостенной ремонтной втулки отечественного производства составляет 1/16 стоимости втулок иностранных производителей.

Экономический эффект от внедрения, указанного в цели исследований, «разработанного метода безразборного восстановления соединения «вал-манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники» в работе не представлен.

*В заключении* приведены основные выводы по диссертации.

В приложениях представлены: технологический процесс изготовления детали «тонкостенная ремонтная втулка»; сертификат качества на втулку с покрытием ХТВ21; паспорт качества на вакуумное покрытие, результаты испытаний для определения износостойкости исследуемых соединений; акт эксплуатационных испытаний упрочненных тонкостенных втулок от 15.07.2025 г.

**Апробация результатов диссертационных исследований.** По теме диссертационной работы опубликовано 4 печатные работы, в том числе 3 публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 публикация в издании, индексируемом в международных аналитических базах данных (Scopus).

**Личный вклад автора** состоит в анализе научно-технической литературы; в исследованиях механизмов абразивного изнашивания в зоне контакта вала и манжеты; в анализе способов упрочнения поверхностного слоя и в выборе оптимальных способов для упрочнения тонкостенных ремонтных втулок; в изготовлении образцов тонкостенных ремонтных втулок с заданными параметрами шероховатости и микротвердости рабочей поверхности; в проведении испытаний рабочей поверхности втулок на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы, испытаний для определения сил трения и температуры в зоне контакта втулки

с манжетой, испытаний по определению износостойкости исследуемых соединений, эксплуатационных испытаний тонкостенных ремонтных втулок; в обработке и анализе полученного объема экспериментальных данных; в подготовке статей и выступлениях с докладами на конференциях.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Результаты исследований, выполненных в диссертационной работе, могут быть использованы предприятиями технического сервиса, машинно-тракторными мастерскими хозяйств и сервисными бригадами при выполнении ремонтных работ по восстановлению герметичности уплотнительных устройств подшипниковых узлов, учеными и организациями, занимающимися разработкой требований и рекомендаций по повышению работоспособности техники как в сельском хозяйстве, так и в смежных областях.

#### **Замечания по диссертации**

1. Соискатель некорректно использует два разных термина «метод» и «способ» применительно к исследуемому в работе процессу восстановления. Так, на стр.4 автореферата, 2-й абзац сверху: «...необходимо разработать быстрый и экономически выгодный способ восстановления рабочих свойств наружной цилиндрической поверхности вала». Ниже, 3-ий абзац: «...Цель исследования. Разработать метод безразборного восстановления соединения...».

2. В заключении диссертации отсутствует вывод, описывающий достижение поставленной соискателем цели исследования: «разработать метод безразборного восстановления соединения «вал-манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники». Решение задачи 4 «разработать технологию изготовления тонкостенной ремонтной втулки» не отражает выполнение поставленной цели исследования.

3. Весьма спорно утверждение автора о доминировании абразивного вида изнашивания в исследуемой паре трения. В классическом представлении в нормальных (штатных) условиях эксплуатации соединения «вал-манжета» основным видом рассматривается усталостное изнашивание (Крагельский И.В.). И в диссертации на стр.15 рисунок 1.7 - Износ вала соискатель указывает: «...На рабочей поверхности вала в месте контакта с рабочей кромкой манжеты образуется канавка ...». Четко выраженный вид и размер канавки указывает на контактное взаимодействие поверхностей и усталостный характер износа.

4. Соискатель для определения износостойкости восстановленных соединений «вал-манжета» использует методику испытаний по ГОСТ 23.224-86 «Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей», который применяется для оценки износостойкости поверхностей при контактном взаимодействии. Не понятно, в чем необходимость использования в работе второго метода испытаний рабочей поверхности втулок на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы (ГОСТ 23.208-79)?

5. Износ вала всегда происходит в зоне действия пружины манжеты. То есть это локальный местный неравномерный кольцевой износ. Это подтверждено рис 1.7 текста диссертации. В тексте далее приведен пример ремонтной втулки диаметром 45мм и шириной 22мм. Как это согласуется с локальным износом при ремонте в полевых условиях при безразборном ремонте?

6. В главе 2 «Теоретическое обоснование основных параметров тонкостенной ремонтной втулки» нет учета изменения размеров втулки при ее установке на вал. Если принять диаметр вала постоянным, что практически не бывает, то при установке втулки надо учитывать необходимость ее жесткой фиксации на валу для исключения проскальзывания, то есть устанавливая (запрессовывая) с определенным натягом. С учетом выбора материала для втулки из нержавеющей стали, обладающей значительной пластичностью по сравнению с материалом вала, процесс установки приведет к изменению

внешних размеров и нарушению требуемого натяга между втулкой и манжетой.

7. Выбранное токарное оборудование для изготовления втулки по паспорту обеспечивает точность 0,01мм – это его предельная точность. В тексте диссертации в главе 4 приведен технологический процесс изготовления втулки с точностью 0,01мм как по наружному, так и по внутреннему диаметру. Использование поддерживающей оснастки в операции 021 ставит под сомнение точность обработки.

8. В главе 5 «Расчетный экономический эффект» нет ссылки на принятое общее количество обрабатываемых деталей. При массовом производстве ремонтных втулок возможны приведенные затраты. Но с учетом большого количества типоразмеров валов и уплотнений приведенные цифры требуют уточнений.

Перечисленные замечания не снижают общую положительную оценку рецензируемой диссертационной работы.

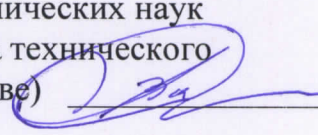
Диссертация и автореферат написаны технически грамотным языком, а структура и содержание автореферата отражает содержание диссертации.

### **Заключение**

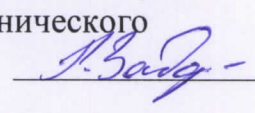
Диссертационная работа на тему «Восстановление соединений «вал–манжета» подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники» выполнена на актуальную тему и является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к кандидатским диссертациям (пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.). Автор диссертационной работы Лапаев Андрей Валентинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Заключение принято на расширенном заседании отдела разработки технологий и multifункциональных покрытий деталей сельскохозяйственной техники ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» протокол № 9 от «06» ноября 2025 г. Присутствовало - 16 человек. Результаты голосования: за - 16 человек, против - нет, воздержавшихся - нет.

Главный научный сотрудник-  
заведующий отделом разработки технологий  
и multifункциональных покрытий  
деталей сельскохозяйственной техники  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, доктор технических наук  
(05.20.03 – Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве)

 Денисов Вячеслав  
Александрович

Ведущий научный сотрудник –  
руководитель центра коллективного  
пользования «Нано-центр»,  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, кандидат технических наук  
(05.20.03 – Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве)

 Задорожный  
Роман Николаевич

Подпись В.А. Денисова и Р.Н. Задорожного заверяю:  
Ученый секретарь  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,  
канд. техн. наук.

 Ещин Александр Вадимович

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)  
109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5  
Телефоны: 8(499)171-43-49; 171-19-33; факс: 8(499)-171-43-49  
E-mail: vim@vim.ru  
Официальный сайт: <http://vim.ru>