

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т.
Трубилина», доктор биологических
наук, профессор, академик
Российской академии наук



А. Г. Кощаев
А. Г. Кощаев
2025 год

ОТЗЫВ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» на диссертационную работу Бадекина Максима Юрьевича «Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин ионно-плазменными методами», 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 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Актуальность диссертационного исследования

Актуальность диссертационной работы Бадекина М. Ю. не вызывает сомнений. Как известно, условия эксплуатации почвообрабатывающей техники в средней полосе России и стране в целом стремительно усложняются. Возникает острая производственная проблема, когда из-за интенсивного абразивного, ударного и коррозионного воздействия почвы всё чаще и чаще в процессе работы температура и механические нагрузки на рабочие органы приобретают экстремальный характер. Главной причиной экономических потерь в сельскохозяйственном производстве при складывающихся условиях

его функционирования как отрасли АПК является снижение адаптивных способностей материала в поддержании износостойкости и толерантности к тепловому и механическому стрессу.

Применение интенсивных способов обработки почвы в условиях промышленного земледелия предъявляет особенные требования к материалам рабочих органов, которые вместе с рациональной конструкцией являются важным фактором увеличения продуктивности почвообрабатывающих машин за счёт сокращения простоев техники, уменьшения расхода запасных частей и повышения качества производимых агротехнологических операций. Имеется много ссылок на различные библиографические источники.

Вторая глава посвящена исследованию влияния химического состава и термической обработки на эксплуатационные характеристики сталей, применяемых для рабочих органов почвообрабатывающих машин. Рассматриваются закономерности износа, роль легирующих элементов, механизмы упрочнения, а также методы синтеза износостойких покрытий, наносимых вакуумными методами, с обоснованием выбора нитрида титана как оптимального упрочняющего слоя.

В третьей главе представлены материалы, программа и методики исследования, использованные при экспериментальной работе. Описаны химический состав стали Л53 и наплавочного сплава Сормайт, программа испытаний, включая режимы вакуумного отжига и нанесения покрытия TiN. Подробно изложены методики: термической обработки, получения TiN-покрытия методом магнетронного распыления, металлографического и рентгеноструктурного анализов, измерения микротвердости, сканирующей электронной микроскопии, оценки коррозионной стойкости и полевых испытаний на опытном поле.

В четвёртой главе автором представлены результаты экспериментальных исследований, включающие данные металлографического, рентгеноструктурного и сканирующей электронной микроскопии анализов, а также измерения микротвердости, оценки коррозионной стойкости и полевых испытаний. Показано, что оптимальный режим вакуумного отжига (1000 °С, 180 мин) обеспечивает формирование диффузионной зоны толщиной ~200 мкм и максимальную микротвёрдость

8,56 ГПа. Установлено, что финишный отжиг при 500 °С в течение 180 мин критически важен для стабильности покрытия TiN. Полевые испытания подтвердили повышение износостойкости по сравнению с серийными лемехами из стали 65Г.

В пятой главе представлено технико-экономическое обоснование разработанной технологии изготовления плужного лемеха из стали Л53 с комплексным упрочнением, включающим наплавку сплава Сормайт, вакуумный отжиг, нанесение покрытия TiN и финишный отжиг. Подробно описаны все этапы технологического процесса — от подготовки заготовки до контроля качества. Приведены результаты испытаний, подтверждающие повышение износостойкости в 2,5–6,5 раз, увеличение ударной вязкости и снижение тягового сопротивления на 5%. Выполнен детальный экономический расчёт для сельхозпредприятия с парком 1000 плугов: показано, что годовой экономический эффект составляет около 13,9 млн рублей за счёт сокращения затрат на закупку лемехов, экономии топлива (~5%) и снижения трудозатрат на обслуживание. Срок окупаемости капитальных вложений в оборудование оценён в 1–1,1 года. Глава доказывает экономическую целесообразность и промышленную применимость предложенной технологии.

Таким образом, исследования, связанные с разработкой методов и технических средств обеспечения параметров оптимальной износостойкости лемехов, являются актуальными.

Тема диссертации М. Ю. Бадекина соответствует программе «О концепции развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России до 2025 года», утверждённой приказом Министерства сельского хозяйства РФ №342 от 25 июня 2007 года.

Научная новизна и достоверность полученных результатов

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке ступенчатой системы упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, сочетающей наплавку сплава Сормайт, вакуумный отжиг при 1000 °С и нанесение покрытия TiN. Достоверность результатов подтверждена математическим моделированием, лабораторными

и полевыми испытаниями, а также статистической обработкой данных.

