ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Леканова Сергея Валерьевича по теме: «Структурно-параметрический синтез мобильных зерноочистительных агрегатов», представленную в диссертационный совет 24.1.211.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1 - Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

1 Актуальность темы

Развитие отечественного агропромышленного производства выдвигает жесткие требования к процессам послеуборочной обработки урожая. Малые и средние формы сельского хозяйства (включая КФХ) сталкиваются с непреодолимым экономическим барьером нехваткой денег при попытках модернизации изношенных стационарных токов послеуборочной обработки зерна. В то же время крупные агрохолдинги несут критические временные и финансовые потери, обусловленные сортовой нагрузкой на семяочистительные линии и простоями машин при частой переналадке под различные агрокультуры.

Рациональным выходом из этой ситуации выступает ускоренное внедрение мобильных зерноочистительных агрегатов. Однако до настоящего времени в послеуборочной обработке зерна отсутствует научная основа разработки мобильных зерноочистительных агрегатов, технологий и технических средств для эффективной послеуборочной очистки зерна и семян, адаптации мобильных агрегатов к условиям их функционирования. Исследование Леканова С.В. ликвидирует данный пробел, формируя фундаментальную методологию структурно-параметрический синтез мобильных зерноочистительных агрегатов. Важность работы подчеркивается ее прямой интеграцией в ключевые государственные программы: «Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы» (Постановление Правительства РФ № 996) и «Стратегию развития машиностроения для пищевой и перерабатывающей промышленности РФ до 2030 года» (Распоряжение Правительства РФ № 1931-р).

2 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Теоретический исследования и практические испытания разработанных технических средств для обработки зерна, предложенные соискателем, обоснованы и обладают высокой степенью достоверности. Они базируются на корректном сочетании системного анализа, математического моделирования многофазных сред, теории структурного синтеза и методов многофакторного планирования экспериментов. Диссертация логично изложена: все выводы аргументированы и жестко увязаны сформированным комплексом исследовательских задач.

- **По первому выводу:** разработанная автором многоуровневая классификационная система мобильных зерноочистительных агрегатов (систематизированная по назначению, механизмам загрузки, способам трансформации, архитектуре емкостей и принципам мобильности) устраняет неопределенность в вопросах создания мобильных зерноочистительных агрегатов. Автор успешно упорядочил существовавшие ранее обособленные технические наработки, трансформировав их в согласованную адаптивную систему, которая служит надежной теоретической опорой при проектировании мобильных зерноочистительных агрегатов.
- **По второму выводу:** предложена математическая модель, связывающая сезонную производительность мобильного зерноочистительного агрегата с географическим расположением и числом обслуживаемых хозяйств. Модель оперирует организационными и эксплуатационными параметрами (временем перевода в рабочее положение, коэффициентами сменности, технической готовности) во взаимосвязи с физикой зернового материала. Это позволяет оптимизировать логистические маршруты и загрузку агрегатов как в рамках агрохолдингов, так и на уровне региона в целом.
- **По третьему выводу:** обоснован параметрический ряд из 7 базовых структурно-функциональных схем мобильных зерноочистительных агрегатов, дифференцированных по целевому назначению и набору рабочих органов. В них применены центробежные сепараторы с вертикальной осью вращения (схемы I, III, V), передовые модули фотосепарации и системы полной энергетической автономности (схема IV «EcoSort Mobile»). Дана четкая дифференциация схем: вариант VI обеспечивает наивысшую техническую готовность (0,844), а вариант VII — максимальный коэффициент объемной трансформации (4,95). Доказана энергетическая эффективность мобильных зерноочистительных агрегатов: удельные

энергозатраты на очистку семян составляют всего 27,05 МДж/т, а продовольственного зерна — 17,36 МДж/т.

- **По четвертому выводу:** на основе тщательного структурного анализа и классификации центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения автором спроектирована новая схема центробежно-решетного сепаратора. Математическое моделирование позволило раскрыть физику разделения зерновой смеси, выявить временной фактор эффективности сепарации (3…4 с) и аналитически рассчитать параметры подсевного решета (угол наклона пластин β_1=28,1…29,3^0, кинематический режим 3,69, подача 20,5–32,5 т/ч·м^2).
- **По пятому выводу:** достоверность научных выводов автора базируется на подтвержденных экспериментальных исследований и производственных испытаний. Аналитические зависимости качества сепарации от характеристик перерабатываемого зернового материала были всесторонне обоснованы при эксплуатации реальных машин (включая модификации ЦРС, ВЦР-50, ЦВС-30) при различной подаче зернового материала, что снимает любые сомнения в адекватности теоретического описания процесса.
- **По шестому выводу:** Достоверность проведенного исследования подтверждается детальной технико-экономической оценкой эксплуатации созданных мобильных зерноочистительных агрегатов где подтверждено экономическое превосходство над традиционными стационарными комплексами аналогичной мощности:
  - в сегменте подработки продовольственных партий зерна удельная себестоимость очистки 1 тонны по разработанной автором схеме VI составляет всего 82 руб./т, что в 2,34 раза экономичнее затрат на стационарных линиях (192 руб./т);
  - при калибровке семенного фонда применение схемы II обеспечивает себестоимость обработки 1 тонны на уровне 368 рублей (снижение в 1,79 раза). Использование более технологичных схем VI и VII позволяет сократить издержки соответственно в 2,35 и 2,58 раза по сравнению со стационарными семяочистительными комплексами.

