

На правах рукописи



ЛЕКАНОВ СЕРГЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ
МОБИЛЬНЫХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ**

Специальность 4.3.1 - Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

БАРНАУЛ 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО АлтГТУ)

Научный консультант: доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
Сороченко Сергей Федорович

Официальные оппоненты: **Дринча Василий Михайлович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет»

Ямпиллов Сэнгэ Самбуевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»

Бутовченко Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

Защита состоится «10» декабря 2026 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.1.211.01 созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук по адресу: 630501, Новосибирская обл. Новосибирский район, р. п. Краснообск, ул. Центральная, зд. 7, а/я 463, телефон (факс): +7(383)348-12-09, e-mail: sibime@sfscs.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Сибирской научной сельскохозяйственной библиотеки, автореферат и диссертация размещены на сайтах: <https://www.sfscs.ru>, <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Отзыв на автореферат, оформленный установленным порядком просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета и e-mail: ds24121101@sfscs.ru.

Автореферат разослан « » сентября 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Иванников Алексей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Рост урожайности сельскохозяйственных культур и повышение общего валового сбора зерновых, зернобобовых и технических культур совпадает в настоящее время с проблемами в сфере семеноводства, нехватки высокоэффективных сортов и необходимости импортозамещения. На этом фоне послеуборочная обработка зерна и семян находится также в состоянии нестабильности. Многие зерноочистительные и семяочистительные машины, разработанные десятилетия назад морально устарели и не выполняют тот набор функций, которые накладывают на них современные сельхозтоваропроизводители. Резкий рост цен на зарубежные машины для послеуборочной обработки зерна, который кратно уменьшил возможности их приобретения, не позволяет приобретать зарубежные технологии в полном объеме, то есть полноценные семенные линии с полным набором семяочистительных машин и технологического оборудования.

В связи с этим стоит важнейшая задача по разработке собственных отечественных решений с высокоэффективными машинами и разработке технологий на их основе.

Укрупнение сельскохозяйственных предприятий и образование большого количества агрохолдингов приводят к высокой нагрузке на семяочистительные линии, в которых обрабатываются как зерновые и зернобобовые, так и технические культуры, причем одна культура может быть представлена десятком сортов, что приводит к значительным временным затратам при переходе на новый сорт (культуру). С другой стороны, для малых форм хозяйствования (КФХ) сохраняется барьер высокой капиталоемкости классических стационарных линий. Стратегическим решением данной народнохозяйственной проблемы является переход к мобильным технологиям очистки зерна и семян. Однако, несмотря на их практическую востребованность, теоретические основы и методология проектирования адаптивных мобильных систем, обеспечивающих стабильность технологического процесса в условиях многофакторной неопределенности, до настоящего времени изучены недостаточно.

Работа направлена на научно-технологическое обеспечение полной потребности хозяйств Сибирского федерального округа в семенном зерне, отвечающем нормативным требованиям по чистоте и всхожести. Это напрямую соответствует целям Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы и формирует фундамент продовольственной безопасности Российской Федерации.

Связь темы исследований с государственными программами и НИР. Исследования выполнялись в соответствии с основополагающими документами:

- «Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы» (утверждена постановлением Правительства РФ 25 августа 2017 г. № 996);
- «Стратегией развития машиностроения для пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» (утверждена постановлением Правительства РФ 30 августа 2019 года № 1931-р);
- Тематическому плану НИОКР ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» «Разработка энергосберегающих технологий и технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур и послеуборочной обработки зерна»;
- Тематическому плану НИОКР ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» «Совершенствование машин для посева, уборки и послеуборочной обработки зерновых культур».

Степень разработанности темы. Большой вклад в исследования методов построения зерноочистительных линий внесли Бутовченко А.В., Галкин В.Д., Дринча В.М., Ермольев Ю.И., Иванов Н.М., Оробинский В.И., Тарасенко А.П., Ямпиллов С.С. и многие другие.

Однако при всей значимости выполненных исследований некоторые аспекты данной проблемы недостаточно изучены. В частности, не рассмотрено обоснование структуры и состава технологических линий при комплексном использовании критериев эффективности, надежности и сложности системы.

Цель исследования - повышение эффективности послеуборочной обработки зерна и семян путем разработки научных основ структурно-параметрического синтеза мобильных зерноочистительных агрегатов.

Задачи исследования:

1. Провести структурный анализ, систематизацию и классификацию мобильных технологий послеуборочной обработки зерна и технических средств.
2. Разработать структуры мобильных зерноочистительных агрегатов для очистки зерна продовольственного и семенного назначения.
3. Разработать математическую модель функционирования и методику расчета основных параметров мобильного зерноочистительного агрегата.
4. Провести структурный анализ, систематизацию и классификацию центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения. Исследовать процесс сепарации в центробежно-решетном сепараторе, входящем в мобильную технологию очистки зерна и обосновать основные конструктивно-режимные параметры.
5. Выполнить экспериментальные исследования и получить многофакторные математические зависимости показателей качества очистки зерна от конструктивно-режимных параметров центробежно-решетного сепаратора и физико-механических свойств зернового материала для определения его параметров.
6. Провести производственную проверку и дать технико-экономическую оценку основных результатов исследований, внедрить в сельскохозяйственное производство и в учебный процесс в вузах.

Объект исследований: процесс очистки зерна в мобильном зерноочистительном агрегате, построенном на принципах структурно-параметрического синтеза.

Предмет исследований: закономерности технологических процессов, технологические схемы, параметры мобильной технологии очистки зерна, параметры центробежно-решетного сепаратора.

Научная гипотеза - минимизация затрат и получение максимальной прибыли мобильных технологических линий послеуборочной обработки зерна возможна при использовании структурного синтеза в определении рациональных параметров и структур мобильных зерноочистительных агрегатов для конкретных условий функционирования.

Научную новизну представляют:

- разработанная единая научно обоснованная концепция структурной организации мобильных технологий послеуборочной обработки зерна, базирующаяся на комплексной систематизации технологических операций, функционального назначения агрегатов и способов их трансформации, что позволяет формализовать процесс синтеза адаптивных зерноочистительных систем;
- математическая модель функционирования мобильного зерноочистительного агрегата и методика расчета его основных параметров;
- типология и структурная декомпозиция центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения, представленная в виде и классификаций;
- детерминированная математическая модель движения зерновой смеси между пластин барабана и в активном слое подсевного решета центробежно-решетного сепаратора;
- закономерности процесса сепарации зерновой смеси на подсевном решете;
- регрессионные математические модели, полученные на основе экспериментов, позволяющие найти рациональные параметры и режимы работы центробежно-решетного сепаратора.

Новизна технических решений подтверждена 12 патентами на изобретения РФ.

Теоретическая и практическая значимость. Впервые в рамках единого методологического подхода систематизированы мобильные технологии и технические средства, что позволяет формализовать процесс выбора структурных схем агрегатов в

зависимости от производственных задач. Технологические схемы мобильных зерно-семяочистительных агрегатов и их компоновочные решения, позволяющие осуществлять очистку зерна и семян в различных хозяйствах. Технические решения: воздушных сепараторов с кольцевым аспирационным каналом, центробежно-решетного блока зерноочистительного сепаратора с вертикальной осью вращения, позволяющие усовершенствовать мобильные и стационарные линии послеуборочной очистки зерна, снизить энергоемкость процесса очистки; практические рекомендации по выбору режимов работы центробежно-решетного ворохоочистителя.

Методология и методы исследований. В качестве методов исследований использовались структурный синтез, системный анализ, математическая статистика и сравнительный эксперимент. При выполнении работы использованы стандартные и частные методики с применением физического и математического моделирования, современных поверенных приборов и ЭВМ. Обработка результатов экспериментов осуществлялась методами математической статистики.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований подтверждается: достаточным объемом воспроизводимых экспериментальных исследований, их сопоставимостью с результатами теоретического анализа процессов; использованием в исследованиях современных приборов и оборудования; апробацией и внедрением разработок.

Положения, выносимые на защиту:

- структура и состав мобильного зерноочистительного агрегата с использованием созданных технических средств, методика расчета основных параметров;
- математическая модель мобильной технологии послеуборочной очистки зерна и семян;
- механико-математическая модель процесса движения зерновой смеси по сепарирующей поверхности цилиндрического решета с пластинчатым барабаном центробежно-решетного сепаратора;
- вероятностная математическая модель двухступенчатого процесса сепарации на подсевном решете с пластинчатым барабаном центробежно-решетного сепаратора;
- результаты экспериментальных исследований разработанных технических средств, входящих в мобильную зерноочистительную технологию и ее технико-экономические показатели.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований для разработки конструкторской документации переданы в ОПКБ АНИИЗиС СО РАСХН (г. Барнаул), ООО ГСКБ «Зерноочистка» (г. Воронеж), ООО «Алтай-Зерноочистка» (г. Барнаул), ООО «ЦСТ-22» (г. Барнаул), ООО «Чуклин инжиниринг» (г. Барнаул), ООО «Мобильные зерноочистительные технологии» (г. Барнаул), ООО «Алтайская СПМК СЭММ» (г. Барнаул), ООО «АПК «Алтай ЭКО сорт» (г. Барнаул). Технологические и технические решения в линиях послеуборочной обработки зерна и семян, в которых частично использованы наши предложения, внедрены на предприятиях: ООО «Лео» Калманского района; ООО «Русь» Калманского района; ОАО «Кипринское» Шелаболихинского района; ЗАО «Колыванское» Павловского района; ОАО «Агрофирма «Лебяжье»; ОАО «Победа» Шелаболихинского района; ООО «Русское поле» Новичихинского района; ФГУП ПЗ «Комсомольское» Павловского района; ЗАО «Кулундинское» Кулундинского района; ИП – глава КФХ «Золотая осень» Рябцев Иван Иванович Алейского района; ООО «КХ Апасова Н.И.» Усть-Пристанского района; СПК «Дружба» Алейского района и многих других.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и одобрены на международных, всероссийских и региональных научно-практических конференциях: «Аграрная наука — сельскому хозяйству» (АГАУ, Барнаул, ежегодно 2006–2024 гг.); «Современное состояние, проблемы и перспективы развития АПК» (Сыктывкар, 2021 г.); «Научно-техническое обеспечение АПК Сибири» (СФНЦА РАН, Новосибирск, 2021 г.); юбилейная конференция к 65-летию СибИМЭ (Краснообск, 2024 г.); I и II Международные

конференции «Инженерное обеспечение сельского хозяйства» (Барнаул, 2024–2025 гг.). «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы» (РИИ, Рубцовск, 2017 г.); «Наука и молодежь» (АлтГТУ, Барнаул, 2021 г.). Межрегиональный агропромышленный форум «День Сибирского поля» (Сибирский агропарк, 2018, 2019 гг.). Городские конференции молодых ученых «Молодежь — Барнаулу» (2017 г.).

Агропромышленная выставка Сибири «Алтайская Нива 2007». Медаль и диплом III степени в номинации «Техника, оборудование и технологии в растениеводстве» за разработку и внедрение новых технологий послеуборочной обработки зерна и семян на основе перспективных машин ГСКБ «Зерноочистка». Премия Алтайского края в области науки и техники (2017 год), лауреат за работу: «Разработка, проектирование и внедрение современных зерноочистительно-сушильных комплексов и семяочистительных линий». XXIII Российская агропромышленная выставка «Золотая осень 2021», диплом и бронзовая медаль за разработку технологии, обеспечивающей эффективную очистку зерна и технические средства для ее реализации на основе мобильных и стационарных технологий.

Результаты научной работы используются в учебном процессе Алтайского ГАУ, Алтайского ГТУ им. Ползунова И.И., АИПКРС АПК (Алтайский институт повышения квалификации руководителей и специалистов агропромышленного комплекса), Новосибирского ГАУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 95 научных работ, в том числе 57 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 12 в описаниях к патентам, 2 монографиях.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, приложений, изложена на 473 страницах машинописного текста, включая библиографию из 334 наименований, в том числе 63 на иностранных языках, 217 рисунков, 20 таблиц и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы исследований, сущность выполненной работы, показана новизна и практическая значимость.

В первой главе «Современное состояние вопроса и содержание научной проблемы» рассмотрены мобильные зерноочистительные технологии, которые нашли свое отражение в работах авторов: Демидова А.Р., Жердева М.Н., Мокшина П.Н., Ульриха Н.Н., Фадеева Л.В., Alf Hannaford, Lee Hart, Neville J., Joseph Harvey Gjesdal, Robert H. McLeod и других.

Центробежно-решетному сепарированию послеуборочной очистки зерна посвящены работы Авдеева Н.Е., Барилла А.В., Бочкарева А.И., Бредихина В.В., Васильковского О.М., Гончарова Е.С., Иванова Н.М., Кима Р.А., Лузана П.Г., Мельникова Б.Н., Микитюка М.Е., Несикова А.А., Ольшанского В.П., Патрина В.А., Пивень М.В., Полуэктова Н.И., Слепова А.П., Слипченко М.В., Сороченко С.Ф., Спичкина Л.М., Сороченко С.Ф., Стрикунова Н.И., Сухопарова А.А., Тарасова Б.Т., Тищенко Л.Н., Торопова В.Р., Урханова Н.А., Халилова Б.Р., Харченко С.О., Хижникова А.А., Холодилина А.Н., Швидя В.О., Шилина В.В., Щербакова С.С., Яковлева В.Т., Ямпилова С.С. и многих других.

Проведен анализ мобильных технологий послеуборочной очистки зерна и семян более 200 фирм-производителей из более чем из 20 ведущих стран (в работе представлено 214 фирм), занимающихся производством мобильных зерноочистительных агрегатов «Petkus» (Германия), «Cimbria» (Дания), «Bühler» (Швейцария), «Alvan Blanch» (Англия), «Carter Day» (США), «Damas» (Дания), «Denis» (Франция), «Hannaford» (Австралия), «Shijiazhuang Sanli Grain Sorting Machinery Co Ltd» (Китай), «Zanin» (Италия), «Akyurek» (Турция), «Agrosaw» (Индия), «Семплавакс» (Болгария), «BLOMAR» (Аргентина), «Manufacturera Froes» (Мексика) и др.). На основе структурного анализа и систематизации мобильных технологий и технических средств для послеуборочной обработки зерна и семян разработаны классификации, представленные на рисунке 1.

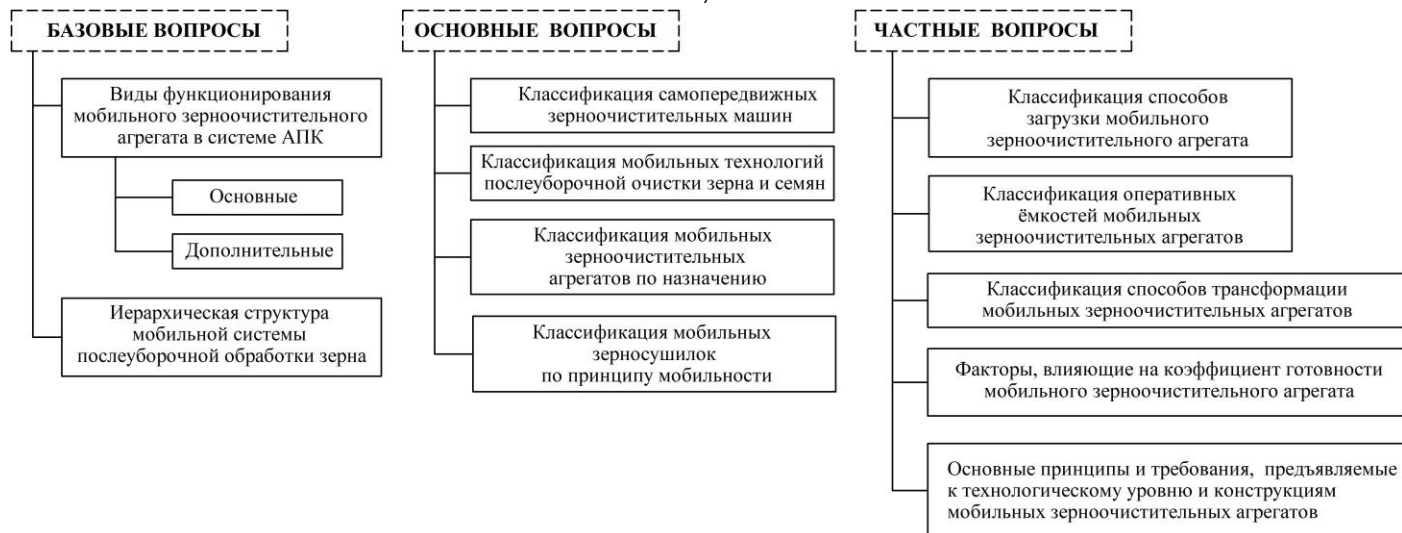


Рисунок 1 - Систематизация классификаций мобильных технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна

Во второй главе «Структурный синтез мобильных агрегатов для очистки зерна продовольственного и семенного назначения» рассмотрен мобильный зерноочистительный агрегат в виде системы, состоящей из отдельных элементов и предназначенной для выполнения главной функции – очистки зерна или семян от примесей. Существенные отличия мобильной технологии послеуборочной обработки зерна от стационарной заключаются в возникновении событий не характерных для классических технологий очистки. В работе рассмотрены основные события при реализации мобильной зерноочистительной технологии в хронологическом режиме.

Применение мобильных технологий, ограничения по габаритам, массе и энергопотреблению приводят к существенным отличиям от известных стационарных технологий обработки зерна и семян. Мобильную технологию очистки зерна и семян условно можно разделить на две основные группы: мобильные и мобильные монтируемые технологии. Мобильные технологии очистки зерна и семян реализуются: передвижными машинами, самопередвижными машинами, зерноупаковочными машинами с функцией очистки, передвижными агрегатами, самопередвижными агрегатами, мобильными комплексами машин, мобильными комбинированными комплексами машин, составными агрегатами, мобильными комплексами агрегатов. Мобильные монтируемые технологии реализуются: монтируемыми машинами, мобильными станциями, монтируемыми модулями, монтируемыми линиями, монтируемыми агрегатами, монтируемыми контейнерными линиями, монтируемыми контейнерными агрегатами, монтируемыми контейнерными зерновыми терминалами.

Машины и оборудование линий, агрегатов и комплексов мобильных технологий могут использоваться аналогичные стационарным технологиям, но гораздо чаще они подвергаются модернизации для обеспечения необходимых габаритов, учитывая необходимость трансформации части узлов и оборудования.

Рассмотрев иерархическую структуру мобильной системы послеуборочной обработки зерна, предлагаются варианты основных и дополнительных видов функционирования мобильного зерноочистительного агрегата. Нами было выделено три основных уровня функционирования. На первом уровне – это, в первую очередь, внутрихозяйственное использование МЗА. Наличие мобильного агрегата укрепит возможности хозяйства в дополнение к стационарной линии и даст возможность производить качественную очистку зерна без дополнительных затрат времени на проектирование, согласование с государственными органами, строительства и т.д., что очень важно в системе растениеводства. Использование МЗА в качестве бизнеса по оказанию услуги по очистке зерна также находится на первом уровне иерархий видов функционирования МЗА. МЗА, подработав семена в одном

хозяйстве, переезжает в другое согласно заранее спланированному маршруту. Смешанное использование МЗА относится ко второму уровню и позволяет получать дополнительные преимущества от разных способов функционирования. Использование МЗА в быстром решении региональных проблем АПК на государственном уровне относится к третьему уровню функционирования. Например, создание гос. корпораций на "новых территориях" РФ для обеспечения отрасли растениеводства, региональные ЧС.

Рассмотрим работу мобильного зерноочистительного агрегата, как составной элемент технологии производства зерна. С этой точки зрения его функционирование подчиняется сезонности. Таким образом, принимаем, что маршрут работы МЗА спланирован на весь «агросезон» подготовки семян.

Годовой фонд времени:

$$\Phi_{\Gamma} = \sum_{j=1}^n (\Phi_{\Gamma j} + \Phi_{\text{п.о.}j}), \text{ ч} \quad (1)$$

где $\Phi_{\Gamma j}$ – годовой фонд рабочего времени на j-ой производственной площадке;

$\Phi_{\text{п.о.}j}$ – годовой фонд времени на выполнение подготовительных технологических операций, приходящихся на j-ую производственную площадку;

n – количество производственных площадок, на которых работает МЗА.

