

На правах рукописи

КОВАЛЬ ЗИНАИДА МИХАЙЛОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ ЗАЩИТНОГО ОПРЫСКИВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Новокубанск – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех») - Новокубанском филиале ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ)

Научный консультант:

Киреев Иван Михайлович,

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией разработки испытательного оборудования Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ)

Официальные оппоненты:

Завражнов Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ»

Борисенко Иван Борисович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, профессор кафедры «Земледелие и агрохимия» ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»

Дринча Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологические системы агропромышленного комплекса» ФГБОУ ВО «Арктический государственный Агротехнологический университет»

Ведущее предприятие:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Защита состоится « » 2022 г. в часов на заседании диссертационного совета Д 900.006.10 на базе Агротехнологической академии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» по адресу: 295492, Республика Крым, г. Симферополь, пос. Аграрное, АТА КФУ им. В.И. Вернадского.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агротехнологической академии ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, на сайте <http://cfuv.ru/> и на официальном сайте ВАК РФ <http://vak.minobrnauki.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, Д 900.006.10
кандидат технических наук

Ермолин
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с постановлением № 996 от 25 августа 2017 г. Правительством Российской Федерации большая роль отводится проблемам модернизации технологии возделывания сельскохозяйственных культур и повышения их урожайности, в том числе особое внимание уделяется защите растений от вредителей, болезней и сорняков. В этом важное значение приобретает совершенствование не только конструкции опрыскивателей и их распылителей, но и методов оценки их функционирования. Такая оценка должна быть применима к авиации, генераторам, вентиляторам и штанговым опрыскивателям в части негативного воздействия пестицидов на человека и окружающую среду.

Поэтому совершенствование технологии, методов и технических средств опрыскивания сельскохозяйственных растений растворами пестицидов представляет собой весьма важную народно-хозяйственную проблему.

Степень разработанности темы исследований. Изучению опрыскивания растений при их защите от сорняков, вредителей и болезней посвящены труды ученых: В.А. Абубикерова, И.Б. Борисенко, И.Н. Велецкого, Ю.М. Веретенникова, В. А. Вялых, В.С. Григорьева, В.Ф. Дунского, П.А. Догоды, В.М. Дринчи, Н.С. Лепехина, А.К. Лысова, А.В. Ключкова, В.С. Ключковой, К.П. Куценого, Н.В. Никитина, К.В. Новожилова, М.С. Раскина, С.С. Санина, Д.Г. Скалова, М.С. Соколова, Ю.Я. Спиридонова, С.П. Старостина, Л. Я. Степука, Ю.А. Уткова, В.Ф. Федоренко, Н.А. Фукса, А.А. Цымбала, В. Г. Шестакова, Е.У. Bals, W.Y. Maas, G.A. Matthews, и др.

Несмотря на большое количество исследований и значительные успехи ученых и научных коллективов нашей страны и за рубежом в области защиты растений, многие ее вопросы все еще далеки от совершенства. Не решены вопросы оценки качества опрыскивания растений и работы опрыскивателей в целом, а также входящих в их состав распылителей различных конструкций. При испытании опрыскивателей на машиноиспытательных станциях с большой трудоемкостью и значительными затратами материальных средств определяется только дисперсность капель на карточках подкрашенной жидкости. Из-за отсутствия методической и приборной базы при испытании опрыскивателей на машиноиспытательных станциях (МИС) не определяется снос капельной жидкости, содержащейся в мелкодисперсном аэрозоле, за пределы обрабатываемого объекта. Современные технологии базируются на статистических данных дисперсности распылителей опрыскивателей, приведенной в каталогах. Моделирование распылителей жидкости для технологий опрыскивания не исследуется. В процессе движения распылителя жидкости в составе опрыскивателя происходит изменение спектрального распределения капель в факалах распыла жидкости в результате их коагуляции, происходящей под влия-

нием встречного воздушного напора. Применение воздушных струй между распылителями для исключения сноса и испарения капель дает только частичное решение. Опрыскиватели с воздушным сопровождением капель дорогие и сложные по конструкции. Применение экранов к распылителям также не решает существующую проблему.

Это еще раз свидетельствует о том, что обоснование перспективных направлений совершенствования технологии, методов и средств опрыскивания растений растворами пестицидов, обеспечивающих их защиту, представляет собой крупную научно-техническую **проблему**, имеющую важное хозяйственное значение.

Цель работы: Повышение эффективности защиты сельскохозяйственных растений путем совершенствования технологии, методов и средств опрыскивания растений их растворами пестицидов по критериям ресурсосбережения и экологической безопасности.

Задачи исследований:

1. Обосновать схемы и параметры технических средств для испытания, исследования и оптимизации работы опрыскивателей растений.
2. Усовершенствовать пневмомеханические и пневмогидравлические распылители жидкости с воздушным сопровождением капель к объектам обработки, исключаящие их снос в окружающую среду.
3. Теоретически обосновать процесс работы пневмогидравлического распылителя.
4. Обосновать параметры воздухораспределительной системы с пневмогидравлическими распылителями жидкости в технологии с использованием штангового опрыскивателя и воздушного сопровождения, и осаждения капель на растения.
5. Разработать методики экспериментальных исследований распылителей жидкости в составе стендового оборудования с нанесением капель подкрашенной жидкости на предметные карточки, а также методику агротехнической оценки борьбы с сорной растительности опрыскиванием их с помощью пневмогидравлических устройств.
6. Провести экспериментальные исследования методов и средств оценки моделирования технологических процессов работы распылителей и результатов опрыскивания растений с применением усовершенствованных пневмомеханических и пневмогидравлических устройств.
7. Дать экономическую оценку использования усовершенствованной технологии, методов и технических средств в условиях сельскохозяйственного производства, разработать предложения производству и рекомендации по дальнейшему научному развитию основных вопросов проблемы.

Рабочая гипотеза: повышение показателей защиты растений опрыскиванием возможно совершенствованием конструкции и процесса работы распы-

лителей на основе воздушного сопровождения и осаждения на них капель пестицидов.

Научная гипотеза: повышения эффективности защиты сельскохозяйственных растений можно добиться теоретическим и экспериментальным обоснованием процесса работы и оптимизацией основных параметров усовершенствованных технических средств опрыскивания их растворами пестицидов.

Объект исследования – технологический процесс опрыскивания растений пневмомеханическими и пневмогидравлическими устройствами опрыскивателей.

Предмет исследования – закономерности процесса подачи воздушно-дисперсной смеси пестицидов на сельскохозяйственные растения как объекты назначения.

Методология и методы проведенного исследования. Решение теоретических задач осуществлялось на основе фундаментальных физических законов гидравлики, пневматики, динамики и механики жидких и газообразных сред. Обоснование процессов работы технических средств обработки растений опрыскиванием пестицидами и их параметров производилось с использованием основ математического анализа оптимизации параметров и режимов работы усовершенствованных устройств и технологических линий, оценкой достоверности результатов.

Экспериментальные исследования выполнены с привлечением стандартных и частных методик, приборов и оборудования. Обработка результатов проведена с применением электронных программ к ЭВМ ROv-03, «Технолог», AutoCAD, Statistika-2010 и др.

