

На правах рукописи



Старцев Александр Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УБОРКИ ПОДСОЛНЕЧНИКА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Саратов 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный консультант – доктор технических наук, профессор
Демин Евгений Евгеньевич

Официальные оппоненты: **Константинов Михаил Маерович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Оренбургский ГАУ», профессор кафедры механизации технологических процессов в АПК

Ловчиков Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ», профессор кафедры тракторов, сельскохозяйственных машин и земледелия

Федорова Ольга Алексеевна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ», профессор кафедры технических систем в АПК

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (г. Краснодар).

Защита диссертации состоится ___ декабря 2020 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте [http:// www.sgau.ru/](http://www.sgau.ru/)

Отзывы направлять учёному секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл. 1. E-mail: chekmarev.v.@yandex.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



В.В. Чекмарев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Стратегической целью продовольственной безопасности Российской Федерации является обеспечение населения страны безопасной сельскохозяйственной продукцией. Одно из приоритетных направлений продовольственной политики государства – снижение зависимости отечественного агропромышленного комплекса от импорта технологий, машин и оборудования.

В соответствии с Указом Президента РФ от 30.01.2010 г. № 120 «Об утверждении доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» производство растительного масла является одним из критериев оценки продовольственной безопасности страны. Удельный вес отечественного масла в общем объёме необходимо довести до 80 %. На долю подсолнечника в нашей стране приходится 90 % выработки растительного масла. Уборка подсолнечника в Российской Федерации и за рубежом осуществляется зерноуборочными комбайнами, оснащёнными специализированными жатками, адаптерами и приспособлениями. При этом качество выполнения технологического процесса не удовлетворяет современным требованиям. Потери маслосемян, дробление и облущивание являются значительными и достигают 20 %. Существенно содержание и сорных примесей в ворохе подсолнечника после прохождения системы очистки комбайна.

В связи с изложенным совершенствование технологических процессов и технических средств уборки подсолнечника, обеспечивающих повышение качества работы за счет снижения потерь маслосемян, является важной проблемой. Решению этой проблемы и посвящены научные исследования настоящей диссертационной работы, выполненные в соответствии с «Концепцией развития аграрной науки и научного обеспечения АПК Российской Федерации до 2025 года, «Стратегией машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года», «Стратегией социально-экономического развития до 2030 года (Постановление Правительства Саратовской области от 30 июня 2016 № 321-П)», «Концепцией развития ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (с 2009 г.).

Научная гипотеза. Применение новых технических средств в системах зерноуборочных комбайнов при уборке подсолнечника позволит снизить потери, дробление, облущивание маслосемян и сорность вороха в бункере.

Степень разработанности темы. Исследованиями в области технологий и средств механизации уборки зерновых культур занимались и занимаются С.А. Алфёров, Н.И. Анохин, В.Г. Антипин, Ж.С. Байзакова, В.Е. Бердышев, А.И. Бурьянов, Н.В. Бышов, И.Ф. Василенко, И.В. Горбачёв, В.П. Горячкин, А.Н. Гудков, Е.Е. Демин, Ю.И. Ермолев, Г.Н. Ерохин, Э.В. Жалнин, В.Е. Желиговский, Ф.С. Завалишин, А.А. Зангиев, Х.И. Изаков, Н.И. Клёнин, Г.В. Колесов, В.А. Кубышев, Ю.Ф. Лачуга, М.Н. Летошнев, Э.И. Липкович, М.И. Липовский, В.Н. Плешаков, М.А. Пустыгин, Г.Г. Маслов, И.К. Мещеряков,

С.А. Родимцев, А.И. Русанов, А.Г. Рыбалко, А.И. Ряднов, Г.Ф. Серый, Н.И. Стружкин, С.В. Тронеv, Е.И. Трубилин, О.А. Федорова, Д.И. Шаткус, В.Д. Шеповалов, Р.Ш. Хабатов, В.Н. Халанский, Ю.А. Царёв и др.

Проблеме исследований повышения качества уборки зерновых культур за счет снижения потерь, дробления, облущивания и уменьшения сорных примесей посвящены труды Ж.С. Байзаковой, В.Е. Бердышева, И.Н. Глушкова, А.М. Горячкина, Г.Н. Ерохина, А.И. Завражнова, А.Н. Зюлина, М.М. Ковалева, И.Е. Кожуховского, М.М. Константинова, А.В. Клочкова, В.С. Кравченко, О.Н. Кухарева, И.П. Лапшина, А.П. Ловчикова, И.И. Огнева, В.И. Оробинского, А.Н. Пугачева, С.Ф. Сороченко, А.П. Тарасенко, С.Ф. Тронева, Е.В. Труфляка, Ю.М. Шрейдера, О.А. Фёдоровой, С.С. Ямпилова и др.

Вопросы совершенствования технологических процессов и технических средств уборки подсолнечника отражены в работах таких ученых, как И.И. Байгузин, В.П. Капустин, К.З. Кухмазов, В.А. Милюткин, М.А. Перепелкин, А.Ф. Ульянов, В.Д. Шафоростов, В.В. Федоров, А.Н. Цепляев и др. Зарубежные авторы, работающие в данном направлении: К.Р. Олива, V. Cervinka, R. Chaab, M.A. Elfatih, W. Fischer, W. Fechner, S. Karparvarfard, A. Kornacki, Y. Li, E.A. Ogunremi, C. Wei, L. Xu, Z. Zhao.

Перечисленные учёные внесли большой вклад в теорию и практику создания технических средств для уборки зерновых культур. Однако вопросы повышения качества работы технических средств при уборке подсолнечника за счет снижения потерь изучены недостаточно полно. В частности, требует дальнейшего исследования технологический процесс зерноуборочного комбайна при уборке подсолнечника, оснащенного новыми техническими средствами систем комбайна. Данная работа дополняет эти исследования, предлагая усовершенствованные технологические процессы и технические средства уборки подсолнечника, обеспечивающие повышение качества работы зерноуборочного комбайна и снижение потерь маслосемян.

Цель работы – повышение качества уборки подсолнечника за счет реализации технических решений, направленных на снижение потерь маслосемян при использовании зерноуборочных комбайнов.

Задачи исследования:

1. На основании литературных источников исследовать и оценить мировой опыт компаний – производителей зерноуборочных комбайнов, выполнить аналитические исследования технико-экономических показателей комбайнов с определением качественных и количественных оценок их технических параметров, провести анализ существующих средств уборки подсолнечника.

2. Разработать математические модели снижения потерь маслосемян на основе системного анализа работы зерноуборочного комбайна при уборке подсолнечника.

3. Уточнить и исследовать физико-механические свойства и геометрические параметры маслосемян и стеблестоя подсолнечника при уборке зерноуборочным комбайном.

4. Усовершенствовать технологический процесс уборки подсолнечника зерноуборочным комбайном и конструкции шнека-мотовила, молотильного аппарата и решет системы очистки комбайна, исследовать процесс их взаимодействия со стеблестоем, корзинками и маслосеменами, обосновать параметры и режимы работы.

5. Экспериментально определить качественные показатели функционирования разработанных технических средств уборки подсолнечника зерноуборочным комбайном, подтвердить полученные теоретические зависимости.

6. Определить технико-экономическую эффективность применения разработанных конструктивно-технологических решений для уборки подсолнечника зерноуборочным комбайном.

Объект исследования – технологические процессы работы зерноуборочного комбайна при уборке подсолнечника.

Предмет исследования – закономерности изменения параметров и режимов работы разработанных технических средств для снижения потерь маслосемян на серийных зерноуборочных комбайнах при уборке подсолнечника

Научную новизну работы представляют:

- методические основы повышения качества выполнения технологического процесса уборки подсолнечника зерноуборочным комбайном на основе снижения потерь маслосемян, заключающиеся в предложенных структурно-логических моделях, адаптированных к современным требованиям;

- теоретические законы распределения и регрессионные математические модели технических показателей зерноуборочных комбайнов, математические модели обоснования параметров и режимов работы предлагаемых технических решений для снижения потерь маслосемян подсолнечника при уборке;

- новые технические решения шнека-мотовила, молотильного аппарата и решет системы очистки зерноуборочного комбайна для уборки подсолнечника, позволяющие снизить потери маслосемян;

- оптимальные значения геометрических, кинематических и режимных параметров технических устройств, снижающие потери маслосемян подсолнечника при уборке зерноуборочным комбайном.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработаны теоретические модели расчёта суммарных относительных потерь маслосемян и содержания сорных примесей в бункерном ворохе подсолнечника при уборке комбайном, оценки мирового состояния зерноуборочных комбайнов в технических параметрах и удельных показателях, которые могут быть

использованы в НИИ и проектно-конструкторских организациях при проектировании новых технических средств для уборки зерновых, технических и зернобобовых культур. Результаты теоретических и экспериментальных исследований реализованы в усовершенствованном технологическом процессе и технических средствах для уборки подсолнечника зерноуборочным комбайном, позволяющем повысить качество работы снижением потерь маслосемян.

Результаты исследований одобрены и рекомендованы к использованию ОАО «Гомсельмаш» Республики Беларусь, ООО «Комбайновый завод» Ростсельмаш» и ОАО «ПКТИ комбайностроения» г. Красноярск.

Методология и методы исследования. В теоретических исследованиях применен индуктивный метод, основанный на исследованиях частных технических величин параметров и распространении полученных выводов на решение проблемы, использованы методы системного анализа, математического моделирования и структурного анализа технологических процессов на основе законов классической механики. Экспериментальные исследования проводились с применением теории планирования многофакторного эксперимента и математической статистики обработки результатов. Исследования проводились в соответствии с требованиями межгосударственных стандартов и разработанных частных методик. Вычислительные операции осуществлялись с использованием программных продуктов Microsoft Exel 2010, Matkad Prime 3.0.

В методологии исследований использован системный подход, позволяющий раскрыть целостность объекта исследований и взаимообусловленность связей. Теоретические исследования проведены методом математического анализа с использованием известных законов и методов механики в сочетании с математикой. Экспериментальные исследования выполнены методом полного факторного эксперимента с применением теории вероятностей и математической статистики. Для обработки результатов экспериментальных исследований использованы статистические методы. Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- методические основы повышения качества выполнения технологического процесса зерноуборочным комбайном при уборке подсолнечника за счет снижения потерь маслосемян, адаптированные к современным условиям (требованиям);
- теоретические законы распределения и регрессионные систематические модели технических показателей зерноуборочных комбайнов, закономерности изменения конструктивных параметров и режимов работы разработанных технических средств для снижения потерь маслосемян при уборке;
- новые технологические схемы и технические решения шнекамотовила, молотильного аппарата и решёт системы очистки зерноуборочного комбайна для уборки подсолнечника, позволяющие снизить потери маслосемян;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований предложенных технологических процессов и технических средств систем зерноуборочного комбайна, обеспечивающих повышение качества работы при уборке подсолнечника за счет снижения потерь маслосемян;
- результаты сравнительных производственных испытаний и технико-экономической эффективности использования разработанных технических устройств, снижающих потери маслосемян подсолнечника при уборке зерноуборочным комбайном.

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность результатов исследований основана на использовании методов механики, математического моделирования, современных методов сбора и обработки информации, новых программных средств. Сделанные выводы и рекомендации подтверждены адекватностью полученных уравнений регрессии, реальными физическими процессами, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Результаты диссертационного исследования согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по теме исследования и по другим техническим системам.

Апробация результатов исследований. Основные научные положения результатов исследований, выводы и практические рекомендации были доложены, обсуждены и одобрены на научно-технических конференциях ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова» (Саратов, 2008–2019 гг.); конкурсе «Развитие агроинженерных технологий в XXI веке» (Саратов, 2009 г.); конкурсе научных проектов молодых учёных «Инновационная наука – молодой взгляд в будущее» (Саратов, 2009 г.); Всероссийской молодёжной выставке-конкурсе прикладных исследований, изобретений и инноваций (Саратов, 2009 г.); Всероссийском конкурсе Российского аграрного движения «Лучший инновационный проект в сфере АПК» (Саратов, 2010 г.); X Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (Москва, 2010 г.); на конкурсе в рамках молодежного форума «Мы – молодой бизнес» в номинации «Лучшая бизнес-идея в сфере производства» (Саратов, 2010 г.); Всероссийской выставке-конкурсе «Восьмой Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций» (Саратов, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники» (Краснодар, 2013 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского ГАУ имени императора Петра I (Воронеж, 2015 г.); 1-м Всероссийском конкурсе инновационных технологий аграрного машиностроения (Ростов-на-Дону, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем» (Оренбург, 2017 и 2019 гг.); Международной научно-практической конферен-

ции «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра», (Республика Беларусь, Гомель, 2018 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию создания Ассоциации «Аграрное образование и наука» (Саратов, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Перспективы развития аграрных наук» (Чебоксары, 2019 г.).

Публикации результатов исследований. Основные положения диссертации изложены в 69 научных работах, в том числе 2 публикации в международных базах данных Scopus, 22 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 4 – в описаниях патентов на полезные модели. Общий объем публикаций составляет 23,17 печ. л., из них 13,45 печ. л. принадлежит автору.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, рекомендаций производству, перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы из 368 наименований, из которых 39 на иностранном языке. Работа изложена на 320 страницах, содержит 178 рисунков, 18 таблиц, 15 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, показана степень разработанности темы, сформулирована проблема, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, степень достоверности и апробация результатов, изложены основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В **первой главе «Состояние проблемы повышения качества работы технических средств при уборке подсолнечника. Цель и задачи исследований»** выполнен анализ и систематизированы технические средства уборки подсолнечника зерноуборочных комбайнов, применяемых в нашей стране и за рубежом. Представлены технические характеристики жаток, адаптеров и приспособлений для уборки подсолнечника, рассмотрены молотильно-сепарирующие устройства и системы очистки комбайнов. Установлено, что качество работы существующих технических средств уборки подсолнечника с точки зрения потерь маслосемян не удовлетворяет современным требованиям. Уровень потерь, дробления и облущивания маслосемян является повышенным и достигает 20 %. Проанализированы научные труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные исследованиям технологических процессов скашивания, обмолота и очистки зернового вороха зерноуборочных машин. На основе проведенного анализа работ поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

Во **второй главе «Теоретическое обоснование повышения качества работы зерноуборочного комбайна при уборке подсолнечника на основе снижения потерь маслосемян»** рассмотрены основные положения систематизации технико-экономических показателей зерноуборочных ком-

байнов, оценены пути их дальнейшего совершенствования. Исследовали следующие параметры 231 модели отечественных и зарубежных комбайнов: номинальная мощность установленного двигателя P , кВт; масса без жатки m_0 , т; объем бункера V_6 , м³; длина L_6 , м, и диаметр молотильного барабана D_6 , м; площадь решёт S_p , м², и соломотряса S_c , м². На их основе определены удельные технико-экономические показатели: энергонасыщенность P/m_0 , кВт/т; материалоемкость m_0/V_6 , т/м³; коэффициенты: мощности двигателя по длине молотильного барабана P/L_6 (Ψ_{P/L_6}), кВт/м; длины молотильного барабана по диаметру L_6/D_6 (Ψ_{L/D_6}); площади решет по площади соломотряса S_p/S_c (Ψ_{S_p/S_c}); площади решет по длине молотильного барабана S_p/L_6 (Ψ_{S_p/L_6}). Существующие зерноуборочные комбайны имеют площадь решёт S_p и коэффициент распределения площади решёт по длине молотильного барабана Ψ_{L/D_6} , описываемые распределениями, графически представленными на рисунках 1 и 2 (зоны 1 и 2 на рисунках – доверительный интервал среднего значения и значения показателя при уровне значимости $\alpha = 0,95$). Все рассмотренные показатели имеют нормальный закон распределения. Оценены технические параметры зерноуборочных комбайнов основных компаний-производителей мира.