Определим годовой фонд времени на выполнение подготовительных технологических операций

$$\Phi_{\text{п.о.}} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{L_j}{V_{\text{ТС}}} + t_{\text{р.а.}j} + t_{\text{т.п.}j} + \sum_{i=1}^n t_{\text{т.н.}j} \right), \text{ ч.} \quad (2)$$

где L_j – расстояние до j-ой производственной площадки, км;

$V_{\text{ТС}}$ – скорость транспортного средства, перевозящего МЗА, км/ч;

$t_{\text{р.а.}j}$ – время трансформации, необходимое для перевода МЗА из транспортного положения в рабочее на j-ой производственной площадке, ч;

$t_{\text{т.п.}j}$ – время трансформации, необходимое для перевода МЗА в транспортное положение на j-ой производственной площадке, ч;

$t_{\text{т.н.}j}$ – время технологического обслуживания, необходимое для настройки МЗА на новую культуру (замена решет, деки пневмостола, регулировка аспирационных каналов и т.д.), ч;

Годовой фонд рабочего времени на j-ой производственной площадке:

$$\Phi_{\Gamma j} = \sum_{j=1}^{k_j} T_{\text{см}j}, \text{ ч.} \quad (3)$$

где $T_{\text{см}j}$ – время смены на j-ой производственной площадке;

k_j – количество дней выполнения работы МЗА на j-ой производственной площадке.

$$T_{\text{см}} = T_{\text{р}} + T_{\text{ето}} + T_{\text{физ.}} + T_{\text{техн.}}, \text{ ч.} \quad (4)$$

где $T_{\text{р}}$ – рабочее время смены, ч;

$T_{\text{ето}}$ – время, необходимое для проведения ежедневного технического обслуживания МЗА, ч;

$T_{\text{физ.}}$ – время, необходимое на физиологические потребности оператора, ч;

$T_{\text{техн.}}$ – время простоев МЗА за смену на одной производственной площадке, ч.

Время простоев МЗА за смену зависит от коэффициента готовности, который определяется по следующей формуле:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{техн.}}}, \quad (5)$$

Подставив уравнение (5) в (3) с учетом (4), получим:

$$\Phi_{\Gamma j} = \sum_{j=1}^{k_j} \left[T_{\text{ето}} + T_{\text{физ.}} + \frac{T_{\text{р}}}{K_{\Gamma}} \right], \text{ ч.} \quad (6)$$

Наряду с эффективностью технологической системы мобильного зерноочистительного агрегата важным показателем является его надёжность. Анализ причин отказов машин в сельском хозяйстве, проведенный В.И. Земсковым, показывает, что 40-45% случаев от общего их количества связано с ошибками при проектировании, 20% происходит от неправильного использования машин и только 10-15% – от естественного износа и старения.

В работах по надежности объектов сельскохозяйственного назначения чаще всего используется комплексный показатель надежности – коэффициент готовности.

Коэффициент готовности K_G – вероятность того, что технологическая схема мобильного зерноочистительного агрегата окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение системы по назначению не предусматривается. Определяется как отношение наработки на отказ к сумме этой наработки и среднего времени восстановления после отказа.

Коэффициент готовности будем использовать в качестве основного показателя надежности функционирования МЗА, который показывает долю работоспособного состояния системы в общем фонде рабочего времени при учете отказов по техническим причинам.

Коэффициент готовности определяем по формуле Земскова В.И.:

$$K_G = [\sum K_{Gi}^{-1} - (n - 1)]^{-1}, \quad (7)$$

где n - количество элементов в системе;

K_{Gi} - коэффициент готовности i -го элемента.

Производительность МЗА определена по известным формулам Тица З.Л.:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{G_{\text{г}}}{\Phi}, \text{ т/ч} \quad (8)$$

$$\Phi = \tau \cdot T_{\text{р}}, \text{ ч} \quad (9)$$

где $G_{\text{г}}$ - годовое поступление зерна на пункт очистки, т;

Φ - фонд рабочего времени работы пункта очистки, ч;

τ - количество дней работы пункта, шт.;

$T_{\text{р}}$ - время работы пункта в сутки, ч.

Производительность за 1 час эксплуатационного времени найдем согласно ГОСТ 33735-2016:

$$W_{\text{эк}} = \frac{W_0}{\left(\frac{1}{K_{\text{см}}} + \frac{1}{K_G} - 1\right)}, \text{ т/ч} \quad (10)$$

где W_0 - производительность за час сменного времени, т/ч.

$K_{\text{см}}$ - коэффициент сменности.

При этом производительность МЗА с учетом вида обрабатываемой культуры, засоренности и влажности зерна определяется по формуле Галкина В.Д.:

$$W_0 = W_{\text{п}} \cdot k \cdot k_1 \cdot k_2, \text{ т/ч} \quad (11)$$

где $W_{\text{п}}$ – паспортная производительность агрегата, т/ч;

k - коэффициент, учитывающий обрабатываемую культуру;

k_1 - коэффициент, учитывающий влажность зерна;

k_2 - коэффициент, учитывающий засоренность зерна.

Сезонная производительность МЗА с учетом уравнений (1), (2), (6) и (8) и определяется выражением:

$$Q_{\text{сезМЗА}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n G_{ij}}{\sum_{j=1}^n \left[T_{\text{ЕТО}} + T_{\text{Физ.}} + \frac{T_{\text{р}}}{K_G} \right] + \left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{L_j}{V_{\text{ТС}}} + t_{\text{р.А.ж}} + t_{\text{т.п.ж}} + \sum_{i=1}^m t_{\text{т.н.и}} \right) \right]}, \text{ т/сезон} \quad (12)$$

где m - количество культур, обрабатываемых на j -ой площадке, шт.

Выражение (10) с учетом (11) запишем:

$$W_{\text{эк}} = \frac{W_{\text{п}} \cdot k \cdot k_1 \cdot k_2}{\left(\frac{1}{K_{\text{см}}} + \frac{1}{K_G} - 1\right)}, \text{ т/ч} \quad (13)$$

Производительность МЗА на i -ой культуре определяется выражением:

$$Q_k = \frac{G_{ij}}{\sum_{i=1}^m \left[T_{\text{ЕТО}} + T_{\text{Физ.}} + \frac{T_{\text{р}}}{K_G} \right]} \cdot \frac{k \cdot k_1 \cdot k_2}{\left(\frac{1}{K_{\text{см}}} + \frac{1}{K_G} - 1\right)}, \text{ т/ч} \quad (14)$$

где G_{ij} - масса i -ой культуры зернового материала, подлежащая очистке на j -ой производственной площадке.

Сезонная выработка МЗА:

$$Q_{\text{сез}} = [\Phi_{\Gamma} - \sum_{j=1}^n \left(\frac{L_j}{V_{\text{ТС}}} + t_{\text{P.A.}j} + t_{\text{Т.П.}j} + \sum_{i=1}^m t_{\text{Т.Н.}i} \right)] \frac{W_{\text{П}} \cdot k \cdot k_1 \cdot k_2}{\left(\frac{1}{K_{\text{см}}} + \frac{1}{K_{\Gamma}} - 1 \right)}, \text{ т/сезон.} \quad (15)$$

Количество смен:

$$N_{\text{см}} = [\Phi_{\Gamma} - \sum_{j=1}^n \left(\frac{L_j}{V_{\text{ТС}}} + t_{\text{P.A.}j} + t_{\text{Т.П.}j} + \sum_{i=1}^m t_{\text{Т.Н.}i} \right)] / (T_{\text{ЕТО}} + T_{\text{Физ.}} + \frac{T_{\text{Р}}}{K_{\Gamma}}), \text{ смен/сезон.} \quad (16)$$

Обобщенная структурно-параметрическая модель функционирования МЗА с входными, выходными параметрами, управляющими параметрами, а также внутренними параметрами представлена на рисунке 2.

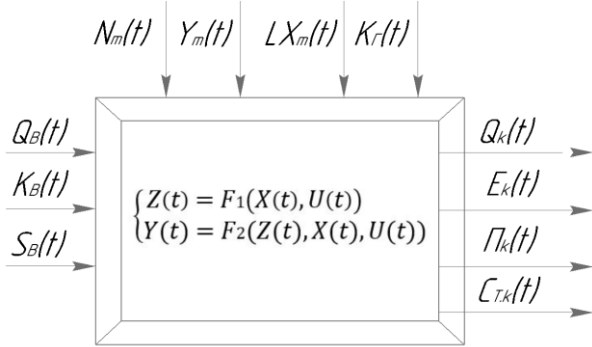


Рисунок 2 - Обобщенная структурно-параметрическая модель функционирования МЗА

Входными параметрами являются:

$Q_{\text{в}}(t)$ - подача зернового материала, т/ч;

$K_{\text{в}}(t)$ - исходное качество зернового материала; $S_{\text{в}}(t)$ - расстояние до объекта очистки, км. Управляющими параметрами:

$N_{\text{м}}(t)$ - комбинация машин в технологии; $Y_{\text{м}}(t)$ - набор и параметры рабочих органов рабочих органов для выполнения технологических операций;

$LX_{\text{м}}(t)$ - логистический фактор (применение выбранной мобильной технологии);

$K_{\Gamma}(t)$ - коэффициент технической готовности.

Выходными параметрами: $Q_{\text{к}}(t)$ - производительность мобильного зерноочистительного агрегата, т/ч; $E_{\text{к}}(t)$ - эффективность очистки, %; $P_{\text{к}}(t)$ - потери зерна в отходы, %; $C_{\text{Тк}}(t)$ - стоимость работ, руб./т.

Внутренние параметры $Z(t)$ и $Y(t)$: F_1 - функции преобразования входных и управляющих параметров во внутренние; F_2 - функции формирования выходных показателей на основе внутренних параметров.

При i -ом количестве технологических операций, протекающих в мобильном зерноочистительном агрегате, получим условия эффективного функционирования МЗА:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ки}}(t) = Q_i(t) - \sum_{i=1}^n (P_{\text{фи}}(t) + P_{\text{нои}}(t)) \rightarrow \max, \text{ т/ч} \\ E_{\text{ки}}(t) = \prod_{i=1}^n E_i \rightarrow \max, \% \\ P_{\text{ки}}(t) = \sum_{i=1}^n (P_{\text{фи}}(t) + P_{\text{нои}}(t)) \rightarrow \min, \% \\ \sum_{i=1}^n (P_{\text{фи}}(t) + P_{\text{нои}}(t)) \leq (K_{\text{ф}} + K_{\text{но}}) Q_{\text{ки}}(t), \% \\ C_{\text{Тки}}(t) = f(Q_{\text{ви}}(t), K_{\text{ви}}(t), S_{\text{ви}}(t), N_{\text{м}}(t), Y_{\text{м}}(t), L_{\text{м}}(t), LX_{\text{м}}(t), K_{\Gamma}(t)) \rightarrow \min, \text{ руб./т,} \end{array} \right. \quad (17)$$

где $P_{\text{фи}}(t)$, $P_{\text{нои}}(t)$ - потери семян в фуражные и неиспользуемые отходы в i -ой технологической операции;

$K_{\text{ф}}$, $K_{\text{но}}$ - коэффициенты потерь семян в фуражные и неиспользуемые отходы, регламентируемые агротехническими требованиями;

E_i - эффективность очистки i -ой технологической операции.

Параметрическая модель функционирования мобильного зерноочистительного модуля по схеме (I) (рисунок 3) может найти применение в рядовых фермерских хозяйствах, когда не стоит задача подготовки семян. Выполнение двух технологических операций предварительной и первичной очистки предопределяет использование высокопроизводительных машин.

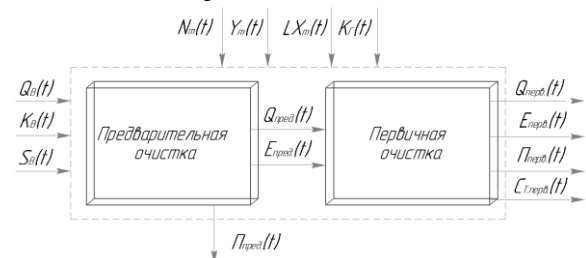


Рисунок 3 - Параметрическая модель функционирования мобильного зерноочистительного модуля на базе центробежно-решетных сепараторов (схема I)

Введение в модель (схема II) (рисунок 4) операции вторичной очистки предусматривает более широкий спектр технологических возможностей линии. Функциональные параметры этой схемы позволяют проводить очистку и сортирование семян технических культур.

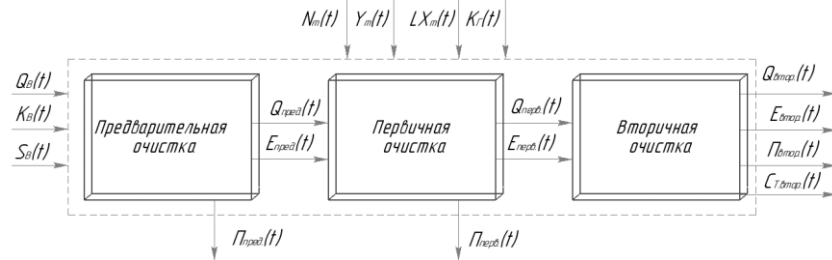


Рисунок 4 - Параметрическая модель функционирования мобильного семяочистительного агрегата (схема II)

Схемы III и IV (рисунки 5 и 6) существенно отличаются от предыдущих, прежде всего расширением выполняемых технологических операций. Эти схемы обладают полным циклом выполняемых технологических операций, характерных при подготовке семенного материала, технологические операции вибропневмосортирования и оптической сортировки существенно повышают посевные качества семян.

При минимальном содержании сорных примесей в исходном зерновом материале, в том числе и трудноотделимых, можно применять модель функционирования агрегата по схеме IV (рисунок 6), исключая операцию предварительной очистки. Работа по данной схеме возможна также при работе «со склада», в случае, когда зерновой материал прошел предварительную очистку.

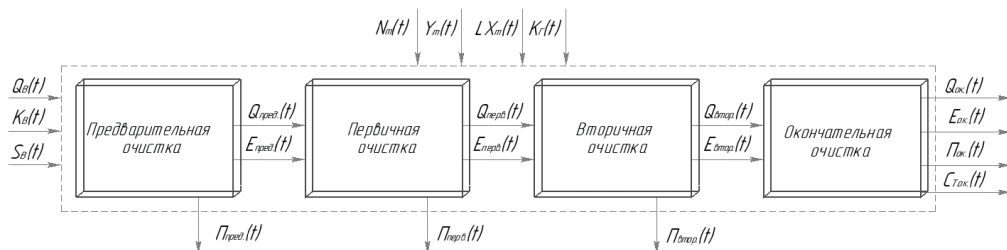


Рисунок 5 - Параметрическая модель функционирования мобильного составного зерно-семяочистительного агрегата (схема III)

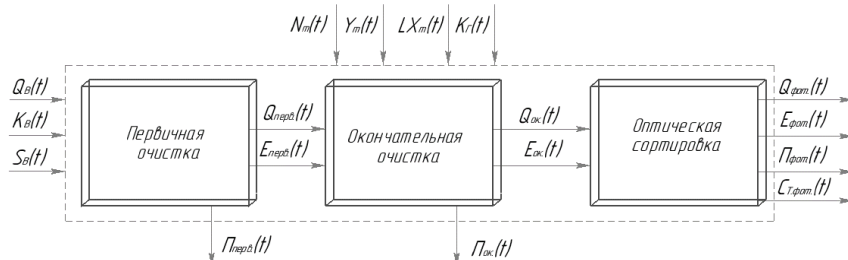


Рисунок 6- Параметрическая модель функционирования мобильного зерно-семяочистительного агрегата с отделением оптической сортировки «ECOSORT MOBILE» (схема IV)

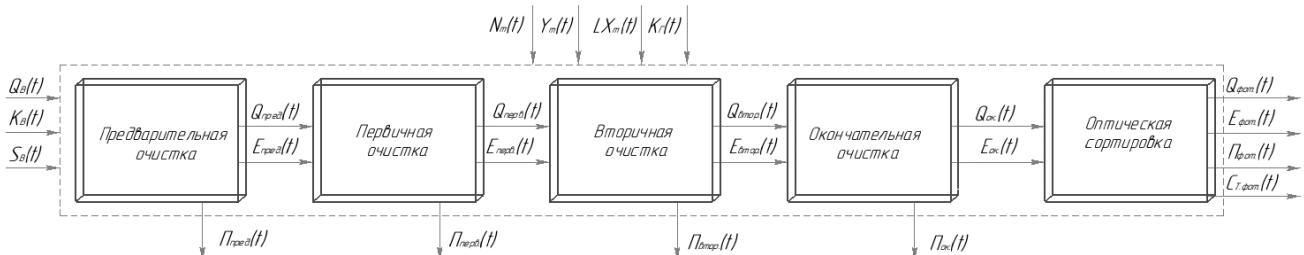


Рисунок 7- Параметрическая модель функционирования мобильного комплекса зерно-семяочистительных агрегатов (схема V)

Сравнивая варианты исполнения, отметим, что схема V уступает по компактности схеме IV, однако здесь видно технологическое превосходство схемы V за счет расширения

выполняемых технологических операций при подготовке семян. Для семеноводческих хозяйств мы должны отдать предпочтение схеме V. Мобильные агрегаты для внутрихозяйственного использования (схема VI) (рисунок 8), несмотря на относительную конструктивную простоту, могут широко применяться в хозяйствах, входящих в состав агрохолдингов. Использование монтируемого мобильного семяочистительного агрегата (схема VII) (рисунок 9) позволяет снизить потребность в электроэнергии, что особенно актуально для малых фермерских хозяйств. Применение данной схемы позволяет подготовить семена, предварительно прошедшие необходимую очистку на стационарных зерноочистительных агрегатах или на мобильных зерноочистительных машинах.

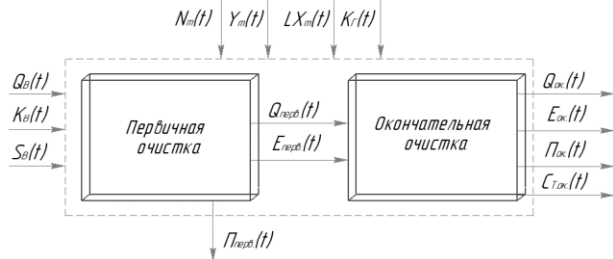


Рисунок 8 - Параметрическая модель функционирования мобильного зерно-семяочистительного агрегата для внутрихозяйственного использования (схема VI)

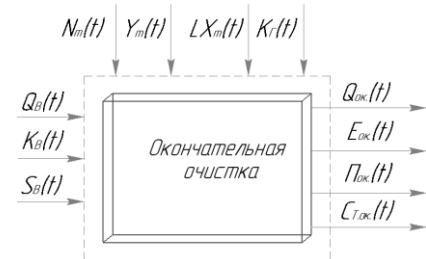


Рисунок 9 - Параметрическая модель функционирования мобильного монтируемого семяочистительного агрегата (схема VII)

Представим параметры эффективности очистки в общем виде:

$$E_K(t) = f(E_{\text{пред}}(t), E_{\text{пер}}(t), E_{\text{втор}}(t), E_{\text{окон}}(t), E_{\text{опт}}(t)), \quad (18)$$

где E_K – полнота выделения примесей агрегатом;

$E_{\text{пред}}$ - полнота выделения примесей при предварительной очистке;

$E_{\text{пер}}$ - полнота выделения примесей при первичной очистке;

$E_{\text{втор}}$ - полнота выделения примесей при вторичной очистке;

$E_{\text{окон}}$ - полнота выделения примесей при окончательной очистке.

$E_{\text{опт}}$ - полнота выделения примесей при оптической сортировке.

Исходное качество зернового материала $K_B(t)$, оценивается следующими показателями, представленными на рисунке 10.



Рисунок 10 - Информационно-технологическая модель МЗА с учетом качественного состава зернового материала¹

$C_{фв}(t)$, $C_{фк}(t)$ - засоренность трудноотделимыми примесями, отличающимися по цвету, %;

где $N_B(t)$, $N_K(t)$ - натура исходного и очищенного материала соответственно, г/л;

$C_0(t)$, $C_{0k}(t)$ - общая засоренность, %;

$C_{св}(t)$, $C_{ск}(t)$ - засоренность сорной примесью, %;

$C_{зв}(t)$, $C_{зк}(t)$ - засоренность зерновой примесью, %;

$C_{лв}(t)$, $C_{лк}(t)$ - засоренность легкой примесью, %;

$C_{мв}(t)$, $C_{мк}(t)$ - засоренность мелкой примесью, %;

$C_{кв}(t)$, $C_{кк}(t)$ - засоренность крупной примесью, %;

¹ В обозначениях даны соответственно начальная и конечная засоренность, соответствующей примесью

$C_{ККВ}(t)$, $C_{ККК}(t)$ - засоренность короткой примесью, шт./кг; $C_{ДВ}(t)$, $C_{ДК}(t)$ - засоренность длинной примесью (овсюгом), шт./кг;

$C_{ЗПВ}(t)$, $C_{ЗПК}(t)$ - засоренность зерновой примесью проходовой фракции, %;

$C_{ЗСВ}(t)$, $C_{ЗСК}(t)$ - засоренность зерновой примесью сходовой фракции, %;

$C_{ЩВ}(t)$, $C_{ЩК}(t)$ - содержание щуплого зерна (проход сортировального решета), %;

$C_{ЩПВ}(t)$, $C_{ЩПК}(t)$ - содержание щуплого зерна и примесей, отличающихся натурой (примеси, извлекаемые пневмостолом), %.