Научную новизну работы составляют:

- усовершенствованная технология опрыскивания растений применением способов и средств моделирования работы распылителей в условиях пневматического транспортирования дисперсных сред, обеспечивающих соблюдение экологических требований;
- критерий оценки процессов работы опрыскивателей и опрыскивания растений по величине медианно-массового диаметра капель раствора пестицидов в потоке воздуха при транспортировании их к растениям;
- аналитические зависимости и математические модели формирования факела распыла, скоростей течения воздуха, инъекции дробления капель, расхода воздуха, параметров щелевых распылителей и пневмотранспортной системы;
- метод моделирования режимов работы распылителей в усовершенствованных конструкциях опрыскивателей;

- способ воздушно-капельного нанесения распыляемого раствора на целевые объекты с помощью щелевых распылителей;
- научно-методические и технологические разработки обеспечения комплекса экспериментальных исследований по повышению эффективности пестицидной обработки растений и критериальной оценки степени загрязнения окружающей среды.

Практическую значимость представляют следующие результаты:

- усовершенствованная технология обработки сельскохозяйственных растений растворами пестицидов;
- новые технические решения по конструкции пневмомеханических и пневмогидравлических распылителей растворов пестицидов, систем объемного опрыскивания растений, устройств для испытания распылителей;
- способы испытания опрыскивателей, контроля аэрозоля и нанесения монодисперсных капель жидкости;
- устройство и процесс работы исследовательской аэрозольной камеры;
- результаты теоретических и экспериментальных данных по комплексу вопросов механизации процессов рациональной защиты растений путем их опрыскивания.

Технические решения подтверждены патентом на изобретение и двенадцатью патентами на полезную модель.

В первой главе дан анализ технологии защиты растений, методов и средств для получения информационных сведений о рациональных технологиях применения распылителей штанговых опрыскивателей растений.

Вторая глава «Теоретическое исследование и обоснование методов контроля технических средств реализации технологии опрыскивания растений растворами пестицидов» посвящена исследованию и обоснованию конструктивно-технологических параметров пневматических средств для моделирования работы распылителей жидкости и разработаны устройства:

- для испытаний работы распылителей опрыскивателя;
- для определения концентрации мелкодисперсного аэрозоля;
- монодисперсного дискового распылителя;
- пневмомеханических и пневмогидравлических устройств.

Получены расчетные уравнения для конструктивно-технологических параметров предложенных устройств.

В третьей главе представлена программа и изложены методики экспериментальных исследований процесса опрыскивания растений. Дано описание применяемых приборов и экспериментальных установок.

Четвертая глава посвящена изложению и анализу результатов экспериментальных исследований обработки растений пневмомеханическими и

пневмогидравлическими распылителями жидкости в технологии их опрыскивания.

В пятой главе представлены результаты расчёта экономической эффективности внедрения предлагаемых решений по совершенствованию технологии опрыскивания растений в сравнении с общепринятой.

Реализация результатов исследований. Технология испытания распылителей и опрыскивания растений внедрены в стендовом оборудовании и опытных образцах опрыскивателей в КубНИИТиМ.

Положения, выносимые на защиту.

– усовершенствованная технология опрыскивания растений при возделывании сельскохозяйственных культур;

– процесс моделирования работы распылителей опрыскивателей применительно к технологии опрыскивания растений;

– основные параметры пневматических устройств в технологических линиях опрыскивания растений;

– методики проведения лабораторных и полевых опытов при исследовании усовершенствованной технологии опрыскивания растений;

– результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию рациональных условий работы штанговых опрыскивателей;

– результаты технико-экономической оценки эффективности внедрения предлагаемых разработок.

Обоснованность научных положений и **достоверность** результатов исследований подтверждается наличием и объемом исследовательского материала и апробацией результатов исследований; согласованностью экспериментальных данных по дисперсности лабораторно-полевых и лабораторных результатов исследований; использованием поверенных электронных средств; результатами статистической обработки программой «статистика» достаточного объема экспериментальных данных и методик их оценки, методологией исследования на теоретическом и практическом уровнях.

Апробация работы. Исследования по теме диссертации осуществлялись в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы, проводимой КубНИИТиМ 2014-2017 г.г. Результаты исследований были неоднократно доложены и одобрены на научно-технических советах в Новокубанском филиале ФГБНУ «Росинформагротех (КубНИИТиМ)» (протоколы НТС № 15 от 23.10.2014 г., № 15 от 27.10.2015 г., № 12 от 19.10.2016 г. и № 15 от 24.10.2017г.).

Основные положения диссертационной работы были дважды доложены, обсуждены и получили положительную оценку на Международной научно-технической конференции ВНИПТИМЭСХ: г. зерноград, 2007 г. и 2009 г.; VII Международной научно-технической конференции г. зерноград: ГНУ «СКНИИМЭСХ», 2012 г.; VIII и IX Международных научно-практических

конференциях г. Зерноград: ГНУ «СКНИИМЭСХ», 2013 г. и 2014 г.; XIII и XIV Международных научно-практических конференциях ГНУ ВИИТиН, г. Тамбов, 2005 г. и 2007 г.; Международной научно-технической конференции ФГБНУ «ВИМ» г. Москва, 2015 г.; X Международной научно – практической конференции, г. Углич, (16-17 сентября 2008 г.); Международных научно-практических конференциях, М-во обр. и науки РФ, г. Тамбов, 2013 и 2014 г.г.; I International Scientific Conference, Chicago, USA, 2013; VII International Research and Practice Conference, Munich, Germany, 2014; I International scientific and practical conference «Science and Education-2014», Belgorod – Sheffield, S Yorkshire, England, 2014; III международной научно-практической конференции, г. Москва – North Charleston, SC, USA, 2015; X и XII Международных научно-практических конференциях «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия», г. Новосибирск, 2015 г.; XIII Международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований», Москва, 2015 г.; X Международной научно-практической конференции «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков» г. Новосибирск, 2015 г.; VI Международной научно-практической конференции ГНУ СибФТИ аграрных проблем, п. Краснообск Новосибирской обл., 2015 г.; IX Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2017» ФГБНУ «Росинформагротех», п. Правдинский Московской обл., 2017 г.; VII Международной научно-практической конференции ГНУ СибФТИ аграрных проблем, п. Краснообск Новосибирской обл., 2018. г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 60 печатных работ, в том числе: 17 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, 12 статей без соавторства. Суммарный объем 26,744 п.л. (из них автора диссертации – 16,012 п.л.). По результатам исследований получен патент на изобретение и 12 патентов на полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 266 страницах машинописного текста, включает 150 рисунков, 58 таблиц, библиографический список из 199 наименований на 22 страницах, перечень сокращений и обозначений на 1 странице и 6 приложений на 30 страницах.

Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту д-ру техн. наук И.М. Кирееву за оказанную помощь при подготовке материалов диссертационной работы.