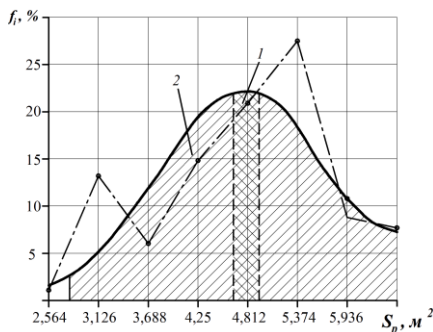


Рисунок 1 – Распределение площади решёт зерноуборочных комбайнов:

— — теоретическое;
 —○— эмпирическое

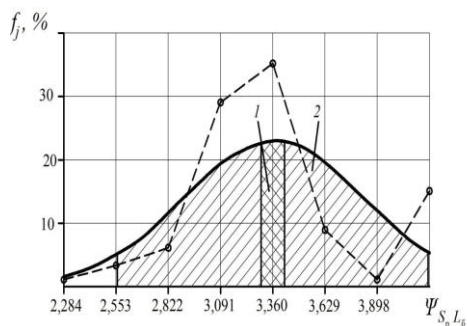


Рисунок 2 – Распределение коэффициента площади решёт по длине молотильного барабана зерноуборочных комбайнов:

— — теоретическое;
 —○— эмпирическое

Представлены регрессионные математические модели технических параметров зерноуборочных комбайнов (рисунки 3, 4), определены тенденции их изменения.

Аналогичные исследования проведены и по другим показателям комбайнов. Системный анализ технических систем зерноуборочного комбайна основан на целостном рассмотрении его технологического процесса. При этом свойства системы как целого определяются не только как свойства его отдельных составных частей, но и свойствами структуры системы (рисунок 5). Рассмотрен еди-

ный процесс образования потерь в системах зерноуборочных комбайнов. В качестве функции цели выступает параметр – потери маслосемян подсолнечника при уборке.

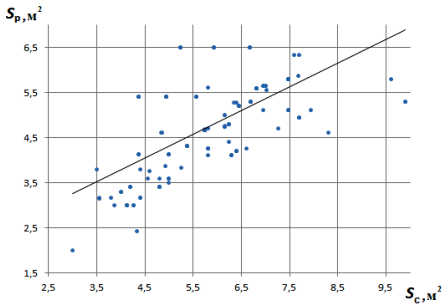


Рисунок 3 – Поле корреляции и зависимость площади решёт от площади соломотряса зерноуборочных комбайнов

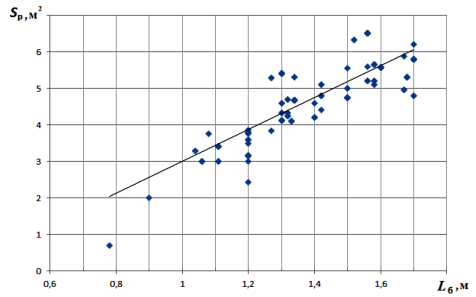


Рисунок 4 – Поле корреляции и зависимость площади решёт от длины молотильного барабана зерноуборочных комбайнов

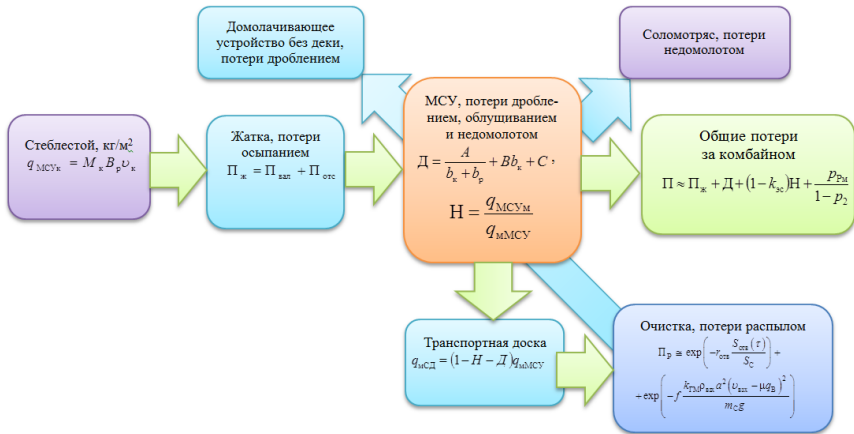


Рисунок 5 – Структурно-логическая модель методических основ снижения потерь маслосемян подсолнечника при уборке

При анализе работы комбайна выделены основные технологические этапы движения маслосемян подсолнечника с момента захвата стеблестоя рабочими элементами жатки до транспортирования в бункер зерновым шнеком. Рассмотрим установившийся процесс работы зерноуборочного комбайна в какой-то условный момент времени. В этом случае значения всех констант и скоростей потоков масс убираемой культуры постоянны для процессов во всех технических системах. Описывая движения потоков скошенной массы подсолнечника, целесообразно разделить физические понятия и связывающие их уравнения. Одни описывают потоки движе-

ния массы подсолнечника, другие характеризуют работу систем комбайна без поступающей в них массы (по крайней мере, в некоторых пределах входных параметров). Разница между первыми и вторыми процессами может изменяться в определенных пределах. Первые определяются урожайностью, физико-механическими свойствами массы корзинок, биометрическими и геометрическими параметрами маслосемян, вторые – режимом работы элементов рассматриваемой системы.

1. Фактором, характеризующим стеблестой, является урожайность маслосемян M_y , кг/м². С учетом специфики работы комбайна следует учитывать массу корзинок на единицу площади M_k кг/м², поскольку они поступают в молотильно-сепарирующее устройство (МСУ) вместе с маслосеменами и до момента взаимодействия с бичами и подбарабаньем представляют собой единое целое. Параметры M_y и M_k в некоторой степени не могут являться независимыми, поскольку соотношение M_y / M_k определяется видом, сортом или гибридом подсолнечника, условиями произрастания и другими факторами. Вследствие этого данное соотношение будет приемлемо на отдельно взятом участке поля (загоне).

Указанные характеристики являются входными воздействующими факторами технологического процесса работы комбайна и составляют первую группу.

2. Жатка шнеком-мотовилом захватывает стебли подсолнечника, срезает их режущим аппаратом и при помощи шнека передает в наклонную камеру. В результате этого формируется поток массы корзинок (подача) q , кг/с.

Взаимосвязанными параметрами комбайна в данной системе являются v_k – скорость движения комбайна; B_p – рабочая ширина захвата жатки и соотношение потерь за ней $P_{ж}$, выраженное в долях или процентах от фактической урожайности подсолнечника.

Поток $q_{МСУМ}$, кг/с, маслосемян в общей массе скошенного подсолнечника описывается следующим выражением:

$$q_{МСУМ} = (1 - P_{ж}) M_y B_p v_k, \quad (1)$$

где M_y – урожайность подсолнечника, кг/м²; B_p – рабочая ширина захвата жатки, м; v_k – скорость движения комбайна, м/с; $P_{ж}$ – потери за жаткой, выраженные в долях.

Подача скошенной массы в молотильную камеру определяется уравнением:

$$q_{МСУ} = q_{МСУМ} + q_{МСУк} + q_{МСУср}, \quad (2)$$

$q_{МСУМ}$ – подача маслосемян, кг/с; $q_{МСУк}$ – подача корзинок без учета маслосемян, кг/с; $q_{МСУср}$ – подача сорных примесей, кг/с.

Аналогично выражению (1) для $q_{МСУк}$, кг/с, можем записать:

$$q_{МСУк} = M_k B_p v_k. \quad (3)$$

В данной категории системы три параметра относятся ко второй группе – B_p , v_k и $P_{ж}$. В некоторой степени $q_{МСУспр}$ также зависит от работы жатки.

3. Работу МСУ принято описывать такими параметрами, как недомолот Н, сепарация С и дробление маслосемян Д:

$$q_{мсд} = (1 - Н - Д) q_{мсу}, \quad (4)$$

где $q_{мсд}$ – выход маслосемян с МСУ через подбарабанье на транспортную доску, кг/с; $q_{мсу}$ – подача маслосемян в МСУ, кг/с.

4. Соломотряс позволяет частично уменьшить потери недомолотом при работе МСУ. В процессах обмолота подсолнечника эта система оказывает незначительное влияние на потери, поэтому ограничимся только коэффициентом эффективности соломотряса $k_{эс}$, который показывает отношение выходного потока маслосемян к входному в этом устройстве:

$$k_{эс} = \frac{q_{см}}{q_{мс}}, \quad (5)$$

где $q_{см}$ – проход маслосемян с соломотряса на транспортерную доску, кг/с; $q_{мс}$ – подача маслосемян в корзинках на соломотряс, кг/с.

5. Транспортная доска, очистка, повторный цикл. Решетные станы очистки отделяют маслосемена от сорных примесей. С точки зрения потоков массы описание работы решет станом можно свести к четырем переменным: $p_{рм}$ – вероятность потерь маслосемян в результате работы системы очистки; $p_{рспр}$ – вероятность прохождения сорных примесей через решета; $p_{2рм}$ – вероятность отсеивания маслосемян на повторный цикл очистки с решет; $p_{2рспр}$ – вероятность отсеивания сорных примесей на повторный цикл очистки. Размерность всех вероятностей выражена в долях единиц.

Входной поток массы формируется работой МСУ, соломотряса и повторным циклом домолота частей корзинок и очистки маслосемян:

$$q_{2мр} = p_{2мр} q_{рм}; \quad (6)$$

$$q_{2спрр} = p_{2спрр} q_{рспр}; \quad (7)$$

$$q_{мр} = q_{МСУм} + q_{см} + q_{2м}; \quad (8)$$

$$q_{спрр} = q_{МСУспр} + q_{спр} + q_{2спр}, \quad (9)$$

где $q_{2мр}$, $q_{2спрр}$ – подача маслосемян и сорных примесей на повторный цикл очистки с решёт, кг/с; $q_{мр}$, $q_{спрр}$ – подача маслосемян и сорных примесей на решета очистки, кг/с; $q_{МСУм}$, $q_{см}$, $q_{2м}$ – подача маслосемян после МСУ, соломотряса и повторного цикла очистки на решета очистки, кг/с; $q_{МСУспр}$, $q_{спр}$, $q_{2спр}$ – подача сорных примесей после МСУ, соломотряса и повторного цикла очистки на решета очистки, кг/с.

Приведем выражения (6)–(9) к соотношениям:

$$q_{\text{MP}} = \frac{q_{\text{MCYM}} + q_{\text{CM}}}{1 - p_{2\text{MP}}}; \quad (10)$$

$$q_{\text{CnpP}} = \frac{q_{\text{MCYcnpP}} + q_{\text{CnpP}}}{1 - p_{2\text{cnpP}}}. \quad (11)$$

Поток вороха подсолнечника после прохождения системы очистки определяется выражением:

$$q_{\text{PM}} = (1 - p_{\text{PM}} - p_{2\text{PM}})q_{\text{MP}}. \quad (12)$$

После подстановки всех выражений определим уравнение для нахождения массы в секунду сепарированных маслосемян q_{PM} , сорных примесей q_{PcnpP} в зерновом шнеке и в бункере q_{BM} :

$$q_{\text{BM}} = \left(1 - \frac{p_{\text{PM}}}{1 - p_{2\text{PM}}}\right) q_{\text{MC}} [1 - (1 - k_{\text{cC}})H - Д] (1 - \Pi_{\text{ж}}) M_{\text{y}} B_{\text{p}} \nu_{\text{k}}. \quad (13)$$

Получена система уравнений, описывающих зависимость потерь маслосемян от основных параметров технических систем зерноуборочного комбайна при уборке подсолнечника:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_{\text{ж}} = \Pi_{\text{вал}} + \Pi_{\text{отс}} \\ \Pi_{\text{вал}} = L_{\text{шм}} \left(\int_{H_{0-\text{pa}} + S_{\text{pa}} - \frac{D_{\text{p}}}{2}}^{H_{0-\text{pa}} + S_{\text{pa}} + \frac{D_{\text{p}}}{2}} \Phi \left(\frac{h_{\text{стеб}} - \mu}{\sigma_{\text{ст}}} \right) W_{\text{стеб}} \Delta Y_{\text{УП}}^{\text{улар}} dh_{\text{стеб}} + \right. \\ \left. + \int_{H_{0-\text{pa}} + S_{\text{pa}} - \frac{D_{\text{шл}}}{2}}^{+\infty} \Phi \left(\frac{h_{\text{стеб}} - \mu}{\sigma_{\text{ст}}} \right) W_{\text{стеб}} \Delta Y_{\text{стеб}}^{\text{улар}} dh_{\text{стеб}} \right) \\ \Pi_{\text{отс}} = L_{\text{шм}} \left(\int_{H_{0-\text{pa}} + S_{\text{pa}} - \frac{D_{\text{p}}}{2} - \Delta h_{\text{p}} }^{H_{0-\text{pa}} + S_{\text{pa}} + \frac{D_{\text{p}}}{2} - \Delta h_{\text{p}}} \Phi \left(\frac{h_{\text{стеб}} - \mu}{\sigma_{\text{ст}}} \right) \delta \Delta Y_{\text{УП}}^{\text{улар}} dh_{\text{стеб}} + \right. \\ \left. + \int_{H_{0-\text{pa}} + S_{\text{pa}} - \frac{D_{\text{p}}}{2} - \Delta h_{\text{p}}}^{+\infty} \Phi \left(\frac{h_{\text{стеб}} - \mu}{\sigma_{\text{ст}}} \right) \delta \Delta Y_{\text{стеб}}^{\text{улар}} dh_{\text{стеб}} \right) \\ Д = \frac{A}{b_{\text{k}} + b_{\text{p}}} + Bb_{\text{k}} + C \\ \Pi_{\text{p}} = 1 - \left(1 - \exp \left(-r_{\text{отв}} \frac{S_{\text{отв}}(\tau)}{S_{\text{СП}}} \right) \right) \left(1 - \exp \left(-f \frac{k_{\text{ГМ}} \rho_{\text{взх}} a^2 (v_{\text{взх}} - \mu q_{\text{B}})^2}{m_{\text{c}} g} \right) \right) \cong \\ \cong \exp \left(-r_{\text{отв}} \frac{S_{\text{отв}}(\tau)}{S_{\text{C}}} \right) + \exp \left(-f \frac{k_{\text{ГМ}} \rho_{\text{взх}} a^2 (v_{\text{взх}} - \mu q_{\text{B}})^2}{m_{\text{c}} g} \right) \end{array} \right. \quad (14)$$