В диссертации математически доказан высокий потенциал масштабного развертывания предложенных мобильных технологий в разрезе Сибирского федерального округа (СФО):

- при интеграции мобильного сервиса в обработку зерна хотя бы 5% от валового сбора коммерческих зерновых культур региона (что эквивалентно 0,95 млн. тонн вороха) расчетная чистая прибыль за счет внедрения схемы VI достигнет 1442,1 млн рублей.

- при подработке 5% от общего объема семенного фонда региона (около 80 тыс. тонн) ожидаемая чистая прибыль варьируется в зависимости от выбранной архитектуры: для схемы VII показатель составит 172,72 млн рублей, для схемы VI — порядка 235,8 млн рублей, а для схемы II превысит 356,4 млн рублей.

В ходе полевой проверки мобильных зерноочистительных агрегатов соискатель обнаружил их высокую эксплуатационную гибкость. Период перевода машин из транспортного состояния в полноценный рабочий режим (процесс пространственной трансформации конструкций по схемам II, VI и VII) занимает всего от 2 до 4 часов, гарантируя оперативную смену производственных локаций. Результаты диссертации нашли успешное применение в практике сибирских хозяйств в формате внутрихозяйственного использования, доказав полную коммерческую пригодность оборудования для оказания высоколиквидных услуг, а также были внедрены в образовательные программы профильных аграрных вузов, что подкреплено официальными актами.

- **По седьмому выводу:** Итоговые результаты многолетних теоретических и экспериментальных изысканий автора послужили надежным базисом для формулирования исходных технических требований и отраслевых технических заданий. Разработанная документация позволила изготовить опытно-промышленные образцы центробежно-решетных и центробежно-воздушных сепарирующих устройств, мобильных специализированных семяочистительных агрегатов, а также автономных внутрихозяйственных зерно-семяочистительных комплексов. Кроме того, на основе авторских моделей были спроектированы два варианта монтируемых мобильных агрегатов и оригинальные проекты высокопроизводительных стационарных линий послеуборочной обработки.

3 Оценка новизны и достоверности научных положений и выводов

Научную новизну результатов исследования, выносимых на защиту, составляют:

1. Единая научно обоснованная концепция построения структуры мобильных технологий послеуборочной доработки зерна, базирующаяся на системной интеграции технологических операций, функционального назначения агрегатов и способов их трансформации, что позволяет формализовать синтез адаптивных систем.
2. Математическая модель работы мобильного зерноочистительного агрегата и методика расчета его ключевых параметров, учитывающая

динамику процессов через время развертывания, пропускную способность оборудования и логистику размещения точек обработки.

3. Типология и структурная декомпозиция центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения, представленная в виде комплекса классификаций методов подготовки зернового материала, компоновок решетных схем и аспирационных блоков.

4. Детерминированная математическая модель перемещения зернового вороха между пластинами барабана и в активном слое подсевного решета центробежно-решетного сепаратора, описывающая физику распределения давлений сыпучей среды.

5. Закономерности процесса сепарации зерновой смеси на подсевном решете, установившие определяющее влияние соотношения времени движения частиц сквозь толщину кольцевого слоя и времени их нахождения на решете на общую эффективность разделения.

6. Регрессионные математические модели, полученные на основе многофакторного планирования экспериментов, позволяющие установить рациональные конструктивно-режимные параметры (угол наклона пластин β_1, кинематические параметры, удельную подачу) для проектирования центробежно-решетных сепараторов.

Достоверность научных положений обоснована и подтверждается:

1. Корректностью теоретико-методологического базиса, основанного на строгом и последовательном применении фундаментальных законов классической механики гетерогенных дисперсных сред, положений системного анализа, современных методов математического моделирования и аппарата многофакторной математической статистики.