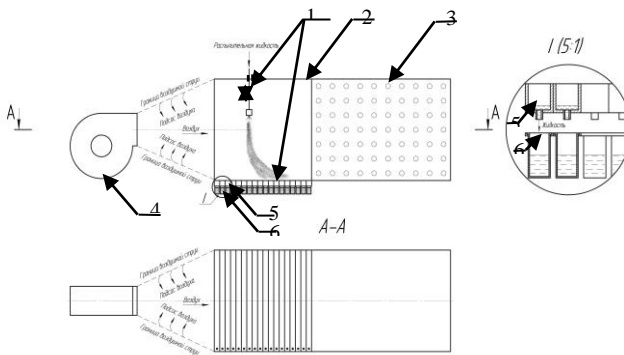
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решаемой научно-технической проблемы, формулируются цель, задачи исследований, научная гипотеза и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние исследований по технологии опрыскивания» выполнен обзор исследований по оценке методов и средств для технологий опрыскивания растений растворами пестицидов; установлены направления исследований по моделированию режимов работы распылителей для качественной оценки применяемых технологий; определены пути совершенствования методов и средств для перспективных технологий опрыскивания растений.

На основании материалов первой главы сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе «Теоретическое обоснование методов контроля технических средств реализации технологии опрыскивания растений растворами пестицидов» приведено обоснование параметров пневмомеханических и пневмогидравлических устройств для штанговых опрыскивателей с воздушным сопровождением капель к растениям. Для моделирования работы распылителей жидкости разработана схема пневматического устройства, представленная на рисунке 1.



- 1 – корпус устройства с распылителем и оборудованием 5 и 6 для сбора капельной жидкости;
2 – рабочая камера; 3 – решетчатый корпус; 4 – вентилятор; 5 – желобки; 6 – мерные стаканчики

Рисунок 1 – Схема устройства для исследования распылителей жидкости в современных технологиях обработки растений штанговыми опрыскивателями

Полувысота воздушной струи $\delta_{тр}$, м, на расстоянии x , м, от сопла вентилятора до распылителя в корпусе 1 на рисунке 2 определяется по формуле

$$\delta_{зр} = \left(2,4 \frac{ax}{\delta_0} + 1\right) \delta_0, \quad (1)$$

где $a = 0,09 \div 0,12$ – коэффициент структуры струи;

δ_0 – половина ширины плоского сопла вентилятора, м.

В формуле (1) методом последовательного приближения, задаваясь значением δ_0 , определяется как расстояние от сопла вентилятора по оси струи до распылителя, так и размеры сечения плоского сопла. Расход воздуха в начальном сечении сопла вентилятора $G_{возд.с}$, м³/с, характеризующий его производительность, определяется произведением начальной скорости истечения

U_0 , м/с, на площадь плоского сопла $(2\delta_0)^2$, м², вентилятора.

$$G_{возд.с} = U_0 (2\delta_0)^2. \quad (2)$$

Относительный расход воздушной струи $\bar{q}_{отн}$ во входном сечении корпуса устройства с распылителем жидкости определяется по уравнению

$$\bar{q}_{отн} = 1,2 \sqrt{\frac{ax}{\delta_0} + 0,41}. \quad (3)$$

Расход воздушного потока $G_{возд.расп.}$ м³/с, в сечении корпуса устройства с распылителем определяется по уравнению

$$G_{возд.расп.} = G_{возд.с} \cdot \bar{q}_{отн}, \quad (4)$$

где $G_{возд.с}$ – расход воздуха в сечении сопла вентилятора, м³/с.

Для каждого режима работы распылителя определяются:

– площадь S , см², на которую оседает капельная жидкость, по формуле

$$S = III \cdot L, \quad (5)$$

где III – расстояние между распылителями на штанге опрыскивателя, см;

L – расстояние, проходимое распылителем за одну секунду в составе штангового опрыскивателя, см.

Количество капельной жидкости $G_{жс}$, мм³/см²·с, оседающей в желобках на площади S , см², и собранной в мерные стаканчики, вычисляют по формуле

$$G_{жс} = \frac{\sum_{j=1}^m G_{жсj}}{S} 10^3, \quad (6)$$

где m – число мерных стаканчиков;

j – номер мерного стаканчика;

$G_{жсj}$ – количество капельной жидкости, собранной в мерном стаканчике за 1 с, мл.

Для определения расхода жидкости $G_{лаб.}$, $дм^3/га$, по количеству ее осаждения в желобки, необходимо:

– количество осевшей в желобках капельной жидкости и собранной в мерные стаканчики $G_{жс}$, $мм^3/см^2$, за 1 с представить в куб. дециметрах выражением $G_{жс} (мм^3/см^2)/10^6 = G_{жс}(дм^3/см^2)$;

– количество осевшей в желобках капельной жидкости на площади S , $см^2$, за одну минуту определяется $G_{жс}(дм^3/см^2) \cdot S(см^2) \cdot 60$, $дм^3/мин$;

– расход жидкости $G_{лаб.}$, $дм^3/га$, по данным ее осаждения в желобки, вычисляют по формуле

$$G_{лаб} = \frac{G \cdot 60000}{v \cdot III}, \quad (7)$$

где $G = 60 \frac{\sum_{j=1}^m G_{жсj}}{10^3}$ – расход жидкости, рассчитанный по данным ее осаждения

в желобки, $дм^3/мин$;

v – скорость передвижения опрыскивателя, $км/ч$.

Потери жидкости G_n , $дм^3/га$, вычисляют по разности ее количества, прошедшего через сопло распылителя G'_c и осажденного в желобки $G_{лаб}$

$$G_n = G'_c - G_{лаб}. \quad (8)$$

Расход жидкости G'_c , $дм^3/га$, вычисляют с учетом данных расхода жидкости через сопло распылителя при заданном давлении по формуле

$$G'_c = \frac{G_c \cdot 6 \cdot 10^4}{v \cdot III}, \quad (9)$$

где G_c – расход жидкости через сопло распылителя при заданном давлении, $дм^3/мин$.

Основной критерий опрыскивания медианно-массовый диаметр (далее – ММД) определяют выражением $ММД = 985 \sqrt[3]{Q}$, $мкм$, с учетом того, что дисперсность (спектр размеров капель) распыляемой жидкости выражается ММД каплей, $мкм$, который характеризует, в каких каплях сосредоточена половина массы распыляемого вещества, где Q – количество жидкости, $мм^3$.

Концентрация мелкодисперсного аэрозоля G'_n , $г/м^3$, сносимого от объекта обработки определяется выражением

$$G'_n = \frac{C_p}{\bar{q}_{отн} G_{возд.с}}. \quad (10)$$

Концентрация C_p , г/с, не оседающего на площади S , см², аэрозоля (сносимого от объекта обработки) определяется выражением

$$C_p = \frac{G_n \cdot v \cdot \pi \cdot \pi}{3600}. \quad (11)$$

Для повышения качества опрыскивания растений предложен метод пневмотранспорта каплей распыливаемой жидкости в воздушном потоке с применением пневматического устройства с распылителем растворов пестицидов, схема которого приведена на рис. 2.