где $\Pi_{\text{ж}}$ – потери маслосемян за жаткой; $\Pi_{\text{вал}}$ – потери маслосемян от взаимодействия с центральной трубой шнека-мотовила; $\Pi_{\text{отс}}$ – потери маслосемян при взаимодействии с отсекаателями; $H_{0\text{-ра}}$ – расстояние от плоскости режущего аппарата жатки до центра шнека-мотовила; $S_{\text{ра}}$ – расстояние от поверхности почвы до плоскости режущего аппарата; $D_{\text{тр}}$ – диаметр центральной трубы шнека-мотовила; $\Phi(x)$ – функция Лапласа; $h_{\text{стеб}}$ – высота стеблестоя подсолнечника; μ и $\sigma_{\text{ст}}$ – соответственно математическое ожидание и дисперсия распределения стеблестоя по высоте; $W_{\text{стеб}}$ – плотность стеблестоя подсолнечника; ΔY – длина участка стеблестоя, попавшего на мотовило без взаимодействия с отсекаателями; $dh_{\text{стеб}}$ – переменная высота стеблестоя подсолнечника; $dh_{\text{ф}}$ – высота подъема или опускания отсекаателем стеблестоя в зависимости от направления вектора скорости и конечной точки отсекаателя; A – эмпирический коэффициент, учитывающие геометрию рифов бича молотильного барабана; $b_{\text{к}}$ – ширина канавки бича; $b_{\text{р}}$ – ширина рифа бича; B – эмпирический коэффициент, учитывающий геометрию канавок бича молотильного барабана; C – эмпирический коэффициент, учитывающий геометрию маслосемян; $\Pi_{\text{рм}}$ – потери маслосемян распылом с решетки очистки; $r_{\text{отв}}$ – радиус регулируемого отверстия решетки; $S_{\text{отв}}$, $S_{\text{СП}}$ – площади регулируемых отверстий, при которых происходит сепарация через них маслосемян и сорных примесей соответственно; τ – коэффициент смещения отверстий регулируемого решетки; $k_{\text{ГМ}}$ – коэффициент, учитывающий геометрию семянки; $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздушного потока; a – средние размеры семянки подсолнечника; $v_{\text{возд}}$ – скорость воздушного потока; μ – коэффициент сепарации; $q_{\text{в}}$ – подача маслосемян на решетку очистки; $m_{\text{с}}$ – масса маслосемян, прошедших решетку очистки.

Полученная система уравнений (14) отражает формирование потерь маслосемян из потерь за жаткой, дробления маслосемян в МСУ и потерь в решетках.

Преобразовав систему уравнений (14), получим выражение для определения потерь:

$$\Pi = 1 - \frac{q_{\text{в}}}{M_{\text{у}} B_{\text{р}} v_{\text{к}}} = 1 - \left(1 - \frac{p_{\text{рм}}}{1 - p_{2\text{рм}}} \right) [1 - (1 - k_{\text{с}}) H - D] (1 - \Pi_{\text{ж}}), \quad (15)$$

где $k_{\text{с}}$ – коэффициент эффективности соломотряса, $k_{\text{с}} = 0,5-0,55$; $p_{\text{рм}}$ – вероятность потерь маслосемян распылом; $p_{2\text{рм}}$ – вероятность отсеивания маслосемян на повторный цикл очистки; H – удельная величина невымоловленных из корзинок маслосемян.

Произведение величин $M_{\text{у}}, B_{\text{р}}, v_{\text{к}}$ отражает общее поступление маслосемян при захвате стеблестоя жаткой. Потери в уравнении (15) выражены в долях потерь от технических систем зерноуборочного комбайна.

Приближённое значение потерь маслосемян можно определить по формуле:

$$П \approx П_{ж} + Д + (1 - k_{эс})Н + \frac{P_{PM}}{1 - p_{2PM}} \quad (16)$$

Суммарные относительные потери при работе зерноуборочного комбайна являются суммой относительных потерь в его отдельных технических системах. При произведении полученных значений потерь при подаче вороха подсолнечника $q_{в}$ получаем величину потерь, выраженную в кг/с.

Системный анализ состояния проблемы показал, что резервом снижения потерь маслосемян подсолнечника при уборке является разработка новых технологических схем и технических решений шнека-мотовила, молотильного аппарата, решёт системы очистки комбайна.

В теоретических исследованиях процесса захвата стеблей и корзинок подсолнечника рабочими органами шнека-мотовила приведена и обоснована технологическая схема уборки подсолнечника зерноуборочным комбайном с жаткой, оснащенной шнеком-мотовилом, схема которого представлена на рисунке 6 (патент РФ № 72115).

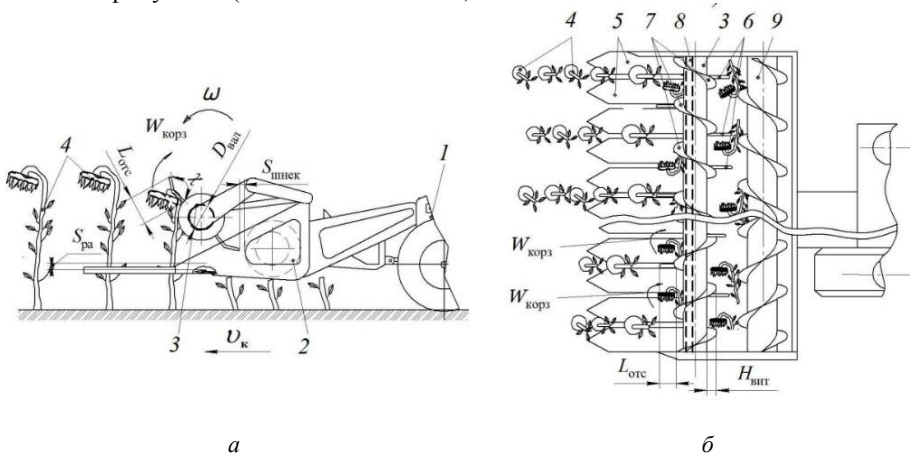


Рисунок 6 – Конструктивно-технологическая схема работы шнека-мотовила: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – зерноуборочный комбайн; 2 – жатка; 3 – шнек-мотовило; 4 – стеблестой подсолнечника; 5 – стеблеподъемники; 6 – отсекатели; 7 – навивка шнека-мотовила; 8 – режущий аппарат; 9 – шнек жатки; $L_{отс}$ – длина отсекателя, м; χ – угол наклона рабочей части отсекателя, град.; $H_{вит}$ – ширина витка навивки, м; $D_{вал}$ – диаметр трубного вала, м; $S_{шнек}$ – зазор между крайней точкой кромки отсекателя и витком шнека жатки, м; $S_{ра}$ – зазор между крайней точкой кромки отсекателя и плоскостью режущего аппарата, м; ω – ускорение движения корзинок, $м/с^2$

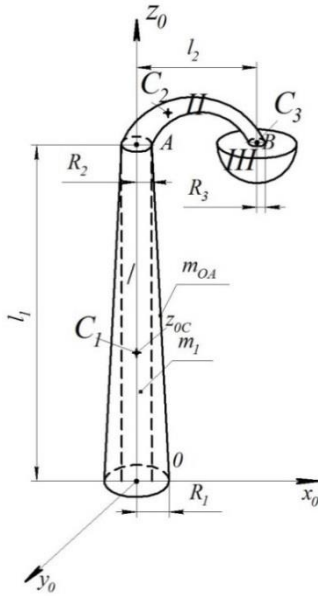


Рисунок 7 – Геометрическая схема стебля подсолнечника: C_1, C_2, C_3 – центры тяжести участков стебля I, II и III соответственно

Приспособление работает следующим образом. Зерноуборочный комбайн 1 с жаткой 2, оснащённой шнеком-мотовилом 3, входит в стеблевой 4 подсолнечника стеблеподъёмниками 5, разделяя его по междурядьям. Захват стеблей осуществляется отсекающими б и витками навивки 7, в процессе чего происходит снижение ускорения движения корзинки $w_{корз}$ и осуществляется наклон стеблей подсолнечника навивкой к центру шнека-мотовила таким образом, что корзинки оказываются над днищем жатки. В результате этого осыпание маслосемян происходит на днище жатки. Стебли, которые не захватываются отсекающими б, попадают под воздействие навивки 7, которая, захватывая стебли, также наклоняет их к центру шнека-мотовила.

В силу сложности геометрии стебля моменты его инерции определяли как сумму момента инерции участка стебля OA , момента инерции дугообразного участка AB и момента инерции корзинки B (рисунок 7).

Моменты инерции прямолинейного участка AB (примем как усеченный конус):

$$I_{x_1x_1} = \frac{1}{12} m_1 l_1^2 + \frac{2\pi m'_1}{2V_2} \left[\left(\frac{P_1^3}{2} (R_1 - R_2)^2 - P_1^2 P_2 (R_1 - R_2)^3 + \right. \right. \quad (17)$$

$$\left. \left. + \frac{3}{4} P_1 P_2^2 (R_1 - R_2)^4 - \frac{1}{5} P_2^3 (R_1 - R_2)^5 \right) \right];$$

$$I_{x_1z_1} = \frac{1}{4} m_1 R_2^2 + \frac{\pi m_1 (R_1 - R_2)^4 \left[(P_1 - P_2 (R_1 - R_2)) \right]}{20V_2}; \quad (18)$$

$$I_{y_1z_1} = I_{x_1z_{1цис}} + \frac{\pi m'_2 (R_1 - R_2)^4 \left[(P_1 - P_2 (R_1 - R_2)) \right]}{20V'_2}; \quad (19)$$

$$m'_2 = m_{OA} - m_1, \quad (20)$$

где m_{OA}, m_1 – массы самого стебля и его цилиндрической составляющей, кг; R_1, R_2 – радиусы нижнего и верхнего оснований стебля (усеченного конуса), м; V_2 – объем цилиндрической части, m^3 .

Для упрощения расчетов введем промежуточные коэффициенты:

$$P_1 = \frac{l_1 R_1}{R_1 - R_2}; \quad P_2 = \frac{l_1}{R_1 - R_2},$$

где l_1 – длина прямого участка стебля, м.

Моменты инерции дугообразного участка стебля AB (принимается как кривая переменной плотности):

$$I_{x_2} = \frac{k l_2^3 \pi}{16} (R_2^2 - R_2 \lambda_1 \pi + \frac{1}{3} \lambda_1^2 \pi^2 - \frac{\lambda_1^3}{l_2} \pi^3); \quad (21)$$

$$I_{y_2} = I_{x_2 y_2} + I_{y_2 z_2} = \frac{k l_2^3 \pi}{16} (R_2^2 - R_2 \lambda_1 \pi + \frac{1}{3} \lambda_1^2 \pi^2 - \frac{3 \lambda_1^3}{4 l_2} \pi); \quad (22)$$

$$I_{z_2} = I_{x_2 z_2} + I_{y_2 z_2} = \frac{k l_2^3 \pi}{16} (R_2^2 - R_2 \lambda_1 \pi + \frac{1}{3} \lambda_1^2 \pi^2 + \frac{\lambda_1^3 \pi^3}{4 l_2}), \quad (23)$$

где k – коэффициент пропорциональности:

$$k = \frac{2m_2}{l_2 \pi (R_2^2 - R_2^2 \lambda_1 \pi + \frac{1}{3} \lambda_1^2 \pi^2)}, \quad (24)$$

λ_1 – промежуточный коэффициент:

$$\lambda_1 = \frac{R - R}{\pi}, \quad (25)$$

где m_2 – масса дугообразного участка стебля AB , кг; l_2 – длина дуги переменной плотности, м.

Моменты инерции корзинки B :

$$I_{x_3} = I_{x_3 y_3} + I_{x_3 z_3} = m_3 (z^2 + y^2); \quad (26)$$

$$I_{y_3} = I_{y_3 z_3} + I_{x_3 y_3} = m_3 (x^2 + z^2); \quad (27)$$

$$I_{z_3} = I_{x_3 z_3} + I_{y_3 z_3} = m_3 (y^2 + x^2), \quad (28)$$

где m_3 – масса корзинки, кг; y, x, z – координаты центра тяжести корзинки, м.

Момент силы воздействия отсекателя (рисунок 8):

$$M_x(\bar{F}_{отс}) = - \frac{(H - L_{отс} \cos \varphi_{отс}) k \omega L_{отс} \sin \varphi_{отс} \cos \beta}{\cos \gamma}; \quad (29)$$

$$M_y(\vec{F}_{отс}) = (H - L_{отс} \cos\varphi_{отс})k \left(\frac{\omega L_{отс} \sin\varphi_{отс} \cos\alpha}{\cos\gamma} + \right. \\ \left. + v_{комб} - \omega L_{отс} \cos\varphi_{отс} \right); \quad (30)$$

$$M_z(\vec{F}_{отс}) = - \frac{(H - L_{отс} \cos\varphi_{отс})k(\vec{v}_{комб} - \omega L_{отс} \cos\varphi_{отс})\cos\beta}{\cos\gamma}, \quad (31)$$

где $\vec{F}_{отс_n}$ – сила, вызванная поступательным движением отсекающего аппарата, H , пропорциональная линейной скорости комбайна:

$$\vec{F}_{отс_n} = k\vec{v}_{комб}; \quad (32)$$

$$\vec{F}_{отс_\omega} = k\omega L_{отс}, \quad (33)$$

где ω – угловая скорость отсекающего аппарата, мин^{-1} ; $L_{отс}$ – длина отсекающего аппарата, м.

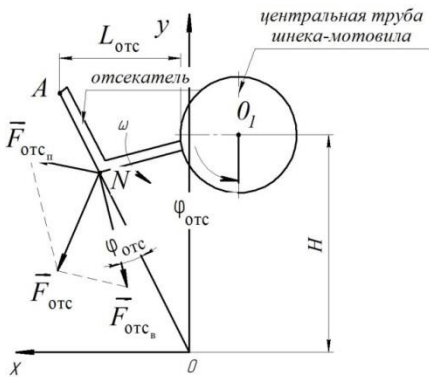


Рисунок 8 – Момент силы воздействия отсекающего аппарата: A – конечная точка отсекающего аппарата; N – точка контакта отсекающего аппарата со стеблем; $L_{отс}$ – длина отсекающего аппарата, м; H – расстояние от центра вращения трубчатого вала до плоскости режущего аппарата, м; $\varphi_{отс}$ – угол поворота отсекающего аппарата, град.

На основании полученных уравнений моментов сил (29), (31) было определено линейное ускорение движения корзинки, возникающее при захвате стебля рабочими органами шнека-мотовила:

$$\vec{w}_{корз} = \frac{d}{dt}(w_y r_z - w_z r_y) \vec{i} + \frac{d}{dt}(w_z r_x - w_x r_z) \vec{j} + \\ + \frac{d}{dt}(w_x r_y - w_y r_x) \vec{k}, \quad (34)$$

где $\vec{w}_{корз}$ – линейное ускорение движения корзинки; w_y, w_z, w_x – ускорение движения корзинки по осям системы координат, $\text{м}/\text{с}^2$; r_z, r_y, r_x – радиусы-

векторы от центра стебля к точке приложения силы, м; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орты (единичные векторы).