2. Масштабностью и стабильной воспроизводимостью эмпирических данных, полученных соискателем в ходе многолетних лабораторных и производственных испытаний с использованием сертифицированного, современного и прошедшего поверку исследовательского оборудования, измерительных комплексов и средств вычислительной техники.

3. Высокой сходимостью расчетно-теоретических моделей с практическими результатами, что убедительно доказано в ходе широкомасштабных натурных и производственных испытаний полнофункциональных машин нового поколения (включая модификации ЦРС, ВЦР-50 и ЦВС-30) при эксплуатационных режимах загрузки с производительностью до 48,8 т/ч.

4. Официальным признанием новизны и патентной чистоты созданных автором конструктивно-технологических решений, подтвержденных получением 12 действующих патентов Российской Федерации на

изобретения, защищающих как мобильные технологии и агрегаты в целом, так и их отдельные сепарирующие, воздушные рабочие органы, подсевные блоки и цилиндрические щелевые решета.

5. Глубокой независимой экспертизой основных результатов исследования в ведущей научной периодике, подтвержденной публикацией 95 печатных трудов, из которых 57 статей входят в строгий перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, а также изданием двух профильных монографий и научно обоснованных рекомендаций.

6. Широкой многолетней апробацией ключевых концепций работы на авторитетных площадках, включая ежегодные Международные научно-практические конференции (в АГАУ, АлтГТУ, СФНЦА РАН, СибИМЭ в 2006–2025 гг.), крупнейшие межрегиональные форумы «День Сибирского поля», а также признанием заслуг автора на федеральном уровне, что закреплено Премией Алтайского края в области науки и техники и бронзовой медалью XXIII Всероссийской выставки «Золотая осень».

7. Официальным подтверждением практической ценности исследования, выраженным в наличии юридически заверенных актов интеграции, разработанных соискателем инновационных мобильных зерноочистительных технологий в реальный сектор производства сельскохозяйственных предприятий Сибири, а также в учебный процесс и лекционные курсы профильных аграрных высших учебных заведений региона.

4 Оценка содержания диссертационной работы и автореферата

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 334 наименований, 5 приложений на 94 страницах, включает 217 рисунков и 20 таблиц.

- Во **введении** соискатель дает развернутое обоснование актуальности народнохозяйственной проблемы, что данная работа выполнялась в соответствии с «Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017 -2025 годы» и по плану НИОКР ФГБОУ ВО АГАУ «Разработка энергосберегающих технологий и технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур и послеуборочной обработки зерна» и очерчивает научные границы объекта и предмета исследования. Здесь же конкретизированы и четко изложены элементы концептуальной новизны, раскрыто прикладное значение работы и приведены исчерпывающие сведения о ее широкой многолетней апробации.

- **Первая глава «Современное состояние вопроса и содержание научной проблемы»** посвящена анализу современного состояния вопроса, содержит детальный патентно-информационный обзор глобального и отечественного рынков сепарирующего оборудования, охватывающий опыт 214 ведущих предприятий из более чем 20 развитых стран. На основе глубокого декомпозиционного анализа автором разработана фундаментальная система по классификации: самопередвижных зерноочистительных машин; мобильных технологий послеуборочной очистки зерна и семян; мобильных зерноочистительных агрегатов; способов загрузки; мобильных зерносушилок; оперативных емкостей мобильных зерноочистительных агрегатов; способов трансформации мобильных зерноочистительных агрегатов, которая позволила четко определить дефицит научных знаний по разработке мобильных зерноочистительных агрегатов и определить задачи исследования.
- **Вторая глава «Структурный синтез мобильных агрегатов для очистки зерна продовольственного и семенного назначения»** на основе анализа достоинств и недостатков известных мобильных зерноочистительных агрегатов и опыта работы по интенсификации их технологических процессов на различных операциях позволил автору разработать иерархическую структуру мобильной системы послеуборочной обработки зерна. Соискателем предложена оригинальная математическая модель, увязывающая сезонный фонд рабочего времени с пространственно-логистическими факторами, скоростью транспортировки и временем перевода агрегата из транспортного положения в рабочее. Разработана обобщенная структурно-параметрическая модель, формализующая условия эффективного функционирования мобильного зерноочистительного агрегата в зависимости от входных, управляющих, внутренних и выходных параметров.
- **В третьей главе «Теоретические предпосылки интенсификации процесса очистки и обоснования технологических процессов и параметров технических средств»** автор описал теоретически движение зернового материала в поле центробежных сил и определил факторы интенсификации процессов сепарирования зерна в центробежно-решетном сепараторе. Он выявил основные факторы влияющие на процесс сепарации это геометрические параметры пластинчатого барабана (угол наклона и шаг расстановки пластин), а также физико-механические и фрикционные свойства сепарируемого вороха. Автор разработал механико-математическую модель движения зернового слоя между пластин барабана и в активной зоне подсевного решета центробежно-решетного сепаратора,