1 – цилиндр; 2 – усеченный конус;
3 – конус; 4 – вращающийся дисковый распылитель жидкости

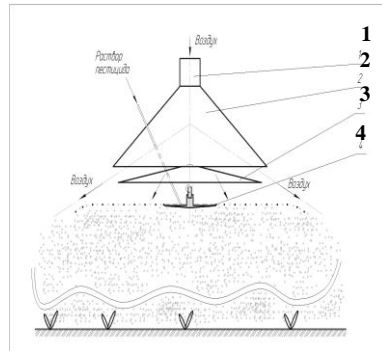


Рисунок 2 – Схема предлагаемого пневмомеханического распылителя жидкости

Расход воздуха через кольцевое сечение устройства G_e , м³/ч, рассчитывается по формуле

$$G_e = 2\pi \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) b v_o, \quad (12)$$

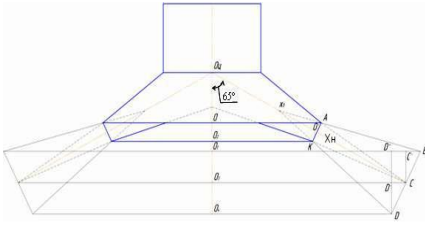
где R_1 , R_2 – радиусы оснований усеченного конуса 2 и конуса 3, м;

b – ширина кольцевого сечения струи, образованная внешними кромками оснований усеченного конуса 2 и конуса 3, м;

v_o – скорость воздуха на выходе из сопла устройства, м·с⁻¹.

Кроме ротационных дисковых и сетчатых распылителей жидкости в пневматическом устройстве возможно применение щелевых распылителей.

Для рационального и экологического применения распылителей щелевого принципа действия разработано пневмогидравлическое устройство усеченной конструкции, схема пневматической части которого представлена на рисунке 3(вид спереди).



сечения оси устройства осевой линией сопла точки пересечения с основанием усеченного конуса, м; $O_1O_2 = 0,1$ – расстояние от точки пересечения устройства осевой линией сопла до точки пересечения с основанием конуса, м;

X_0 – полюс; $OX_0 = 0,06$ – расстояние от начального сечения до полюса струи, м; AKC – область с постоянной скоростью воздуха; $AKDC$ – область начального участка струи;

$O_2K = 0,175$ – радиус основания конуса, м;

$AK = 0,03$ – ширина плоского сечения сопла, м;

$AO' = OK = \delta_0 = 0,015$ – полуширина плоского сопла, м;

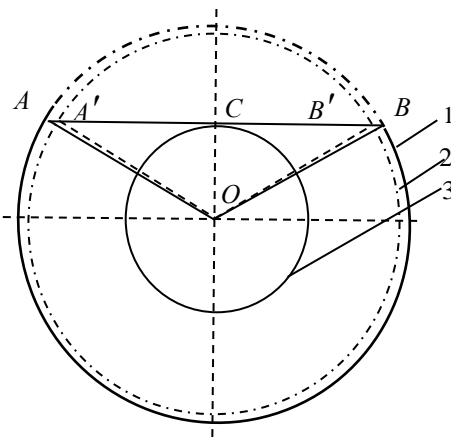
$O_1O' = 0,203$ – расстояние от оси устройства по направлению оси сопла до выходного его сечения, м; $O_1O = 0,073$ – расстояние от точки пере-

Рисунок 3 – Схема пневматической части пневмогидравлического устройства с обозначениями начального участка x_n плоской воздушной струи для расчета ее параметров

Площадь боковой поверхности усеченного конуса пневмогидравлического устройства, полученная при вращении боковой границы AK прямоугольной трапеции $OAKO_2$ вокруг оси OO_2 определяется по уравнению

$$S_{\text{бок. пов. ус. кон.}} = \pi(OA + O_2K)\delta_0 = 3,14(19 + 17,5)1,5 = 343,83 \text{ см}^2. \quad (13)$$

Площадь сопла пневматической части устройства (рисунок 3) определялась в соответствии со схемой (рисунок 4).



1 – основание усеченного конуса

устройства; 2 – основание кону-

са устройства; 3 – окружность

патрубка устройства; $OA = OB$

$= 19,0$ – радиус основания усечен-

ного конуса, см;

$OA' = OB' = 17,5$ – радиус осно-

вания конуса, см; $OC = 8,5$ –

радиус патрубка, см

Рисунок 4 – Схема пневматической части пневмогидравлического устройства (вид сверху)

Конструкция сопла пневматической части пневмогидравлического устройства составляет определенный сектор круговой области, полученный при вращении прямоугольных трапеций вокруг оси устройства.

На схеме (рисунок 5):

$$\sin \angle OAC = \frac{OC}{OA} = \frac{8,5}{19,0} = 0,4474; \angle OAC = 26,5^\circ;$$

$$\angle AOB = 127^\circ;$$

$$\sin \angle OA'C = \frac{OC}{OA'} = \frac{8,5}{17,5} = 0,4857; \angle OA'C = 29^\circ; \angle A'OB' = 122^\circ.$$

Дуга $A'B'$, образованная основанием сектора усеченного конуса пневматической части устройства, равна

$$A'B' = 360^\circ - 127^\circ = 233^\circ; 233^\circ \cdot 100 \% / 360^\circ = 64,72 \%$$

Дуга AB , образованная основанием сектора конуса пневматической части устройства, равна

$$AB = 360^\circ - 122^\circ = 238^\circ; 238^\circ \cdot 100 \% / 360^\circ = 66,11 \%$$

Среднее значение дуги по окружности сектора сопла равно

$$A'B' + AB / 2 = 64,72 \% + 66,11 \% / 2 = 65,42 \%$$

Площадь сопла пневмогидравлического устройства равна

$$S_{\text{сопл.устр.}} = (S_{\text{бок.пов.ус.кон}} \cdot 65,42 \% / 100 \%) = 225 \text{ см}^2 = 2,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 (\approx 227 \text{ см}^2).$$

Общий вид пневмогидравлического устройства показан на рисунке 5.

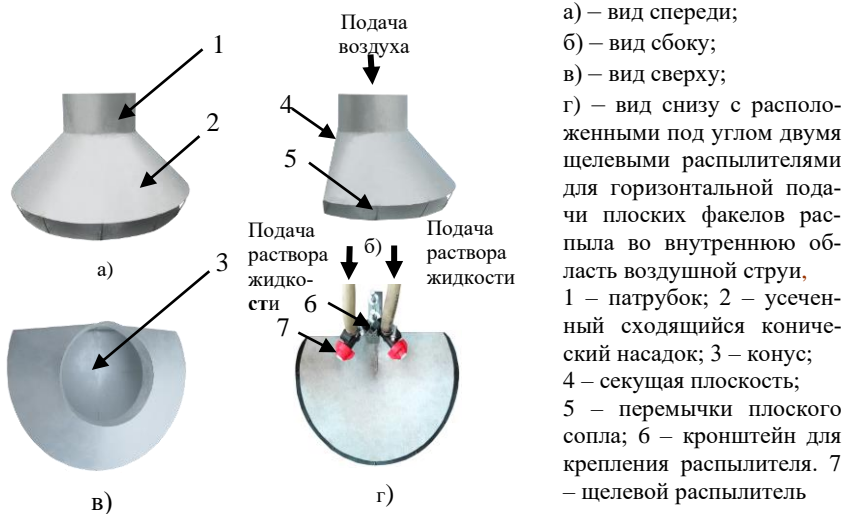


Рисунок 5 – Общий вид пневмогидравлического устройства

Распылители в устройстве показаны на рисунке 5, (вид г)). На рисунке 5, (вид б)), сечение конуса выполнено таким образом, чтобы рабочая часть сек-

тора сопла формировала воздушный поток (рисунок 5), с учетом суммарных углов факелов раскрытия $100 \dots^\circ$ от щелевых распылителей. Расположение щелевых распылителей в конструкции пневмогидравлического устройства (рисунок 5, вид г)), углы раскрытия факелов распыла $100 \dots^\circ$ и дальность их действия (≈ 35 см) предназначено для инжектирования капель распыляемой жидкости воздушным потоком струи.