Экспериментальным путем был получен диаметр трубного вала шнека-мотовила, обеспечивающий наименьшие потери семян от линейного ускорения движения корзинок.

Потери семян при работе шнека-мотовила:

$$\Pi_{\text{ж}} = \Pi_{\text{вал}} + \Pi_{\text{отс}}, \quad (35)$$

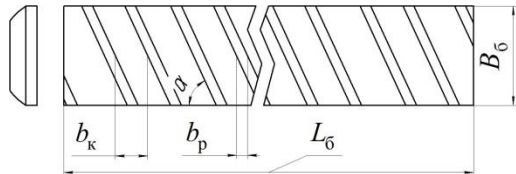
где $\Pi_{\text{вал}}$ и $\Pi_{\text{отс}}$ – соответственно потери семян стеблестоя, попавшего на шнек-мотовило без взаимодействия с отсекающими, и потери семян стеблестоя, попавшего на шнек-мотовило при взаимодействии с отсекающими, %.

Потери семян стеблестоя, попавшего на шнек-мотовило без взаимодействия с отсекающими $\Pi_{\text{вал}}$ определяются по уравнению следующим образом:

$$\Pi_{\text{вал}} = \left(\int_{H_{0-\text{ра}} + S_{\text{ра}} + \frac{D_{\text{сп}}}{2}}^{H_{0-\text{ра}} + S_{\text{ра}} + \frac{D_{\text{сп}}}{2}} \Phi \left(\frac{h_{\text{стеб}} - \mu}{\sigma} \right) W_{\text{стеб}} \Delta Y_{\text{стеб}} \Pi_{\text{корз}}^{\text{удар}} dh_{\text{стеб}} + \int_{H_{0-\text{ра}} + S_{\text{ра}} - \frac{D_{\text{сп}}}{2}}^{\infty} \Phi \left(\frac{h_{\text{стеб}} - \mu}{\sigma} \right) W_{\text{стеб}} \Delta Y_{\text{стеб}} \Pi_{\text{стеб}}^{\text{удар}} dh_{\text{стеб}} \right) L_{\text{шм}}. \quad (36)$$

Для решения проблемы повреждения маслосемян подсолнечника целесообразно изготавливать сменные бичи из материалов, обладающих упругими свойствами, и с геометрическими параметрами, соответствующими размерам маслосемян (рисунок 9). При этом высота рифа бича постоянна по всей его длине. Риф имеет скругления по краям, плавно переходящие в основу бича (см. рисунок 9). Для максимального снижения повреждаемости маслосемян рифы бича также выполнены с фасками.

Рисунок 9 – Бич из полиуретана:
 $B_{\text{к}}$ – ширина бича, м; $L_{\text{б}}$ – длина бича, м; $b_{\text{к}}$ – ширина канавки, м; $b_{\text{р}}$ – ширина рифа, м; α – угол наклона рифа



Рассмотрим процесс обмолота маслосемян подсолнечника бичами с шириной канавки равной ширине семечки подсолнечника. Считаем, что подача q (кг/с) скошенного подсолнечника, подаваемого в молотильную камеру, формируется из четырех составляющих:

$$q = q_{\text{к}} + q_{\text{с}} + q_{\text{в}} + q_{\text{д}}, \quad (37)$$

где q_k – подача корзинок в МСУ, кг/с; q_c – подача маслосемян в МСУ, кг/с; q_b – подача сорных примесей в МСУ, кг/с; q_d – подача дробленых маслосемян в МСУ, кг/с.

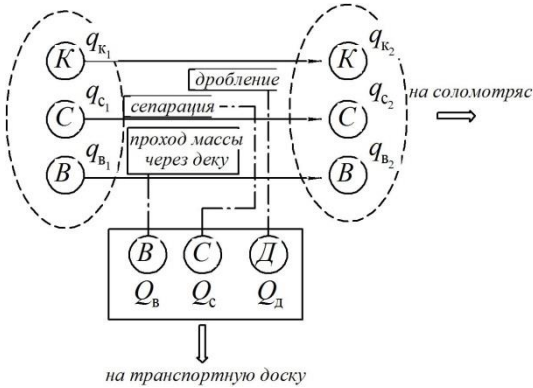


Рисунок 10 – Структурно-логическая схема распределения потоков обмолачиваемой массы в рабочей зоне МСУ (q , кг/с)

портную доску. При этом необходимо учитывать, что деформированные маслосемена образуются из неповрежденных (рисунок 10).

Площадь бича S_b (m^2) определяется его рабочей длиной L_b и шириной B_b , а его активная площадь S_t – шириной рифов b_p и средним размером столкновения маслосемян с рифами a :

$$S_t = \frac{b_p + a}{\sin \alpha} B_b N_p = \frac{b_p + a}{\sin \alpha} B_b \frac{L_b}{b_p + b_k}, \quad (38)$$

где N_p – количество рифов.

Вероятность дробления маслосемян вследствие раздавливания описывается выражением:

$$P_1 = k_1 (p_b) \frac{b_p + \frac{a}{\sin \alpha}}{b_p + b_k}, \quad (39)$$

где k_1 – коэффициент жесткости материала бича, p_b – давление, создаваемое бичом, Па.

Следует учесть, что величина p_b зависит от параметров бичей, так как они обеспечивают увлечение обмолачиваемой массы в подбарабанье.

Работа МСУ формирует потоки маслосемян, прошедших через деку, сорных примесей и дробленых маслосемян, поступающих на очистку и соломотряс, которые обозначим соответственно Q_c , Q_b и Q_d , сохраняя индексы аналогично выражению (37). Входящий поток разделяется на два, один из которых попадает на соломотряс с вымолоченными корзинками или их частями, другой сепарируется через подбарабанье на транспортную доску.

Вероятность дробления маслосемян в результате перетирания внутри потока обмолачиваемой массы определяется в первую очередь давлением и градиентом скоростей внутри потока:

$$P_2 = k_2(p) + k_{21} \frac{v_1 - v_2}{h_{\text{под}}}, \quad (40)$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности дробления и давления бича на корзинку; k_{21} – коэффициент связи вероятности дробления и градиента скорости обмолачиваемой массы; $h_{\text{под}}$ – средний зазор между крайней точкой бича и планкой деки.

Зависимость массы вымолоченных маслосемян от времени описывает линейное неоднородное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами:

$$m_{\text{об}}(t) = \left(m_0 - \frac{\beta}{\gamma + \varepsilon - \beta} (m_m - m_0) \right) \exp(-(\gamma + \varepsilon)t) + \frac{\beta}{\gamma + \varepsilon - \beta} \exp(-\beta t) + \left(\frac{b_k}{b_{\text{сmax}}} + \frac{q_{\text{корз}}}{m} + \frac{n_6^p}{n_6} \right) p_{\text{сд}}, \quad (41)$$

где b_k – ширина канавки бича, м; $b_{\text{сmax}}$ – максимальное значение ширины семянки, м; $q_{\text{корз}}$ – подача корзинок в молотильную камеру, кг/с; m_m – подача маслосемян в молотильную камеру, кг/с; n_6^p – частота вращения молотильного барабана, рекомендуемая для обмолота корзинок подсолнечника, мин^{-1} ; n_6 – частота вращения молотильного барабана в диапазоне зерноуборочного комбайна, мин^{-1} ; $p_{\text{сд}}$ – коэффициент, учитывающий сдавливание маслосемян в различных точках молотильной камеры.

Дробление D (кг) определяется по формуле:

$$D = \frac{m_d(T) + m_{\text{дсеп}}(T)}{m_m} = \frac{\varepsilon}{m_0} \int_0^T m_{\text{об}}(t) dt. \quad (42)$$

В выражении (42) T – время движения обмолачиваемой массы по решетке подбарабанья. Аналогичным выражением можно описать и недомолот корзинок H (кг):

$$H = \frac{m_n(T) + m_{\text{об}}(T)}{m_m}. \quad (43)$$

Следует отметить, что одним из факторов дробления маслосемян является давление бича на корзинку в месте контакта (рисунок 11). Сокращение площади этого воздействия посредством изменения формы и ширины канавок ведет к увеличению давления, создаваемого отдельными частями

бича на границе рифа и обмолачиваемой массы. В то же время большая площадь воздействия пропорциональна большей вероятности попадания маслосемян в зоны, где происходит их дробление.

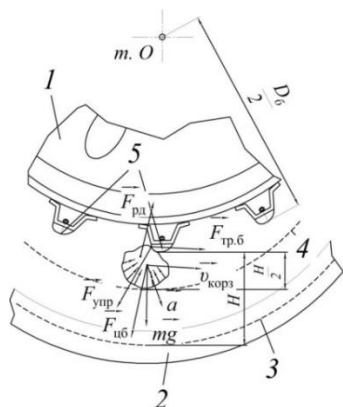


Рисунок 11 – Взаимодействие части корзинки подсолнечника с рабочей кромкой бича: 1 – фрагмент молотильного барабана; 2 – щека деки; 3 – прутковая решетка подабарабannya; 4 – условная средняя линия молотильной камеры; 5 – рабочие кромки бичей; $\vec{F}_{ра}$ – вектор центробежной силы сдвливания фрагмента корзинки; $\vec{F}_{сд}$ – вектор равнодействующей силы сдвливания фрагмента корзинки; $\vec{F}_{тр,б}$ – вектор силы трения бича о фрагмент корзинки; \vec{mg} – вектор силы тяжести части корзинки; $\vec{v}_{корз}$ – вектор скорости движения фрагмента корзинки в молотильной камере; \vec{a} – вектор ускорения движения корзинки или ее фрагмента; H – расстояние от верхней кромки прутковой решетки до крайней точки бича

На основе этих соображений можно сделать вывод о том, что существуют некоторые оптимальные форма и размер канавок и рифов бичей, при которых данный фактор оказывает наименьшее влияние на дробление. Очевидно также, что этот оптимум определяется физико-механическими свойствами семян, стеблевой массы и геометрией маслосемян.

Сила сдвливания $F_{ра}$ (Н), действующая на обмолачиваемую массу в рабочем пространстве МСУ, в проекции на направление движения можно представить следующим образом:

$$F_{ра} = F_{тр,б} - F_{тр,д}, \quad (44)$$

где $F_{тр,б}$ – сила трения бичей об обмолачиваемую массу, Н; $F_{тр,д}$ – сила трения обмолачиваемой массы о решетку деки, Н.

Рассмотрим взаимодействие фрагмента обмолачиваемой корзинки в молотильной камере в том случае, когда она находится выше условной средней линии и взаимодействует с рабочей кромкой бича молотильного барабана (рисунок 12). В этом случае нижняя часть корзинки или ее фрагмента сжимается нижними слоями обмолачиваемой массы, а ударное воздействие осуществляется бичом.

Рассмотрим взаимодействие части обмолачиваемой корзинки в рабочем пространстве молотильной камеры в том случае, когда она движется по условной средней линии (рисунок 13).

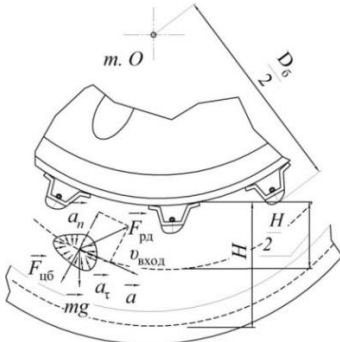


Рисунок 12 – Взаимодействие фрагмента корзинки с обмолачиваемой массой: \vec{a}_n – вектор нормального ускорения корзинки; \vec{a}_τ – вектор тангенциального ускорения корзинки

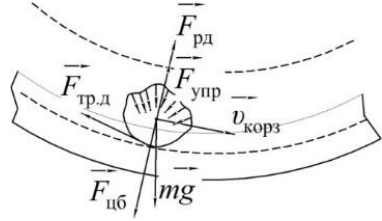


Рисунок 13 – Взаимодействие фрагмента корзинки с прутковой решеткой подбарабья

В случае, когда корзинка или ее фрагмент движется по условной средней линии молотильной камеры, то сжатие происходит по всему периметру корзинки соседними корзинками или их фрагментами. Допустим, что при этом величина дробления будет минимальной при соответствующей частоте вращения молотильного барабана.

Можно предположить, что при использовании бичей из материалов с упругими свойствами дробление маслосемян при обмолоте будет максимальным, когда фрагмент корзинки или ее части будет контактировать с рабочей поверхностью прутковой решетки подбарабья (см. рисунок 13).

Закон изменения импульса системы (Н·с) в проекции определится равнодействующей силой $F_{рд}$:

$$F_{рд} \Delta t = m_{корз} \Delta v_{вход}, \quad (45)$$

где Δt – время удара первого бича об обмолачиваемую массу (корзинки), с; $m_{корз}$ – масса маслосемян, поступающих в молотильную камеру, кг; $\Delta v_{вход}$ – разность линейной скорости движения корзинок на входе в молотильную камеру и скорости движения корзинок до ее входа (скорости подачи наклонной камеры), м/с:

$$\Delta v_{вход} = v_{вход} - v_{наклон}, \quad (46)$$

где $v_{вход}$ – линейная скорость движения корзинок на входе в молотильную камеру, м/с; $v_{наклон}$ – скорость движения корзинок по наклонной камере комбайна, м/с.

Следует отметить, что действие силы $F_{\text{рд}}$, которая образуется быстрыми ударами бичей, носит не постоянный, а импульсный характер. Исходя из этого, в выражении (45) ее следует рассматривать как некоторую среднюю силу тяги, действующую на обмолачиваемую массу и стремящуюся проташить ее по решетке подбарабалья.

Очевидно, что количество ударов бичей в единицу времени $\varpi_{\text{уд}}$ (с^{-1}):

$$\varpi_{\text{уд}} = nk_{\text{б}}, \quad (47)$$

где n – частота вращения молотильного барабана, с^{-1} ; $k_{\text{б}}$ – количество бичей молотильного барабана, шт.

Соответственно время удара одного бича об обмолачиваемую массу Δt (с):

$$\Delta t = \frac{B_{\text{б}}}{v_{\text{б}}}, \quad (48)$$

где $B_{\text{б}}$ – эффективная ширина бича, мм.

