

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

### Актуальность избранной темы

В сельскохозяйственном производстве России имеется высокоуровневый потенциал плодородных земельных ресурсов, используемый при возделывании сельскохозяйственных культур в растениеводстве. Для обработки соответствующего качества в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20) и Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы (ФНТП) отмечено, что одним из направлений государственной политики в сфере продовольственной безопасности является технологическая модернизация агропромышленного комплекса, в том числе внедрение новой техники и технологий.

Разработка инновационных технологических процессов и технических средств для обработки почвы, реализация потенциала путём восстановления рабочих органов инновационными способами, является чрезвычайно актуальной задачей. Анализ наличия и структуры парка почвообрабатывающей техники указывает на его моральное и физическое старение, ухудшение технического состояния. Вопрос по разработке машины для обработки почвы включены в Перечень критической промышленной продукции в отрасли сельскохозяйственного машиностроения Российской Федерации на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов (утверждён приказом Минпромторга России от 10.04.2024 № 1525). В него вошли различные сельскохозяйственные машины, в том числе для обработки почвы, начиная от дискования, культивации и боронования. По прогнозам Минсельхоза России, доля новых отечественных культиваторов в общем парке к 2030 г. должна возрасти до 25 %.

Соискателем в результате аналитических исследований на платформе РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, выявлены зависимости наработки на

отказ лап культиваторов от технического уровня изготовления отечественных и зарубежных производителей. Для повышения ресурса на заводах изготовителях, в том числе за рубежом, изнашиваемые участки рабочих органов зачастую упрочняют индукционной наплавкой, а для изготовления разработаны и нашли широкое применение борсодержащие марки сталей следующих систем легирования: С-Мп-В, С-Мn-Сr-В, С-Мn-Сr-Ni-В.

В результате выполненных научных исследований и производственных экспериментов сделан вывод, что одним из технологических решений указанной проблемы может стать применение упрочняющей технологии восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин с применением диффузионного хромирования. Предложенный способ, получивший в научно-технической литературе название «термодиффузионное хромирование», разработан в своё время в МГАУ им. В.П. Горячкина профессором В.В. Бугаевым и его учениками для восстановления и упрочнения различных деталей, в основном топливной аппаратуры.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основана на применении существующих методик измерений, приборов и оборудования, подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований, проведением экспериментальных исследований в реальных производственных условиях.

Основные результаты исследований диссертации доложены, обсуждены, одобрены на всероссийских и международных научных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

**Вывод 1** определяет технические и технологические недостатки производства и ремонта рабочих органов культиваторов, позволяющих увеличить ресурс, в том числе и изготовленных зарубежных рабочих органов.

Вывод отражает решение первой задачи исследования, вытекающей из материалов главы диссертации и предпосылок по теоретическому

обоснованию возможности использования технологии диффузионного хромирования при восстановлении рабочих органов от деформаций режущей части и износа рабочей части стрельчатой лапы по ширине.

**Вывод 2** отражает результаты исследований физико-механических свойств покрытий и геометрические параметры компенсирующей пластины при восстановлении работоспособности рабочих органов. Определена необходимость оценки напряжённого состояния конструкции культиватора с учётом влияния основных факторов процесса рыхления почвы на тяговые характеристики сельскохозяйственных машин.

Вывод отражает решение второй задачи исследования и вытекает из материалов второй главы диссертации.

**Вывод 3** констатирует, что составленная программа и методика проведения экспериментальных исследований соответствует требованиям нормативно-технической документации, обладает новизной и высокой достоверностью полученных результатов.

Испытания проведены в соответствии с приказом № 573 от 18 декабря 2018 г. Министерства сельского хозяйства России «Об утверждении способов проведения испытаний для определения функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования федеральными государственными бюджетными учреждениями, осуществляющими проведение испытаний машин и оборудования агропромышленного комплекса, находящимися в ведении Министерства сельского хозяйства Российской Федерации».

Вывод сделан по материалам 3 главы, обоснован, информативен и содержит решение третьей задачи в отношении сравнительных испытаний.

**Вывод 4** отражает теоретические и практические исследования физико-механических свойств покрытий, полученных диффузионным хромированием. Исследовано влияние режимов хромирования на толщину диффузионного слоя. Также определены результаты исследования напряжённого состояния конструкции культиватора и прочность расчёта рабочего органа после восстановления.

**Вывод 5** указывает на определение влияния углов резания и заострения лапы на тяговое сопротивление культиватора и расход топлива трактором в

зависимости от скорости.

Выводы 4 и 5 сделаны по материалам 4 главы, обоснованы, информативны и содержат решение четвёртой и пятой задачи.

**Вывод 6** указывает на оценку степени рыхления почвы рабочим органом после восстановления.

Вывод сделан по материалам 3 главы, обоснован, информативен и содержит решение шестой задачи.