Конструктивными параметрами устройства являются: угол конусности сопла 13° для обеспечения максимальной дальности воздушной струи, калибр сопла 4, угол наклона оси сопла к горизонту 25° .

+Основу рабочего процесса в устройстве составляют:

- подача факелов распыла жидкости в воздушный поток струи;
- инжекция капель факелов распыла жидкости воздушной струей;
- перенос воздушно-капельного потока к растениям.

Объем воздуха области начального участка струи, получающийся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства площади треугольника ΔKCD , рассчитывается путем суммирования объемов $V_{O_2KCO_3}$ и $V_{O_4DCO_3}$, получающихся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства прямоугольных трапеций O_2KCO_3 и O_4DCO_3 с последующим вычетом объема $V_{O_2KDO_4}$, получающегося при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства площади прямоугольной трапеции O_4DCO_3 по следующим формулам

$$V_{O_2KCO_3} = \frac{1}{3} \pi O_2 O_3 \left[(O_2K)^2 + (O_3C)^2 + (O_2K)(O_3C) \right] = 1,213 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)} \quad (14)$$

$$V_{O_4DCO_3} = \frac{1}{3} \pi O_3 O_4 \left[(O_4D)^2 + (O_2C)^2 + (O_4D)(O_3C) \right] = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \quad (15)$$

$$V_{O_2KDO_4} = \frac{1}{3} \pi O_2 O_4 \left[(O_2K)^2 + (O_4D)^2 + (O_2K)(O_4D) \right] = 2,024 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)} \quad (16)$$

$$V_{\Delta KCD} = V_{O_2KCO_3} + V_{O_4DCO_3} - V_{O_2KDO_4} = 7,89 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)}. \quad (17)$$

Объем воздуха начального участка струи с постоянной скоростью, получающийся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства площади треугольника ΔACK , рассчитывается как разность между объемом V_{OACO_3} , получающимся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства прямоугольной трапеции $OACO_3$ и суммой объемов V_{OAKO_2} и $V_{O_2KCO_3}$, получающихся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства площадей прямоугольных трапеций $OAKO_2$ и O_2KCO_3 , по следующим формулам

$$V_{OAKO_2} = \frac{1}{3} \pi O O_2 \left[(O_2 K)^2 + (O A)^2 + (O_2 K)(O A) \right] = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)} \quad (18)$$

$$V_{OACO_3} = \frac{1}{3} \pi O O_3 \left[(O A)^2 + (O_3 C)^2 + (O A)(O_3 C) \right] = 1,87 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)} \quad (19)$$

$$V_{\Delta A C K} = V_{OACO_3} - (V_{OAKO_2} + V_{O_2 KCO_3}) = 3,87 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)}. \quad (20)$$

Объем воздуха внешней области начального участка струи, получающийся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства площади треугольника ΔABC , рассчитывается как разность между суммами объемов V_{OABO_1} и $V_{O_3CBO_1}$, получающихся при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства прямоугольных трапеций $OABO_1$ и O_3CBO_1 и объема $OACO_3$, получающегося при вращении вокруг оси пневмогидравлического устройства площади прямоугольной трапеции $OACO_3$ по следующим формулам

$$V_{OABO_1} = \frac{1}{3} \pi O O_1 \left[(O A)^2 + (O_1 B)^2 + (O A)(O_1 B) \right] = 8,683 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)} \quad (21)$$

$$V_{O_3CBO_1} = \frac{1}{3} \pi O_1 O_3 \left[(O_3 C)^2 + (O_1 B)^2 + (O_3 C)(O_1 B) \right] = 1,82 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)} \quad (22)$$

$$V_{OABO_1} + V_{O_3CBO_1} - V_{OACO_3} = 8,146 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)} \quad (23)$$

При площади сопла пневматической части пневмогидравлического устройства $2,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ объем воздуха начального участка воздушной струи составляет $3,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. С учетом длины начального участка струи x_n и постоянной скорости воздуха в начальном участке струи $15,94 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ время формирования его объема составляет $10,77 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. За промежуток времени $10,77 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ из сопла пневматической части пневмогидравлического устройства выходит $3,863 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ воздуха. При этом объем инжектируемого воздуха равен разности объемов начального участка струи и объема воздуха, выходящего из сопла пневматической части устройства за промежуток времени $10,77 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

$$V_{\text{инж.}} = 13,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 3,863 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 9,197 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (24)$$

Инжектируемый объем воздуха $9,197 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ составляет 70,42% объема начального участка плоской струи. При этом рабочий объем воздуха 39,62% или $1,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, выходящий из сопла устройства инжектирует капли факелов распыла щелевых распылителей жидкости. За время $10,77 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ рабочий объем воздуха $1,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ инжектирует объем воздуха, содержащийся в объеме факелов распыла в следующем количестве

$$V_{\text{возд. фак. расп.}} = 5,174 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 3,646 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (25)$$

В процентном отношении это составляет $V_{\text{возд. фак. расп.}} = 29,58\%$.

Значения коэффициентов инжекции по жидкости, подаваемой в форме факелов распыла щелевыми распылителями в воздушный поток струи приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Значения коэффициентов инжекции по жидкости $U_{жс}$, подаваемой в форме факелов распыла соплами щелевых распылителей при давлениях жидкости: $P = 0,3$ МПа (3 Bar), $P = 0,4$ МПа (4 Bar), $P = 0,5$ МПа (5 Bar) и $P = 0,6$ МПа (6 Bar) в воздушный поток струи с массовым расходом воздуха $G_p = 1,85 \cdot 10^{-3}$ кг/10,77 · 10⁻³ с.