На основании вышеизложенного можно представить окончательный вид закона изменения импульса при обмолоте ($\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}$):

$$F_{\text{рд}} \varpi_{\text{уд}} \Delta t_y \Delta t = m_{\text{корз}} (v_{\text{вход}} - v_{\text{наклон}}). \quad (49)$$

Подача $q_{\text{корз}}$ ($\text{кг}/\text{с}$) зависит от скорости, с которой корзинки поступают в молотильную камеру МСУ:

$$q_{\text{корз}} = \frac{m_{\text{корз}}}{\Delta t}. \quad (50)$$

Преобразовав выражения (48) и (49), получим уравнение скорости входа потока корзинок в молотильную камеру:

$$v_{\text{вход}} = \frac{F_{\text{рд}}}{q_{\text{корз}}} \frac{nkB_{\text{б}}}{v_{\text{б}}} + v_{\text{наклон}}. \quad (51)$$

Дробление маслосемян D в зависимости от ширины канавки бича $b_{\text{к}}$ (см. рисунок 10):

$$D = \frac{A}{b_{\text{к}} + b_{\text{п}}} + Bb_{\text{к}} + C, \quad (52)$$

где A – эмпирический коэффициент, характеризующий профиль канавки бича, $\%/ \text{мм}$, $A = 24,7 \%/ \text{мм}$; B – эмпирический коэффициент, характеризующий материал бича, $\%/ \text{мм}$, $B = 0,114 \%/ \text{мм}$; C – эмпирический коэффициент, характеризующий сепарацию маслосемян, $\%$, $C = -2,23 \%$; $b_{\text{к}}$ – ширина канавки бича, мм.

Минимум функции (52) приходится на величину b_k , которая является шириной канавки бича:

$$b_k = \sqrt{\frac{A}{B} - b_0} = 9,72 \text{ мм.} \quad (53)$$

В теоретических исследованиях обоснования процесса просеивания вороха подсолнечника через решето с регулируемыми отверстиями приведена и обоснована технологическая схема технического средства (рисунок 14, патент № 73805).

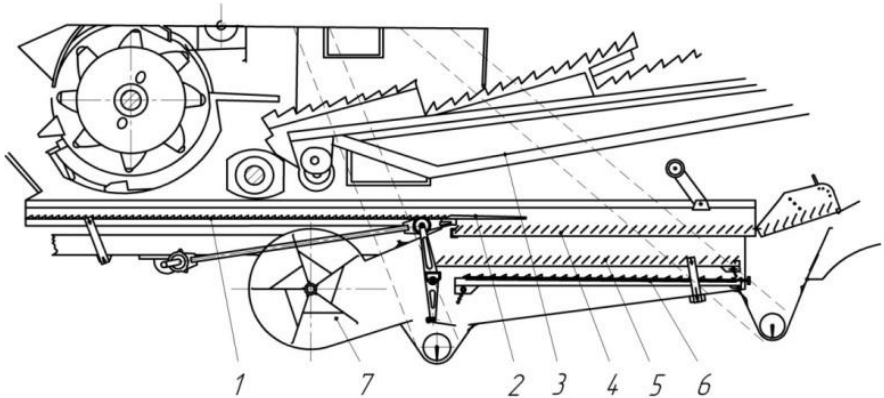


Рисунок 14 – Расположение решета с регулируемыми отверстиями:

- 1 – транспортная доска; 2 – пальцевая гребёнка; 3 – клавиши соломотряса;
 4 – верхний решётный стан; 5 – нижний решётный стан;
 6 – решето с регулируемыми отверстиями; 7 – вентилятор

Решето с регулируемыми отверстиями представляет собой раму 1 (рисунок 15), оснащённую направляющими 2, кронштейнами 3 для крепления к боковине нижнего решётного стана. В направляющих установлены неподвижное верхнее решето 4 с отверстиями, ряды которых разделены поперечными перегородками – гофрами 5, а также нижнее подвижное решето 6. Механизм регулировки решета является Г-образная пластина 7, закреплённая в торцевой части подвижного решета 6 регулировочной гайкой 8.

На раме 1 посредством болтового соединения закреплена опора 9 регулировочного винта 10, сопряжённого с Г-образной пластиной 7 регулировочной гайкой 8. Это позволяет перемещать нижнее подвижное решето 6 относительно верхнего 4, в результате чего образуются регулируемые отверстия (рисунок 16). Изменяя размеры отверстий, можно добиться их соответствия размерам семянки определенного сорта или гибрида.

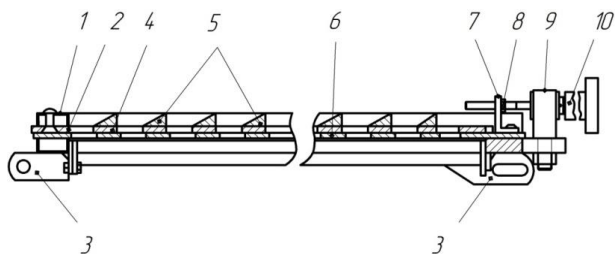


Рисунок 15 – Решето с регулируемыми отверстиями:

- 1 – рама решета; 2 – направляющие; 3 – кронштейны крепления;
 4 – верхнее неподвижное решето; 5 – гофры; 6 – нижнее подвижное решето;
 7 – Г-образная пластина; 8 – регулировочная гайка;
 9 – опора регулировочного винта; 10 – регулировочный винт

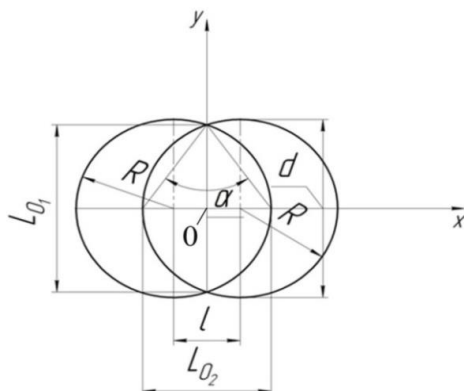


Рисунок 16 – Геометрические размеры регулируемого отверстия: R – радиус отверстия, м; l – длина смещения центров отверстия, м; d – диаметр отверстия, м; α – вписанный угол, рад; L_{01} – длина регулируемого отверстия по вертикали, м; L_{02} – длина регулируемого отверстия по горизонтали, м

Определим площадь S_0 (м²) регулируемого отверстия:

$$S_0 = R^2 \arcsin\left(\frac{l\sqrt{4R^2-l^2}}{2R^2}\right) - \frac{l\sqrt{4R^2-l^2}}{2}. \quad (54)$$

Площадь продольного сечения эллипсоида S_s (м²) согласно рисунку 17:

$$S_s = \pi ab. \quad (55)$$

Для эллипсоида длиной a , шириной b и толщиной c вероятность P просеивания маслосемян через регулируемое отверстие:

$$P = \frac{S_s}{S_0} = \frac{\pi ab}{R^2 \arcsin\left(\frac{l\sqrt{4R^2-l^2}}{2R^2}\right) - \frac{l\sqrt{4R^2-l^2}}{2}}. \quad (56)$$

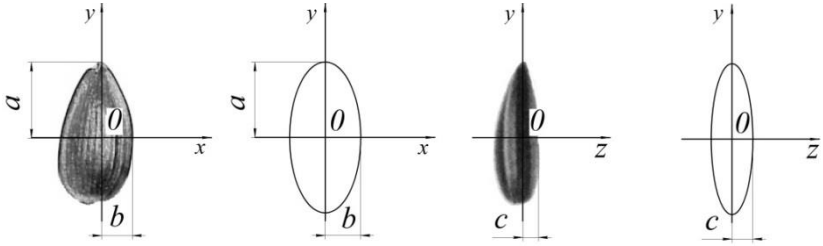


Рисунок 17 – Геометрические размеры семечки

Геометрические размеры регулируемых отверстий можно охарактеризовать коэффициентом смещения τ , который находят по формуле:

$$\tau = \frac{L_{0_2}}{L_{0_1}}. \quad (57)$$

Коэффициент смещения отверстий τ для определенного сорта или гибрида подсолнечника:

$$\tau \approx \sqrt[3]{\frac{3\pi ab}{32R^2}}. \quad (58)$$

Процесс просеивания вороха через отверстия предлагаемого решета описывается выражением:

$$q = q_1 + Q_1 = q_2 + Q_2 + q_3 + Q_3,$$

где q , q_1 , Q_1 – подачи на решето соответственно вороха подсолнечника, маслосемян в ворохе, сорных примесей в ворохе, кг/с; q_2 , Q_2 – проход через решето маслосемян и сорных примесей, кг/с; q_3 , Q_3 – сход с решета маслосемян и сорных примесей, кг/с.

$$q_2(q) = q_1 \left\{ \left[\frac{|q - q_{\max}| - |q - q_{\min}|}{2(q_{\max} - q_{\min})} \right] + \frac{1}{2} \right\} = q_1 f_2(q); \quad (59)$$

$$q_3(q) = q_1 \left\{ \left[\frac{|q - q_{\min}| - |q - q_{\max}|}{2(q_{\max} - q_{\min})} \right] + \frac{1}{2} \right\} = q_1 f_3(q), \quad (60)$$

где $f_2(q)$, $f_3(q)$ – функциональные множители.

Условия просеивания крупных сорных примесей уточняли по соотношениям с использованием параметра q_{med} :

$$Q_{\kappa_2}(q) = \delta_p Q_{\kappa} \left\{ \left[\frac{|q - q_{\min}| - |q - q_{\text{med}}|}{2(q_{\text{med}} - q_{\min})} \right] + \frac{1}{2} \right\} = \delta_p Q_{\kappa} f_1(q); \quad (61)$$

$$\begin{aligned} Q_{\kappa_3}(q) &= Q_{\kappa} - \delta_p Q_{\kappa} \left\{ \left[\frac{|q - q_{\min}| - |q - q_{\text{med}}|}{2(q_{\text{med}} - q_{\min})} \right] + \frac{1}{2} \right\} = \\ &= Q_{\kappa} [1 - \delta_p f_1(q)], \end{aligned} \quad (62)$$

где Q_{κ_2} – крупные сорные примеси, прошедшие через решето, кг/с; Q_{κ_3} – крупные сорные примеси, выдуваемые с решета, кг/с; δ_p – увеличение схода при повышении подачи, кг/с; q_{med} – интенсивность просеивания вороха подсолнечника при увеличении q и δ_p , кг/с.

Коэффициент смещения регулируемого отверстия τ характеризует площадь отверстия для просеивания. Он будет влиять на производительность процесса разделения решетом вороха подсолнечника на фракции.

Данные процессы описываются зависимостями:

$$Q_{M_2}(q) = \frac{S_{\text{Э}}}{S_0} Q_M \left\{ \left[\frac{|q - q_{\max}| - |q - q_{\min}|}{2|q_{\max} - q_{\min}|} \right] + \frac{1}{2} \right\} = \frac{S_{\text{Э}}}{S_0} Q_M f_2(q); \quad (63)$$

$$Q_{\kappa_2}(q) = \frac{S_{\text{Э}}}{S_0} \delta_p Q_{\kappa} \left\{ \left[\frac{|q - q_{\min}| - |q - q_{\text{med}}|}{2|q_{\text{med}} - q_{\min}|} \right] + \frac{1}{2} \right\} = \frac{S_{\text{Э}}}{S_0} \delta_p Q_{\kappa} f_1(q). \quad (64)$$

На основе приведенных выражений (63), (64) модель для определения сорных примесей в проходе вороха подсолнечника в зависимости от подачи и скорости воздушного потока имеет вид:

$$Q_2(q, v_B) = \frac{S_{\text{Э}}}{S_0} [\delta_p Q_{\kappa} f_1(q) + Q_M f_2(q)]. \quad (65)$$

С учётом влияния скорости воздушного потока $v_{B_{\text{мед}}}$ математическая модель приобретает вид:

$$Q_2(q, v_B) = \frac{S_{\text{Э}}}{S_0} [\delta_p Q_{\kappa} f_1(q) + Q_M f_2(q)] F_2^M(v_B). \quad (66)$$

Коэффициент τ влияет на переменные q и v_B в формуле (66). Путём преобразования получаем зависимость для определения содержания сорных примесей в проходе вороха подсолнечника через решето с регулируемыми отверстиями:

$$Q_2 = \left[\tau \delta_p Q_{\kappa} f_1(q) + \frac{\tau \delta_2 Q_M q}{q_{\max}} \delta_1 Q_M f_2(q) F_2^M(v_B) \right]. \quad (67)$$

Ворох подсолнечника массой M разделяется на слои, каждый из которых располагается над рабочим участком решета длиной L_p . Рабочий участок включает в себя впадину и гофру. Ширина гофры B равна ширине решета.

Между собой массы слоёв упруго взаимодействуют в виде силы F_c (Н), которую определяют с помощью коэффициента жёсткости вороха C (рисунок 18):

$$F_c = C(x_1 - x_2), \quad (68)$$

где F_c – сила сцепления между массами вороха m_1 и m_2 , Н; x_1 – координата перемещения массы m_1 в горизонтальной плоскости, м; x_2 – координата перемещения массы m_2 в горизонтальной плоскости, м; C – коэффициент жёсткости вороха подсолнечника, Н/м.

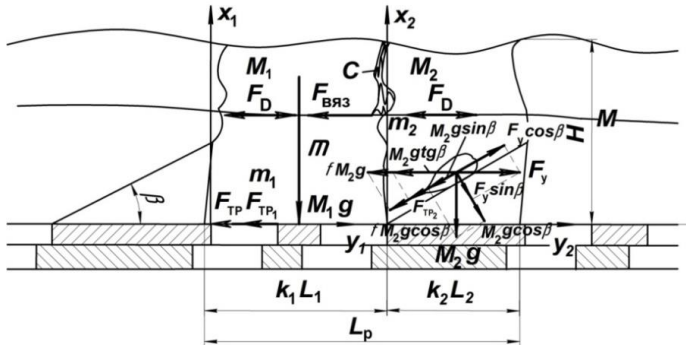


Рисунок 18 – Схема сил, действующих на ворох подсолнечника:

M – масса вороха; M_1 – масса верхних слоёв вороха, находящихся над впадиной; M_2 – масса верхних слоёв вороха, находящихся над гофрой; m – масса вороха, взаимодействующего с рабочим участком решета; H – высота слоя вороха; F_D – сила демпфирования между массами; $F_{тр}$ – сила трения вороха о поверхность решета; $F_{тр_1}$ – сила трения вороха массой m_1 о поверхность решета; $F_{тр_2}$ – сила трения вороха массой m_2 о поверхность гофры; $F_{вяз}$ – сила вязкости вороха; $F_{упор}$ – сила упора гофры; C – коэффициент жёсткости вороха; k_1, k_2 – коэффициенты, характеризующие распределение масс по длине решета; L_1 – ширина впадины; L_2 – ширина гофры; L_p – длина рабочего участка

Взаимодействие слоя вороха с впадиной гофры происходит за счёт сил трения:

$$F_{тр_1} = m_1 g f \text{sign}(v_{m_1} - v_n), \quad (69)$$

где f – коэффициент трения; v_{m_1} – скорость движения массы m_1 , м/с; v_n – скорость движения решета, м/с.

Сила взаимодействия F_A вороха с гофрой определяется его массой m_1 и ускорением, создаваемым амплитудой решета A :

$$F_A = m_1 \omega^2 A \sin(\omega t) \left[\frac{1 + \text{sign}(v_{\text{п}} - v_{m_1})}{2} \right]. \quad (70)$$

С верхними слоями вороха подсолнечника предполагается взаимопроникающее и вязкое взаимодействие нижних слоёв при демпфировании, определяемого коэффициентом k_D :

$$F_D = k_D (v_{\text{п}} - v_{m_1}), \quad (71)$$

где F_D – сила демпфирования между верхними и нижними массами, Н; k_D – коэффициент демпфирования, Н·с/м.