Конечное качество зернового материала $K_K(t)$ выражается следующей зависимостью:

$$K_K(t) = f(E_K(t), \Pi_K(t)), \quad (19)$$

Эффективность очистки в мобильном зерноочистительном агрегате определяется выражением:

$$E = \frac{(C_0 - C_{ок})}{C_0} 100, \%, \quad (20)$$

В соответствии с предложенными схемами определили эффективность очистки.

схема I

$$C_{окI} = C_0 - C_L(\eta_{Л.пред.} + \eta_{Л.перв.} - \eta_{Л.пред.} \eta_{Л.перв.}) - C_M(\eta_{М.пред.} + \eta_{М.перв.} - \eta_{М.пред.} \eta_{М.перв.}) - C_K(\eta_{К.пред.} + \eta_{К.перв.} - \eta_{К.пред.} \eta_{К.перв.}), \quad (21)$$

где $\eta_{Л.пред.}$, $\eta_{Л.перв.}$ - полнота выделения легких примесей при предварительной и первичной очистке соответственно;

$\eta_{М.пред.}$, $\eta_{М.перв.}$ - полнота выделения мелких примесей при предварительной и первичной очистке соответственно;

$\eta_{К.пред.}$, $\eta_{К.перв.}$ - полнота выделения крупных примесей при предварительной и первичной очистке соответственно.

схема I-I

$$C_{окI-I} = C_0 - C_K \eta_{К.пред.} - C_L(\eta_{Л.пред.} + \eta_{Л.перв.} - \eta_{Л.пред.} \eta_{Л.перв.}) - C_M(\eta_{М.пред.} + \eta_{М.перв.} - \eta_{М.пред.} \eta_{М.перв.}) - C_{ККК} \eta_{ККК.перв.} - C_{ДД} \eta_{Д.перв.}, \quad (22)$$

где $\eta_{ККК.перв.}$, $\eta_{Д.перв.}$ - полнота выделения коротких и длинных примесей при первичной очистке соответственно.

схема II

$$C_{окII} = C_0 - C_L(1 - \eta_{Л.пред.})(1 - \eta_{Л.перв.})x(1 - \eta_{Л.втор1.})x(1 - \eta_{Л.втор2.}) - C_K(1 - \eta_{К.пред.})x(1 - \eta_{К.перв.})x(1 - \eta_{К.втор1.})(1 - \eta_{К.втор2.})x(1 - \eta_{К.втор3.}) - C_M(1 - \eta_{М.пред.})(1 - \eta_{М.перв.})x(1 - \eta_{М.втор1.})x(1 - \eta_{М.втор2.})x(1 - \eta_{М.втор3.}) - C_{Щ\frac{1}{2}}[(1 - \eta_{Щ1-1.})(1 - \eta_{Щ1-2.})(1 - \eta_{Щ1-3.}) + (1 - \eta_{Щ2-1.})x(1 - \eta_{Щ2-2.})(1 - \eta_{Щ2-3.})], \quad (23)$$

схема III

$$C_{окIII} = C_0 - C_L(1 - \eta_{Л.пред.})(1 - \eta_{Л.перв.})x(1 - \eta_{Л.втор1.})(1 - \eta_{Л.втор2.}) - C_K(1 - \eta_{К.пред.})(1 - \eta_{К.перв.})(1 - \eta_{К.втор1.})(1 - \eta_{К.втор2.})(1 - \eta_{К.втор3.}) - C_M(1 - \eta_{М.пред.})(1 - \eta_{М.перв.})(1 - \eta_{М.втор1.})x(1 - \eta_{М.втор2.})(1 - \eta_{М.втор3.}) - C_{Щ\frac{1}{2}}[(1 - \eta_{Щ1-1.})(1 - \eta_{Щ1-2.})(1 - \eta_{Щ1-3.}) + (1 - \eta_{Щ2-1.})x(1 - \eta_{Щ2-2.})(1 - \eta_{Щ2-3.})] - C_{ЩП} \eta_{ЩП}, \quad (24)$$

схема IV

$$C_{окV} = C_0 - C_L \eta_{Л.перв.} - C_M \eta_{М.перв.} - C_K \eta_{К.перв.} - C_{ЩП} \eta_{ЩП} - C_{Ф} \eta_{Ф}, \quad (25)$$

схема V

$$C_{окIV} = C_0 - C_L(1 - \eta_{Л.пред.})(1 - \eta_{Л.перв.})x(1 - \eta_{Л.втор1.})(1 - \eta_{Л.втор2.}) - C_K(1 - \eta_{К.пред.})x(1 - \eta_{К.перв.})(1 - \eta_{К.втор1.})(1 - \eta_{К.втор2.})x(1 - \eta_{К.втор3.}) - C_M(1 - \eta_{М.пред.})(1 - \eta_{М.перв.})x(1 - \eta_{М.втор1.})x(1 - \eta_{М.втор2.})(1 - \eta_{М.втор3.}) - C_{Щ\frac{1}{2}}[(1 - \eta_{Щ1-1.})x(1 - \eta_{Щ1-2.})(1 - \eta_{Щ1-3.}) + (1 - \eta_{Щ2-1.})(1 - \eta_{Щ2-2.})(1 - \eta_{Щ2-3.})] - C_{ЩП} \eta_{ЩП} - C_{Ф} \eta_{Ф}, \quad (26)$$

схема VI

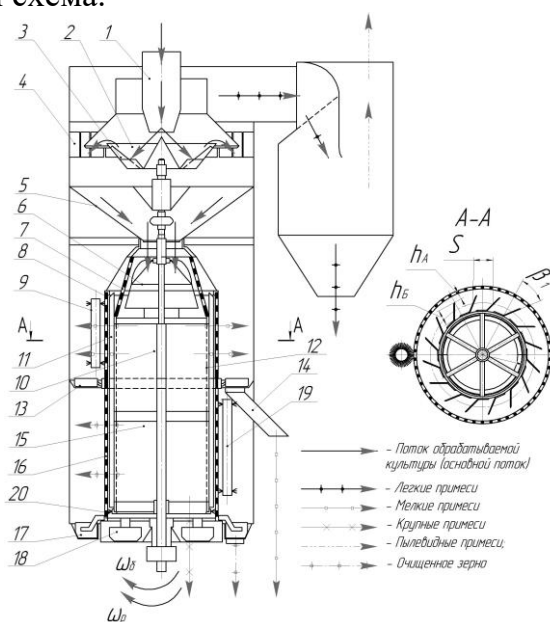
$$C_{окV} = C_0 - C_L \eta_{Л.перв.} - C_K \eta_{К.перв.} - C_{ЩП} \eta_{ЩП}, \quad (27)$$

схема VII

$$C_{окVI} = C_0 - C_{ЩП} \eta_{ЩП}, \quad (28)$$

В третьей главе «Теоретические предпосылки интенсификации процесса очистки и обоснования технологических процессов и параметров технических средств» проведено обоснование параметров и режимов работы машин, входящих в мобильные технологии проведен структурный анализ и систематизация центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения. Результаты исследований Гончарова Е.С., Тарасова Б.Т., Стрикунова Н.И. и других учёных показывают, что наиболее эффективным методом интенсификации процесса сепарирования на решетках является применение центробежных

сил и предварительная подготовка зернового материала. В работе проведено обоснование технологической схемы центробежно-решетного сепаратора (рисунок 11), представлена структурная схема.



- 1- загрузочная горловина;
- 2- тарелка; 3- лопатки;
- 4- воздухозаборные окна;
- 5- конус-сборник;
- 6- питатель;
- 7- делительное решето;
- 8- подсевное решето;
- 9,19- цилиндрическая щетка; 10- подсевной блок;
- 11- пластины; 12- колосовое решето; 13- скребки;
- 14- выход мелких примесей;
- 15- зерновой блок;
- 16- зерновое решето;
- 17,18- скребки;
- 20- кольцевая щетка.

Рисунок 11 – Технологическая схема работы центробежно-решетного ворохоочистителя

Обоснование параметров делительного решета центробежно-решетного ворохоочистителя. В конструкции ворохоочистителя делительное и цилиндрические решета вращаются с одинаковой скоростью, а величина кольцевого зазора δ может устанавливаться в зависимости от вида обрабатываемой культуры путем перемещения питателя по направляющей втулке в осевом направлении (рисунок 12). Скорость схода частицы с поверхности питателя будет являться начальной скоростью для делительного решета. Опыты показали, что с увеличением начальной скорости движения частицы скорость схода возрастает. При изменении ω с 6,28 рад/с до 10,47 рад/с и при $\beta_p = 45^\circ$ скорость схода изменялась с 1,65 м/с до 2,22 м/с. Увеличение угла раскрытия конуса питателя не приводило к существенному увеличению скорости схода частицы. При $\beta_p = 55^\circ$ и при $\omega = 10,47$ рад/с скорость схода ее составляла 2,34 м/с. Изменение просеиваемости в зависимости от угловой скорости делительного решета на различных культурах показано на рисунке 13.

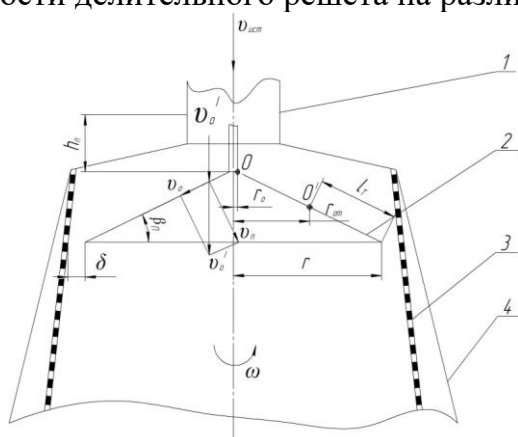


Рисунок 12 – Схема к определению параметров делительного решета:

- 1 - загрузочная горловина;
- 2 – питатель; 3 – делительное решето;
- 4 – коническая обечайка.

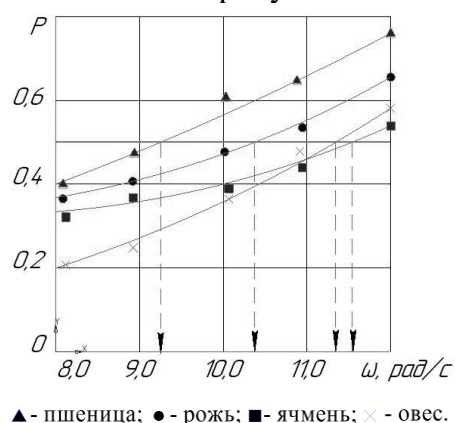


Рисунок 13 – Изменение просеиваемости в зависимости от угловой скорости делительного решета на различных культурах при $Q_0=25$ т/ч.

Проведено обоснование основных параметров пластинчатого барабана центробежно-решетного сепаратора. Производительность сепаратора (по проходу) определили по формуле:

$$Q = 3,6 k_{\text{сп}} \pi D \Delta V_z \gamma \frac{1 - C_0(1 - \xi)}{C_0(1 - \xi)} \left[1 - e^{-\frac{(1 - \xi)H}{l_0 \sin \alpha}} \right], \text{ т/ч.} \quad (29)$$

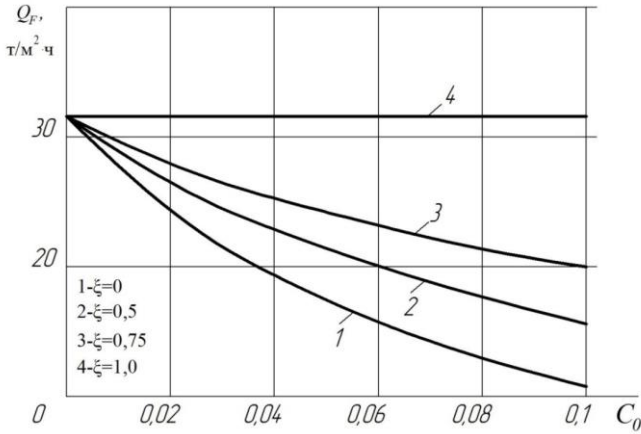


Рисунок 14 - Изменение производительности сепаратора в зависимости от относительного объемного содержания сходовой фракции в исходном материале и коэффициента расслоения смеси

где $k_{\text{сп}}$ – коэффициент, учитывающий перекрытие рабочей площади решета винтовой спирали;

D – диаметр цилиндрического решета, м;

V_z – осевая скорость движения слоя зерна, м/с;

C_0 – содержание длинных примесей в исходном материале;

Δ – толщина элементарного слоя, м;

γ – объемная масса проходной фракции, кг/м³;

ξ – коэффициент, учитывающий расслоение зерновой смеси;

H – высота цилиндрического решета, м;

l_0 – средний путь скольжения зерна по решету от момента вступления его в контакт с решетом, до момента просеивания, м;

α – угол подъема винтовой спирали, град.

$$l_0 = \frac{\pi d^2}{4 \mu_0 (d - d_0)}, \text{ м} \quad (30)$$

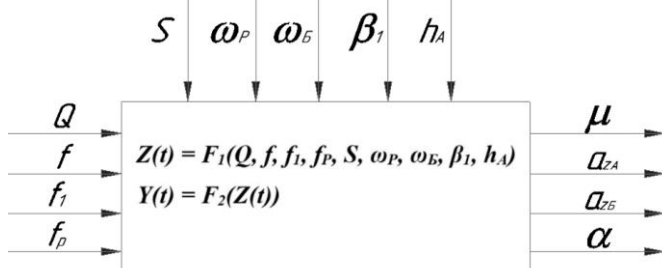
где d_0 – эффективный диаметр зерна, мм;

μ_0 – относительная живая площадь, м²;

d – диаметр отверстий, мм.

Обоснование параметров подсевного решета. Для построения механико-математической модели процесса движения зерновой смеси по подсевному решету и в пространстве между пластинами барабана приняты следующие допущения: рассматриваем установившийся процесс движения зернового материала в окружном направлении; движение сыпучего тела рассматриваем под действием внешних сил и сил инерции; коэффициенты трения приняты постоянными, независимыми от скорости движения; ускорение частиц кольцевого активного слоя и ускорение частиц, находящихся между пластинами барабана, приняты постоянными и равными ускорению сыпучего тела соответствующего слоя.

Структурно-параметрическая модель движения зерновой смеси по подсевному решету представлена на рисунке 15. В качестве входных воздействий приняты: Q – подача зерновой смеси; f – коэффициент трения зерна о зерно; f_1 – коэффициент трения зерновой смеси о пластины барабана; f_p – коэффициент трения зерновой смеси о решето. Управляющими воздействиями являются: S – шаг расстановки пластин; ω_p , ω_b – угловая скорость решета и барабана соответственно; β_1 – угол наклона пластин барабана, h_A – толщина активного слоя.



Выходными параметрами являются: μ – коэффициент трансформации силового давления, a_{ZA} , a_{ZB} – ускорение движения зерновой смеси в осевом направлении в активном слое и между пластинами барабана соответственно; α – угол между направлением вектора относительной скорости зерновой смеси в активном слое и горизонтом.

Рисунок 15 - Структурно-параметрическая модель движения зерновой смеси по подсевному решету

Внутренние параметры $Z(t)$: F_1 – функции преобразования входных и управляющих параметров во внутренние; F_2 – функции формирования выходных показателей на основе внутренних параметров.

Выделим элемент зернового слоя, размещенного между пластинами барабана и рассмотрим равновесие внешних сил и сил инерции, действующих на этот элемент (рисунок 16).

Уравнения равновесия внешних сил и сил инерции, действующих на выделенный элемент зернового слоя, размещенного между пластинами барабана:

$$\begin{cases} \sum X = N \cos \beta_1 - T \sin \beta_1 - N_1 \cos \beta_1 - T_1 \sin \beta_1 + T_0 \cos \beta_{\Pi} = 0 \\ \sum Y = F_B^u - N_0 - N \sin \beta_1 - T \cos \beta_1 + N_1 \sin \beta_1 - T_1 f_1 \cos \gamma_1 \cos \beta_1 = 0 \\ \sum Z = G_B - T - T_1 - T_0 \sin \beta_{\Pi} - F_B^{uu} = 0, \end{cases} \quad (31)$$

где $F_B^u = m_B \omega_B^2 R_B$ - центробежная сила инерции;

ω_B - угловая скорость барабана;

R_B - средний радиус вращения зернового слоя между пластинами барабана;

β_1 - угол наклона пластин барабана к радиусу;

$F_B^{uu} = m_B a_{ZB}$ - сила инерции сыпучего тела, находящегося между пластинами барабана и действующая в осевом направлении (m_B - масса зернового слоя, a_{ZB} - осевое ускорение);

N, N_1 - нормальные реакции пластин;

$T = f_1 N, T_1 = f_1 N_1$ - силы трения зерновой массы о пластины;

N_0 - нормальная реакция зерновой массы активного слоя;

$T_0 = f N_0$ - сила трения зерна активного слоя о выделенный элемент сыпучего тела между пластинами барабана;

$G_B = m_B g$ - сила веса зернового слоя, заключенного между пластин барабана (g - ускорение свободного падения);

β_{Π} - угол наклона силы трения T_0 к горизонту.

Анализ системы уравнений (31) показывает, что решающее значение на движение зерновой смеси оказывает коэффициент трансформации силового давления $\mu = \frac{N_0}{F_B^u}$, который определяется выражением:

$$\mu = \frac{B^2 - BC\psi \pm \sqrt{(BC\psi - B^2)^2 - (B^2 - f^2)D}}{B^2 - f^2} \quad (32)$$

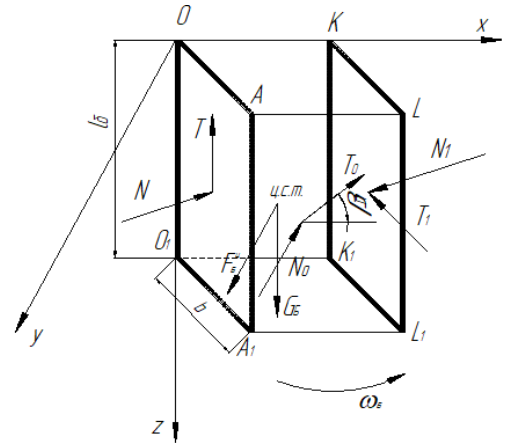


Рисунок 16 - Схема сил, действующих на зерновой материал, заключенный между пластинами барабана

где $K_B = \frac{\omega^2 R_{Бср}}{g}$ - показатель кинематического режима работы пластинчатого барабана;

$$\psi = \frac{N}{F_B^u}; B = \frac{\cos \beta_1 + f_1 \sin \beta_1}{f_1 \cos \beta_1 - \sin \beta_1}; C = B \sin \beta_1 + \cos \beta_1;$$

$$D = B^2 - 2BC\psi + \psi^2 C^2 + \left(\frac{1}{K_B} \left(1 - \frac{a_{ZB}}{g}\right)\right)^2 - 2\psi f_1 \frac{1}{K_B} \left(1 - \frac{a_{ZB}}{g}\right) + \psi^2 f_1^2.$$

Угол наклона сил трения между активным слоем и слоем зерна, размещенного между пластинами барабана определяется выражением:

$$\beta_{\Pi} = \arcsin \left[\frac{\frac{1}{K_B} \left(1 - \frac{a_{ZB}}{g}\right) - \psi f_1}{\mu f} \right]. \quad (33)$$

Результаты расчетов коэффициента трансформации силового давления μ и угла β_{Π} в зависимости от угла наклона пластин представлены на рисунке 17. В случае значения коэффициента $\mu > 1$ наблюдается “поджатие” зерновой смеси активного слоя со стороны зерновой смеси, находящейся между пластинами барабана, при $\mu < 1$ “зависание” зерновой смеси активного слоя. Анализ движения частицы в пространстве между пластинами барабана показывает, что ее максимальное ускорение составляет $a_z = g(1 - K_B f)$, а минимальное $a_z = 0,2664g$.