Тип сопла	P = 0,3 МПа (3 Bar)		P = 0,4 МПа (4 Bar)		P = 0,5 МПа (5 Bar)		P = 0,6 МПа (6 Bar)	
	$\frac{G_{жс}}{K2}$ $10,77 \cdot 10^{-3} c$	$U_{жс} = \frac{G_{жс}}{G_p}$	$\frac{G_{жс}}{K2}$ $10,77 \cdot 10^{-3} c$	$U_{жс} = \frac{G_{жс}}{G_p}$	$\frac{G_{жс}}{K2}$ $10,77 \cdot 10^{-3} c$	$U_{жс} = \frac{G_{жс}}{G_p}$	$\frac{G_{жс}}{K2}$ $10,77 \cdot 10^{-3} c$	$U_{жс} = \frac{G_{жс}}{G_p}$
01	1,44 · 10 ⁻⁴	0,078	1,62 · 10 ⁻⁴	0,087	1,83 · 10 ⁻⁴	0,099	2,0110 ⁻⁴	0,109
015	2,15 · 10 ⁻⁴	0,116	2,40 · 10 ⁻⁴	0,132	2,80 · 10 ⁻⁴	0,151	3,0210 ⁻⁴	0,163
02	2,87 · 10 ⁻⁴	0,155	3,30 · 10 ⁻⁴	0,178	3,03 · 10 ⁻⁴	0,196	4,0610 ⁻⁴	0,219
025	3,59 · 10 ⁻⁴	0,194	3,13 · 10 ⁻⁴	0,223	4,60 · 10 ⁻⁴	0,248	5,0310 ⁻⁴	0,272
03	4,31 · 10 ⁻⁴	0,233	4,92 · 10 ⁻⁴	0,266	5,46 · 10 ⁻⁴	0,295	5,8910 ⁻⁴	0,318
04	5,74 · 10 ⁻⁴	0,310	6,53 · 10 ⁻⁴	0,353	7,25 · 10 ⁻⁴	0,392	7,9310 ⁻⁴	0,429
05	7,07 · 10 ⁻⁴	0,382	8,08 · 10 ⁻⁴	0,437	8,90 · 10 ⁻⁴	0,481	9,7710 ⁻⁴	0,528
06	8,33 · 10 ⁻⁴	0,450	9,66 · 10 ⁻⁴	0,522	1,08 · 10 ⁻⁴	0,584	1,1910 ⁻³	0,640

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что коэффициент инжекции по жидкости $U_{жс}$ для всех режимов работы пневмогидравлического устройства практически не превышает критического значения 0,5 и воздушно-капельный поток в соответствии с закономерностями воздушной струи транспортируется к объектам обработки.

При скорости воздушного потока 15, 94 м/с, выходящего из сопла пневматической части пневмогидравлического устройства, во внутреннюю область начального участка воздушной струи, объемом $V_{\Delta KCD} = 7,89 \cdot 10^{-3}$ (м³), инжектируются капли факелов распыла жидкости за ~ 0,011 с, а при образовании капель время начала коагуляции составляет 0,01 с.

Скорость витания $v_{вит}$ капель определялась по формуле

$$v_{вит} = \sqrt[3]{\frac{Ly \cdot v(\rho_{жс} - \rho_{возд.})g}{\rho_{возд.}}} \quad (26)$$

Для капель размером $5 \cdot 10^{-4}$, $4 \cdot 10^{-4}$, $3 \cdot 10^{-4}$, $2 \cdot 10^{-4}$, $1,5 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-4}$ и $8 \cdot 10^{-5}$ м скорости их витания составляют 1,94; 1,48; 1,05; 0,65; 0,46; 0,28 и 0,19 м·с⁻¹ соответственно, что и обеспечивает их пневмотранспорт к объектам.

Скорость воздушно-капельного потока в области объектов обработки зависит от скорости воздуха в начальном сечении сопла и от высоты расположения устройства. В реальных условиях при движении опрыскивателя осуществляется воздействие встречного воздушного напора на создаваемую пневмогидравлическим устройством воздушно-капельную струю.

Для определения оси плоской струи в сносящем потоке было определено следующее выражение:

$$y = \frac{2}{k} (\sqrt{kx + ctg^2 \beta - ctg \beta}), \quad (27)$$

где y – высота расположения пневмогидравлического устройства (ордината), м;

k – коэффициент;

x – расстояние по горизонтали при угле наклона струи $\beta = 25 \dots^\circ$ к поверхности обработки (абсцисса), м.

В уравнении (27) коэффициент k определяется выражением

$$k = \frac{C_n \rho \omega^2}{\delta_o \rho_o u_o^2 \sin^2 \beta}, \quad (28)$$

где C_n – коэффициент;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

ω – скорость движения пневмогидравлического устройства в составе опрыскивателя, м·с⁻¹;

ρ_o – плотность воздушно-капельного потока ρ_o , кг/м³;

u_o – скорость воздушного потока в начальном сечении сопла, м·с⁻¹.

С использованием выражений 27 и 28 при значении $k = 38,08 \cdot C_n$, и коэффициенте $C_n = 0,01$ оптимизирована высота расположения пневмогидравлического устройства над объектами обработки 0,77 м, позволяющая работать при скоростях движения опрыскивателя 17 км/ч и более.

При угле наклона оси воздушной струи к направлению полета капель, например $25 \dots^\circ$, и расположении устройства над поверхностью почвы на высоте 0,8 м, ширина распределения раствора пестицида на растениях составляет 4 м. При этом необходимым и достаточным условием нанесения капель на растения является то, что скорость воздушного потока в области их обработки не должна быть меньше скорости движения опрыскивателя. Например, при скорости движения опрыскивателя 12 км/ч (3,3 м·с⁻¹) начальная скорость струи 15 м·с⁻¹ обеспечивает скорость воздуха в области объектов обработки до 3,84 м·с⁻¹. Такие данные были положены в основу расчета воздухораспределительной системы с пневмогидравлическими распылителями растворов пестицидов, схема которой приведена на рисунке 6.

Работоспособность пневмогидравлических устройств обеспечивается

преодолением потерь давления при подаче воздуха в пневматические конструктивные элементы пневмогидравлических устройств, потерь давления в воздухопроводах при движении воздуха к пневмогидравлическим устройствам, а также преодолением потерь давления в тройнике симметричной формы при движении воздуха от вентилятора к участкам воздухопровода штангового опрыскивателя.

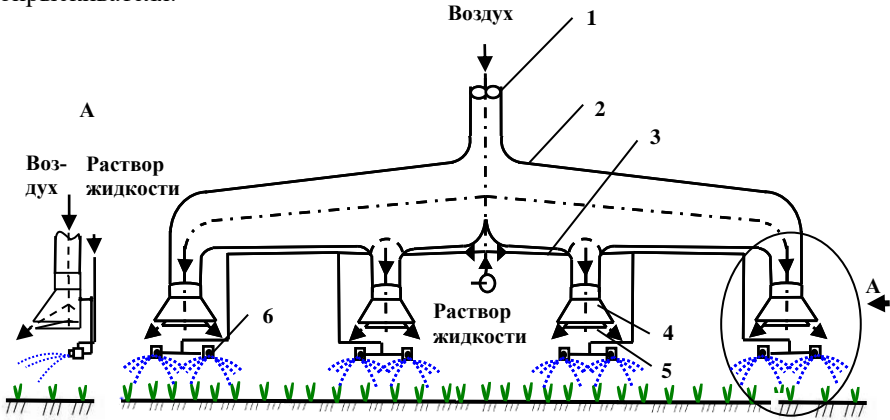


Рисунок 6 – Воздухораспределительная система штангового опрыскивателя растений, оборудованного пневмогидравлическими устройствами

Расчет воздухораспределительной системы осуществлялся по правилам гидравлики и начинался со свободной струи, выходящей из сопла пневматической части пневмогидравлического устройства в атмосферу. Определялись коэффициенты сопротивления $\zeta = 0,723$ струи, потери давления, обусловленные воздушной струей $\Delta P = 97,61$ Па. Потери давления на постепенное сужение в конфузоре составили 10,26 Па. Потери давления на трение в конфузоре составили $P_{тр} = 0,066$ Па. Общие потери давления при выходе плоской струи в атмосферу и в коническом сопле устройства составили $P_{св} = 107,94$ Па. Потери давления в расчетной части воздухопровода штанги с устройствами составили $\Delta P 14,28$ Па. Потери давления в боковых ответвлениях расчетных начальных участков воздухопроводов штанги составляют $\Delta P_{отв.} = 28,56$ Па терь напора при движении воздуха от вентилятора к участкам воздухопровода штангового опрыскивателя (в тройнике симметричной формы) 3,0 Па.

