

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Бугаева Александра Вячеславовича на тему «Восстановление работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин термодиффузионным хромированием», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса в диссертационный совете 35.2.030.03, созданный на базе ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

### **Актуальность избранной темы**

Диссертационная работа Бугаева А.В. посвящена решению одной из ключевых проблем агропромышленного комплекса – повышению ресурса и надёжности рабочих органов почвообрабатывающих машин, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания

Актуальность темы не вызывает сомнений и подтверждается следующими факторами:

1. Стратегическая значимость – тема соответствует положениям Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации и Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы, которые предусматривают технологическую модернизацию АПК и обновление парка техники.

2. Острый дефицит и износ техники – в работе приведены убедительные данные (Росстат, Росспецмаш) о сокращении производства культиваторов, плугов, борон и о высокой доле импортной техники (до 85% по отдельным позициям). При этом средняя наработка на отказ лап культиваторов составляет всего 7–18 га, что является критически низким показателем.

3. Необходимость импортозамещения – после ухода зарубежных брендов (John Deere, Horsch, Lemken и др.) остро встал вопрос о создании

отечественных технологий ремонта и восстановления рабочих органов, позволяющих кратно увеличить их ресурс.

4. Новизна подхода – автор предлагает использовать для восстановления стрелчатых лап метод диффузионного хромирования, который ранее применялся в основном для прецизионных деталей топливной аппаратуры, а не для массовых почворежущих органов. Это открывает новое направление в техническом сервисе сельскохозяйственной техники.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертационная работа Бугаева А.В. базируется на глубоком анализе трудов отечественных и зарубежных учёных в области теории почвообработки, трения, изнашивания, диффузионных процессов, материаловедения и технологий восстановления деталей машин. Автор опирается на фундаментальные работы в области диффузионной металлизации (Г.Н. Дубинин, А.Н. Минкевич, В.Н. Бугаев, М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, Э.И. Кочетов, Б.А. Богачёв, Ю.В. Мазаев и др.), теории резания грунтов и почвообрабатывающих машин (А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, Г.Н. Синеоков, И.В. Панов, Ю.А. Ветров), абразивного изнашивания и триботехники (И.В. Крагельский, М.М. Тененбаум, М.М. Севернев, С.А. Сидоров), а также на результаты исследований по упрочнению и восстановлению рабочих органов сельхозмашин (В.Ф. Аулов, М.Н. Ерохин, В.П. Лялякин, А.М. Михальченков, В.С. Новиков, С.А. Зайцев, А.С. Юдников, А.В. Коломейченко, Н.В. Титов и др.). Это обеспечило методологическую корректность и научную преемственность работы.

Цель и задачи диссертации, сформулированные автором, полностью соответствуют уровню докторской диссертации и направлены на решение крупной научно-технической проблемы – повышения работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин за счёт разработки и внедрения технологии диффузионного хромирования. Задачи исследования логически

связаны с целью, последовательно раскрыты в главах работы и нашли своё отражение в заключительных выводах.

*Обоснованность научных положений обеспечивается комплексным подходом, включающим:*

- теоретическое моделирование диффузионных процессов (параболический закон роста карбидного слоя, уравнения Аррениуса для коэффициента диффузии);
- аналитическое описание силового взаимодействия лапы с почвой с учётом углов резания и заострения, сил трения, тяжести и инерции;
- применение методов планирования эксперимента (реплика  $2^{3-1}$ , регрессионный анализ, критерии Фишера и Стьюдента) для оптимизации режимов хромирования;
- использование современных средств измерений;
- проведение широкого спектра экспериментальных исследований – от лабораторных испытаний на износостойкость до полевых испытаний в условиях реальной эксплуатации (Московская область) и сопоставление результатов с данными машиноиспытательных станций Минсельхоза России.

Достоверность выводов подтверждается:

- высокой сходимостью теоретических и экспериментальных данных (коэффициенты корреляции 0,68–0,85, адекватность регрессионных моделей по критерию Фишера);
- повторяемостью опытов (не менее 4–5 повторений) и статистической обработкой результатов;
- положительными результатами независимых испытаний на Центрально-Черноземной МИС, а также актами внедрения в ОАО «Брянксельмаш» и положительным отзывом Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России.

*Соответствие выводов поставленным задачам:*

Вывод 1 (теоретическое обоснование диффузионного хромирования) – соответствует задаче 1. Описан механизм формирования покрытий, получены зависимости толщины слоя от температуры и времени.

Вывод 2 (влияние режимов на толщину и свойства) – соответствует задаче 2. Приведены количественные данные для сталей 45, У8А, 65Г, 30ХГСА, ХВГ при температурах 1100–1200°С и выдержке 2–6 ч.