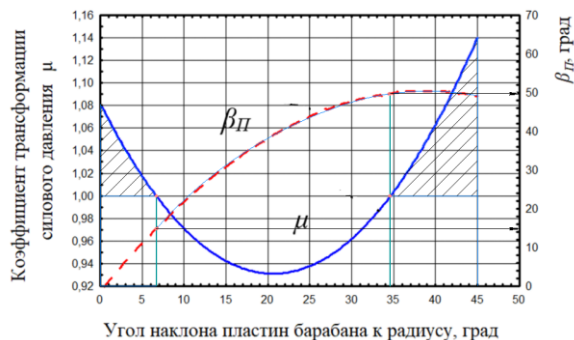


Рисунок 17 - Изменение коэффициента трансформации силового давления μ и угла β_{Π} в зависимости от угла наклона пластин барабана

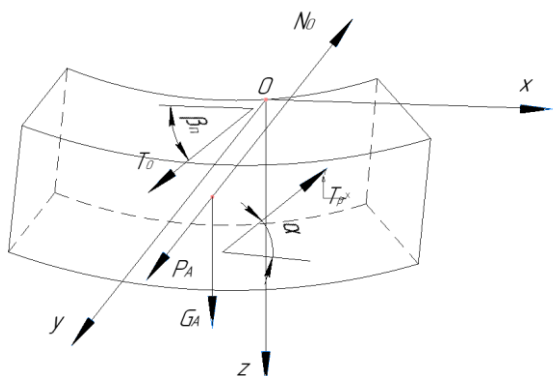


Рисунок 18 - Схема сил, действующих на зерновой материал выделенного элемента, соответствующего шагу расстановки пластин барабана

где S_B, S_A – площадь поперечного сечения решета, занятого зерновой смесью соответственно между пластинами барабана и в активном слое;

R_{cp} – средний радиус вращения зерновой смеси в активном слое.

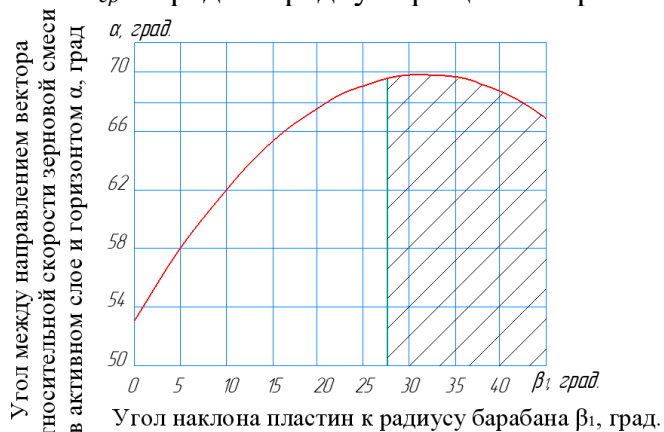


Рисунок 19 - Изменение угла α в зависимости от угла наклона пластин барабана к радиусу

Двухступенчатый процесс сепарации аналогичен процессам растворения в каскаде реакторов химической технологии. Поэтому математический аппарат при построении математической модели процесса сепарации будет аналогичен употребляемому в химической технологии для каскада реакторов. Время пребывания t_1 проходовой частицы в толще зернового слоя есть случайная величина, которая может принимать любые положительные значения: $0 \leq t_{\Pi} < \infty$.

Уравнения равновесия внешних сил и сил инерции, действующих на сыпучее тело активного слоя (рисунок 18), имеет вид:

$$\begin{cases} \sum X = T_P \cos \alpha - T_0 \cos \beta_{\Pi} = 0 \\ \sum Y = N_P - P_A - N_0 = 0 \\ \sum Z = G_A - T_P \sin \alpha + T_0 \sin \beta_{\Pi} - F_A^{ин} = 0, \end{cases} \quad (34)$$

где T_P – сила трения зерновой смеси о решето;

N_P – нормальная реакция решета;

G_A – сила веса зерновой смеси, находящейся в активном слое;

P_A – центробежная сила от зерновой смеси, находящейся в активном слое;

$F_A^{ин}$ – сила инерции сыпучего тела, находящегося в активном слое и действующая в осевом направлении.

Решая систему (34), получили:

$$\cos \alpha = \frac{\mu f \cos \beta_{\Pi}}{(\mu + \delta) f_P}, \quad (35)$$

$$\text{где } \delta = \frac{P_A}{F_B^{ин}}.$$

Осевое ускорение сыпучего тела в активном слое определится:

$$a_{ZA} = g - \left(\omega_{cp}^2 R_{cp} + \mu \frac{S_B}{S_A} \omega_B^2 R_{Бср} \right) f_P \sin \alpha + \mu \frac{S_B}{S_A} \omega_B^2 R_{Бср} f \sin \beta_{\Pi}, \quad (36)$$

Изменение угла α в зависимости от угла наклона пластин барабана к радиусу представлено на рисунке 19.

$$\omega_{cp} = 0,5(\omega_P + \omega_B).. \quad (37)$$

Процесс сепарации зернового материала на решетках протекает во взаимодействии двух основных стадий: сегрегации – проникновение частиц проходовой фракции через “толщу” зернового слоя и второй – собственно просеивание проходových частиц через отверстия решета и является по своей сути вероятностным процессом. Математическая модель процесса сепарации должна строиться исходя из наличия двух стадий (рисунок 20).

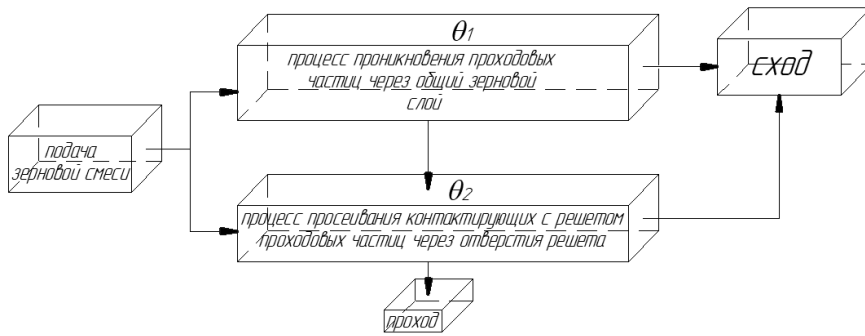


Рисунок 20 - Схема двухступенчатого процесса сепарации

θ_1 – среднее время продвижения проходовой частицы по толщине общего кольцевого зернового слоя, т.е. среднее время пребывания проходовой частицы в общем зерновом слое от момента вступления этого общего слоя на начало решета до момента подхода проходовой частицы к сепарирующей поверхности;

θ_2 – среднее время пребывания проходовой частицы на решетке от момента ее поступления на поверхность решета до момента просеивания;

Выделим кольцевой слой зернового материала высотой Δh в начале решета. Содержание проходковых частиц в этом объеме обозначим N_0^P . Проследим за временем прохода через толщу слоя и временем просеивания через решето этих частиц.

Вероятность того, что время пребывания проходовой частицы в этом выделенном элементе будет заключено между t и $t + \Delta t$, может трактоваться как отношение числа частиц $N_k(t, \Delta t)$, покидающих k -ю ступень в этом интервале времени, к общему числу введенных в систему проходковых частиц:

$$P_k(t \leq t_n < t + \Delta t) = \frac{N_k(t, \Delta t)}{N_0^P} \quad (38)$$

По физической сущности эта вероятность есть не что иное, как полнота выделения ε проходковых частиц. Плотность распределения вероятностей времени пребывания проходовой частицы в двухступенчатом процессе сепарации выразится формулой:

$$\Phi_2(t) = \frac{e^{-\frac{t}{\theta_1}} - e^{-\frac{t}{\theta_2}}}{\theta_1 - \theta_2}, \quad (39)$$

Отметим, что θ_1 оказывает более существенное влияние, чем θ_2 на величину $\Phi_2(t)$.

Функция распределения вероятностей равна интегралу от плотности распределения и, как отмечалось выше, представляет собой полноту выделения ε :

$$F_k(t) = \varepsilon = \int_0^t \Phi_k(t) dt \quad (40)$$

Интегрируя выражение (40) с использованием (39), получили:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\theta_1 e^{-\frac{t}{\theta_1}} - \theta_2 e^{-\frac{t}{\theta_2}}}{\theta_1 - \theta_2}. \quad (41)$$

В выражении (41) перейдем от среднего времени θ_1 и θ_2 к соответствующей средней высоте H_{1cp} от вступления зернового слоя с проходковыми частицами на начало решета до момента подхода этих частиц к поверхности решета и к средней высоте H_{2cp} от момента попадания проходовой частицы на решето до момента ее просеивания.

$$\varepsilon = 1 - \frac{H_{1cp} e^{-\frac{H}{H_{1cp}}} - H_{2cp} e^{-\frac{H}{H_{2cp}}}}{H_{1cp} - H_{2cp}}. \quad (42)$$

Изменение эффективности очистки зерна ε в зависимости от пройденной высоты цилиндрического решета представлено на рисунке 21. Материал, используемый в качестве засорителя – сурепка, имеющая эффективный диаметр 2,5 мм. Экспериментальные значения были получены на лабораторной установке центробежно-решетного сепаратора при следующих параметрах: $S=25,12$ мм; $\beta_1=45^\circ$; $\omega_p=15,79$ рад/с; $Q=26,49$ т/ч·м²; $C_0=6$ %; $W=14$ %; $h_A=10$ мм; $R_P=0,145$ м; $K_P=3,69$; $d=3,6$ мм, без спирали.

Изменение плотности распределения вероятностей просеивания проходовой фракции и относительной просеиваемости в зависимости от высоты цилиндрического решета представлено на рисунке 24.

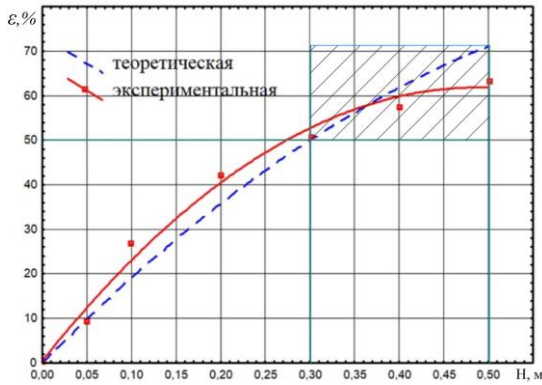


Рисунок 21 - Зависимость эффективности очистки зерна от высоты цилиндрического решета

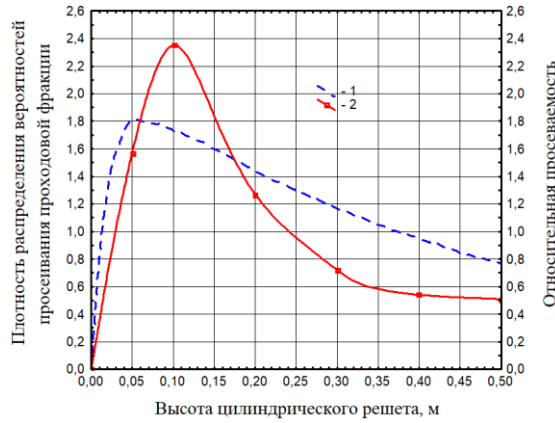


Рисунок 22 - Плотность распределения вероятностей просеивания проходовой фракции и относительная просеиваемость в зависимости от высоты цилиндрического решета

Относительная просеиваемость определяется формулой:

$$P_{отн} = \frac{q_i}{q_{cp}}, \quad (43)$$

где q_i и q_{cp} - удельная просеиваемость на i -ом участке по высоте цилиндрического решета и средняя удельная просеиваемость по высоте этого решета.

Отметим, что плотность вероятностей просеивания $\Phi_k(t)$ в соответствии с (41) равна отношению скорости вывода частиц из выделенного объема к начальному числу проходových частиц, а относительная просеиваемость есть отношение средней интенсивности просеивания частиц на i -ом участке по высоте цилиндра к средней интенсивности по всему цилиндру.

Отклонение экспериментальной эффективности ε от расчетной объясняется в первую очередь тем, что частицы проходовой фракции располагаются неравномерно по толщине кольцевого слоя, вследствие той сегрегации, которая имела место до подхода к решету. Поэтому в начальный период экспериментальное значение эффективности очистки зерна ε выше, чем это следует из расчета, а в дальнейшем идет замедление роста ввиду «нехватки» проходových частиц.

Обоснование параметров зернового решета. Производительность цилиндрического решета зависит от интенсивности его очистки от сходовой фракции. Тарасовым Б. Т. была получена формула удельной производительности решета.

$$Q = 2\pi R q_{cm} V_z \frac{z}{x_{cp} \cdot \sin \alpha}, \quad (44)$$

где R - радиус цилиндрического решета, м;

q_{cm} - вес элементарного слоя зёрен на единице площади решета, кг/м²;

V_z - вертикальная составляющая скорости скольжения зерна относительно решета, м/с;

z - длина спирали, м;

x_{cp} - средний путь скольжения зерна по решету от момента соприкосновения с поверхностью решета до просеивания, м.

Из формулы (44) видно, что производительность решета прямо пропорциональна V_z , а эта величина зависит от угла наклона спирали α . Принимаем значение $K_p = 3,5$, которое обеспечит работоспособность цилиндрического решета. При выборе оптимального угла наклона спирали использовали зависимость $\frac{1}{\omega_p R} \cdot V_z = f(\alpha)$. Эта зависимость получила экспериментальное подтверждение на макетном образце сепаратора. Установлено, что угол α должен иметь значение $6 < \alpha < 15^\circ$. Максимальная удельная производительность в экспериментах была получена при $\alpha = 11^\circ 20'$. Определена зависимость этого параметра от линейной скорости решета при постоянном отношении $\omega_b/\omega_p = 0,5$. При исходной засоренности $C_0 = 0$, зависимость $Q_F = f(V_p)$ имеет линейный характер (рисунок 23).

Значит при заданном отношении ω_b/ω_p величина Q_F тем больше, чем больше скорость решета.

Приведенная выше формула удельной производительности не учитывает перекрытие части рабочих отверстий решета винтовой спиралью. Допустим, что на развертке решета уложена спираль, которая состоит из n заходов уложена под углом α к горизонту. Толщина спиральной проволоки b_n примерно равна среднему диаметру зерна.

Тогда ширина перекрываемой спиралью полосы равна:

$$b_1 = \frac{b_n}{\sin \alpha}, \quad (45)$$

Учитывая это, можно подсчитать фактическую рабочую ширину решета:

$$s_p = (\pi D - b_1 n_{\text{зах}}) = \pi D \left(1 - \frac{b_n n_{\text{зах}}}{\sin \alpha}\right), \quad (46)$$

где $n_{\text{зах}}$ - число заходов винтовой спирали.

Обозначив выражение в скобках через $K_{\text{сп}}$ и, подставим численные значения величин $\alpha = 11^\circ$, $n_{\text{зах}} = 2$ и $b_n = 0,004$ м, получим $K_{\text{сп}} = 0,95$ (коэффициент, учитывающий перекрытие рабочей площади решета винтовой спиралью).

В четвертой главе «Моделирование и формирование вариантов технологических операций мобильных зерноочистительных агрегатов для очистки зерновых материалов» сформулированы методологические принципы формирования мобильных зерноочистительных агрегатов (МЗА). 1. Технологические схемы и конструкции мобильных зерноочистительных агрегатов должны базироваться на принципах энергоэффективности и интеграции наукоемкого высокотехнологичного оборудования. 2. Конструкции мобильных зерноочистительных агрегатов должны обеспечивать технологическую адаптивность к обработке различных видов зернового материала (зерновых, зернобобовых, технических, мелкосемянных культур) за счет оперативной смены основных сепарирующих рабочих органов. 3. В основу проектирования должен быть заложен блочно-модульный принцип построения, обеспечивающий выполнение полного спектра технологических операций (предварительной, первичной, вторичной и финишной очистки, включая вибропневмосепарирование и оптическую сортировку) и возможность изменения комплектации агрегата под заданные технологические требования. 4. Мобильные зерноочистительные агрегаты должны обладать эксплуатационной надежностью для эффективного использования в течение расширенного агросезона (не менее 8 месяцев в году). 5. Конструктивное исполнение входящих в агрегат зерноочистительных машин должно быть адаптировано к массогабаритным ограничениям транспортного средства с обеспечением их постоянной технологической готовности. 6. Компоновка агрегата при необходимости должна предусматривать возможность функционирования в автономном режиме от собственного источника питания без подключения к внешним электрическим сетям. 7. Параметры агрегата в транспортном положении должны строго соответствовать нормативным габаритам для дорог общего пользования. Временные затраты на перевод из транспортного положения в рабочее должны быть минимизированы за счет применения встроенных приспособлений и оснастки для быстрой трансформации. 8. Конструктивно-технологические параметры агрегатов должны полностью удовлетворять действующим экологическим стандартам и правилам безопасной эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники. 9. Параметрический ряд мобильных зерноочистительных агрегатов должен быть дифференцирован по производительности и

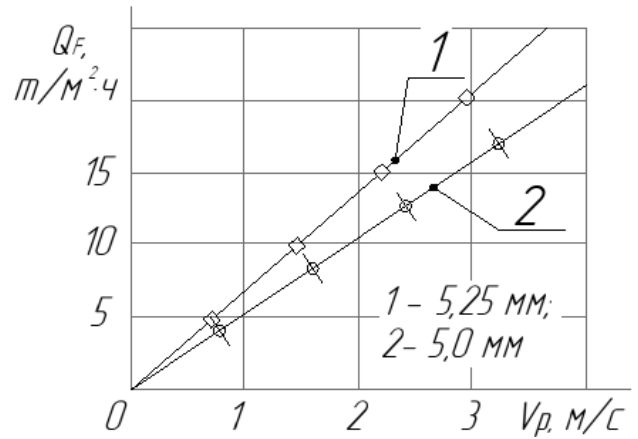


Рисунок 23 - Изменение удельной производительности в зависимости от скорости цилиндрического решета при $C_0=0$

целевому назначению: для продовольственного зерна — 10 и 30 т/ч; для семенного материала — 5, 6 и 8 т/ч». 10. Конструкция агрегатов должна предусматривать наличие раздвижных или съемных панелей (стенок) и технологических проемов, обеспечивающих оперативный доступ к оборудованию для технического обслуживания при соблюдении требований безопасности. 11. Транспортно-технологическая система агрегата должна обеспечивать непрерывное выведение всех полученных фракций зернового материала и отходов за пределы габаритов агрегата. 12. При проектировании многокомпонентных технологических схем со значительным количеством машин должен использоваться принцип декомпозиции с формированием сочлененных или составных мобильных агрегатов, сохраняющих допустимые транспортные габариты.

На основе проведенного теоретического анализа и математического моделирования нами были синтезированы и обоснованы семь базовых технологических схем мобильных агрегатов, рассмотрена область их применения и порядок функционирования. Они адаптированы под различные производственные задачи хозяйств и градируются по назначению - от узкоспециализированных модулей до универсальных комплексов. В качестве базовых решений в работе детально рассмотрены: мобильный зерноочистительный модуль на базе центробежно-решетных сепараторов (Схема I), мобильный семяочистительный агрегат (Схема II), мобильный составной зерно-семяочистительный агрегат (Схема III), мобильный семяочистительный агрегат «EcoSort Mobile» (Схема IV), мобильный комплекс зерно-семяочистительных агрегатов (Схема V), мобильный зерно-семяочистительный агрегат для внутрихозяйственного использования (Схема VI) и мобильный монтируемый семяочистительный агрегат (Схема VII). Технологические схемы агрегатов представлены на рисунках 24-30.

Мобильный зерноочистительный модуль на базе центробежно-решетных сепараторов (Схема I)

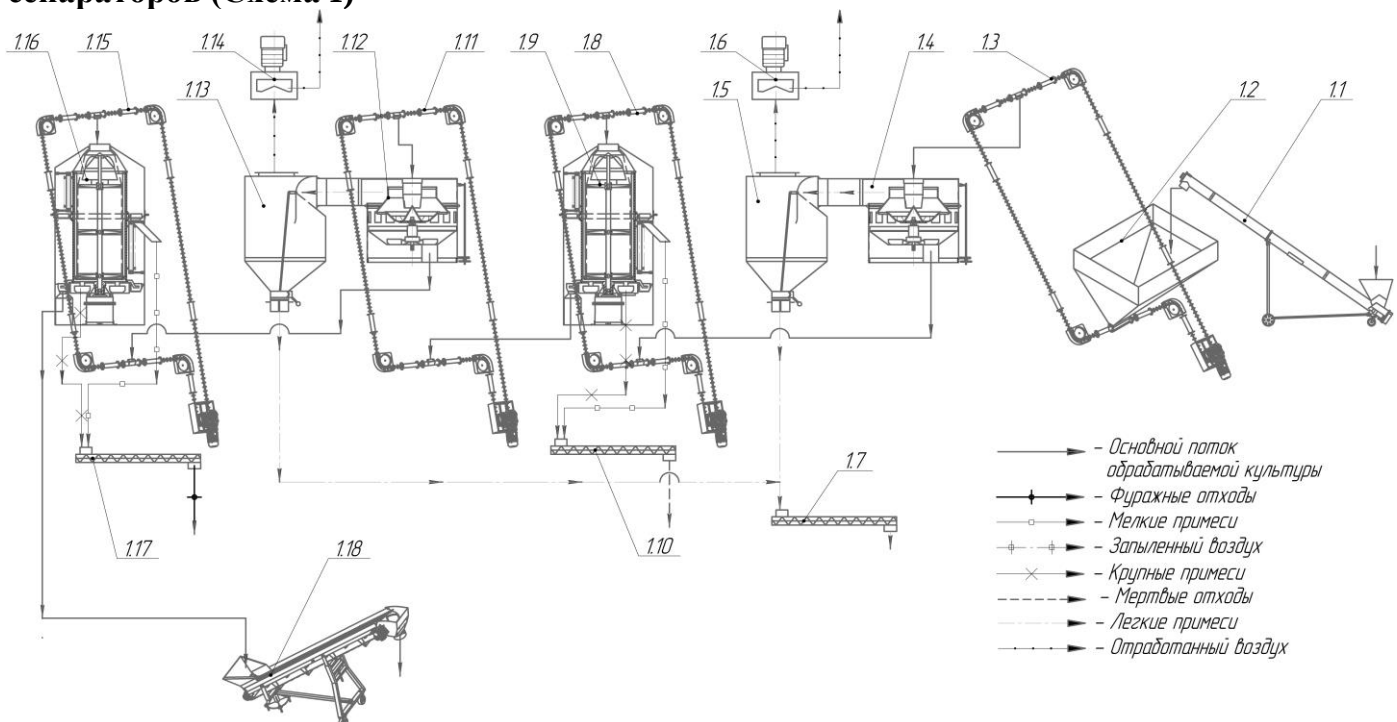


Рисунок 24 - Технологическая схема мобильного зерноочистительного модуля на базе центробежно-решетных сепараторов

1.1- Загрузочный транспортер; 1.2- бункер; 1.3, 1.8, 1.11- трубчатый скребковый конвейер; 1.4, 1.12- центробежно-воздушный сепаратор; 1.5, 1.13- осадочная камера; 1.6, 1.14 - вентилятор; 1.7, 1.10, 1.17- шнек; 1.9- центробежно-решетный сепаратор; 1.15 - трубчатый скребковый конвейер; 1.16 - центробежно-решетный сепаратор (в режиме овсюгоотборника); 1.18 – ленточный конвейер.