описывающую физику распределения силового давления. Особый научный интерес представляет математическое моделирования функционирования разработанной поточной технологической линии на базе центробежно-решетных сепараторов и центробежно-воздушных сепараторов в которой обоснована высокая эффективность предлагаемой технологии послеуборочной обработки зерна. Хочется особо отметить, исследования центробежно-решетного сепаратора в режиме триерования с использованием решет с круглыми отверстиями, это позволит не включать в мобильный зерноочистительный агрегат громоздкие малопроизводительные триерные машины. Дополнительно в главе представлены аналитические расчеты по оптимизации параметров конического делительного и зернового решет.

- **Четвертая глава «Моделирование и формирование вариантов технологических операций мобильных зерноочистительных агрегатов для очистки зерновых материалов»** Автором определены основные принципы и требования, предъявляемые к технологическому уровню и конструкциям мобильных зерноочистительных агрегатов с учетом тенденций развития технических средств для очистки зерна и семян. Он обосновал состав мобильных зерноочистительных агрегатов с использованием созданных зерноочистительных машин. А также определил типоразмерный ряд мобильных зерноочистительных агрегатов состоящий из 7 перспективных структурно-функциональных схем мобильных зерноочистительных агрегатов — от узкоспециализированных модулей до энерговооруженных автономных комплексов с фотосепаратором «EcoSort Mobile». Проведена комплексная оценка эффективности разработанных мобильных зерноочистительных агрегатов по критериям технической готовности, объемной трансформации и совокупных энергетических затрат.
- **Пятая глава «Экспериментальные исследования»** состоит из программы экспериментальных исследований разработанных центробежно-решетных, центробежно-воздушных сепараторов и центробежно-решетного ворохоочистителя по обоснованию их основные параметров и определению эффективности очистки зернового материала. А также производственные испытания мобильных зерноочистительных агрегатов в хозяйствах. Экспериментальные исследования позволили обосновать рациональные технологические параметры центробежн0-решетного сепаратора и центробежно-воздушного сепаратора с использованием планирования эксперимента. Реализация планов Плакетта-Бермана позволила отсеять незначимые факторы, получить адекватные регрессионные уравнения качественных показателей и рассчитать рациональные параметры подсевного решета. Здесь же дано подробное описание мобильных зерноочистительных

агрегатов, успешно прошедших опытно-промышленную проверку в хозяйственных условиях.

- **Шестая глава «Экономическая эффективность результатов исследований»** В главе проведена технико-экономическая оценка эффективности использования разработанных мобильных зерноочистительных агрегатов по сравнению со стационарными комплексами аналогичного назначения. Результаты расчетов подтвердили снижение себестоимости (в 1,74–2,58 раза) подработки продовольственного и семенного зерна на мобильных комплексах по сравнению со стационарными аналогами. В главе математически доказан и обоснован экономический потенциал масштабирования предложенных мобильных зерноочистительных агрегатов в границах всего Сибирского федерального округа.

- **В заключении** диссертации в емкой форме представлены основные выводы работы, результаты производственных испытаний мобильных зерноочистительных агрегатов, оценка технико-экономической эффективности разработанных мобильных зерноочистительных агрегатов, сформулированы конкретные рекомендации для машиностроительного сектора.

- **В приложениях** представлены документы, подтверждающие новизну разработанных технических средств (копии патентов), акты внедрения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в хозяйства Алтайского края, признание заслуг соискателя на федеральном и региональном уровнях (Премия Алтайского края в области науки и техники, награды Всероссийской выставки). Педагогическая ценность подтверждена актами интеграции материалов диссертации в учебный процесс ведущих аграрных и технических вузов Сибири. Завершают приложения расчетные матрицы экспериментов, международные реестры заводов-производителей и графические схемы авторских классификаций.

Автореферат диссертационного исследования по своей структуре, объему и стилю изложения полностью соответствует требованиям ВАК РФ. Он написан технически грамотным академическим языком и всецело отражает ключевые идеи, теоретические положения, результаты и выводы диссертации.

5. Оценка содержания и оформления автореферата диссертации

Представленный автореферат является абсолютно адекватным отображением содержания диссертационной работы. Приведенные в нем

материалы, формулировки и выводы полностью тождественны основному тексту рукописи. Ознакомление с авторефератом позволяет сделать однозначное заключение о том, что диссертационная работа Леканова С.В. и квалификация самого соискателя всецело отвечают строгим критериям, регламентированным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям. Весь материал изложен логически последовательно, доказательно и на высоком техническом уровне.

6. Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации

Высоко оценивая рецензируемое исследование Леканова С.В. в целом, необходимо высказать ряд замечаний и дискуссионных положений:

- в первой главе нет сведений по основным удельным технико-экономическим показателям эксплуатации зарубежных мобильных зерноочистительных агрегатов (удельная энергоемкость, удельная металлоемкость и стоимость обработки 1 т.зерна и семян);

- на рисунке 3.2 технологическая схема работы центробежно-решетного ворохоочистителя не показаны наименование рабочих деталей 2,3,17,18,19,20, 21, 24,27;

- в разделе 5.5.1.11 нет сведений по основным параметрам цилиндрического решета с круглыми отверстиями для очистки зерна от овсюга (диаметр отверстий решет, подача зернового материала, кинематические параметры, эффективность выделения овсюга).

- в работе на стр. 97 утверждается, что подсевное решето центробежно-решетного сепаратора с вертикальной осью вращения обеспечивает выделение частично коротких примесей, однако нет данных в работе эффективности очистки зерновых культур от коротких примесей на подсевном решете центробежно - решетного сепаратора;

- в разработанном мобильном зерноочистительном модуле для транспортирования зернового материала и фракций между двумя центробежно-воздушными сепараторами и двумя центробежно-решетными сепараторами используются 4 трубчатых скребковых конвейера, два шнека и ленточный конвейер. Конечно, при обработке и транспортировании зерна на этих машинах наблюдается дробление зерна. В производственных испытаниях мобильного зерноочистительного модуля Вы не представили данные по дроблению основного зерна.

- в разработанном мобильном семяочистительном агрегате для транспортирования семян между центробежно-воздушном сепараторе, машиной вторичной очистки МВУ -1500, пневмосортировальным столом МОС-9Н и двумя решетными станами используете три нории, три шнека и

скребковый транспортер. Конечно, при обработке семян наблюдается травмирование семян на этих машинах. Сколько процентов?

- нет обоснования использования в отделения оптической сортировки фотосепаратора 5V «Taiho» мобильном семяочистительном агрегате «EcoSort Mobile»;

- надо было бы провести сравнительный анализ технико-экономической эффективности разработанных мобильных зерноочистительных агрегатов с существующими зарубежными мобильными зерноочистительными агрегатами;

Высказанные замечания имеют рекомендательный характер, выступают в качестве направлений для дальнейших исследований автора и не влияют на общую высокую оценку выполненного труда.

Заключение

Всестороннее рассмотрение диссертационной работы Леканова Сергея Валерьевича «Структурно-параметрический синтез мобильных зерноочистительных агрегатов», подготовленного к защите в диссертационном совете 24.1.211.01 на базе ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук» (СФНЦА РАН), позволяет охарактеризовать данную работу как масштабное, глубокое и полностью завершенное научно-квалификационное исследование, выполненное автором лично на высоком уровне. Разработанные соискателем оригинальные технические концепции и прогрессивные технологические схемы мобильных зерноочистительных агрегатов обеспечивают качественное решение крупной народнохозяйственной задачи, внося существенный вклад в форсирование темпов модернизации и развитие материально-технической базы современного агропромышленного комплекса Российской Федерации.

По масштабности решенных задач, уровню новизны, теоретической глубине и практической ценности результатов, а также по широте опытно-производственной апробации и объему опубликованных в ведущих научных изданий, рецензируемое исследование в полной мере отвечает всем нормативным критериям, регламентированным пунктами 9, 10, 11, 13 и 14 действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), которые предъявляются к диссертациям на

соискание ученой степени доктора технических наук. Ее автор, Леканов Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по научной специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент
доктор технических наук по специальности
05.20.01 - Технологии и средства механизации
сельского хозяйства, профессор,
профессор кафедры «Биомедицинская техника.
Процессы и аппараты пищевых производств»
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления»

Ямпилов Сэнгэ Самбуевич _____ 11/XI-26
(дата)

Место работы и должность официального оппонента: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ФГБОУ ВО «ВСГУТУ»), кафедра «Биомедицинская техника. Процессы и аппараты пищевых производств». 6670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, строение 1
Телефон организации: +7 (3012) 43-14-15,
E-mail организации: office@esstu.ru, сайт: esstu.ru

Личную подпись Ямпилова С.Э.
Заверяю
11 НОЯ 2026

Леканов С.В