Выражая силу инерции и ускорение массы m_1 через приведённые составляющие, получим дифференциальное уравнение движения массы m_1 :

$$m_1 w_1 = m_1 \omega^2 A \sin(\omega t) \left[\frac{1 + \text{sign}(v_{\text{п}} - v_{m_1})}{2} \right] + k_1 k_D (v_{\text{п}} - v_{m_1}) - M_1 g f \text{sign}(v_{m_1} - v_{\text{п}}) - C(x_1 - x_2). \quad (72)$$

Масса m_2 , находящаяся на наклоне гофры, не контактирует с её уступом, поэтому коэффициент трения f увеличивается на величину $\text{tg } \beta$. Тогда сила трения вороха массой m_2 по поверхности гофры:

$$F_{\text{тр}2} = M_1 g (f + \text{tg } \beta) \text{sign}(v_{m_2} - v_{\text{п}}), \quad (73)$$

где v_{m_2} – скорость движения массы m_2 по поверхности гофры, м/с.

В результате сепарация маслосемян и сорных примесей через решето с регулируемыми отверстиями описывается функцией:

$$P_C = 1 - \exp\left(-r_{\text{отв}} \frac{S_{\text{отв}}(\tau)}{S_C}\right). \quad (74)$$

При уменьшении коэффициента τ снижается площадь регулируемого отверстия:

$$P_{\text{СП}} = 1 - \exp\left(-r_{\text{отв}} \frac{S_{\text{отв}}(\tau)}{S_{\text{СП}}}\right). \quad (75)$$

Эффективность воздушного потока снижается с увеличением подачи вороха подсолнечника на решета очистки за счет взаимодействия с маслосеменами и сорными примесями. Для учета этой особенности процесса очистки введем величину, характеризующую эффективность воздушного потока:

$$v_{\text{эфф}} = v_{\text{взх}} - \mu q_B, \quad (76)$$

где μ – коэффициент сепарации; q_B – подача вороха подсолнечника на решёта очистки, кг/с.

Запишем итоговое выражение для потерь маслосемян, включающее в себя геометрические параметры площади регулируемых отверстий и скорость воздушного потока:

$$\begin{aligned} \Pi_B &= 1 - \left(1 - \exp \left(-r_{\text{отв}} \frac{S_{\text{отв}}(\tau)}{S_{\text{СП}}} \right) \right) \left(1 - \exp \left(-f \frac{k_{\text{ГМ}} \rho_{\text{взх}} a^2 (v_{\text{взх}} - \mu q_B)^2}{m_C g} \right) \right) \cong \\ &\cong \exp \left(-r_{\text{отв}} \frac{S_{\text{отв}}(\tau)}{S_C} \right) + \exp \left(-f \frac{k_{\text{ГМ}} \rho_{\text{взх}} a^2 (v_{\text{взх}} - \mu q_B)^2}{m_C g} \right). \end{aligned} \quad (77)$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приведены программа экспериментальных исследований, особенности использования основных методик, применяемых в опытах, включая методики исследований физико-механических свойств стеблестоя, корзинки, маслосемян и вороха подсолнечника, методики обработки результатов исследований. Представлены описание устройства лабораторных установок, приборов и оборудования, с помощью которых проводили исследования, и матрицы планирования экспериментов по исследуемым факторам.

Для определения осыпаемости маслосемян от взаимодействия с элементом центрального вала мотовила с витками и без них и от витков шнека-мотовила при различных режимах работы были разработаны лабораторные установки (рисунок 19).



а



б

Рисунок 19 – Лабораторные установки для исследования потерь маслосемян за жаткой: а – для определения зависимости осыпаемости маслосемян от скорости удара стебля или корзинки о вал мотовила; б – для определения потерь маслосемян в зависимости от ширины навивки, формы и длины отсекаелей, зазоров между крайними точками отсекаелей, витками шнека жатки и плоскостью режущего аппарата

Для определения величины дробления маслосемян в зависимости от ширины канавок и частоты вращения молотильного барабана использовали МСУ комбайна ACROS 530 и сменные бичи из полиуретана (рисунок 20).



Рисунок 20 – Экспериментальный молотильный барабан комбайна ACROS 530

Для исследования процесса очистки вороха подсолнечника дополнительным решетом с регулируемыми отверстиями была разработана лабораторная установка (рисунок 21).



Рисунок 21 – Лабораторная установка для определения содержания сорных примесей в проходе и маслосемян в сходе с решета: 1 – рама; 2 – косянки; 3 – бункер; 4 – подставка; 5 – вентилятор; 6 – электродвигатели; 7 – воздуховод; 8 – стяжка; 9 – лоток; 10 – решето с регулируемыми отверстиями; 11 – направляющие лотка; 12 – оси; 13 – шарниры; 14 – кривошипно-шатунный механизм; 15 – кривошип; 16, 17 – рычаги; 18 – шкив; 19 – ремённая передача; 20 – шкив

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований технико-экономических показателей зерноуборочных комбайнов отечественного и зарубежного производства, качественные и количественные оценки их технических параметров (см. таблицу). Приведены результаты исследований физико-механических свойств и геометрических параметров стеблестоя, корзинок и маслосемян подсолнечника. Экспериментально обоснованы конструкционные, кинематические и режимные параметры разработанных технических средств.

Результаты исследований технических параметров и удельных показателей зерноуборочных комбайнов

Показатель	Число наблюдений n_x	Математическое ожидание \bar{x}_j	Стандартное отклонение σ_{x_j}	Значение показателя при уровне значимости $\alpha = 0,95$	Коэффициент вариации v , %
P , кВт	229	189,41	55,34	79 ... 300	29,22
m_0 , т	212	11,63	2,46	6,71...16,55	21,15
L_6 , м	208	1,396	0,177	1,0...1,7	12,68
D_6 , м	209	0,62	0,073	0,474...0,766	11,8
S_p , м ²	182	4,79	0,99	2,8...6,78	20,76
S_c , м ²	178	5,9	1,02	3,86...7,94	17,3
P/m_0 , кВт/т	213	15,84	3,02	9,8...21,88	19,07
m_0/V_6 , т / м ³	213	1,69	0,282	1,13...2,26	16,68
Ψ_{P/L_6} , кВт/м	204	134,16	26,93	80,3...188,02	20,1
Ψ_{L_6/D_6}	207	2,359	0,429	1,5...3,22	18,2
Ψ_{S_p/S_c}	150	0,775	0,084	0,61... 0,94	10,8
Ψ_{S_p/L_6}	179	3,361	0,427	2,56...4,16	12,7

Для определения оптимальных конструкционных и режимных параметров шнека-мотовила, обеспечивающих минимальные потери маслосемян, проведен многофакторный эксперимент, в результате которого получено уравнение регрессии:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ж}} = & 184,61\lambda^3 + 102,34L_{\text{отс}}^3 + 8,067H_{\text{вит}}^3 + 4,8673S_{\text{шнек}}^3 + 5,1846S_{\text{ра}}^3 - \\
 & - 437,33\lambda^2 + 187,53L_{\text{отс}}^2 + 64,911S_{\text{вит}}^2 + 85,121S_{\text{шнек}}^2 + 90,66S_{\text{ра}}^2 - \\
 & - 132,94\lambda + +302,31L_{\text{отс}} + 198,84S_{\text{вит}} + 1156,2S_{\text{шнек}} + 1231S_{\text{ра}} + 363,62.
 \end{aligned} \tag{78}$$

Анализ регрессионного уравнения (78), проведенная проверка его коэффициентов по критерию Кохрена показали, что оно адекватно, воспроизводимо и возможно его использование для построения поверхности отклика исследуемой зависимости влияния основных параметров шнека-мотовила на потери малосемян (рисунки 22, 23). Минимальное значение потерь 0,63 % достигается при следующих значениях варьируемых факторов: длины отсекаателя $L_{отс} = 0,34$ м; ширины витка навивки $H_{вит} = 0,15$ м; показателе кинематического режима $\lambda = 1,7$; зазора между крайней точкой отсекаателя и витком шнека жатки $S_{шнecк} = 0,025$ м и крайней точкой отсекаателя и плоскостью режущего аппарата $S_{pa} = 0,025$ м.

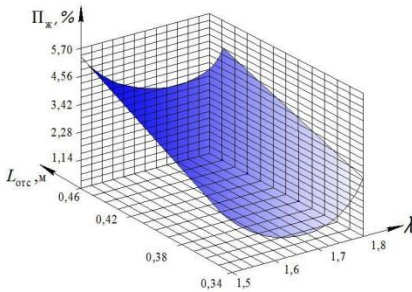


Рисунок 22 – Зависимость потерь малосемян $\Pi_{ж}$, % от показателя λ и длины отсекаателя $L_{отс}$, м

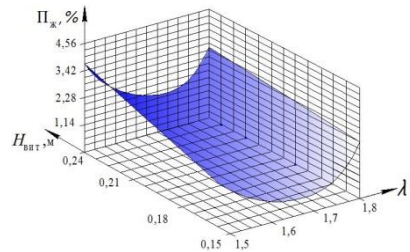


Рисунок 23 – Зависимость потерь малосемян $\Pi_{ж}$, % от показателя λ и ширины витка $H_{вит}$, м

Для установления оптимальных конструкционных параметров и режимов работы МСУ, обеспечивающих минимальное дробление и облущивание малосемян D при уборке подсолнечника, выполнен многофакторный эксперимент, по результатам которого получено уравнение регрессии:

$$D = 10,4 - 0,96B_k - 1,26q + 0,0484B_k^2 + 0,0641q^2 + 0,00825B_kq. \quad (79)$$

По полученному уравнению (79) были построены двумерные сечения зависимости дробления малосемян D от ширины канавки бичей b_k из полиуретана, м, подачи корзинок подсолнечника в молотильную камеру q , кг/с, и частоте вращения молотильного барабана n , мин^{-1} (рисунок 24).

Анализ полученных двумерных сечений поверхности отклика (см. рисунок 24) от исследуемых факторов показал, что минимальное значение величины дробления и облущивания малосемян $D = 0,4$ % при оборудовании молотильного барабана зерноуборочного комбайна бичами из полиуретана твердостью по Шору 90 ед. достигается при ширине канавки бича $b_k = 10$ мм; подачи

корзинок подсолнечника в молотильную камеру $q = 8$ кг/с и частоте вращения молотильного барабана $n_{\bar{c}} = 200$ мин⁻¹.

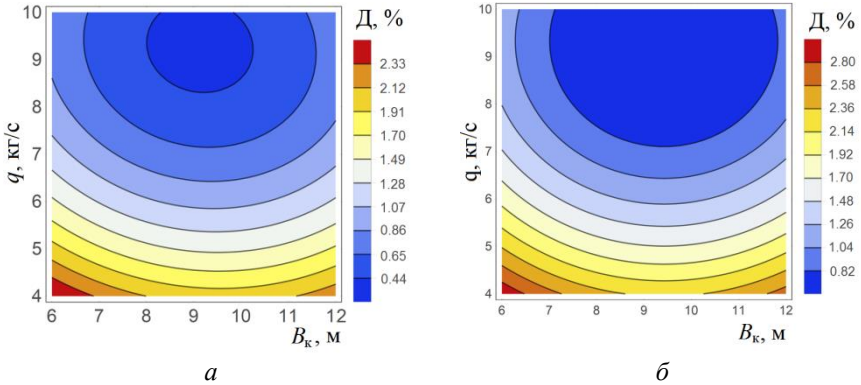


Рисунок – 24. Двумерное сечение зависимости дробления маслосемян D от ширины канавки бича b_k и подачи корзинок q : a – при частоте вращения молотильного барабана $n = 200$ мин⁻¹; b – при частоте вращения молотильного барабана $n = 300$ мин⁻¹

Для определения оптимальных конструкционных и режимных параметров решета с регулируемыми отверстиями системы очистки комбайна, обеспечивающих минимальное содержание сорных примесей Q_2 в бункерном ворохе и наименьшие потери маслосемян распылом, выполнены эксперименты и получены зависимости (рисунки 25, 26). Установлено, что с уменьшением τ от 0,85 до 0,7 при фиксированных значениях $q = 1,5$ кг/с и $v_b = 3,0$ м/с содержание сорных примесей в проходе вороха подсолнечника сорта Саратовский 20 через решето уменьшается от 2,71 до 2,3 % ко всей массе прохода. Минимальное содержание сорных примесей в проходе вороха через решето достигается при $q = 1,5$ кг/с, $v_b = 3,0$ м/с и $\tau = 0,58$.

Снижение содержания сорных примесей наблюдается и при очистке подсолнечника других сортов. Так, минимальное содержание сорных примесей 1,51 и 1,63 % в ворохе подсолнечника сортов Лакомка и Донской достигается при $\tau = 0,58$, $q = 1,5$ кг/с и $v_b = 3,0$ м/с.

При $\tau = 0,7$ и фиксированных значениях $q = 3,0$ кг/с и $v_b = 1,5$ м/с содержание сорных примесей в проходе вороха подсолнечника сорта Саратовский 20 составляет 4,6 % (см. рисунок 26). С повышением скорости воздушного потока от 1,5 до 3,0 м/с при $\tau = 0,7$ и $q = 2,5$ кг/с содержание сорных примесей Q_2 снижается от 4,44 до 3,1 %. Однако при уменьшении τ увеличивается количество семян в сходе с решета, так как они не проходят в отверстия и попадают в колосовой шнек (см. рисунки 25, 26).

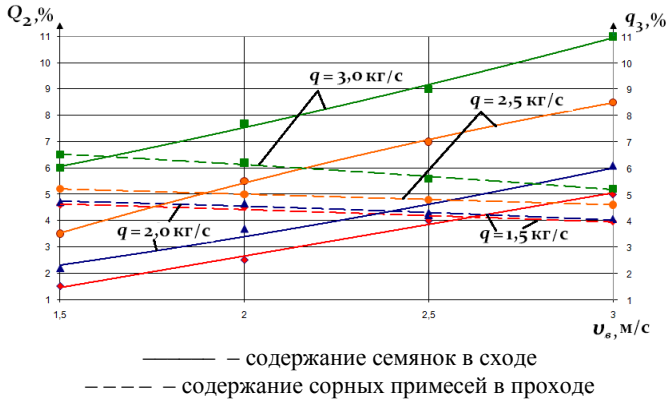


Рисунок 25 – Экспериментальные зависимости содержания сорных примесей Q_2 , % и семян подсолнечника Саратовский 20 q_3 , %, в сходе с решета с регулируемыми отверстиями от подачи вороха подсолнечника q , кг/с, и скорости воздушного потока v_B , м/с, при $\tau = 0,85$

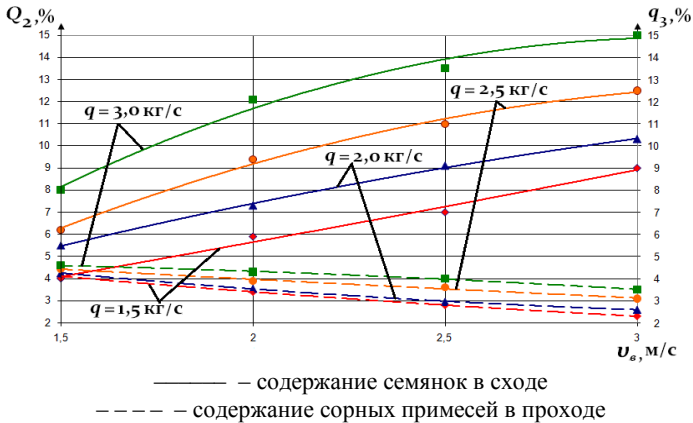


Рисунок 26 – Экспериментальные зависимости содержания сорных примесей Q_2 , % и семян подсолнечника Саратовский 20 q_3 , %, в сходе с решета с регулируемыми отверстиями от подачи вороха подсолнечника q , кг/с, и скорости воздушного потока v_B , м/с, при $\tau = 0,7$

Так, при минимальном значении сорности $Q_2 = 2,71$ % при $q = 1,5$ кг/с и $v_B = 3,0$ м/с количество семян в сходе с решета $q_3 = 4$ %. С увеличением q от 1,5 до 3 кг/с при $v_B = 3,0$ м/с q_3 возрастает от 9 до 15 %. С уменьшением τ (см. рисунок 26) величина q_3 также растёт. Так, при $q = 1,5$ кг/с и $v_B = 3,0$ м/с $q_3 = 9$ %.