Вывод 3 (результаты износных испытаний) – соответствует задаче 3. Установлено повышение износостойкости хромированных пластин в 2,5–3 раза по сравнению с закалённой сталью 45, наилучшие показатели у стали ХВГ.

Вывод 4 (напряжённое состояние и прочностной расчёт) – соответствует задаче 4. Выявлены зоны наибольших напряжений (режущая кромка и места крепления), определён минимальный коэффициент запаса прочности – 1,99.

Вывод 5 (влияние углов на тяговое сопротивление и расход топлива) – соответствует задаче 5. Получены экспериментальные зависимости для углов резания 15–35° и заострения 14–35°, определены рациональные значения ( $\alpha = 25^\circ$ ,  $\beta = 17^\circ$ ).

Вывод 6 (оценка степени разрыхления методом фрактального анализа) – соответствует задаче 6. Установлено, что наиболее интенсивное и равномерное рыхление достигается при  $\alpha = 15\text{--}25^\circ$ ,  $\beta = 14\text{--}23^\circ$ , а наиболее равномерное – при  $\alpha = 25\text{--}30^\circ$ ,  $\beta = 17^\circ$ .

Вывод 7 (результаты полевых испытаний) – соответствует задаче 7. Ресурс восстановленных лап в 1,64 раза выше (72 га против 44 га), тяговое сопротивление и расход топлива снижены в среднем в 1,25 раза.

Вывод 8 (потребительские свойства культиватора) – соответствует задаче 8. Подтверждено соответствие критериям Постановления Правительства РФ № 740 (глубина обработки, крошение, гребнистость, наработка на отказ).

Вывод 9 (разработка технологии восстановления) – соответствует задаче 9. Представлены технологическая карта, номенклатура восстанавливаемых лап,

режимы хромирования (1200°C, 6 ч), конструкция крепления пластин (болтовое соединение).

Вывод 10 (экономическая эффективность) – соответствует задаче 10. Рассчитан годовой экономический эффект в 5,28 млн руб. при программе 3200 лап.

### **Оценка новизны и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научную новизну диссертационного исследования составляют:

- зависимости влияния режимов диффузионного хромирования на толщину и физико-механические свойства покрытий;
- модель влияния основных факторов рыхления почвы на тяговое сопротивление культиватора;
- методика исследования напряженного состояния культиватора и прочностного расчета восстановленной лапы;
- зависимости влияния углов резания и заострения лапы на тяговое сопротивление культиватора и расход топлива МТА;
- зависимости влияния углов резания и заострения лапы на степень разрыхления почвы;

*Достоверность результатов обеспечена:*

- применением стандартных и специально разработанных методик сбора и обработки данных, включая многофакторное планирование эксперимента, регрессионный анализ с проверкой адекватности по критерию Фишера, оценку значимости коэффициентов по критерию Стьюдента, повторность опытов не менее 4–5 раз;
- использованием современного сертифицированного метрологического оборудования;
- высокой сходимостью теоретических и экспериментальных данных;
- положительными результатами независимых испытаний на Центрально-Черноземной государственной зональной машиноиспытательной станции,

а также актами внедрения в ОАО «Брянксельмаш» и рекомендацией Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России.

*Теоретическую значимость работы представляют:*

- теоретическое описание механизма формирования карбидных хромовых покрытий на стальных пластинах с учётом встречной диффузии углерода и хрома, включая аналитические зависимости толщины карбидного слоя от температуры, времени и толщины образца;
- разработанная модель силы сопротивления рыхлению как суммы пяти составляющих, позволяющая прогнозировать тяговое усилие в зависимости от углов резания и заострения;
- обоснование фрикционных свойств хромовых покрытий и механизма «залипания» для защиты от абразивного изнашивания;
- впервые применённый метод фрактального анализа для количественной оценки качества разрыхления почвы и установления корреляции между структурой обработанного грунта и параметрами рабочего органа;
- результаты прочностного расчёта и анализа напряжённого состояния конструкции культиватора, выполненные методом конечных элементов.