Мобильный семяочистительный агрегат (Схема II)

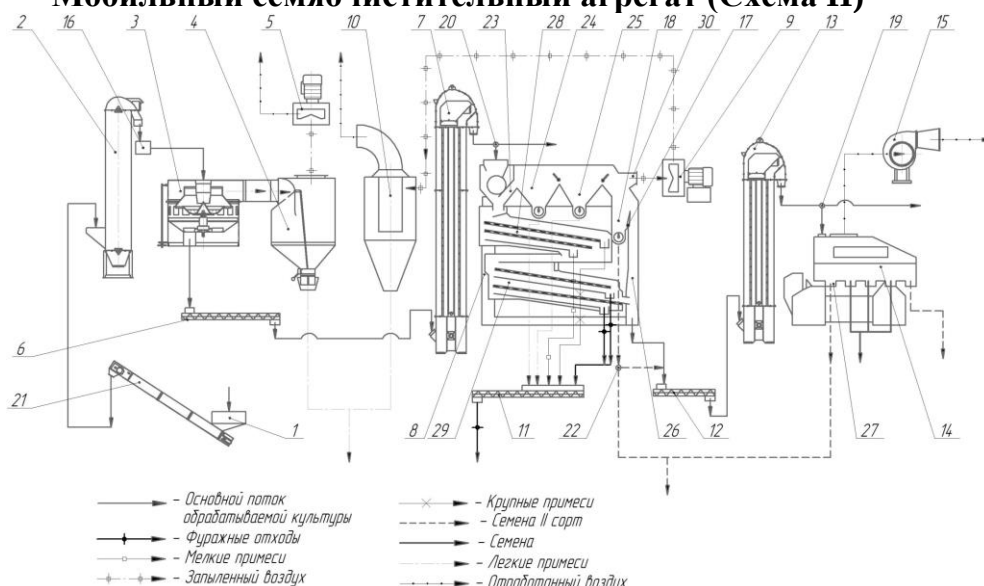


Рисунок 25 - Технологическая схема работы мобильного семяочистительного агрегата

13- заключительная нория; 14- пневмосортировальный стол МОС-9Н; 15- вентилятор; 16- устройство для выделения грубых и крупных примесей; 17- заслонка; 18- третья осадочная камера; 19- клапан-распределитель; 20- клапан-распределитель; 21- скребковый транспортер; 22- клапан-распределитель; 23- канал первой аспирации; 24- первая осадочная камера; 25- вторая осадочная камера; 26- канал второй аспирации; 27 – патрубок вывода легких фракций машины окончательной очистки МОС-9Н, 28 – первый решетный стан, 29 – второй решетный стан, 30 – патрубок для соединения вентилятора машины вторичной очистки зерна МВУ-1500.

Мобильный составной зерно-семяочистительный агрегат (Схема III)

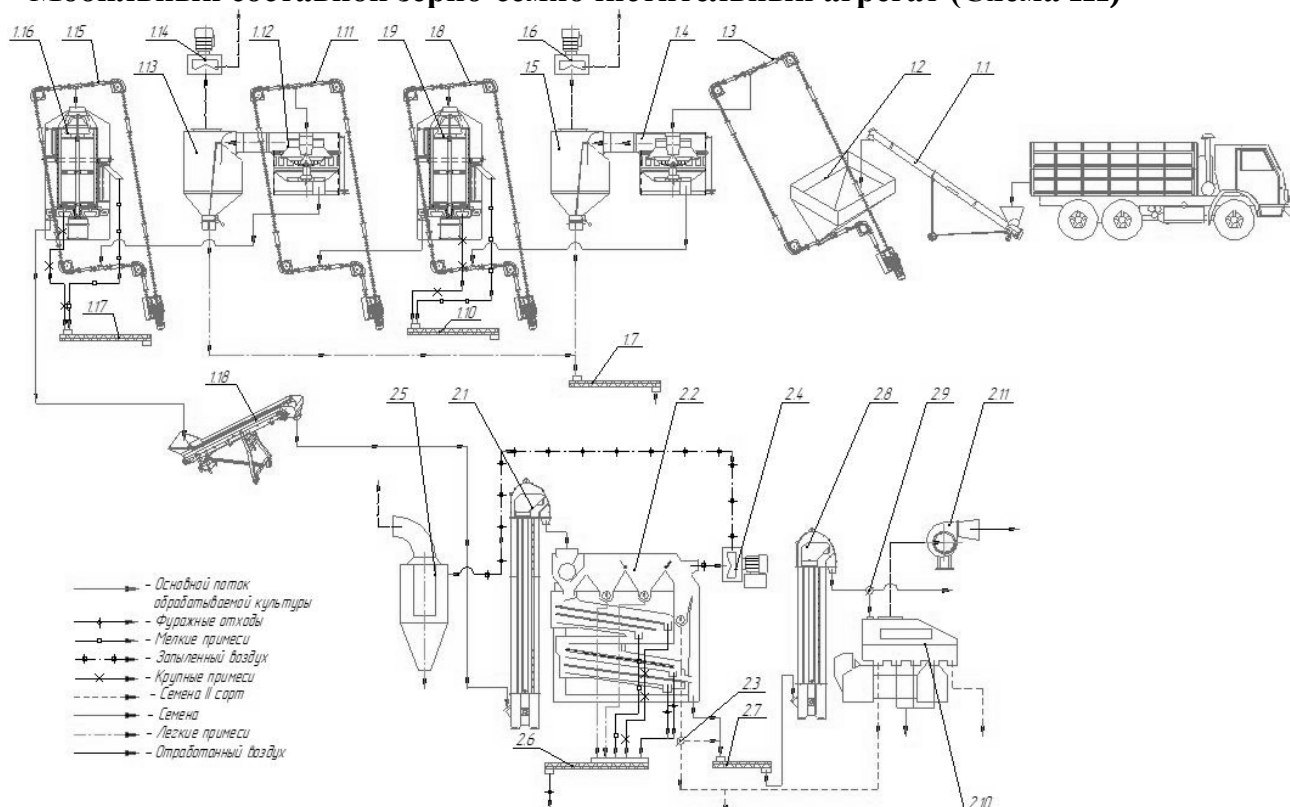
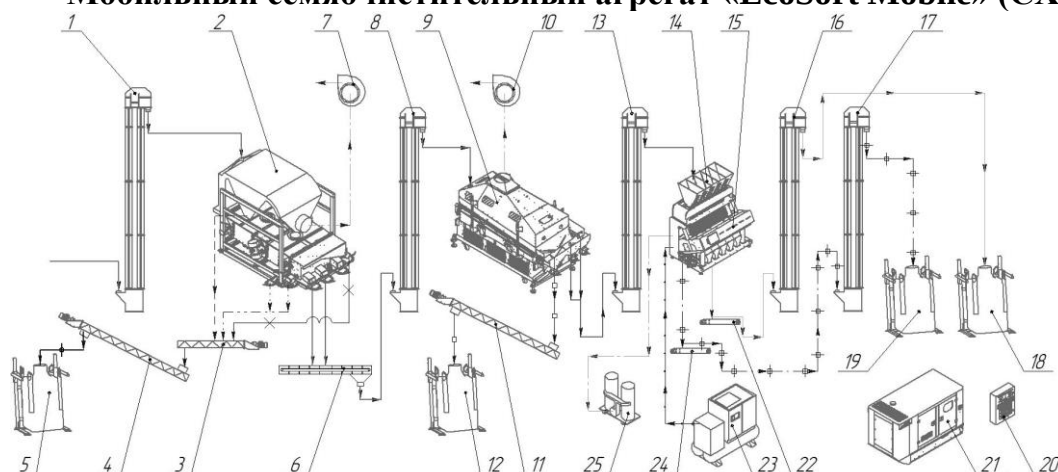


Рисунок 26 – Технологическая схема составного мобильного зерно-семяочистительного агрегата

1.1- Загрузочный транспортер; 1.2- бункер; 1.3, 1.8, 1.11- трубчатый скребковый конвейер; 1.4, 1.12- центробежно-воздушный сепаратор; 1.5, 1.13- осадочная камера; 1.6, 1.14

- вентилятор; 1.7, 1.10, 1.17- шнек; 1.9- центробежно-решетный сепаратор; 1.15 - трубчатый скребковый конвейер; 1.16 - центробежно-решетный сепаратор (в режиме овсюгоотборника); 1.18 – ленточный конвейер; 2.1 – нория; 2.2- модернизированная зерноочистительная машина МВУ-1500; 2.3- делитель; 2.4- вентилятор; 2.5- циклон; 2.6- шнек; 2.7- шнек; 2.8- нория; 2.9- делитель; 2.10- пневмосортировальный стол МОС-9Н; 2.11 – вентилятор.

Мобильный сеяочистительный агрегат «EcoSort Mobile» (СХЕМА IV)



1,8,13- Нория
тихоходная НТ.10;
2- зерноочиститель-
ная машина 5XFJ-
10CY(M);
3- шнек; 4- шнек; 5-
держатель биг-бэга;
6- скребковый
конвейер;
7- вентилятор;

Рисунок 27 - Технологическая схема мобильного сеяочистительного агрегата «EcoSort Mobile»

9- пневмосортировальный стол 5ZX-8Y; 10- вентилятор; 11- шнек; 12,18, 19- держатель биг-бэга; 14- бункер; 15- фотосепаратор 5V «Таїно»; 16,17- нория НКЛ.10; 20- пульт дистанционного управления; 21- дизельный генератор; 22,24- ленточный транспортер; 23- компрессор; 25- аспирационная система фотосепаратора.

Мобильный комплекс зерно-сеяочистительных агрегатов (СХЕМА V)

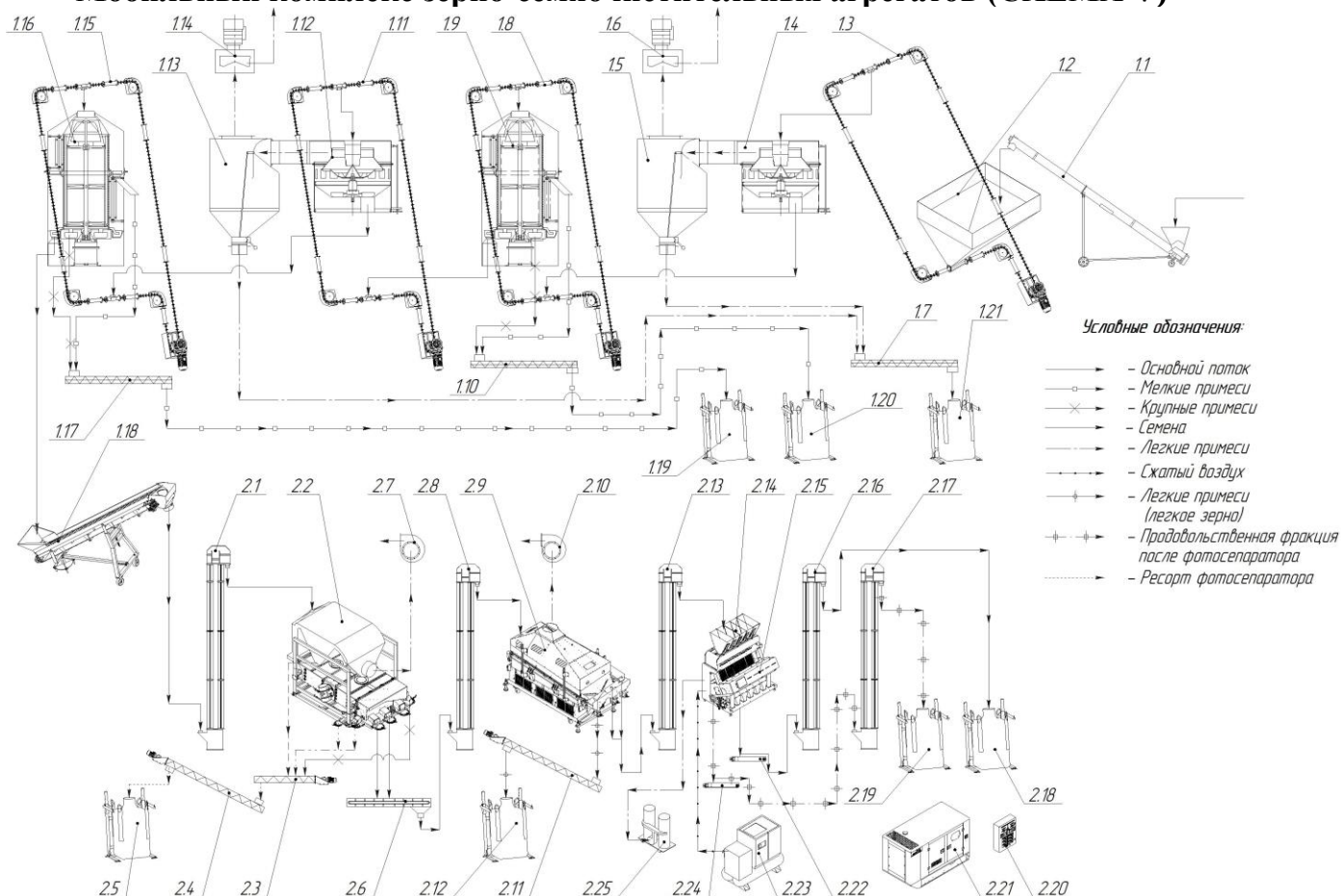


Рисунок 28 - Технологическая схема мобильного комплекса зерно-сеяочистительных агрегатов

Мобильный зерно-семяочистительный агрегат для внутрихозяйственного использования (СХЕМА VI)

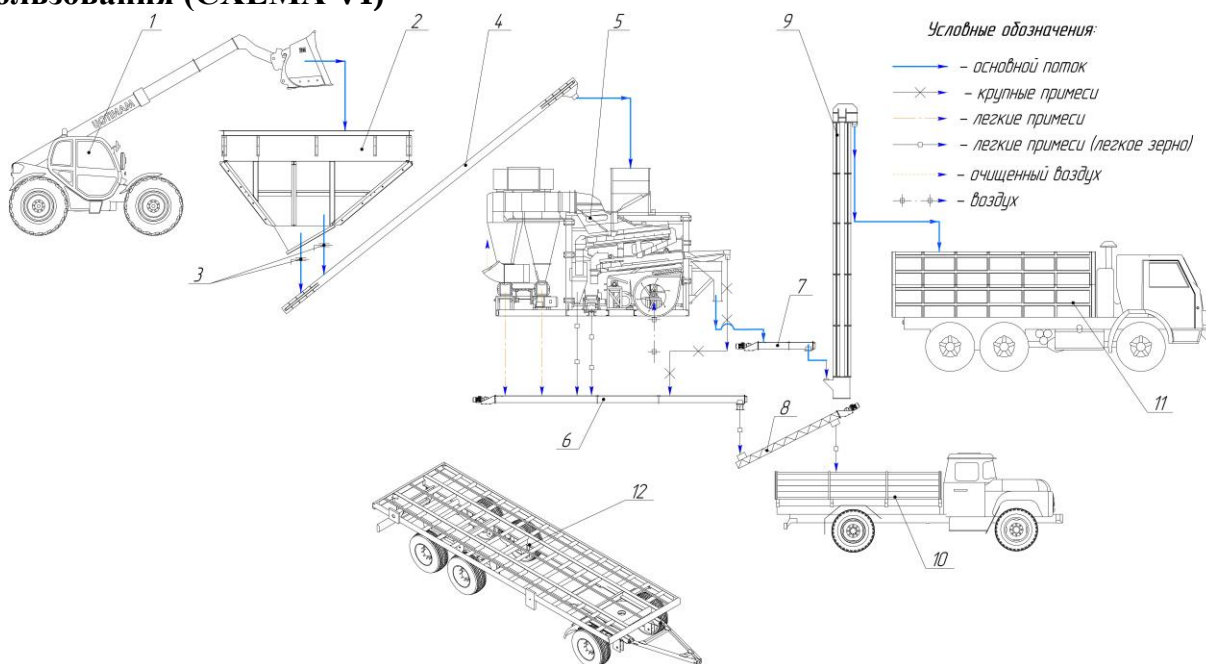


Рисунок 29— Технологическая схема мобильного зерно-семяочистительного агрегата для внутрихозяйственного использования

1- Телескопический погрузчик; 2- загрузочный бункер; 3- задвижка реечная ручная; 4- конвейер скребковый; 5- машина 5XFZ-40ZA; 6- шнек отходов продольный; 7- конвейер скребковый поперечный; 8- шнек отходов отгрузочный; 9- нория тихоходная чистого зерна НТ-30; 10- грузовой автомобиль ЗИЛ; 11- грузовой автомобиль КамАЗ; 12- прицеп.

Мобильный монтируемый семяочистительный агрегат (СХЕМА VII)

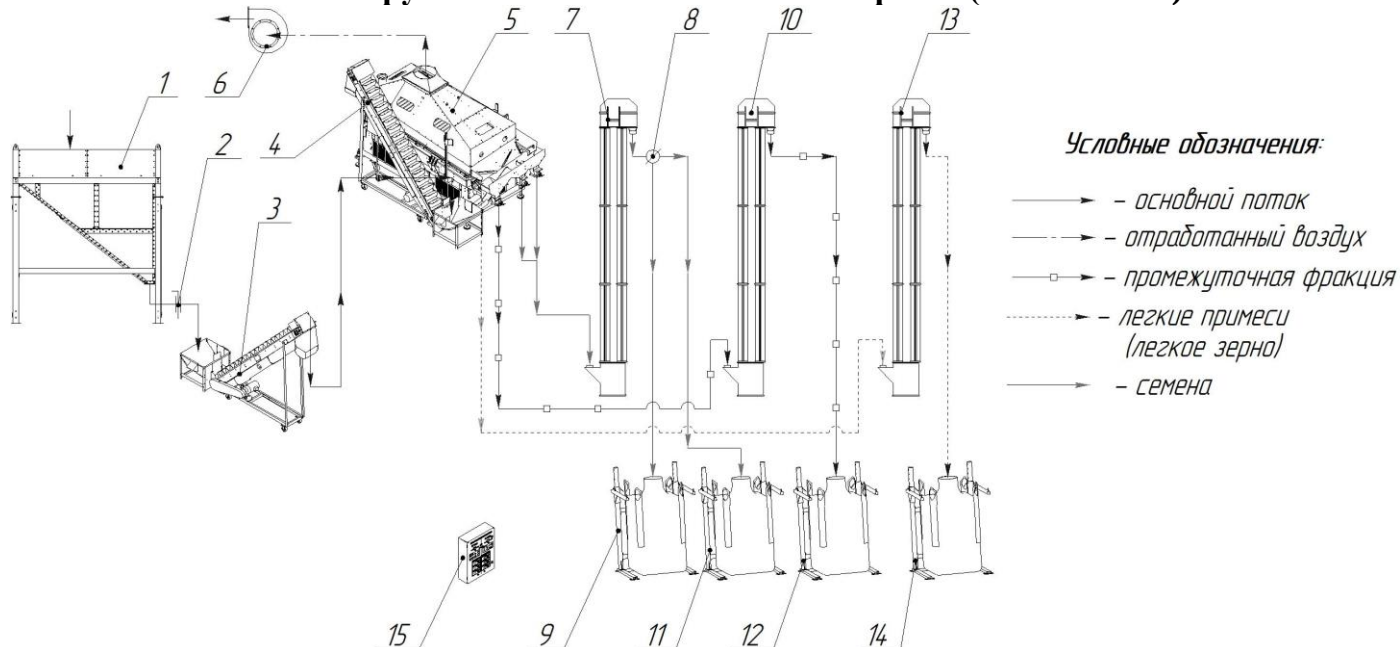


Рисунок 30— Технологическая схема мобильного монтируемого семяочистительного агрегата

1- бункер загрузочный; 2- задвижка; 3,4- наклонная нория; 5- пневмосортировальный стол 5ZX-8Y; 6- вентилятор; 7,10,13- тихоходная нория НТ.10; 8- клапан перекидной; 9,11,12,14- держатели биг-бэгов; 15- пульт управления.