Содержание семян подсолнечника сорта Лакомка q_3 в сходе с решета составляет 14 %, сорта Донской – 8 % при $Q_2 = 1,51$ % и $Q_2 = 1,63$ %, $\tau = 0,58$.

В пятой главе «**Результаты производственных исследований и технико-экономическая оценка применения разработанных технических решений**» приведены результаты производственных испытаний зерноуборочного комбайна на уборке подсолнечника, оснащённого новым шнеком-мотовилом, усовершенствованным молотильно-сепарирующим устройством и решетом с регулируемыми отверстиями системы очистки комбайна. Исследования выполняли с ранее установленными оптимальными конструкционными параметрами и режимами работ предложенных технических средств в условиях Саратовской и Волгоградской областей (рисунок 27).

Производственные исследования проводили при уборке подсолнечника сортов Лакомка, Саратовский 20 и Донской. Результаты показали, что использование жатки с новым шнеком-мотовилом при уборке подсолнечника обеспечивает снижение потерь маслосемян на 9,57 % по сравнению с жаткой с лопастным мотовилом и на 3,67 % по сравнению с приспособлением с трубным мотовилом.



Рисунок 27 – Производственные испытания шнека-мотовила

Применение усовершенствованного молотильно-сепарирующего устройства с полиуретановыми бичами по сравнению с серийными стальными бичами позволяет уменьшить дробление и облущивание маслосемян на 5,6 %. За счёт установки дополнительного решета с регулируемыми отверстиями в системе очистки комбайна происходит снижение сорности в бункерном ворохе на 6,3 % (рисунок 28).



а

б

Рисунок 28 – Установка решета с регулируемыми отверстиями:

а – между верхним и нижним решетами в комбайне ACROS 530;

б – между нижним решетом и транспортной доской в комбайне «Нива» СК-5-1

Годовая экономия совокупных затрат денежных средств от эксплуатации зерноуборочного комбайна на уборке подсолнечника с предложенным новым шнеком-мотовилом, молотильно-сепарирующим устройством и дополнительным решетом с регулируемыми отверстиями за счёт снижения потерь, дробления, облущивания маслосемян и уменьшения сорности в бункерном ворохе составит 857 932 руб. на один комбайн при сроке окупаемости 0,51 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Решая поставленную научную проблему повышения качества работы зерноуборочного комбайна снижением потерь маслосемян путём совершенствования технологических процессов и технических средств уборки подсолнечника, в диссертационной работе разработаны и исследованы технические решения шнека-мотовила, молотильного аппарата и решёт системы очистки комбайна, обеспечивающие снижение потерь, дробления и облущивания, уменьшение сорности в бункерном ворохе маслосемян подсолнечника по сравнению с существующими.

2. Анализ и систематизация технических средств уборки подсолнечника позволили установить, что потери маслосемян, дробление и облущивание достигают 20 %. Существенно содержание сорных примесей в ворохе подсолнечника – до 12 %. Аналитические исследования технико-экономических показателей существующих зерноуборочных комбайнов позволили определить теоретические законы рядов их распределений, оценить состояние развития комбайнов в технических параметрах и удельных показателях (см. таблицу). Получены частные зависимости основных технических показателей зерноуборочных комбайнов (см. рисунки 1, 2).

Наиболее перспективными являются разработка и создание новых технических средств систем комбайна, позволяющие снизить потери маслосемян подсолнечника при уборке.

3. На основе положений системного анализа разработана структурно-концептуальная модель потерь маслосемян подсолнечника при уборке. Предложена система уравнений (14), позволяющая дать оценку работы зерноуборочного комбайна с учётом параметров его технических систем. Получены выражения (15), (16) для расчета суммарных относительных потерь при работе комбайна. Определены зависимости: (36) – потерь маслосемян подсолнечника от конструкционных и режимных параметров шнека-мотовила, (52) – дробления маслосемян от конструкционных и режимных параметров МСУ, (77) – потерь маслосемян в системе очистки распылом от воздушного потока; (67) – содержания сорных примесей в проходе вороха подсолнечника через решето с регулируемыми отверстиями.

4. Уточнены физико-механические свойства и геометрические параметры маслосемян, корзинок и стеблестоя подсолнечника при уборке. Исследования проводили на сортах Лакомка, Саратовский 20 и Донской. Результаты получены при доверительной вероятности, равной 0,95. Для сорта Саратовский 20 высота растений составила 102,8...168,8 см, влажность маслосемян – 7,9...8,3 %. Длина, ширина и толщина маслосемян – соответственно 10,1...15,9 мм, 5,3...8,1 и 3,0...4,8 мм. Масса маслосемян в одной корзинке – 29,7...79,0 г. Длина, ширина и толщина маслосемян сорта Донской – соответственно 8,6...12,0 мм, 3,5...5,7 и 1,9...3,7 мм; сорта Лакомка – 11,5...15,5 мм, 5,6...7,6 и 3,1...4,5 мм.

5. Разработаны и исследованы новые технические решения, позволяющие снизить потери, дробление, облущивание маслосемян и сорность вороха в бункере при уборке подсолнечника:

- шнек-мотовило (патент РФ № 73805), обеспечивающий плавный захват стеблестоя с минимальными потерями маслосемян при ширине навивки 0,15 м, длине отсекаателя 0,34 м, угле наклона рабочей части отсекаателя к его основанию 140°, коэффициенте кинематического режима 1,7, зазоре между крайней точки кромки отсекаателя и навивкой шнека жатки 0,025 м, зазоре между крайней точкой кромки отсекаателя и плоскостью режущего аппарата 0,025 м;

- молотильный аппарат для обмолота корзинок подсолнечника (патенты РФ № 190890, 190894), позволяющий достичь величины дробления 0,4 % с недомолотом 0,2–1,6 %, с бичами из полиуретана марки СКУ-ПФЛ-100 с твердостью по шкале Шора 90 ед. с шириной канавки 10 мм при частоте вращения барабана 200 мин⁻¹;

- решето с регулируемыми отверстиями (патент РФ № 2008101295/22), устанавливаемое в систему очистки комбайна, длиной

0,99 м, количеством гофр 30 шт., коэффициентом смещения отверстий 0,85 для сорта Лакомка; 0,7 – для сорта Саратовский 20; 0,58 – для сорта Донской при скорости воздушного потока 3 м/с.

6. Производственные испытания зерноуборочного комбайна при уборке подсолнечника с новыми предложенными техническими средствами позволили снизить потери маслосемян на 4,37 %, дробление и облущивание на 5,6 % и уменьшить сорность вороха подсолнечника на 6,3 %. Годовой экономический эффект применения зерноуборочного комбайна с разработанными техническими средствами: шнеком-мотовилом, молотильным аппаратом и решётком с регулируемыми отверстиями системы очистки на уборке подсолнечника с урожайностью 1,65 т/га в условиях Саратовской области составил 857 932 руб. на комбайн.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При разработке новых технических средств систем зерноуборочных комбайнов, предназначенных для уборки подсолнечника, использовать полученные качественные и количественные оценки (см. таблицу) отечественных и зарубежных комбайнов в технических параметрах и удельных показателях.

Для снижения потерь маслосемян подсолнечника при уборке на базовую жатку зерноуборочного комбайна устанавливать шнек-мотовило (патент № 145819/22), что позволит обеспечить плавный захват стеблестоя с минимальными потерями.

Базовые модели зерноуборочных комбайнов, используемые для уборки подсолнечника, оборудовать молотильным аппаратом (патенты РФ № 190890, 190894), позволяющим снизить дробление и облущивание маслосемян.

Для уменьшения содержания сорных примесей в ворохе маслосемян подсолнечника при уборке в серийных зерноуборочных комбайнов предусмотреть возможность установки решета с регулируемыми отверстиями (патент РФ № 73805) в систему очистки.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Для дальнейшего уменьшения потерь дробления, облущивания маслосемян подсолнечника при уборке и снижения сорных примесей в ворохе с применением инновационных технических средств в системах зерноуборочного комбайна их следует максимально адаптировать к различным природно-климатическим зонам России. Особый интерес представляют исследования в области создания новых технических решений для снижения повреждаемости других легкотравмируемых сельскохозяйственных культур при уборке.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

*В рецензируемых научных изданиях,
рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ*

1. **Старцев, А. С.** Экспериментальная зависимость сорности зернового вороха подсолнечника от величины смещения отверстий универсального решета с регулируемыми отверстиями / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // Научное обозрение. – 2011. – № 5. – С. 182-191 (0,86/0,43 печ. л.).

2. **Старцев, А. С.** Исследование влияния режимных параметров шнека-мотовила на потери семян подсолнечника при уборке / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // Научное обозрение. – 2011. – № 6. – С. 131-136 (0,5/0,25 печ. л.).

3. **Старцев, А. С.** Математическое выражение просеивания зернового вороха подсолнечника сквозь отверстия, имеющие форму линзы / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // Аграрная наука. – 2012. – № 1. – С. 31 (0,1/0,05 печ. л.).

4. **Старцев, А. С.** Экспериментальная зависимость влияния конструктивных параметров шнека-мотовила на потери семян подсолнечника / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // Научное обозрение. – 2012. № 1. – С. 106-115 (0,92/0,46 печ. л.).

5. **Старцев, А. С.** Теоретическая зависимость потерь семян подсолнечника от скорости движения комбайна, оснащенного шнеком-мотовилом / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // Аграрная наука. – 2012. – № 2. – С. 31-32 (0,12/0,06 печ. л.).

6. **Старцев, А. С.** Математическое выражение для определения оптимального значения коэффициента смещения отверстий универсального решета с регулируемыми отверстиями при очистке зернового вороха подсолнечника / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2012. – № 3. – С. 49-51 (0,24/0,12 печ. л.).

7. **Старцев, А. С.** Теория технологического процесса сепарации вороха подсолнечника решетом с регулируемыми отверстиями в очистке комбайна / А. С. Старцев, А. А. Протасов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 10. – С. 52-54 (0,42/0,21 печ. л.).

8. **Старцев, А. С.** Теоретическая зависимость содержания сорных примесей при очистке вороха подсолнечника от коэффициента смещения решета / А. С. Старцев, А. А. Протасов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 11. – С. 50-52 (0,36/0,18 печ. л.).

9. **Старцев, А. С.** Динамические характеристики стебля подсолнечника / А. С. Старцев // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – 2016. – № 6 (62). – С. 94-98 (0,6 печ. л.).

10. **Старцев, А. С.** Экспериментально-теоретическое обоснование конструкции и диаметра трубного вала шнека-мотовила жатки для уборки подсолнечника / А. С. Старцев // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – 2017. – № 1 (63). – С. 70-74 (0,6 печ. л.).

11. **Старцев, А. С.** Результаты исследований физико-механических свойств стеблестоя подсолнечника / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, А. А. Куньшин, А. С. Данилова // *Аграрный научный журнал*. – 2017. – № 3. – С. 59-64 (0,62/0,15 печ. л.).

12. **Старцев, А. С.** Влияние решета с регулируемыми отверстиями на влажность бункерного вороха подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Тимофеев, Т. Ю. Карпова // *Научная жизнь*. – 2017. – № 4. – С. 14-21 (0,6/0,2 печ. л.).

13. **Старцев, А. С.** Геометрическое обоснование размеров регулируемых отверстий решета для очистки вороха подсолнечника в комбайне / А. С. Старцев, А. А. Тимофеев, Т. Ю. Карпова // *Научная жизнь*. – 2017. – № 5. – С. 16-23 (0,6/0,2 печ. л.).

14. **Старцев, А. С.** Уравнения вращения шнека-мотовила жатки для уборки подсолнечника при различных формах отсекателей / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, С. А. Иванов, А. В. Данилин // *Аграрный научный журнал*. – 2017. – № 10. – С. 55-60 (0,6/0,15 печ. л.).

15. **Старцев, А. С.** Состав и геометрические параметры вороха подсолнечника в комбайне при подаче на решета очистки / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, А. А. Куньшин, В. С. Мавзовин // *Аграрный научный журнал*. – 2018. № 10. – С. 66-70 (0,6/0,15 печ. л.).

16. **Демин, Е. Е.** Результаты исследований длины и диаметра молотильного барабана зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, **А. С. Старцев**, В. А. Ананьев, С. В. Мавзовин // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 7. – С. 66-70 (0,4/0,1 печ. л.).

17. **Демин, Е. Е.** Результаты аналитических исследований технических параметров зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, **А. С. Старцев**, Е. С. Нестеров, Р. В. Бровкова // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 9. – С. 56-60 (0,4/0,1 печ. л.).

18. **Старцев, А. С.** Системный анализ работы зерноуборочного комбайна на уборке подсолнечника / А. С. Старцев // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 12. – С. 78-80 (0,4 печ. л.).

19. **Старцев, А. С.** Теоретическое обоснование дробления маслосемян при обмолоте корзинок подсолнечника бичами из материалов с упругими свойствами / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, В. А. Макаров, М. Б. Латышенок, А. А. Куньшин // *Вестник Рязанского госагроуниверситета*. – 2018. – № 3 (39). – С. 118-125 (0,8/0,15 печ. л.).

20. **Старцев, А. С.** Анализ сил взаимодействия бичей молотильного барабана с корзинками подсолнечника при обмолоте / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, А. А. Куньшин, А. В. Данилин, В. А. Ананьев // *Аграрный научный журнал*. – 2019. – № 1. – С. 86-89 (0,5/0,1 печ. л.).

21. **Старцев, А. С.** Математическое выражение для определения ударного ускорения маслосемян при обмолоте корзинок подсолнечника / А. С. Старцев, С. А. Макаров, А. А. Куньшин, Е. С. Нестеров // *Аграрный научный журнал*. – 2019. – № 4. – С. 98-100 (0,2/0,07 печ. л.).