Общие потери давления в двух боковых ответвлениях составляют соответственно $\Delta P_{отв.} = 0,68$ Па. Потери давления в тройнике симметричной формы при движении воздуха от вентилятора к участкам воздухопровода штангового опрыскивателя равны $\Delta P_{\perp} = 3,68$ Па. Суммарные потери давления в системе воздухораспределительной системы опрыскивателя с пневмогидрав-

лическими устройствами составляют $\Delta P_{\text{сумм.}} = 464$ Па. С учетом суммарных потерь давления по характеристике для подбора вентиляторов (рисунок 6) при приведенной плотности воздуха к $\rho_0 = 1,2$ кг/м³ производительность вентилятора составила $L = 1,35$ м³·с⁻¹ с частотой вращения ω , равной 150 рад·с⁻¹ (1500 об/мин, так как 1 рад·с⁻¹ = 9,55 об/мин \approx 10 об/мин), и коэффициент полезного действия $\eta = 0,57$.

При аэрозольной обработке растений важными показателями являются размеры и число капель/см² на объектах обработки. Число капель/см² при применении фунгицидов имеет пределы от 50 до 70, инсектицидов - от 20 до 30 и гербицидов - от 20 до 40.

Требуемая дисперсность достигается технологическим процессом по целевому нанесению числа и размера капель на объекты обработки.

Применительно к вращающемуся диску диаметры первичных капель вычисляются по формуле, приведенной в трудах Дунского В.Ф.

$$d = \frac{2.9}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{r\rho}}, \quad (29)$$

где σ — поверхностное натяжение жидкости, г/с²;

ρ — плотность жидкости, г/см³;

r — радиус диска, см;

ω — радиальная (окружная) скорость вращения диска, рад/сек.

В формуле (29) коэффициент 2,9 используется при распыливании воды.

Число основных капель N , образуемых на длине окружности диска $l=2\pi r$ равно $N=2\pi r/\lambda$. Число оборотов диска за одну секунду равно: $n=\omega/2\pi$, а количество образуемых при этом капель равно произведению: $N \cdot n$. Такое количество капель за одну секунду направляется в круговой воздушный поток, выходящий из плоского сопла пневмогидравлического устройства, для пневмотранспортирования капель к объекту обработки. Площадь опрыскивания растений S определяется шириной опрыскивания $Ш$ и расстоянием L при передвижении пневмомеханического устройства: $S=Ш \cdot L$. Ширина опрыскивания применительно к конструкции пневмомеханического опрыскивателя растений определяется по формуле

$$Ш = 2H / \operatorname{tg} \alpha, \quad (30)$$

где H — высота пневмомеханического устройства над поверхностью обработки растений, см;

$\alpha = 25 \dots^\circ$ - угол между направлением воздушной струи и поверхностью почвы.

Число капель, шт./см² на опрыскиваемой площади в соответствии с требованиями определяется выражением: $N_{\text{шт./см}^2} = N \cdot n / S$.

Технологический процесс одного из режимов пневмомеханического

устройства следующий. При оборотах диска с радиусом 10 см и частотой его вращения 800 рад./сек образуются диаметры капель размером 65 мкм. При скорости движения устройства в составе опрыскивателя 10 км /ч на объектах опрыскивания количество капель составляет 12 шт./см². Критический расход жидкости равен 0,5 литров в минуту, а ее расход на 1 га составляет 10 литров.

При вытекании жидкости из щелевого сопла образуется веерообразная пленка плоская с двух сторон. Разрушение пленки есть следствие развития в ней колебательных процессов. Возникновение таких процессов обусловлено внешними и внутренними факторами. К внешним относятся аэродинамические силы, которые стремятся деформировать и разорвать пленку, а к внутренним – возмущение, обусловленное качеством изготовления распылителя, его вибрациями, конструктивными особенностями и т.п. На процесс распада влияют также физические свойства распыливаемой жидкости и окружающей среды. Например, вязкость жидкости оказывает стабилизирующее воздействие, затрудняя развитие волновых явлений, а следовательно, и распыливание; при увеличении поверхностного натяжения наблюдается замедление распада струи жидкости. Распад толстой пленки обусловлен двумя основными причинами: во-первых, возникновение на пленке отдельных перфораций, которые постепенно увеличиваются до образования сетки, состоящей из тонких нитей, распадающихся на много мелких капель; во – вторых, образование на пленке перпендикулярно направлению потока неустойчивых волн (амплитуда которых возрастает от кромки сопла), приводящих к распаду пленки на капли. При некоторых скоростях истечения жидкости из сопла размеры пленки изменяются и долго сохраняется гладкая поверхность и целостность пленки. Такие пленки присутствуют в технологиях опрыскивания растений щелевыми распылителями жидкости. Веерообразная форма струи, вытекающая из щелевого сопла, была рассчитана полуэмпирическим методом. Схему расчета применительно к пленкам жидкости, выходящим из щелевых сопел, представлена рисунком 7.

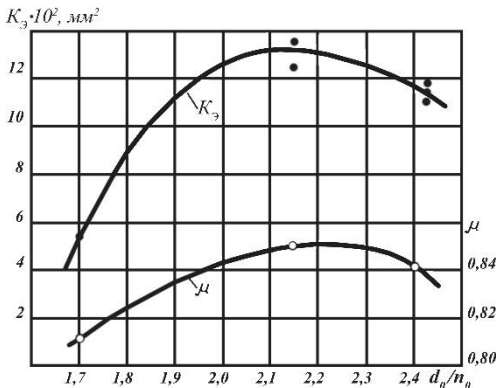


Рисунок 7 – Зависимости коэффициента k_3 и коэффициента расхода щелевого сопла μ от отношения d_0/n_0

Пленка вытекает из узкой щели сопла, длина которого является d_0 , а ширина – h_0 . В этом методе предполагается, что при отсутствии внешних сил толщина пленки δ изменяется с расстояния r от начала координат по закону $\delta = k_3 / r$ (k_3 – эмпирический параметр, мм², зависящий от отношения d_0 / h_0). Зависимости коэффициента k_3 и коэффициента расхода щелевого сопла μ от отношения d_0 / h_0 приведены на рисунке 8.