Достоверность научных положений и сформулированных выводов подтверждается результатами математического моделирования, а также исследованиями, выполненными в производственных условиях. Для обработки опытных данных использованы статистические методы, стандартные и специально разработанные компьютерные программы.

Значимость полученных автором диссертации результатов для науки в инженерной сфере АПК

Значимость полученных автором диссертации результатов для науки в инженерной сфере АПК заключается в разработке научно обоснованной технологии комплексного упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, сочетающей наплавку сплава Сормайт, вакуумный отжиг и нанесение покрытия из нитрида титана (TiN). Предложенные технические решения обеспечивают формирование градиентной структуры с оптимальным сочетанием прочности основы, износостойкости наплавленного слоя и коррозионной стойкости поверхностного покрытия. Реализована рациональная технологическая цепочка изготовления лемеха из стали Л53, включающая строго регламентированные режимы термообработки и напыления, что позволяет достичь повышения износостойкости в 2,5–6,5 раз и снижения тягового сопротивления на 5%. Научная новизна подтверждена патентом на изобретение, свидетельством о регистрации ноу-хау и базами данных, что свидетельствует о высоком уровне инновационности и готовности технологии к промышленному внедрению.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования

Рекомендуется внедрять разработанную технологию комплексного упрочнения на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения и в ремонтных службах хозяйств с парком от 1000 плугов. Технология обеспечивает 2,5–6,5-кратное повышение износостойкости, снижение тягового сопротивления на 5% и годовой экономический эффект до 13,9 млн руб., что подтверждает её экономическую целесообразность и промышленную

применимость.

Полученные научно-технические решения могут быть использованы в учебном процессе аграрных вузов Российской Федерации при подготовке бакалавров и магистров по направлению подготовки «Агроинженерия», а также при подготовке кадров высшей квалификации по направлению подготовки «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса».

Оценка содержания диссертации

Диссертация изложена на 244 страницах, состоит из введения, пяти глав основной части, заключения, списка литературы (включает 134 наименования, в том числе 51 – на иностранном языке) и 1 приложения. Основной текст содержит 3 таблицы и 9 рисунков.

Во введении автор обоснованно формулирует актуальность выбранной темы, подробно рассматривает практические проблемы эксплуатации почвообрабатывающей техники и существующие подходы к повышению износостойкости её рабочих органов. Здесь четко обозначены цель и задачи исследования, предмет и объект работы, а также сформулированы положения, выносимые на защиту. Особое внимание уделено раскрытию научной новизны и практической значимости, что свидетельствует о глубоком понимании автором исследуемой проблемы.

Первая глава представляет собой обстоятельный литературный и аналитический обзор. Автор систематизировал широкий круг отечественных и зарубежных исследований в области упрочнения рабочих органов, подробно рассмотрел механизмы их изнашивания, выделил основные типы воздействий: абразивный, коррозионный, ударный. В тексте приводится критический анализ методов поверхностного упрочнения – от традиционной термической обработки и наплавки до современных технологий нанесения покрытий. Автор справедливо отмечает, что многие из существующих методов обеспечивают высокую твердость, но не всегда гарантируют надежное сцепление покрытия с основой, что ограничивает их применение. По стилю изложения и глубине проработки можно сказать, что первая глава представляет собой самостоятельное научное исследование с высокой

ценностью для специалистов в области материаловедения и сельскохозяйственного машиностроения.

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию выбранного направления работы. Здесь автор рассматривает влияние химического состава стали и условий термообработки на структуру и свойства материала, подробно останавливается на закономерностях формирования диффузионных зон при вакуумном отжиге, а также на механизмах осаждения нитридных покрытий. Сформулированы гипотезы, которые проверяются в экспериментальной части. Важным достоинством является использование расчетных моделей для оценки процессов диффузии и изменения микротвердости, что придает исследованию системный характер.

Третья глава описывает методическую базу исследования. В ней приведены характеристики применяемых материалов (сталь Л-53, наплавка Сормайт), подробно описаны режимы термообработки, оборудование для нанесения покрытий и их исследования. Особое внимание уделено металлографическим методам анализа, рентгеноструктурным исследованиям, а также испытаниям на износостойкость и коррозионную стойкость. Автор детально раскрывает методику проведения каждого вида испытаний, указывает условия экспериментов и последовательность их выполнения. В тексте представлены фотографии экспериментальных установок и микроструктурных изображений, что придает работе высокий уровень наглядности.