**Вывод 7** подтверждает, что полевые испытания восстановленных стрельчатых лап выполнены на полевой опытной станции ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с МТА МТЗ-1523 с КПС-4. Вывод сделан по материалам 3 главы, обоснован, информативен и содержит решение седьмой задачи.

**Вывод 8** отмечает оценку потребительских свойств.

Вывод сделан по материалам 4 главы, обоснован и содержит решение восьмой задачи.

**Вывод 9** отмечает разработку и апробацию упрочнённых по технологии термодиффузионного хромирования стрельчатых лап.

Вывод сделан по материалам основных глав диссертации и Приложения 7, обоснован и содержит решение девятой задачи.

**Вывод 10** в полной мере раскрывает проведение технико-экономического анализа разработанной технологии рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Вывод основан на результатах пятой главы и является решением десятой задачи.

### **Значимость для науки и практики полученных результатов**

**Научная новизна работы** заключается в предложенных зависимостях влияния режимов диффузионного хромирования на толщину и физико-механические свойства покрытий; предложенной модели влияния основных факторов рыхления почвы на тяговое сопротивление культиватора, а также полученной зависимости качества работы, тягового сопротивления культиватора, изменения расхода топлива трактором от углов резания и заострения лапы культиватора.

**Теоретическая значимость работы** заключается в установлении

оптимальных значений режимов получения покрытий диффузионным хромированием; в обобщении аналитических зависимостей определения показателей работоспособности восстановленных культиваторных лап на основании выявленных мест наиболее напряжённого состояния конструкции культиватора и прочностных расчётов культиваторных лап; определении влияния углов резания и заострения культиваторных лап на качество проведения рыхления почвы, тяговое сопротивление культиватора, расход топлива трактором.

**Практическая значимость работы** заключается: в обосновании механизма формирования покрытий способом диффузионного хромирования, методике исследования напряжённого состояния культиватора и прочностного расчёта восстановленной лапы; в оценке потребительских свойств культиваторов с восстановленными лапами; в разработке и внедрении технологического процесса восстановления работоспособности рабочих органов культиваторов с применением диффузионного хромирования, что подтверждается патентами РФ на изобретение № 2282677 и полезную модель № 236692.

#### **Оценка содержания диссертации, её завершенность в целом и замечания по ее оформлению**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 193 источника, и приложений. Основное содержание работы изложено на 315 страницах, включает 102 рисунка и 35 таблиц, а также 11 приложений на 44 страницах.

**Во введении** сформулирована актуальность темы исследований, степень её разработанности, научная гипотеза, цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, степень достоверности и апробации результатов, реализация результатов исследования, изложены основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

**В первой главе «Состояние проблемы, цель и задачи исследования»** рассмотрена техническая оснащённость почвообрабатывающими машинами современного сельскохозяйственного

рынка в Российской Федерации. Выполненные аналитические исследования подчёркивают спад производства сельскохозяйственных машин, в том числе культиваторов за последние годы.

Выполнен анализ существенного объёма материала по доступным информационным источникам, а также рабочей документации протоколов испытания почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов. Определена оценка изменения геометрических и массовых характеристик стрельчатых лап культиваторов.

На основании анализа систематизированы основные способы упрочнения рабочих органов отечественной и зарубежной почвообрабатывающей техники из различных материалов с применением разнообразных технологий, обеспечивая повышение износостойкости и восстановление работоспособности. Подчёркивается важность диффузионного хромирования для восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин, повышая износостойкость, коррозионную стойкость, адгезию с упрочняемой поверхностью.

***Замечания:***

Таблица 1.3 имеет незаполненные данные (с. 23). Если анализируется рабочий орган культиваторов, работающий в основном на глубине до 14...16 см, зачем проводить анализ глубокорыхлителей чизельных плугов (с. 24)?

Не ясно, для чего автором представлены марки современных культиваторов отечественного производства (с. 27...30), если данная информация имеется в справочной литературе. Желательно их было представить в приложении или ссылкой на источники информационные.

Не смотря на то, что автором представлены перечень критериев функциональных характеристик почвообрабатывающей техники, значений параметров не указано (с. 31).

По аналитическим данным наработка на отказ единичного изделия – культиватора, составляет не менее 120 ч (с. 33), однако не указана наработка на рабочий орган - лапу культиватора. Тогда не ясно, на основании чего автором указывается изнашивание культиваторных лап в диапазоне обработки площади 7...18 га (с. 39), в то время, как при обработке 220 га в ФГБУ «Центрально-Черноземная государственная зональная

машиноиспытательная станция» парботка составила 7,3 га на одну культиваторную лапу (с. 37)?