*Практическая значимость работы заключается в:*

- разработанных и внедрённых технологических решениях по восстановлению стрельчатых лап культиваторов, включая изготовление сменных хромированных пластин и их болтовое крепление, что позволяет многократно восстанавливать рабочие органы без потери их функциональных свойств;
- разработанной технологии диффузионного парофазного хромирования стальных пластин при оптимальном режиме, обеспечивающем износостойкость в 2,5–3 раза больше по сравнению с закалённой сталью 45;

- разработанных рекомендациях по выбору рациональных углов резания и заострения для обеспечения минимального тягового сопротивления, снижения расхода топлива и высокого качества крошения почвы;
- подтверждённых полевых испытаниях, показавших, что ресурс восстановленных лап составляет 72,0 га (в 1,64 раза выше серийных), а тяговое сопротивление и расход топлива снижаются в среднем в 1,25 раза;
- разработанной и внедрённой технологической карте восстановления работоспособности стрелчатых лап, включающей номенклатуру восстанавливаемых рабочих органов для различных марки культиваторов;
- ожидаемом годовом экономическом эффекте в размере 5,28 млн руб. при программе восстановления 3200 лап.

### **Замечания**

1. Условие «залипания» хромированной поверхности ( $\varphi > 90^\circ - \alpha > \varphi'$ ) получено для статической схемы клина, но в реальных условиях лапа движется с вибрациями, угол резания меняется, а скорость скольжения непостоянна; динамический аспект в работе не рассмотрен.
2. Не приведены результаты по остаточным напряжениям в диффузионном слое и их влиянию на усталостную прочность и трещиностойкость тонких пластин (0,6–4 мм) при изгибе.
3. При фрактальном анализе не указан критерий выбора размера ячейки, не приведена оценка погрешности определения фрактальной размерности, не описана калибровка по эталонным снимкам, а коэффициенты корреляции даны без доверительных интервалов и уровня значимости.
4. Отсутствуют данные о коррозионной стойкости хромированных пластин в агрессивных почвенных средах (кислые, засоленные почвы, высокая влажность).
5. Не указано, проводилась ли дополнительная термообработка (закалка, отпуск) после диффузионного хромирования, хотя при 1200°C происходит рост зерна, снижающий ударную вязкость.

6. Для хромового покрытия отсутствуют экспериментальные данные зависимости коэффициента трения от влажности почвы – приведено лишь качественное утверждение без конкретных цифр и доверительных интервалов.

7. Не определён срок окупаемости капитальных вложений (вакуумная печь, станки), что важно для потенциальных инвесторов – ремонтных предприятий.

8. В списке литературы есть устаревшие нормативные ссылки (ГОСТ 5905-79, ГОСТ 20553-85), следует заменить на действующие стандарты.

9. На микрофотографиях покрытий (рис. 4.22–4.28) отсутствует маркировка фаз (карбиды хрома, интерметаллиды, феррит, перлит), что затрудняет интерпретацию для неспециалистов в металловедении.

10. В описании методики фрактального анализа не приведены параметры обработки в программе Gwyddion (размер ячейки, порог бинаризации, количество итераций) и не указано, сколько снимков анализировалось для каждой серии и как устранялись артефакты.

### **Заключение**

Представленная Бугаевым Александром Вячеславовичем диссертация выполнена на актуальную тему, является научно-квалификационной работой, выполненной на достаточных научном и экспериментальном уровнях. В ней на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение ресурса и восстановление работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин за счёт применения термодиффузионного хромирования. Внедрение этих решений вносит значительный вклад в развитие агропромышленного комплекса страны, особенно в условиях импортозамещения и необходимости повышения надёжности отечественной техники.

Диссертация имеет внутреннее единство, логическое построение и соответствует паспорту специальности 4.3.1. – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы, что подтверждается использованием современных методов планирования эксперимента, статистической обработки данных, сертифицированного оборудования и положительными результатами независимых испытаний и внедрения в производство.

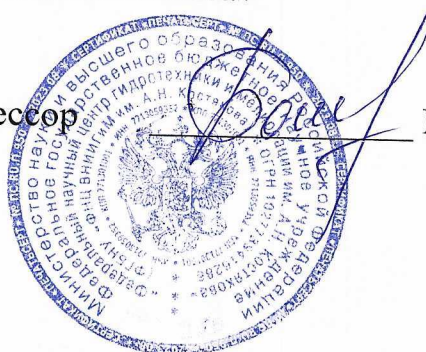
Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа соответствует критериям, указанным в п. 9, 10, 11, 13 и 14 постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор – Бугаев Александр Вячеславович – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по указанной выше специальности.

Официальный оппонент,

Заместитель директора по инвестициям и общим вопросам  
ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»

доктор технических наук, профессор

Г.И. Бондарева



«01» июня 2026 года

Бондарева Галина Ивановна, доктор технических наук (05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»), профессор, заместитель директора по инвестициям и общим вопросам ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»

Почтовый адрес: Россия, 127434, Москва, ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»)

Сайт: <https://www.vniigim.ru/>; тел.: ++7 (499) 153-72-70; +7 (499) 154-13-26

e-mail: [contact@vniigim.ru](mailto:contact@vniigim.ru)