Четвертая глава является ключевой, так как содержит основные результаты экспериментальных исследований. Здесь подробно рассмотрены закономерности формирования структуры стали после различных режимов вакуумного отжига, приведены данные по микротвердости, толщине диффузионной зоны. В этой главе отражены результаты рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии. Автор демонстрирует комплексный подход: сравниваются свойства образцов с различными режимами обработки, выявляются оптимальные технологические параметры, обосновываются причины повышения долговечности. Особенно ценно, что лабораторные результаты сопоставлены

с полевыми испытаниями на реальных почвообрабатывающих машинах. Это подтверждает прикладной характер исследования и его практическую значимость.

Пятая глава посвящена технико-экономическому обоснованию внедрения разработанной технологии. Автор подробно рассматривает экономические показатели: стоимость упрочнённых лемехов, срок их службы, затраты на замену и ремонт, экономию топлива. На основе расчетов сделан вывод о высокой эффективности предложенного подхода: экономический эффект для крупного хозяйства оценивается в десятки миллионов рублей ежегодно. При этом срок окупаемости внедрения технологии составляет менее года. Автор подчеркивает, что помимо прямого экономического эффекта, технология способствует снижению нагрузки на окружающую среду за счет уменьшения расхода металла, топлива и сокращения количества отходов.

Замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа Бадекина Максима Юрьевича заслуживает в целом положительной оценки. Однако необходимо указать на следующие недостатки, которые в ней имеются:

Глава 1, стр. 19–21. Дублируются ссылки на одни и те же источники [57, 61].

Глава 2, стр. 46–47. Встречаются неопределенные формулировки («значительные динамические нагрузки»), требующие численных уточнений.

Глава 3, стр. 81–83. В методике упоминается использование мишени из Pt, что вызывает вопросы и требует пояснения.

Глава 3, стр. 117–120. При описании СЭМ-исследований отсутствуют ссылки на стандарты.

Глава 4, стр. 162–167. Формулы (96)–(102) приведены без пояснения обозначений.

Глава 4, стр. 158–162. Отсутствуют доверительные интервалы при анализе изменения микротвердости.

Глава 5, стр. 210–218. Экономическое обоснование не содержит сравнения с зарубежными аналогами; не указаны все исходные данные.

Общие замечания: мелкий шрифт в подписях отдельных рисунков (рис.

1.2, 3.4, 4.6); неоднородность оформления списка литературы; декларативные формулировки в выводах (например, «технология является перспективной», стр. 68) без количественного подтверждения.

Поставленные вопросы и сформулированные замечания являются уточняющими, они не затрагивают основной сути проделанной работы и не снижают ее научную и практическую значимость. Вышеуказанные вопросы не снижают положительной оценки данной диссертационной работы, так как носят дискуссионный и познавательный характер.

Завершенность и качество оформления диссертационной работы

Основные положения, полученные результаты, выводы и рекомендации диссертационной работы Бадекина М.Ю. являются в целом обоснованными и имеют научную новизну. Научные результаты, положения и рекомендации, разработанные в рамках диссертационного исследования Бадекина М.Ю. прошли достаточную апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Результаты диссертации достаточно полно отражены в 10 печатных работах, в том числе: опубликовано 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 публикация в журнале, индексируемом в международной базе данных (Scopus, Web of Science). По результатам исследования получен 1 патент на изобретение

Диссертационная работа и автореферат изложены технически грамотным языком. Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Содержание автореферата отвечает предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Бадекина Максима Юрьевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые обоснованные технико-технологические решения проблемы повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин ионно-

плазменными методами. Внедрение предложенных решений вносит значительный вклад в развитие отрасли сельскохозяйственного машиностроения и агропромышленного комплекса страны в целом.

Диссертационная работа соответствует критериям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Бадекин Максим Юрьевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертация, автореферат и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании кафедры тракторов, автомобилей и технической механики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» от 06 октября 2025 года (протокол № 5).

Заведующего кафедрой тракторов,
автомобилей и технической
механики, доктор технических наук,
профессор

Курасов Владимир Станиславович

Личную подпись тов.
ЗАВЕРЯЮ: *М. И. Удовин*
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
М. И. УДОВИЦ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13 mail@kubgau.ru (861) 221-59-42

Согласны на сбор, обработку, хранение и передачу наших персональных данных при работе диссертационного совета 35.2.030.03 по диссертационной работе Бадекина Максима Юрьевича.