Согласно формулам (15) и (16) для всех схем проведены расчеты сезонной выработки и количества смен за сезон в зависимости от расстояния до объекта при количестве объектов от 5 до 50 шт. Графическое изображение зависимостей для схемы VI представлено на рисунках 31-32.

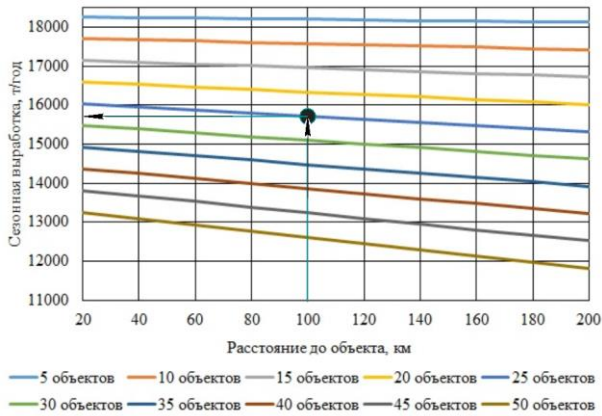


Рисунок 31 - Изменение сезонной выработки в зависимости от расстояния до объекта (СХЕМА VI. Семенной режим)

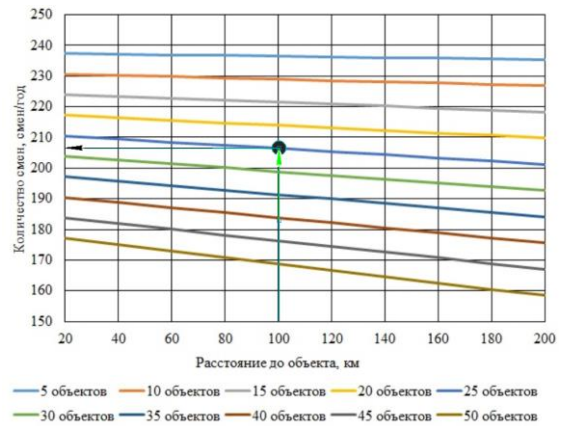


Рисунок 32 - Изменение количества смен в зависимости от расстояния до объекта (СХЕМА VI. Семенной режим)

Оценка трансформируемости мобильных зерноочистительных агрегатов проведена в соответствии с методикой Смирнова П.А., установившая, что наибольший коэффициент объемной трансформации у агрегата (схема VII) - 4,95, наименьший у агрегата (схема II) - 2,48.

Энергетическая оценка проектируемых мобильных зерноочистительных агрегатов и комплексов проведена в соответствии с методикой Галкина В.Д., которая установила, что наибольшие совокупные затраты энергии у агрегата (схема V) - 186,55 МДж/т, наименьшие у агрегата (схема VII) - 27,05 МДж/т для семяочистительных агрегатов. При сравнении агрегатов для очистки продовольственного зерна совокупные затраты энергии для схем I и VI соответственно составили 18,90 МДж/т и 17,36 МДж/т. Определен коэффициент готовности мобильных зерноочистительных агрегатов: наибольший у агрегата (схема VI) - 0,844, наименьший у агрегата (схема V) - 0,561.

В пятой главе «Экспериментальные исследования» в соответствии с поставленными задачами изложена программа исследований, описаны экспериментальные установки, использованные приборы и оборудование, общепринятые и частные методики исследований и обработки экспериментальных данных, использованные культуры и засорители. При исследованиях применялись методы теории математического планирования эксперимента, статистические и численные методы с использованием вычислительной техники.

Исследования процесса сепарации центробежно-воздушного сепаратора с выделением легких примесей осуществлялись на экспериментальной установке, технологическая схема которой представлена на рисунке 33.

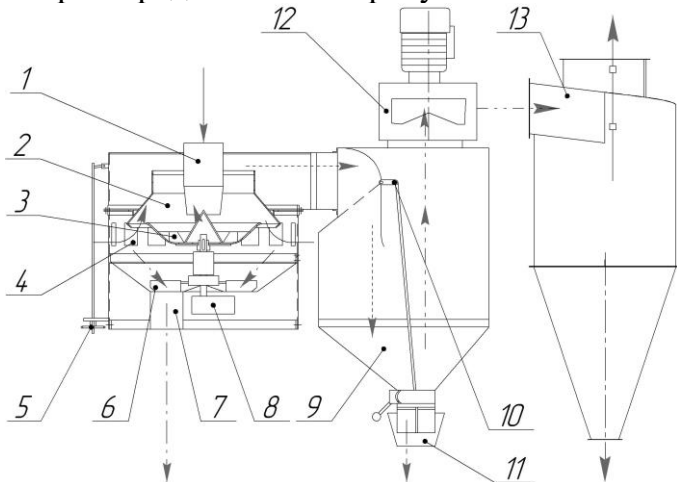


Рисунок 33 – Технологическая схема центробежно-воздушного сепаратора

1- загрузочный патрубок; 2- кольцевой пневмосепарирующий канал; 3- разбрасывающая тарелка; 4- воздухозаборные окна; 5- механизм тонкой регулировки скорости воздушного потока; 6- механизм выгрузки очищенного зерна; 7- патрубок выгрузки очищенного зерна; 8- привод; 9- осадочная камера; 10- механизм грубой регулировки скорости воздушного потока; 11- патрубок вывода легких примесей; 12- вентилятор; 13- циклон.

Изучение процесса сепарации на подсевном решете центробежно-решетного сепаратора осуществлялось на экспериментальной установке, представленной на рисунке 34.

Таблица 1 - Основные факторы, изменяемые на лабораторной установке

Факторы и их наименование	Значение факторов	
	Мин.	Макс.
C_0 - засоренность исходного материала, %	2	8
ω_p - угловая скорость решета, рад/с	14,3	16,16
β_{1-} угол наклона пластин, град.	0	45
W - влажность исходного зернового материала, %	14	22
S - шаг расстановки пластин барабана, мм	25,12	70,34
α - угол наклона транспортирующей спирали, град.	0	11
h_A - толщина активного слоя, мм	10	12
d_p - диаметр отверстий решета, мм	3,2	4,0
q - удельная подача зерновой смеси, т/ч·м ²	20,45	32,51

Technical drawing of a mechanical device, likely a pump or engine component, showing a cross-section with various numbered parts (1-13). The device has a central vertical shaft and a complex internal structure with multiple chambers and valves.

1 - горловина, 2 - питатель, 3 - коническое делительное решето, 4 - колосовое решето, 5 - пластинчатый барабан, 6 - цилиндрическое решето, 7 - спираль, 8 - кольцевая щетка, 9 - эластичное кольцо, 10 - скребки, 11 - цилиндрическая обечайка, 12 - редуктор, 13 - лоток.

Рисунок 35 – Технологическая схема центробежно-решетного сепаратора

Программой экспериментальных исследований предполагалось определение физико-механических свойств зерна; проверка математических моделей на адекватность; изучение влияния шага пластин барабана на процесс сепарации; исследование влияния наклона пластин барабана; изучение влияния подачи зерновой смеси на процесс сепарации; определение влияния транспортирующих устройств; опыты по изменению толщины активного слоя; опыты по определению влияния рабочих размеров отверстий решет с круглыми отверстиями на эффективность сепарирования; определение зональной просеваемости по высоте цилиндрического решета; опыты по определению влияния засоренности исходного материала на удельную производительность и качество очистки; опыты на влажном исходном материале; исследование влияния формы частиц проходовой фракции на эффективность сепарации;

исследование энергоемкости процесса сепарации; производственные испытания сепаратора с подсевным решетом и его технико-экономическая оценка.

Нами было установлено из литературных источников и собственных расчетов, что максимальный размер пор при сепарации пшеницы равен 2,5 мм, поэтому было решено основные эксперименты провести в максимально сложных условиях при выделении сурепки с эффективным диаметром 2,5 мм.

В качестве откликов в экспериментах использовались: эффективность очистки зерна ε и потери зерна в отходы П.

$$\varepsilon = \frac{P_1 a_{\text{ВЫХ}}^{\text{М}}}{P_0 a_{\text{ИСК}}^{\text{М}}} 100, \%, \quad (47)$$

где P_1 - масса проходовой фракции;

$a_{\text{ВЫХ}}^{\text{М}}$ - содержание мелких примесей в проходовой фракции;

P_0 - масса исходного материала;

$a_{\text{ИСК}}^{\text{М}}$ - содержание мелких примесей в исходном материале.

$$\text{П} = \frac{P_1 a_{\text{ВЫХ}}^{\text{КР}}}{P_0 a_{\text{ИСК}}^{\text{КР}}} 100, \%, \quad (48)$$

где $a_{\text{ВЫХ}}^{\text{КР}}$ - содержание крупной фракции в проходе;

$a_{\text{ИСК}}^{\text{КР}}$ - содержание крупной фракции в исходном материале.

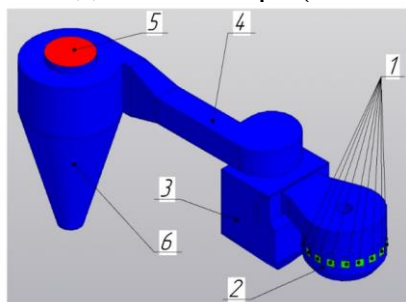
Математическая модель качественных показателей процесса сепарации получена с помощью многофакторного эксперимента на трех уровнях варьирования по симметричному, композиционному плану. Поиск рациональных сочетаний факторов проводился на ПЭВМ в программе Mathcad.

Представлены результаты исследований технологического процесса и основных рабочих органов зерноочистительных машин мобильного зерноочистительного агрегата.

Проведено моделирование процессов функционирования центробежно-воздушного сепаратора для послеуборочной обработки зерна. Принятые исходные данные при исследовании в приложении KompasFlow: 1) Опорное давление – 101000 Па; опорная температура – 273 К; 2) вещество: агрегатное состояние – газ; опорная температура вещества – 273 К; молярная масса – 0,029 кг/моль; теплопроводность – 0,022 Вт/(м·К); удельная теплоемкость – 1000 Дж/(кг·К); 3) набор решаемых уравнений: уравнение движения, турбулентность; 4) начальные условия: скорость – 0 м/с (на входе); 5) размеры расчетной сетки: 50x50x50; 6) расход воздуха $Q=3,3$ кг/с (при нормальных условиях). При проведении расчетов по изменению скорости воздушного потока соответственно изменялся расход. На рисунке 40 представлена 3D-модель центробежно-воздушного сепаратора с граничными условиями. (синий цвет – стенка; зеленый цвет – вход; красный цвет – выход).

Результаты, полученные в ходе расчета представлены на рисунке 36, где скорость воздушного потока отображена линиями тока на участке №2 и №3 (патрубок аспирационный и циклон соответственно) и №1 – сепаратор и осадочная камера (заливка).

Проведенные нами исследования влияния расхода воздуха показывают, что при расходе воздуха с 3,0 до 4,0 кг/с изменение скорости воздушного потока в зоне сепарации составляет 47,8%, что позволяет сепарировать достаточно большой спектр сельскохозяйственных культур при использовании одного циклона. При уменьшении расхода воздуха менее 3 кг/с необходимо использовать спаренные циклоны.



- 1 – вход
(воздухозаборные окна
сепаратора);
- 2 – сепаратор;
- 3 – осадочная камера;
- 4 – патрубок
аспираторный;
- 5 – выход;
- 6 – циклон

Рисунок 36 – 3D-модель центробежно-воздушного сепаратора с граничными условиями

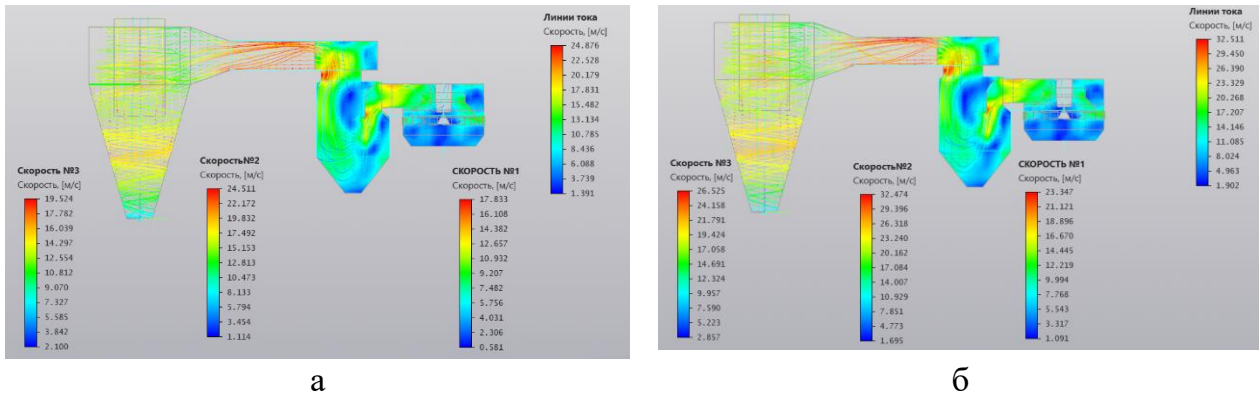


Рисунок 37 – Влияние расхода воздуха на процесс сепарации:

а – расход воздуха 3,0 кг/с; б – расход воздуха 4,0 кг/с;

Влияние угла наклона и шага расстановки пластин барабана на эффективность очистки зерна. В лабораторных опытах диапазон изменения угла наклона пластин β_1 к радиусу изменялся от 0° до 45° , а также устанавливались зависимости при отрицательных значениях угла β_1 относительно направления вращения решетки. Опыты показали, что при отрицательных значениях угла β_1 показатели эффективности процесса сепарации существенно ниже, чем в первом случае. Увеличение угла наклона пластин барабана относительно радиуса от 0° до 22° приводит к снижению эффективности очистки зерна, а при увеличении от 22° до 45° к увеличению (рисунок 38).

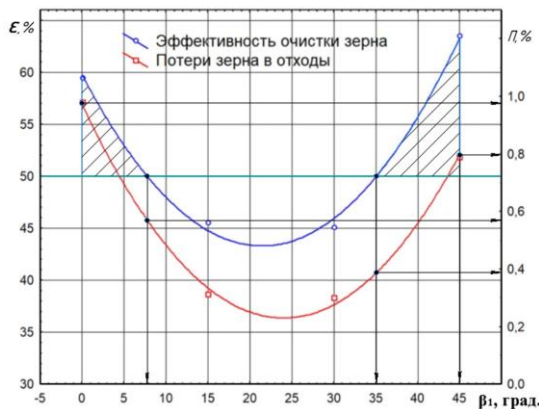


Рисунок 38 - Влияние угла наклона пластин на эффективность очистки и потери зерна в отходы

При $Q=26,49 \text{ т/ч} \cdot \text{м}^2$; $S=25,12 \text{ мм}$;
 $\omega_p=15,79 \text{ рад/с}$; $d=3,6 \text{ мм}$; $C_0=6 \%$; $W=14 \%$;
 $h_a=10 \text{ мм}$; $R=0,145 \text{ м}$; $K=3,69$; без спирали

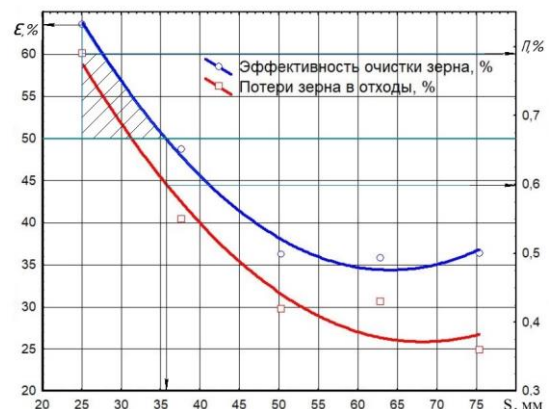


Рисунок 39 - Влияние шага расстановки пластин барабана на эффективность очистки и потери зерна в отходы

При $Q=26,49 \text{ т/ч} \cdot \text{м}^2$; $\beta=45^\circ$; $\omega_p=15,79 \text{ рад/с}$;
 $d=3,6 \text{ мм}$; $C_0=6 \%$; $W=14 \%$; $h_a=10 \text{ мм}$;
 $R=0,145 \text{ м}$; $K=3,69$; без спирали

Теоретические исследования и опытная проверка подтверждают, что с увеличением угла наклона пластин барабана возрастает давление зерновой смеси, находящейся между пластинами на активный слой. Экспериментальные исследования по изменению шага расстановки пластин барабана показывают на резкое снижение эффективности очистки зерна при изменении его значения от 25,12 до 35 мм, при этом потери зерна в отходы имеют аналогичную зависимость, представленную на рисунке 39. Однако проведенные опыты показывали, что при увеличении шага расстановки пластин необходимо повысить подачу зерновой смеси для увеличения толщины зернового слоя между пластинами барабана, то есть необходимо, чтобы коэффициент трансформации силового давления оставался неизменным, который уменьшается с увеличением шага расстановки пластин.

Исследование процесса сепарации зерна на цилиндрическом щелевом решетке. Экспериментальные исследования проводились на подсевном решетке с размером отверстий $\Delta=2,0 \text{ мм}$. Результаты опытов показывали, что эффективность очистки более 50% наблюдается

уже при высоте цилиндрического решета в 250 мм, что говорит о возможности уменьшения габаритных размеров центробежно-решетного сепаратора при использовании щелевого решета. Засоренность мелкими примесями с толщиной частиц проходовой фракции $b=1,5$ мм изменялась в пределах от 5 до 9%. Опыты проводились на решете с шириной щелевых отверстий $\Delta=2,0$ мм, удельная подача на решето составляла $25,51 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$ при влажности исходного материала 14 %.

Определение факторов, оказывающих наибольшее влияние на процесс сепарации на подсевном решете. Для выявления значимых факторов использовали план Плакетта-Бермана для девяти факторов и количеством экспериментов 12. Для определения дисперсии оценок факторов к исследуемым факторам в матрице плана были добавлены два фиктивных фактора. Результаты предварительных и однофакторных экспериментов позволили выбрать уровни и интервалы варьирования факторов при проведении планирования экспериментов.

В результате проверки было выявлено, что на процесс сепарации наибольшее влияние оказывают четыре фактора. Это засоренность исходного материала x_1 (C_0), частота вращения решета x_2 (ω_p), угол наклона пластин к радиусу x_3 (β_1) и влажность исходного зернового материала x_4 (W). После реализации плана и обработки результатов эксперимента получена адекватная с 95% вероятностью математическая модель для критерия оптимизации ε .

$$\varepsilon = 21,406 - 3,733x_1 + 14,950x_2 + 3,372x_3 + 16,60x_4 + 1,753x_1x_2 - 1,778x_1x_4 + 1,478x_2x_3 - 2,107x_2x_4 - 0,564x_3x_4 + 2,074x_1^2 + 20,309x_2^2 - 7,296x_3^2 + 14,299x_4^2. \quad (49)$$

Математическая модель для критерия оптимизации Π :

$$\Pi = 0,068 - 0,169x_1 + 0,547x_2 + 0,105x_3 + 0,507x_4 - 0,049x_1x_2 - 0,047x_1x_3 - 0,136x_1x_4 + 0,003x_2x_3 + 0,237x_2x_4 + 0,077x_3x_4 + 0,127x_1^2 + 0,512x_2^2 + 0,007x_3^2 + 0,317x_4^2 \quad (50)$$

Адекватность полученных математических моделей проверялись по критерию Фишера, полученные математические модели для эффективности очистки зерна и потерь зерна в отходы адекватны. Определение оптимального сочетания исследуемых факторов, при которых эффективность очистки ε имеет максимальное значение, необходимо учитывать, что величина потерь зерна в отходы ограничена агротехническими требованиями.