**Во второй главе «Теоретическое обоснование восстановления работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин диффузионным хромированием»** приведены глубокие исследования диффузионных процессов при хромировании рабочих поверхностей, взаимодействующих с грунтом и почвой. Проработаны теоретические аспекты возможности диффузионного хромирования стальной пластины. Предложены математические зависимости определения тягового усилия культиватора от свойств грунтов и почвы.

Изучение зависимостей коэффициентов трения почвы о сталь, покрытой хромом показало, что при соответствующей влажности почвы формируется почвенная прослойка, защищая поверхность стрелчатой лапы от изнашивания. Минимально предельное значение, исключаящее изнашивание поверхности лапы – до 12 %.

На основании проработки вопроса по износу культиваторной лапы выделены зоны износа при обработке глинистых и песчаных почв, что позволило обосновать толщину и необходимую износостойкость компенсирующей пластины.

Для более наглядного и достоверного расчёта нагрузок на культиватор в работе использованы методы конечных элементов, что позволило оценить коэффициент запаса прочности до 2,64 единицы соответственно.

***Замечания:***

Не во всех зависимостях указаны единицы измерения, что затрудняет анализ достоверности полученных расчётных значений (с. 88, 90)

Имеются редакционные ошибки «...возможность диффузионного хромирования...» (с. 92).

Не ясно, чем руководствовался автор при исследовании процесса рыхления грунта (с. 92), определение которого в соответствии с ГОСТ 25100-2020 (Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация) больше подходит для объекта обработки при производстве инженерных изысканий, проектировании в строительстве зданий и сооружений.

В формулах на страницах 94, 96 используется устаревшая единица

измерения [кгс], а остальные переменные вообще без единиц измерения, что вызывает сомнение в точности расчётов.

Значения на рисунке 2.4 не совпадают с формулами для определения переменных величин (с. 97).

Ось ординат не подписана на рисунке 2.5, что вызывает сложность в чтении графика. Здесь же приведены две зависимости (рисунок 2.6), одна из которой является опытной, вместе с тем не указаны методика, приборы и результаты самих измеренных значений. Коэффициента трения.

Указывая на значения корреляции между твёрдостью и влажностью, ссылка на информационный источник не соответствует трудам Бахтина Петра Устиновича (с. 99).

**В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований»** особое внимание уделено дифференциации вопроса на пять основных этапов, раскрывая методику исследования параметров диффузионного хромирования образцов, а также необходимое приборное обеспечение.

Отмечается применение высокоточных методик для исследования влияния режимов диффузионного хромирования на микротвёрдость, микроструктуру образцов.

Использование современного электронного оборудования и оптических систем также повышает достоверность полученных результатов.

Применение отечественных программных комплексов для моделирования процессов деформации культиваторных лап подчёркивает раскрытие цифровых компетенций и возможность широкого спектра исследований исходных характеристик и материалов, из которых изготовлен не только рабочий орган, но и весь культиватор.

Дальнейшая реализация экспериментальных исследований показывает глубину и слаженность в методологии проработки вопроса лабораторных, полевых опытов и даже при оценке потребительских свойств культиватора с восстановленными лапами.

В соответствии с действующими нормативно-техническими документами чётко составлена последовательность оценки откликов в результате проведения эксперимента, начиная от физико-механических

свойств почвы и грунта, а также основных критериев качества подготовки – глубины, крошения, гребнистости. Также, на основании ОСТ 23.2.164-87 «Лапы и стойки культиваторов. Общие технические условия» брались за исходные при определении износостойкости, оценки наработки на отказ и безотказности культиваторов.

***Замечания:***

Машина контактной сварки МТ-2827УХЛ4 произведена в 90-х годах прошлого века. На современном этапе развития разве не имеется более совершенных установок?

Рисунки 3.7...3.9 являются по своей сути одним чертежом. Следовало представить их на одном рисунке (с. 135).

Из рисунка 3.16 (с. 141) не ясно значение углов заострения режущих кромок.

Рисунок 3.21 (с. 148) имеет расшифровку а, б, хотя самих позиций на рисунке не имеется.

**В четвёртой главе «Результаты исследований и их анализ»** представлены результаты влияния режимов хромирования на толщину диффузионного слоя для различных марок стали 45, У8А, ХВГ, 65Г, 30ХГСА, 0,8 кп.

На основании полученного массива результатов экспериментальных данных и соответствующей обработки значений, составлены уравнения зависимости толщины карбидного слоя от температуры диффузионного хромирования, учитывая также временной показатель.

В ходе экспериментальных исследований получены результаты исследования зависимости микротвёрдости, твёрдости и микроструктуры образцов от режимов диффузионного хромирования.