22. **Старцев, А. С.** Математическое выражение для определения потерь маслосемян подсолнечника от воздушного потока при использовании решета с регулируемыми отверстиями / А. С. Старцев // Известия Оренбургского ГАУ. – 2019. – № 4 (78). – С. 119-122 (0,44 печ. л.).

В научных изданиях, включённых в базу данных Scopus

23. **Startsev A. S.** Results of the production test of sunflower harvesting attachment with an auger reel / E. E., Demin, A. V. Danilin, O. A. Vasilyev, A. G. Terentyev // В сборнике IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. 2020. – С. 012006 (Scopus) (0,35/0,07 печ. л.).

24. **Startsev A. S.** Comparative evaluation of the operation of a combine harvester with an additional sieve with adjustable holes for sunflower harvesting / S. A. Makarov, E. S. Nesterov, Yu. F. Kazakov, A. G. Terentyev // В сборнике IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. 2020. – С. 012007 (Scopus) (0,42/0,08 печ. л.).

В авторских свидетельствах и патентах

25. Пат. 72115 Российская Федерация, МПК А 01 D 34/00. Шнекомоторное специализированной жатки для уборки подсолнечника / Попов Ю. И., Попов М. Ю., Попов И. Ю., **Старцев А. С.** – № 2007145819/22 ; заявл. 10.12.2007 ; опублик. 10.04.2008, Бюл. № 10. – 3 с.

26. Пат. 73805 Российская Федерация, МПК В 02 В 1/02. Решето с регулируемыми отверстиями для очистки зерна различных культур / Попов Ю. И., Попов И. Ю., Попов М. Ю., **Старцев А. С.** – № 2008101299/22 ; заявл. 09.01.2008 ; опублик. 10.06.2008, Бюл. № 16. – 2 с.

27. Пат. 190890 Российская Федерация, МПК А 01 F 11/00. Молотильный аппарат для обмола корзиночек подсолнечника / **Старцев А. С.**, Демин Е. Е., Иванов С. А., Куньшин А. А. – № 2019109875 ; заявл. 03.04.2019 ; опублик. 16.07.2019, Бюл. № 20. – 7 с.

28. Пат. 190894 Российская Федерация, МПК А 01 F 11/00. Молотильный аппарат для обмола корзиночек подсолнечника / **Старцев А. С.**, Демин Е. Е., Иванов С. А., Куньшин А. А. – № 2019110115 ; заявл. 05.04.2019 ; опублик. 16.07.2019, Бюл. № 20. – 8 с.

В журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций и семинаров

29. **Старцев, А. С.** Технологические недостатки уборки подсолнечника / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // Материалы Междунар. научн.-практ. конф., посвященной 120-й годовщине со дня рождения Н. И. Вавилова. – Саратов : Научная книга. 2007. – Ч. 3. – С. 216-218 (0,12/0,06 печ. л.).

30. **Старцев, А. С.** Технологические недостатки процесса провеивания зерна в комбайнах / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // Материалы II Всероссийской науч.-практ. конф. «Аграрная наука в XXI веке : проблемы и перспективы». – Саратов : Научная книга, 2008. – С. 128-130 (0,12/0,06 печ. л.).

31. **Старцев, А. С.** Устранение потерь при уборке подсолнечника за счет конструкции шнека-мотовила / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // *Материалы II Всероссийской науч.-практ. конф. Аграрная наука в XXI веке : проблемы и перспективы.* – Саратов : Научная книга, 2008. – С. 132-135 (0,12/0,06 печ. л).

32. **Старцев, А. С.** Анализ эксплуатационных показателей российских комбайнов / А. С. Старцев // *Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства России : сб. науч. тр.* – Саратов : ИЦ «Наука», 2008. – С. 170-172 (0,11 печ. л.).

33. **Старцев, А. С.** Использование дополнительного решета в комбайне / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // *Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства России : сб. науч. тр.* – Саратов : ИЦ «Наука», 2008. – С. 172-174 (0,12/0,06 печ. л).

34. **Старцев, А. С.** Анализ существующих средств для уборки подсолнечника / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. В. Красникова / ФГОУ ВПО «СГАУ им. Н. И. Вавилова».* – Саратов, 2008. – С. 133-137 (0,22/0,11 печ. л).

35. **Старцев, А. С.** Конструкция мотовила для уборки подсолнечника / А. С. Старцев, М. Ю. Попов // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. В. Красникова / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова».* – Саратов, 2008. – С. 131-135 (0,16/0,08 печ. л.).

36. **Старцев, А. С.** Конструкция и принцип работы решета с регулируемыми отверстиями / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. В. Красникова / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова».* – Саратов, 2008. – С.137-141 (0,16/0,08 печ. л).

37. **Старцев, А. С.** Методика проведения экспериментальных исследований при эксплуатации шнека-мотовила / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. В. Красникова / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова».* – Саратов, – 2008 г. – С. 145-148 (0,15/0,075 печ. л.).

38. **Старцев, А. С.** Методика проведения экспериментальных исследований при работе универсального решета / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию Саратовского госагроуниверситета.* – Саратов : ИЦ «Наука», 2008. – Ч. 2. – С. 330-331 (0,12/0,06 печ. л.).

39. **Старцев, А. С.** Пути решения проблемы дробления семян подсолнечника при обмолоте / А. С. Старцев, Н. М. Мусацков // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию профессора В. Ф. Дубинина.* – Саратов : КУБиК, 2010. – С. 199-201 (0,14/0,07 печ. л.).

40. **Старцев, А. С.** Сравнительная оценка молотильно-сепарирующих устройств в процессах обмолота подсолнечника / А. С. Стар-

цев, Н. М. Мусацков // Материалы Междунар.науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора В. Г. Кобы / ФГОУ ВПО «СГАУ им. Н.И. Вавилова». – Саратов, 2011. – С. 211-216 (0,32/0,16 печ. л.).

41. **Старцев, А. С.** Лабораторная установка для исследования процесса работы универсального решета с регулируемыми отверстиями / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора В. Г. Кобы / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2011. – С. 216-220 (0,32/0,16 печ. л.).

42. **Демин, Е. Е.** Энергонасыщенность и материалоемкость зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, **А. С. Старцев**, А. А. Серебряков // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Техника будущего : перспективы развития сельскохозяйственной техники» / ФГБОУ ВПО «КубГАУ» ; ООО «КЛААС». – Краснодар, 2013. – С. 24-27 (0,48/0,16 печ. л.).

43. **Демин, Е. Е.** Результаты анализа мощности двигателя и массы зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, **А. С. Старцев**, А. А. Серебряков // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 105-летию со дня рождения профессора В. В. Красникова. – Саратов : Буква, 2013. – С. 40-43 (0,24/0,08 печ. л.).

44. **Старцев, А. С.** Зависимости мощности двигателя, массы и объема бункера зерноуборочных комбайнов / А. С. Старцев, А. А. Серебряков. С. А. Иванов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства» – Саратов : Буква, 2013. – С. 282-284 (0,24/0,08 печ. л.).

45. **Старцев, А. С.** Технология обмолота подсолнечника молотильно-сепарирующим устройством с подпружиненными бичами / А. С. Старцев, Н. М. Мусацков // Восьмой Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций. – Саратов : Буква, 2013. – С. 288-289 (0,06/0,03 печ. л.).

46. **Старцев, А. С.** Технология очистки зернового вороха подсолнечника решетом с регулируемыми отверстиями / А. С. Старцев, И. Ю. Попов // Восьмой Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций.– Саратов : Буква, 2013. – С. 290-291 (0,06/0,03 печ. л.).

47. **Старцев, А. С.** Выражения для определения моментов сил, действующих на стебель подсолнечника при его захвате шнеком-мотовилом / А. С. Старцев, Е. Е. Демин // Фундаментальные и прикладные исследования в высшей аграрной школе : сб. науч. тр. – Саратов, 2014. – С. 11-17 (0,46/0,23 печ. л.).

48. **Старцев, А. С.** Коэффициент смещения отверстий решета с регулируемыми отверстиями для очистки вороха подсолнечника / А. С. Старцев // Фундаментальные и прикладные исследования в высшей аграрной школе : сб. науч. тр. – Саратов, 2014. – С. 19-27 (0,5 печ. л.).

49. **Старцев, А. С.** Техничко-экономическая оценка работы зерноуборочного комбайна с решетом с регулируемыми отверстиями на уборке под-

солнечника / А. С. Старцев // *Фундаментальные и прикладные исследования в высшей аграрной школе* : сб. науч. тр. – Саратов, 2014. – С. 28-35 (0,43 печ. л.).

50. **Старцев, А. С.** Технические условия на уборку подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин // *Фундаментальные и прикладные исследования в высшей аграрной школе* : сб. науч. тр. – Саратов, 2014. – С. 36-39 (0,20/0,10 печ. л.).

51. **Старцев, А. С.** Анализ экспериментальных зависимостей содержания сорных примесей вороха подсолнечника в проходе решета с регулируемыми отверстиями от коэффициента смещения отверстий / А. С. Старцев, В. Ф. Дмитриев // *Научная мысль* : сб. науч. тр. – Саратов : Буква, 2015. – № 3. – С. 139-145 (0,58/0,29 печ. л.).

52. **Старцев, А. С.** Теоретическое обоснование рабочей длины решета с регулируемыми отверстиями при очистке вороха подсолнечника / А. С. Старцев, С. А. Иванов // *Научная мысль* : сб. науч. тр. – Саратов : Буква, 2015. – № 3. – С. 114-120 (0,62/0,31 печ. л.).

53. **Старцев, А. С.** Результаты анализа площади решет и соломотряса зерноуборочных комбайнов / А. С. Старцев, А. А. Серебряков, В. А. Ананьев // *Научная мысль* : сб. науч. тр. – Саратов, 2015. – № 3. – С. 59-62 (0,36/0,12 печ. л.).

54. **Старцев, А. С.** Результаты лабораторно-полевых опытов по изучению осыпаемости корзинок подсолнечника в зависимости от ускорения их движения / А. С. Старцев // *Материалы Междунар. науч.-практ. конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I / ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ»*. – Воронеж, 2015. – С. 299-309 (0,68 печ. л.).

55. **Старцев, А. С.** Зависимости площади решёт, соломотряса и длины молотильного барабана зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, А. С. Старцев, С. Л. Ананьева // *Материалы Междунар. науч.-практ. конференц., посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I / ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ»*. – Воронеж, 2015. – С. 310-313 (0,24/0,06 печ. л.).

56. **Демин, Е. Е.** Исследования коэффициентов площади решёт по площади соломотряса и по длине молотильного барабана зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, А. С. Старцев, А. А. Серебряков, В. А. Ананьев // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 2016. – № 10. – С. 17-20 (0,4/0,1 печ. л.).

57. **Старцев, А. С.** Моделирование параметров стеблестоя подсолнечника при уборке шнеком-мотовилом / А. С. Старцев // *Материалы национал. российской конф. «Инженерному образованию – научную основу» / ФГБОУ ВО «Оренбургский ГАУ»*. – Оренбург, 2016. – С. 39-48 (0,57 печ. л.).

58. **Старцев, А. С.** Лабораторная установка для определения осыпемости корзинок подсолнечника от скорости удара корзинки и стебля о шнекомотовило / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, А. С. Данилова // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора А. Г. Рыбалко / ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова».* – Саратов, 2016. – С. 58-66 (0,42/0,14 печ. л.).

59. **Старцев, А. С.** Молотильно-сепарирующее устройство для обмола подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора А. Г. Рыбалко / ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова».* – Саратов, 2016. – С. 67-69 (0,14/0,07 печ. л.).

60. **Старцев, А. С.** Возможности использования полиуретана и капролона в качестве материала бичей молотильного барабана зерноуборочного комбайна / А. С. Старцев, А. А. Куньшин, В. А. Ананьев // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию создания Ассоциации «Аграрное образование и наука».* – Саратов, 2018. – С. 72-79 (0,4/0,12 печ. л.).

61. **Старцев, А. С.** К выводу выражения для определения ударного ускорения бича молотильного барабана из материала с упругими свойствами при обмолоте корзинок подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин, В. А. Ананьев // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию создания Ассоциации «Аграрное образование и наука».* – Саратов, 2018. – С. 79-83 (0,4/0,1 печ. л.).

62. **Старцев, А. С.** Экспериментальная зависимость дробления маслосемян при обмолоте подсолнечника от подачи корзинок в молотильную камеру и ширины канавки бича из полиуретана / А. С. Старцев, А. А. Куньшин, Е. С. Нестеров // *Вестник Чувашской ГСХА.* – 2019. – № 2 (9). – С. 102-105 (0,3/0,01 печ. л.).

63. **Старцев, А.С.** Экспериментальное обоснование формы и размеров рифов и канавок бича из полиуретана молотильного барабана для обмола корзинок подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин, В. А. Ананьев // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем».* – Оренбург, 2019. – С. 169-174 (0,3/0,01 печ. л.).

64. **Старцев, А. С.** Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин // *Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тезисов докладов 2-й Междунар. науч.-практ. конф. / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш».* – Гомель, 2018. – С. 28-30 (0,125/0,06 печ. л.).

65. **Старцев, А. С.** Экспериментальное обоснование формы и размеров рифов и канавок бича из полиуретана молотильного барабана для обмола корзинок подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин, В. А. Ананьев // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Совершенствование инженерно-*

технического обеспечения производственных процессов и технологических систем». – Оренбург, 2019 – С. 169-174 (03/0,01 печ. л.).

66. **Старцев, А. С.** Технология и результаты работы решета с регулируемыми отверстиями на очистке маслосемян / А. С. Старцев, А. А. Куньшин // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тезисов докладов 2-й Междунар. науч.-практ. конф. / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель, 2018. – С. 34-35 (0,125/0,06 печ. л.).

67. **Старцев, А. С.** Совершенствование технологических процессов и технических средств уборки подсолнечника / А. С. Старцев, А. А. Куньшин // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тезисов докладов 2-й Междунар. науч.-практ. конф. / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель, 2018. – С. 28-30 (0,125/0,06 печ. л.).

68. **Startsev, A. S.** Analysis of the dynamics of sieve interaction having adjustable holes with combine cleaned sunflower pile / A. S. Startsev, S. A. Makarov, E. S. Nesterov, Yu. F. Kazakov, A. P. Akimov // Материалы Междунар. научн.-практ. конф. «Перспективы развития аграрных наук» / ФГБОУ ВО «Чувашская ГСХА» : сб. тезисов конференции. – Чебоксары, 2019. – С. 103-105 (0,25/0,35 печ. л.).

69. **Startsev, A. S.** Production evaluation of the operation of the auger-motovil of header for sunflower harvesting / A. S. Startsev, E. E. Demin, A. V. Danilin, O. A. Vasilyev, V. I. Medvedev // Материалы Междунар. научн.-практ. конф. «Перспективы развития аграрных наук» / ФГБОУ ВО «Чувашская ГСХА» : сб. тезисов конференции. – Чебоксары, 2019. – С. 105-107 (0,25/0,05 печ. л.).

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16

Печ. л. 2,0

Тираж 100

Заказ