Зафиксируем параметр x_2 (ω_p) на верхнем уровне, уравнение (49) примет вид:

$$\varepsilon = 56,665 - 1,198x_1 + 4,850x_3 + 14,493x_4 - 1,778x_1x_4 - 0,564x_3x_4 + 2,074x_1^2 - 7,296x_3^2 + 14,299x_4^2. \quad (51)$$

Анализ уравнений (49) и (51) показывает, что наибольшее влияние на эффективность очистки зерна оказывают параметры x_2 (ω_p) и x_4 (W).

Рассмотрим влияние технологических параметров x_1 (C_0) и x_4 (W) на эффективность очистки зерна при этом зафиксируем параметры x_2 (ω_p) и x_3 (β_1) на верхнем уровне, уравнение (49) примет вид:

$$\varepsilon = 54,219 - 1,980x_1 + 13,929x_4 - 1,778x_1x_4 + 2,074x_1^2 + 14,299x_4^2. \quad (52)$$

Поверхность отклика в этом случае примет вид, представленный на рисунке 40.

На процесс сепарации также большое влияние оказывает параметр x_3 (β_1). Рассмотрим влияние конструктивного x_3 (β_1) и кинематического x_2 (ω_p) параметров на процесс сепарации, при этом параметры x_1 (C_0) и x_4 (W) зафиксируем на верхнем уровне, уравнение (49) примет вид:

$$\varepsilon = 48,868 + 14,596x_2 + 2,807x_3 + 1,478x_2x_3 + 20,309x_2^2 - 7,296x_3^2 \quad (53)$$

Поверхность отклика для параметров x_2 (ω_p) и x_3 (β_1) представлена на рисунке 41.

Анализ уравнения (50) показывает, что наибольшее влияние на потери зерна в отходы оказывает параметры x_2 (ω_p) и x_4 (W), причем влияние x_2 (ω_p) более существенно. Зафиксируем параметры x_2 (ω_p) и x_3 (β_1) на нулевом уровне, уравнение (50) примет вид:

$$\Pi = 0,068 - 0,169x_1 + 0,507x_4 - 0,136x_1x_4 + 0,127x_1^2 + 0,317x_4^2 \quad (54)$$

Поверхность отклика для параметров x_1 (C_0) и x_4 (W) представлена на рисунке 42.

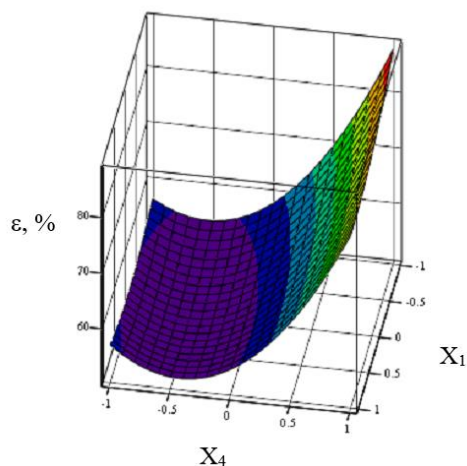


Рисунок 40 - Поверхность отклика для критерия оптимизации ε параметров $x_1(C_0)$ и $x_4(W)$

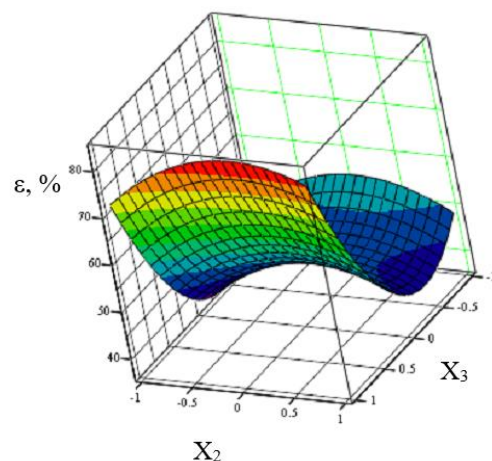


Рисунок 41 - Поверхность отклика для критерия оптимизации ε параметров $x_2(\omega_p)$ и $x_3(\beta_1)$

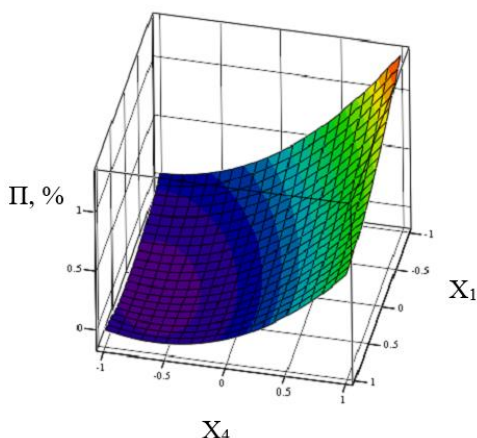


Рисунок 42- Поверхность отклика для критерия оптимизации Π параметров $x_1(C_0)$ и $x_4(W)$

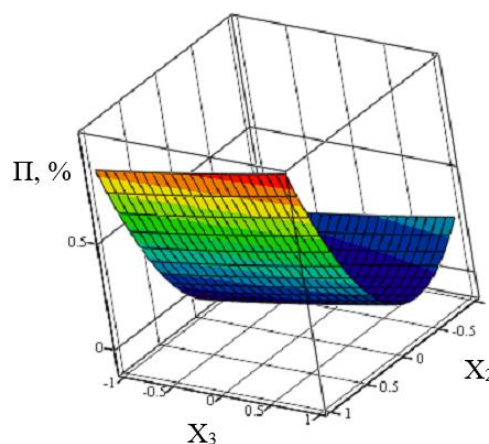


Рисунок 43 - Поверхность отклика для критерия оптимизации Π параметров $x_2(\omega_p)$ и $x_3(\beta_1)$

Для рассмотрения влияния конструктивного параметра $x_3(\beta_1)$ и кинематического $x_2(\omega_p)$ зафиксируем технологические параметры $x_1(C_0)$ и $x_4(W)$ на нижнем уровне. Уравнение регрессии (50) примет вид:

$$\Pi = 0,039 + 0,360x_2 + 0,0706x_3 + 0,003x_2x_3 + 0,512x_2^2 + 0,007x_3^2 \quad (55)$$

Поверхность отклика для параметров $x_2(\omega_p)$ и $x_3(\beta_1)$ представлена на рисунке 43.

Решая задачу оптимизации на максимум и минимум в программе Mathcad, получили оптимальное сочетание факторов (таблица 2) по критериям оптимизации эффективности очистки зерна и потерь зерна в отходы.

Таблица 2 -Оптимальное сочетание факторов при критериях: эффективности очистки зерна и потерь зерна в отходы

Наименование	Факторы оптимизации	
	$x_2(\omega_p)$	$x_3(\beta_1)$
Значение в кодированном виде	1	0,25...0,3
Значение в натуральном виде	15,79	28,12...29,25

Проведенные экспериментальные исследования привели к практическим рекомендациям, которые могут быть реализованы при конструировании новых мобильных зерно- и семяочистительных агрегатов.

Испытания и внедрение центробежно-воздушного сепаратора проведено в СПК «Дружба» Алейского района Алтайского края (рисунок 44).

При производительности 8,5 т/ч была получена эффективность очистки 85,5%, при потерях зерна в отходы 0,5% в семенном режиме работы сепаратора.

Полученные параметры подсевного решета с пластинчатым барабаном реализованы при изготовлении экспериментального образца центробежно-решетного сепаратора с решетом диаметром 600 мм и коническим делительным решетом. В ОАО «Лео» Калманского района Алтайского края была проведена проверка работоспособности экспериментального образца (рисунок 45). Подача зернового вороха изменялась от 10 до 30 т/ч, полнота выделения мелких примесей составила 70,18 %, а потери зерна в отходы 0,4 %.

Испытания центробежно-решетного ворохоочистителя ВЦР-50 показали, что при производительности от 46,3 до 48,8 т/ч эффективность очистки составила от 65% до 70,5%, а потери зерна в отходы – 0,02%.

Производственная проверка центробежно-воздушного сепаратора ЦВС-30 при производительности 8,5 т/ч показала эффективность очистки 85,5% при потерях зерна в отходы 0,5% при работе сепаратора в режиме очистки семян.



Рисунок 44 – Производственная проверка центробежно-воздушного сепаратора в СПК «Дружба» Алейского района Алтайского края (июнь 2023 года)



Рисунок 45 - Производственная проверка центробежно-решетного сепаратора с одним и двумя решетными блоками в ОАО «Лео» Калманского района Алтайского края

Внедрение мобильного зерноочистительного агрегата, выполненного по монтируемой технологии осуществлено в ООО «Главагроснаб Алтай» (см. рисунок 46). Для быстрого решения по налаживанию нового бизнеса, а именно услуге по очистке семян для ООО «Главагроснаб Алтай» (г. Барнаул) автором был разработан мобильный монтируемый семяочистительный агрегат (вариант 1), представленный на рисунке 46. Агрегат разработан и изготовлен на базе ООО «АПК «Алтай ЭКО сорт» (г. Барнаул).



Рисунок 46 - Мобильный зерноочистительный агрегат, выполненный по монтируемой технологии для ООО «Главагроснаб Алтай» г. Барнаул (2024 г.)

На рисунке 47 представлен мобильный монтируемый семяочистительный агрегат (версия 2) на базе Газона «NEXТ».

Для решения внутрихозяйственных задач по послеуборочной очистке зерна и подготовке семян автором был разработан мобильный зерно-семяочистительный агрегат для внутрихозяйственного использования (рисунок 48). Агрегат разработан и изготовлен на базе ООО «АПК «Алтай ЭКО сорт» (г. Барнаул) и внедрен в КФХ «СибГрейн» Азовского немецкого национального муниципального района Омской области.



Рисунок 47- Мобильный монтируемый семяочистительный агрегат (версия 2) на базе Газона «NEXТ» (июль 2025 г.)



Рисунок 48 - Мобильный зерно-семяочистительный агрегат для внутрихозяйственного использования в КФХ «СибГрейн» Омской области (июнь 2025 г.)

Мобильный зерноочистительный агрегат разработан и изготовлен в ФГБОУ ВО «Алтайский ГАУ» совместно с ООО «Мобильные зерноочистительные технологии». Агрегат был представлен на агрофоруме «День Сибирского поля – 2018». (см. рисунок 49).



Рисунок 49 – Мобильный зерноочистительный агрегат для ООО «Мобильные зерноочистительные технологии» Алтайский край (2018 г.)

В шестой главе «Экономическая эффективность результатов исследований» проведено сравнение технико-экономической эффективности мобильных зерноочистительных агрегатов для использования их в коммерческих целях, а именно для оказания услуги очистки зерна и семян. Средняя цена оказания услуги выбрана в результате мониторинга стоимости оказания услуг стационарными семяочистительными линиями в Алтайском крае на октябрь 2025 г.

Установлено, что себестоимость 1 т подработанной продукции при очистке продовольственного зерна по схеме I меньше в 2,67 раза (72 руб./т.), по схеме VI (82 руб./т.) в 2,34 раза меньше чем у стационарного зерноочистительного агрегата (192 руб./т.). Сравнение мобильных семяочистительных агрегатов показало, что себестоимость 1 т подработанной продукции по схеме II (379 руб./т.) в 1,74 раза ниже, чем у стационарной семяочистительной линии. У схем VI и VII показатели соответственно составили 2,35 и 2,58 раза, что говорит об эффективности мобильных зерноочистительных агрегатов.

При использовании мобильных зерноочистительных агрегатов в масштабе Сибирского Федерального округа при очистке 5 % от валового сбора зерновых культур (0,95 млн. тонн) на продовольственные цели чистая прибыль при использовании агрегатов составит: по схеме I 1448,75 млн. рублей; по схеме VI соответственно - 1442,1 млн. рублей.

При использовании мобильных зерноочистительных агрегатов в масштабе Сибирского Федерального округа при очистке 5 % семенного материала зерновых и зернобобовых культур (80 тыс. тонн) чистая прибыль при использовании агрегатов составит: по схеме II - 356,4 млн. рублей; по схеме III - 473,36 млн. рублей; по схеме IV - 397,12 млн. рублей; по схеме V - 633,04 млн. рублей; по схеме VI - 235,76 млн. рублей; по схеме VII - 172,72 млн. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен структурный анализ и систематизация мобильных технологий и технических средств для послеуборочной обработки зерна, на основе которого разработана система классификаций: самопередвижных зерноочистительных машин; мобильных технологий послеуборочной очистки зерна и семян; мобильных зерноочистительных агрегатов по назначению; способов загрузки мобильного зерноочистительного агрегата; мобильных зерносушилок по принципу мобильности; оперативных емкостей мобильных зерноочистительных агрегатов; способов трансформации мобильных зерноочистительных агрегатов. Это позволило упорядочить принципы создания адаптивных мобильных систем.

2. Разработана математическая модель функционирования мобильного зерноочистительного агрегата и предложена методика расчета его основных параметров. Теоретически установлена и формализована зависимость сезонной производительности агрегата от пространственной дислокации объектов обработки и их количества. Модель учитывает динамику технологического процесса через параметры времени трансформации МЗА, качественные характеристики исходного зернового вороха, пропускную способность машин, а также коэффициенты сменности и технической готовности, что позволяет оптимизировать использование мобильной техники в масштабах хозяйства или региона.

3. Обоснована и реализована система перспективных структур мобильных зерноочистительных агрегатов (МЗА), обеспечивающая полный технологический цикл послеуборочной обработки зерна и семян. Сформирован типоразмерный ряд из семи базовых структурно-функциональных схем, дифференцированных по целевому назначению и набору рабочих органов:

схема I - **мобильный зерноочистительный модуль** на основе центробежно-решетных и центробежно-воздушных сепараторов с вертикальной осью вращения. Особенностью является реализация фракционной очистки, обеспечивающей эффективное выделение трудноотделимых примесей при производстве товарного зерна;

схема II - **мобильный семяочистительный агрегат**, интегрирующий модули центробежно-воздушной сепарации, машины вторичной очистки и пневмосортировальный стол. Предназначен для высокоэффективной подготовки семенного материала зерновых, зернобобовых и технических культур;

схема III - **мобильный составной зерно-семяочистительный агрегат**, совмещающий технологические возможности первой и второй схем, что позволяет адаптировать процесс под широкий спектр и качественные характеристики входящего зернового материала;

схема IV - **мобильный семяочистительный агрегат «EcoSort Mobile»**, включающий фотосепаратор и пневмосортировальный стол. Отличается высокоэффективной очисткой по оптическим свойствам и полной энергетической автономностью за счет встроенной дизель-генераторной установки;

схема V - **мобильный комплекс зерно-семяочистительных агрегатов**, объединяющий возможности центробежной сепарации (схема I) и фотосепарации (схема IV) для достижения максимальной чистоты семенного материала;

схема VI - **мобильный зерно-семяочистительный агрегат для внутрихозяйственного использования**, реализующий совмещение процессов предварительной и окончательной очистки зерновой смеси по удельному весу в едином технологическом цикле;

схема VII - **мобильный монтируемый семяочистительный агрегат** на базе пневмосортировального стола. Ориентирован на выполнение специализированных задач по

сепарации зернового материала по удельному весу; характеризуется минимальными капитальными вложениями.

Проведена комплексная оценка предложенных схем по технико-экономическим критериям: коэффициент готовности (максимальный - 0,844 для схемы VI); коэффициенты объемной трансформации (наибольшее значение - схема VII с показателем 4,95); энергоэффективность (наиболее энергоэффективным решением является схема VII для семян - 27,05 МДж/т; схема VI для продовольственного зерна - 17,36 МДж/т).

4. Системный анализ и синтез технических решений в области центробежной сепарации позволил разработать инновационную технологическую схему центробежно-решетного сепаратора с вертикальной осью вращения.

На основе математического моделирования выявлены факторы, определяющие эффективность сепарации: соотношение времени продвижения частиц через толщину кольцевого слоя и времени их пребывания на решетке (рациональное значение - 3...4 с). Теоретически и экспериментально обоснованы параметры подсевного решета: угол наклона пластин ($\beta_1=28,1\dots29,3^\circ$), кинематический режим (3,69) и удельная подача (20,5–32,5 т/ч·м²). Установлено, что коэффициент трансформации силового давления должен находиться в интервале 1,0–1,15.

5. Экспериментально установлены зависимости показателей качества работы центробежно-решетного сепаратора (ЦРС) от характеристик исходного вороха в режиме первичной очистки зерна. Установлено, что при изменении засоренности от 2% до 8% полнота выделения мелких примесей варьируется от 83,5% до 53,7% при стабильно низком уровне потерь полноценного зерна (не более 1%).

Результаты производственных проверок подтвердили высокую эффективность синтезированных технических средств в различных технологических режимах:

- опытный образец ЦРС (модуль аспирации и подсевной блок) при производительности 30 т/ч обеспечил полноту выделения примесей 70,18% при потерях 0,4%, что полностью соответствует агротехническим требованиям;

- ворохоочиститель центробежно-решетный ВЦР-50 в составе полнофункционального блока (аспирация, подсеивное и зерновое решета) при производительности до 48,8 т/ч показал эффективность очистки до 70,5% при минимальных потерях в отходы (0,02%);

- центробежно-воздушный сепаратор ЦВС-30 в режиме подготовки семян при производительности 8,5 т/ч обеспечил эффективность очистки 85,5% при потерях 0,5%.

Полученные данные подтверждают адекватность разработанных теоретических моделей и высокую адаптивность мобильных модулей к различным задачам послеуборочной обработки зерна.

6. Проведена технико-экономическая оценка эффективности использования разработанных и внедренных мобильных зерноочистительных агрегатов, подтверждено экономическое преимущество мобильных агрегатов в сравнении со стационарными комплексами аналогичного назначения:

- при очистке продовольственного зерна себестоимость подработки 1 т по схеме VI (82 руб./т) - в 2,34 раза в сравнении со стационарным агрегатом (192 руб./т);

- при очистке семенного материала себестоимость обработки 1 т по схеме II (368 руб./т) ниже в 1,79 раза, а по схемам VI и VII - соответственно в 2,35 и 2,58 раза по сравнению со стационарными семяочистительными линиями.

Обоснован высокий потенциал масштабирования технологий в границах Сибирского федерального округа (СФО):

- при охвате мобильным сервисом всего 5% валового сбора продовольственного зерна зерновых культур СФО (0,95 млн тонн) прогнозируемая чистая прибыль составит 1442,1 млн. рублей (схема VI);

○ при обработке 5% зерновых культур семенного фонда региона (80 тыс. тонн) чистая прибыль варьируется соответственно: для схемы VII - 172,72 млн. рублей; для схемы VI – 235,8 млн. рублей; для схемы II – 356,4 млн. рублей.

○ В ходе производственной проверки мобильных агрегатов подтверждена их высокая эксплуатационная технологичность. Установлено, что время перевода агрегатов из транспортного положения в рабочее (трансформация) составляет от 2 до 4 часов (для схем II, VI, VII), что обеспечивает требуемую оперативность при послеуборочной обработке зерна в различных хозяйствах.

Результаты исследований внедрены в практику сельскохозяйственных предприятий Сибири в форме внутривладельческой эксплуатации и подтвердили высокую коммерческую готовность технических средств к оказанию высоколиквидных услуг по послеуборочной обработке зерна. Кроме того, материалы диссертации интегрированы в учебный процесс профильных вузов (подтверждено соответствующими актами).

7. Результаты выполненных исследований и сформулированные на их основе выводы послужили основой для разработки исходных требований и технических заданий на изготовление опытных образцов центробежно-решетного и центробежно-воздушного сепараторов, мобильного семяочистительного агрегата, мобильного зерно-семяочистительного агрегата для внутривладельческого использования, двух вариантов мобильного монтируемого семяочистительного агрегата, а также проектов стационарных зерноочистительных линий послеуборочной обработки зерна в хозяйствах.

Рекомендации производству

Результаты выполненных исследований, а также патенты: центробежно-решетный сепаратор № 2300426; центробежно-решетный сепаратор № 2385775; центробежно-воздушный сепаратор № 2675607; мобильный зерноочистительный агрегат № 2749395; центробежно-решетный сепаратор № 2753865; мобильный зерноочистительный агрегат № 2759788; способ послеуборочной обработки зерна № 2777102; цилиндрическое щелевое решето № 2804079; подсеивной блок центробежно-решетного сепаратора № 2819285; центробежно-воздушный сепаратор № 2846686; мобильный зерно-семяочистительный агрегат № 2854683; зерно-семяочистительный мобильный агрегат № 2861525 рекомендуются для использования предприятиями, выпускающими зерноочистительную технику.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее развитие научных положений диссертации и практическая реализация результатов связаны со следующими направлениями:

- с разработкой мобильного блочно-модульного оборудования из унифицированных элементов для адаптации агрегатов к региональным климатическим условиям;
- созданием модификаций мобильных зерноочистительных агрегатов для получения товарного зерна на базе разработанного центробежно-решетного сепаратора;
- поиском и обоснованием параметров перспективных подъемно-транспортных механизмов для перемещения зернового материала внутри агрегатов и вывода фракций.
- интеграцией систем интеллектуального мониторинга в структуру мобильных агрегатов для автоматической настройки режимов сепарации в зависимости от изменяющихся характеристик поступающего зернового вороха в режиме реального времени.