С целью обеспечения надёжности конструкции рабочего органа автором логические верно используются последние достижения, отражённые в трудах Академика РАН Дидманидзе О.Н. (с. 201, № 180, 181) с использованием метода конечных элементов, в том числе с почвогрунтовой средой в системе Inventor Pro (с. 270).

Особенно отмечается влияние показателей восстановленной культиваторной лапы на значения энергетических характеристик и

качественного выполнения технологического процесса рыхления. На основании составленных регрессионных уравнений реализованы поверхности отклика, анализ которых позволяет выполнить визуально выводы по функционированию исследуемой системы.

Использование фрактального анализа полученных срезов позволило получить более полную картину качества деформации слоя в том числе обработанного с разной скоростью.

***Замечания:***

На основании анализа рисунка 4.22 (с. 182) автором неверно проведён анализ (180).

Обработка данных, в частности расчёт дисперсии, автором указано, что отражена в таблице, однако не указано конкретно в какой таблице (с. 191), что вызывает затруднение с анализом данных.

На основании уравнения регрессии (4.2, с. 189) при нулевых значениях исследуемых факторов ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ), что по сути является исходной характеристикой параметр микротвёрдости составляет значение 8653,1 МПа, так ли это?

Судя по мнению, что: «...ресурс восстановленных лап в 1,64 раза больше, чем у серийных» (с. 223), можно ли утверждать, что лучше сразу осуществлять восстановление для повышения ресурса новых культиваторных лап?

Применение культиватора марки КПС – 4 можно было заменить на более современные сельскохозяйственные машины, в том числе комбинированные.

**В пятой главе «Производственные рекомендации и их экономическая эффективность»** проведены технико-экономические аналитические исследования отдельных вариантов технологических операций. Определено, что цена новой лапы для культиватора КПС – 4 составляет 850 руб., себестоимость восстановленной – 746 руб. при увеличении ресурса в 1,64 раза. Экономический эффект на один рабочий орган составил 165 руб. Таким образом, годовой экономический эффект для удовлетворения потребности на все регионы Российской Федерации составляет 5,28 млн. руб.

*Существенных замечаний по главе 5 нет.*

**Заключение** диссертационной работы содержит результаты, которые соответствуют поставленным задачам и в полной мере отражают исследования автора. Представленные рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы следуют из материалов исследований.

#### **Оценка диссертационной работы в целом**

Диссертация является завершенной, содержит все необходимые для докторской диссертации разделы. Она соответствует требованиям паспорта специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки): 2 пункту паспорта специальности «Теория и методы технологического воздействия на объекты сельскохозяйственного производства (почву, растения, животных, зерно, молоко и др.)»; 3 пункту паспорта специальности «Функциональные, агротехнические и зоотехнические требования к технологиям, машинам и оборудованию для агропромышленного комплекса»; 4 пункту паспорта специальности «Механизированные, автоматизированные и роботизированные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса»; 10 пункту паспорта специальности «Методы, технологии и технические средства обеспечения экологической безопасности, переработки и утилизации отходов сельскохозяйственного производства, эколого-реабилитационные процессы и технологии».

#### **Подтверждение опубликованных основных результатов в научной печати и соответствие автореферата диссертации**

В диссертации присутствуют материалы, опубликованные автором в печатных работах.

По теме диссертации опубликовано 29 научных работ, в том числе: 14 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, статье в издании, входящем в перечень Web of Science, двух патентах Российской Федерации на изобретение и полезную модель.

Основные положения исследовательских работ доложены и одобрены на Международных научных и научно-практических конференциях, в

учебном процессе Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева при подготовке бакалавров по направлениям 35.03.06 Агроинженерия, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, а также научных исследований аспирантов по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертация и автореферат изложены технически грамотным языком.

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

### **Заключение**

Диссертация Бугаева Александра Вячеславовича на тему: «Восстановление работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин термодиффузионным хромированием», содержит научно-обоснованные технические решения по совершенствованию методологии, технологии и технического сопровождения для её реализации с целью повышения качества подготовки почвы и грунта за счёт восстановления параметров и характеристик культиваторных лап, внедрение которых является важной народно-хозяйственной задачей и соответствует паспорту специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертация Бугаева Александра Вячеславовича является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, новизне и практической значимости, а также объему выполненных исследований соответствует критериям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Автор диссертации, Бугаев Александр Вячеславович, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент: доктор технических наук (05.20.01), профессор, заведующий кафедрой технологических и транспортных машин и комплексов, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»



Голубев Вячеслав Викторович

Подпись Голубева Вячеслава Викторовича заверяю

Ученый секретарь



Володькина Галина Михайловна

«19» мая 2026 г.

170904, Тверская обл., г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), д. 7,  
Телефон (4822) 53-12-36, E-mail: mail@tvgsa.ru, Федеральное  
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»