СПИСОК, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Стрикунов, Н. И. Интенсификация послеуборочной обработки зерна с применением блочно-модульных систем сепарирования / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, С. В. Леканов // Вестник АГАУ. – 2002. – № 2. – С. 79–83.

2. Стрикунов, Н. И. Поточная линия для послеуборочной обработки зерна и семян / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, А. В. Ровенский // Вестник АГАУ. – 2003. – № 1 (9). – С. 37–39.

3. Стрикунов, Н. И. К вопросу забиваемости отверстий центробежных решет / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, **С. В. Леканов** // Вестник АГАУ. – 2003. – № 1 (9). – С. 34–35.
4. Леканов, С. В. Методика оценки эффективности очистки зерна на подсевном решете в центробежно-решетном сепараторе / С. В. Леканов // Вестник АГАУ. – 2004. – № 2 (14). – С. 148–150.
5. Тарасов, Б. Т. Основные параметры процесса сепарирования зерна на подсевном решете в центробежно-решетном сепараторе / Б. Т. Тарасов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник АГАУ. – 2004. – № 2 (14). – С. 143–147.
6. Беляев, В. И. Результаты исследования влияния основных параметров подсевного решета на эффективность работы центробежно-решетного сепаратора / В. И. Беляев, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник АГАУ. – 2006. – № 2 (22). – С. 49–54.
7. Стрикунов, Н. И. Эффективность послеуборочной обработки семян на модернизированном агрегате / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, И. Н. Стрикунов // Вестник АГАУ. – 2008. – № 5 (43). – С. 53–56.
8. Стрикунов, Н. И. Особенности сепарации зерновой смеси на цилиндрическом подсевном решете с пластинчатым барабаном / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, **С. В. Леканов**, С. А. Павлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – № 5. – С. 31–33.
9. Тарасов, Б. Т. Процесс сепарации на подсевном решете с пластинчатым барабаном центробежно-решетного сепаратора с вертикальной осью вращения / Б. Т. Тарасов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 7. – С. 69–77.
10. Тарасов, Б. Т. Математическая модель сепарации зерновой смеси на подсевном решете с пластинчатым барабаном / Б. Т. Тарасов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. А. Павлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – № 6. – С. 41–43.
11. Хижников, А. А. Центробежно-решетный ворохоочиститель / А. А. Хижников, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Сельский механизатор. – 2011. – № 4. – С. 6.
12. **Леканов, С. В.** К вопросу классификации способов очистки решет зерноочистительных машин / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, А. А. Хижников // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 6 (92). – С. 91–94.
13. Стрикунов, Н. И. Семяочистительно-сушильный комплекс / Н. И. Стрикунов, А. А. Хижников, **С. В. Леканов**, И. Н. Стрикунов // Сельский механизатор. – 2012. – № 2. – С. 8.
14. **Леканов, С. В.** Основные направления развития мобильной зерноочистительной техники / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6 (116). – С. 120–124.
15. **Леканов, С. В.** К вопросу классификации способов предварительной подготовки зернового материала / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, С. А. Черкашин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (114). – С. 142–148.
16. Стрикунов, Н. И. Повышение пропускной способности делительного решета центробежно-решетного ворохоочистителя / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5 (115). – С. 150–153.
17. Стрикунов, Н. И. Модернизация зерно-семяочистительного агрегата в ООО «Радуга» Косихинского района / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 147–151.
18. Стрикунов, Н. И. Модернизация зерно-семяочистительного сушильного комплекса ФГУП ПЗ «Комсомольское» Павловского района / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, И. Н. Стрикунов, С. А. Черкашин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 9 (143). – С. 168–173.
19. Стрикунов, Н. И. Повышение эффективности работы сортировальных отделений семяочистительных линий / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7 (153). – С. 154–158.

20. Стрикунов, Н. И. Повышение эффективности работы сортировального отделения семяочистительной линии с применением фотосепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, Д. С. Арапов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7 (153). – С. 154–158.

21. Стрикунов, Н. И. Обоснование основных параметров пластинчатого барабана центробежно-решетного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. А. Черкашин // Вестник ВСГУТУ. – 2017. – № 2 (65). – С. 47–51.

22. **Леканов, С. В.** Технологическое и техническое обеспечение производства семян в элитно-семеноводческих хозяйствах / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГУТУ). – 2018. – № 2 (69). – С. 80–86.

23. Стрикунов, Н. И. Исследование аспирационной системы зерноочистительной машины СВУ-60 / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, П. В. Вилков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1 (159). – С. 159–162.

24. Стрикунов, Н. И. Обоснование параметров кольцевого канала выхода очищенного зерна центробежного воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. А. Черкашин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 168–172.

25. **Леканов, С. В.** Новое цилиндрическое щелевое решето для сепарации зерна / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, С. А. Черкашин // Сельский механизатор. – 2019. – № 11. – С. 20–21.

26. Стрикунов, Н. И. Обоснование основных параметров пневмо-центробежно-вихревого сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 7 (188). – С. 115–121.

27. Стрикунов, Н. И. Пути повышения эффективности работы центробежно-решетного сепаратора в режиме овсюгоотборника / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. А. Черкашин, С. С. Щербаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4 (186). – С. 167–173.

28. Стрикунов, Н. И. Методика расчета устройства для предварительной подготовки зернового материала центробежно-решетного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. А. Черкашин, С. С. Щербаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5 (187). – С. 153–159.

29. Стрикунов, Н. И. Кинематические и энергетические характеристики центробежно-решетного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (188). – С. 150–156.

30. Щербаков, С. С. Исследование процесса самосортирования зернового материала / С. С. Щербаков, **С. В. Леканов**, Н. И. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (188). – С. 150–156.

31. **Леканов, С. В.** Современный зерноочистительно-сушильный комплекс в ООО «АгроЛад» Первомайского района Алтайского края / С. В. Леканов, А. П. Ломакин, Н. И. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (196). – С. 120–126.

32. **Леканов, С. В.** Плоскорешетные сепараторы с кольцевым пневмосепарирующим каналом / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 12 (206). – С. 107–111.

33. **Леканов, С. В.** Совершенствование технологии очистки семян зерновых и технических культур / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Р. А. Куницын // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 7 (201). – С. 110–115.

34. Микитюк, М. Е. Параметры движения зерна по конической обечайке со ступенчатой поверхностью / М. Е. Микитюк, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (195). – С. 101–106.

35. Стрикунов, Н. И. Параметры кольцевого пневмосепарирующего канала центробежно-воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, А. А. Хижников // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (200). – С. 117–121.

36. Стрикунов, Н. И. Расчет основных параметров и режимов работы блока цилиндрических решет центробежно-решетного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, М. Е. Микитюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (195). – С. 96–101.

37. Стрикунов, Н. И. Пути повышения эффективности послеуборочной обработки семян с применением машин и оборудования производства АО «Мельинвест» / Н. И. Стрикунов, А. П. Ломакин, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3 (197). – С. 106–113.

38. **Леканов, С. В.** Классификация самопередвижных зерноочистительных машин / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (207). – С. 104–108.

39. **Леканов, С. В.** Концепция применения мобильных технологий в послеуборочной обработке зерна и семян / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 9 (215). – С. 97–101.

40. Стрикунов, Н. И. Технологические основы компоновки оборудования семяочистительных линий / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (207). – С. 99–104.

41. Стрикунов, Н. И. К обоснованию параметров пластинчатого барабана центробежно-решетного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, М. Е. Микитюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (210). – С. 107–112.

42. Стрикунов, Н. И. Параметры разгрузочных устройств центробежно-воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, М. Е. Микитюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 7 (213). – С. 97–102.

43. Стрикунов, Н. И. Технология очистки зерна на основе центробежно-решетного сепарирования / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, М. Е. Микитюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 9 (215). – С. 93–97.

44. Стрикунов, Н. И. О влиянии скорости движения зерна по питателю и в кольцевом зазоре на пропускную способность делительного решета / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, В. Н. Петухов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 10 (216). – С. 117–122.

45. Микитюк, М. Е. Параметры гравитационного сепарирующего устройства к загрузочной норрии / М. Е. Микитюк, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (221). – С. 94–98.

46. **Леканов, С. В.** Разработка и внедрение в производство новых технических решений для технологий послеуборочной обработки зерна / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, И. Н. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (221). – С. 98–104.

47. Сороченко, С. Ф. Применение центробежно-воздушного сепаратора для модернизации стационарной технологической линии очистки зерна / С. Ф. Сороченко, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (223). – С. 78–85.

48. Бауер, А. А. Разработка пневмосепаратора с кольцевым многоярусным аспирационным каналом / А. А. Бауер, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, Р. В. Родин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 11 (229). – С. 88–93.

49. **Леканов, С. В.** Зерно-семяочистительный сушильный комплекс / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, В. Е. Лугачев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3 (233). – С. 111–116.

50. Стрикунов, Н. И. Моделирование блочно-модульной технологии очистки зерна на основе центробежно-решётного сепарирования / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, А. А. Бауер // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 5 (235). – С. 95–102.

51. **Леканов, С. В.** Моделирование процессов функционирования центробежно-воздушного сепаратора для послеуборочной обработки зерна / **С. В. Леканов**, С. Ф. Сороченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 8 (238). – С. 110–120.

52. Стрикунов, Н. И. К обоснованию параметров зернового решета центробежно-решетного сепаратора при работе в режиме овсюгоотборника / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, А. А. Бауер // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 11 (241). – С. 61–65.

53. **Леканов, С. В.** Семяочистительная линия на базе машин фирмы Julite / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, В. Е. Лугачев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 3 (245). – С. 80–86.

54. Стрикунов, Н. И. Обоснование основных параметров центробежно-воздушного сепаратора с кольцевым каналом для зернового материала / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, А. А. Бауер, А. В. Терре // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 3 (245). – С. 86–92.

55. **Леканов, С. В.** Мобильный зерно-семяочистительный агрегат для внутрихозяйственного использования / С. В. Леканов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4 (246). – С. 100–105.

56. Стрикунов, Н. И. О перспективном направлении исследований разделения зерна по длине / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, М. Е. Микитюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 5 (247). – С. 75–79.

57. Стрикунов, Н. И. Современные машины в технологиях послеуборочной обработки зерна / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, М. Е. Микитюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2026. – № 1 (255). – С. 83–88.

Монографии и рекомендации:

57. **Леканов, С. В.** Обоснование параметров цилиндрического подсевного решета / С. В. Леканов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 156 p.

58. Иванов, Н. М. Технологии и техника для послеуборочной обработки зерна и семян: монография / Н. М. Иванов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2021. – 277 с.

59. **Леканов, С. В.** Техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян : рекомендации / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов. – Барнаул: Изд-во Алт. ИПК АПК, 2019. – 74 с.

Патентах РФ:

60. Патент № 2300426 С1 Российская Федерация, МПК В07В 1/22, В07В 9/00. Центробежно-решетный сепаратор: № 2005129439/03: заявл. 21.09.2005: опубл. 10.06.2007 / Б. Т. Тарасов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, И. А. Зиновьев; заявитель Алтайский государственный аграрный университет. – Бюл. № 16.

61. Патент № 2385775 С1 Российская Федерация, МПК В07В 1/22, В07В 9/00. Центробежно-решетный сепаратор: № 2009106625/03: заявл. 25.02.2009; опубл. 10.04.2010 / Б. Т. Тарасов, Н. И. Стрикунов, А. А. Хижников, **С. В. Леканов**. – Бюл. № 10.

62. Патент № 2675607 С1 Российская Федерация, МПК В07В 7/083. Центробежно-воздушный сепаратор: № 2017146182: заявл. 26.12.2017; опубл. 20.12.2018 / **С. В. Леканов**, Н. И. Стрикунов, С. А. Черкашин. – Бюл. № 35.

63. Патент № 2749395 С1 Российская Федерация, МПК В07В 9/00. Мобильный зерноочистительный агрегат: № 2020132603: заявл. 01.10.2020; опубл. 09.06.2021 / **С. В. Леканов**, Н. И. Стрикунов, С. А. Черкашин [и др.]. – Бюл. № 16.

64. Патент № 2753865 С1 Российская Федерация, МПК В07В 1/26, В07В 9/00. Центробежно-решетный сепаратор: № 2020144068: заявл. 29.12.2020; опубл. 24.08.2021 / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, М. Е. Микитюк. – Бюл. № 24.

65. Патент № 2759788 С1 Российская Федерация, МПК В07В 9/00. Мобильный зерноочистительный агрегат: № 2020135095: заявл. 26.10.2020; опубл. 17.11.2021 / **С. В. Леканов**, Н. И. Стрикунов. – Бюл. № 32.

66. Патент № 2777102 С1 Российская Федерация, МПК А01F 12/44. Способ послеуборочной обработки зерна: № 2021140025: заявл. 30.12.2021; опубл. 01.08.2022 / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, С. С. Щербаков, М. Е. Микитюк. – Бюл. № 22.

67. Патент № 2804079 С1 Российская Федерация, МПК В07В 1/22. Цилиндрическое щелевое решето: № 2023106632: заявл. 20.03.2023; опубл. 26.09.2023 / Н. М. Иванов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, М. Е. Микитюк. – Бюл. № 27.

68. Патент № 2819285 С1 Российская Федерация, МПК В07В 1/22, В07В 9/00. Подсевной блок центробежно-решетного сепаратора: № 2023134570: заявл. 20.12.2023; опубл. 16.05.2024 / **С. В. Леканов**, Н. И. Стрикунов, С. Ф. Сороченко [и др.]. – Бюл. № 14.

69. Патент № 2846686 С1 Российская Федерация, МПК В07В 7/083. Центробежно-воздушный сепаратор: № 2024137923: заявл. 16.12.2024; опубл. 11.09.2024 / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, А. А. Бауер, Д. П. Гребенюк. – Бюл. № 26.

70. Патент № 2854683 С1 Российская Федерация, МПК В07В 9/00, А01F 12/44. Мобильный зерно-семяочистительный агрегат: № 2025100359: заявл. 09.01.2025; опубл. 15.01.2026 / **С. В. Леканов**, С. Ф. Сороченко, Н. И. Стрикунов. – Бюл. № 2.

71. Патент № 2861525 С1 Российская Федерация, МПК В07В 9/00. Зерно-семяочистительный мобильный агрегат: № 2025113183: заявл. 19.05.2025; опубл. 05.05.2026 / **С. В. Леканов**, С. Ф. Сороченко, Н. И. Стрикунов. – Бюл. № 13.

Публикации в других изданиях:

72. Стрикунов, Н. И. Поточные линии для послеуборочной обработки зерна: учебное пособие / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**, Б. Т. Тарасов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 92 с.

73. **Леканов, С. В.** Зерноочистительные машины : учебное пособие / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 88 с.

74. **Леканов, С. В.** Охрана труда на зерно-семяочистительных сушильных комплексах : методическое пособие / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Н. В. Абашев, А. С. Руденок. – Барнаул: Изд-во Алт. ИПК АПК, 2020. – 64 с.

75. Иванов, Н. М. *Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян*. История развития: учебно-методическое пособие / Н. М. Иванов, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов**; под редакцией Н. М. Иванова; РАСХН, Сиб. отд-ние, СибИМЭ. – Новосибирск, 2012. – 106 с.

76. **Леканов, С. В.** *Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян*. Мобильные зернопогрузчики, зернометатели и протравливатели: учебное

- пособие / **С. В. Леканов**, А. А. Хижников, Н. И. Стрикунов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2013. – 117 с.
77. Иванов, Н. М. *Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян*. Мобильные зерноочистительные машины: учебное пособие / Н. М. Иванов, **С. В. Леканов**, Н. И. Стрикунов; под редакцией Н. М. Иванова; РАСХН, Сиб. отд-ние, СибИМЭ. – Новосибирск, 2013. – 326 с.
78. **Леканов, С. В.** *Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян*. Мобильные зерносушилки : учебное пособие / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, В. В. Старцева. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2016. – 142 с.
79. **Леканов, С. В.** *Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян*. Самопередвижные зерноочистительные машины: учебное пособие / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Н. М. Чуклин, М. Е. Микитюк. – Барнаул: Алт. ИПК АПК, 2022. – 207 с.
80. Стрикунов, Н. И. Интенсификация послеуборочной обработки зерна на основе центробежно-решетного сепарирования / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, **С. В. Леканов** // Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве и растениеводстве : материалы Юбилейной международной научно-практической конференции (г. Барнаул, 2003 г.). – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – Ч. 1. – С. 148–150.
81. Стрикунов, Н. И. Испытания воздушного центробежно-решетного ворохоочистителя с подсевным решетом в хозяйственных условиях / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, **С. В. Леканов** // Аграрная наука — сельскому хозяйству : сборник статей : в 3 кн. : материалы Международной научно-практической конференции. — Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. — Кн. 2. — С. 290–293.
82. Федоренко, И. Я. К вопросу классификации центробежных сепараторов для очистки зерна / И. Я. Федоренко, **С. В. Леканов**, А. А. Хижников // Аграрная наука — сельскому хозяйству : сборник статей : в 3 кн. / V Международная научно-практическая конференция (17–18 марта 2010 г.). — Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. — Кн. 2. — С. 535–538.
83. **Леканов, С. В.** К вопросу классификации способов очистки решет зерноочистительных машин / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, А. А. Хижников // Хранение и переработка зерна. — Днепропетровск: ООО ИА «АПК-ЗЕРНО», 2012. — № 6 (156). — С. 30–32.
84. Стрикунов, Н. И. Классификация сепарирующих поверхностей зерноочистительных машин / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Молодой ученый. — 2016. — № 11. — С. 406–409.
85. Стрикунов, Н. И. Классификация аспирационных систем центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Молодой ученый. — 2016. — № 26. — С. 90–93.
86. Стрикунов, Н. И. Обоснование параметров устройства для предварительной подготовки зернового материала / Д. В. Степанец, Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета: сборник научных трудов. — Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. — № 2. — С. 32–34.
87. **Леканов, С. В.** Классификация мобильных зерносушилок / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, А. С. Руденок // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (27–28 октября 2017 г.) / под редакцией С. А. Гончарова, Е. А. Дудник ; Рубцовский индустриальный институт. — Рубцовск, 2017. — С. 131–140.
88. **Леканов, С. В.** Способы загрузки мобильных зерноочистительных агрегатов / С. В. Леканов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса : сборник докладов Международной научно-практической конференции. — Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2021. — С. 67–71.

89. **Леканов, С. В.** Мобильный зерноочистительный агрегат для мелких фермерских хозяйств и крупных агрохолдингов / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири : материалы Международной научно-технической конференции (р. п. Краснообск, 7–8 октября 2021 г.) / Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН. — Новосибирск, 2021. — С. 57–61.

90. **Леканов, С. В.** Мобильные технологии в послеуборочной обработке зерна и семян / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов // Актуальные агросистемы. — 2022. — № 1–2. — С. 38–39.

91. **Леканов, С. В.** Классификация оперативных емкостей мобильных зерноочистительных агрегатов / С. В. Леканов, А. А. Шааб // Ползуновский альманах. — 2022. — № 3. — С. 120–123.

92. **Леканов, С. В.** Мобильный комплекс машин для послеуборочной очистки семян / С. В. Леканов // Аграрная наука — сельскому хозяйству : сборник материалов : в 2 кн. / XIX Международная научно-практическая конференция (Барнаул, 8–9 февраля 2024 г.). — Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2024. — Кн. 1. — С. 117–119.

93. **Леканов, С. В.** Перспективы развития мобильных комбинированных машин для послеуборочной обработки зерна и семян / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Р. В. Родин // Инженерное обеспечение сельского хозяйства: проблемы, достижения, перспективы : материалы I Международной научно-практической конференции (Барнаул, 22–23 октября 2024 г.). — Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2024. — С. 62–66.

94. **Леканов, С. В.** Классификация способов трансформации мобильных зерноочистительных агрегатов / С. В. Леканов // Аграрная наука — сельскому хозяйству : сборник материалов : в 2 кн. / XX Международная научно-практическая конференция (Барнаул, 6 февраля 2025 г.). — Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2025. — Кн. 1. — С. 121–122.

95. Стрикунов, Н. И. Мобильный монтируемый семяочистительный агрегат / Н. И. Стрикунов, **С. В. Леканов** // Аграрная наука — сельскому хозяйству : сборник материалов : в 2 кн. / XX Международная научно-практическая конференция (Барнаул, 6 февраля 2025 г.). — Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2025. — Кн. 1. — С. 146–148.