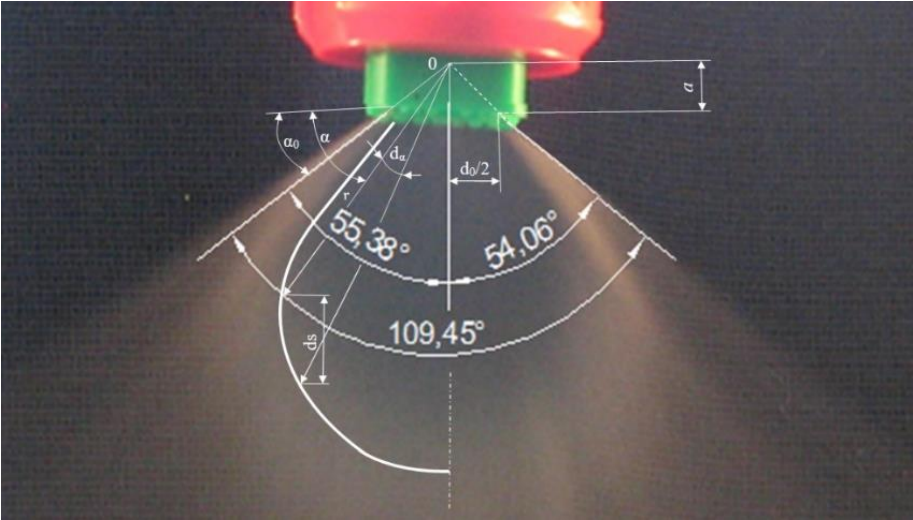


Рисунок 8 – Схема пленки, вытекающей из щелевого сопла жидкости (распылитель со щелевым соплом зеленого цвета LU–015)

При предположении, что на большей части контура пленки угол между касательной к контуру и радиусом вектором r не велик (рисунок 8), известно следующее уравнение контура пленки

$$2\psi^{-1}r = 1 - \cos(\alpha - \alpha_0) + 3\cos(\alpha - \alpha_0)^2 / 2, \quad (31)$$

где $\psi = 0,5\rho_{жс}u^2 k_3$;

$u = \mu\sqrt{2\Delta p / \rho_{жс}}$ – скорость жидкости пленки вдоль любой линии тока, м/с;

Δp – разность давлений жидкости, Па;

$\rho_{жс}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Угол α_0 (рисунок 8) определяется по формуле, полученной на основе уравнения неразрывности

$$\alpha_0 = \pi / 2 - \frac{Q}{2uk_3}, \quad (32)$$

где Q – объемный расход жидкости, $\text{дм}^3/\text{мин}$.

Расстояние a от начала контура пленки до плоскости щелевого сопла определяется из выражения $2a = d_0 \operatorname{tg} \alpha_0$.

Радиус (длина) нераспавшейся части пленки оценивается по критериальным формулам [133,134] на основе измерений, полученных при различных противодавлениях среды.

Длину нераспавшегося участка пленки $l = r^2/k_3$, при $\rho_{жс}/\rho_в > 0,17 \cdot 10^3$ определяют по уравнению

$$l = 9,73 \cdot 10^2 (\rho_{жс} / \rho_в)^{1,5} (We)^{-1}, \quad (33)$$

где $\rho_в$ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В уравнении (33) значение числа Вебера определяется по выражению

$$We = \rho_{жс} \omega^2 k_3^{0,5} / \sigma, \quad (34)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости, $\text{Н}/\text{м}$.

Приведенная выше теория может быть положена в основу для определения рациональной технологии применения пневмогидравлического устройства. Выполнение требований по числу капель/ см^2 на объекте обработке перекрытие факелов распыливаемой жидкости в пневмогидравлическом устройстве обеспечивает равномерное распределения капель по ширине опрыскивания. Поэтому достаточно сведения о дроблении толщины пленки жидкости по оси факела распыливаемой жидкости на капли и получения их числа в единицу времени. Оценка классовых размеров капель полидисперсного аэрозоля при этом может определяться на образующей длине элементарных участках ds пленки в лабораторных условиях, как это показано в работе.

Например, при применении щелевого сопла LU – 015, давлении жидкости 4МПа и расходе жидкости 0,68 л/мин при скорости ее движения (одинаковой по всем направлениям пленки) 23,35 м/с при $\kappa_3 = 222,5$ в одну секунду образуется 729688,8 капель. Такие условия при скоростях движения опрыскивателя 10 и 20 км/ч и шириной опрыскивания 4м позволят обеспечить число капель 68,4 и 24,2 шт./ см^2 соответственно. Расходы рабочей жидкости при этом составляют 10,2 и 5,1 л/га.

В третьей главе «Программа и методики экспериментальных исследований опрыскивания растений растворами пестицидов» приведены программы и методики экспериментальных исследований разработанных и изготовленных пневматических устройств для нанесения капель распыляемой жидкости на объекты назначения.

Условия проведения испытаний (температура окружающего воздуха, относительная влажность окружающего воздуха, атмосферное давление и скорость воздушного потока) определялись поверенной метеостанцией МЭС–200, а скорость движения опрыскивателя, при прохождении над учетными карточками и при проведении полевого опыта определялась GPS «Garmin etrex». Скорость воздушного потока в устройстве для испытания распылителей опрыскивателей определялась чашечным анемометром. В нагнетательной магистрали расход жидкости через распылитель определялся электронными датчиками расхода и давления жидкости и поверенными манометрами с дальнейшей сверкой показаний с данными настроечной таблицы. Фотографирование факела распыливаемой жидкости производилось с использованием цифрового фотоаппарата типа Power Shot A400. Определение углов факела распыливаемой жидкости по видимым изображениям границ осуществлялось с помощью программы AutoCAD. Определение размеров отпечатков капель на объектах обработки (учетных карточках) производилось методом их сканирования, преобразования полученных графических файлов в формат BMP и последующей обработкой по специально разработанной программе. ROv–03. В опытах использовалась чистая вода с добавлением анилинового красителя черного цвета. Коэффициент растекания капель на учетных карточках определялся как отношение диаметра пятна к сферическому диаметру однородной капли. Диаметр водных капель определялся микроскопическим методом при их нанесении пистолетом Чабанова в чашки Петри с иммерсионной средой.

Работа динамической аэрозольной камеры (далее – ДАК) оценивалась по показаниям ослабления излучения и весовой концентрации аэрозоля, определяемой с применением фильтров АФА и аналитических весов.

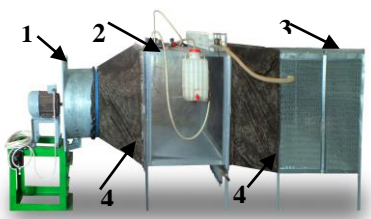
Эффективность пневмотранспорта капель распыливаемой жидкости к объектам обработки оценивалась по результатам определения размера и числа капель, осаждаемых на объектах обработки и их ММД.

Определение параметров воздушного потока и расхода жидкости, режимов работы пневматических устройств, а также условий проведения опытов проводилось с использованием специального поверенного оборудования. Кратность повторностей экспериментов осуществлялась в соответствии с нормативной документацией. Данные исследований обрабатывались статистическим методом.

Определение уничтожения сорняков осуществлялось с использованием сравнительного их подсчета на площади учетных рамок, равных 1 м².

Четвертая глава «Результаты экспериментальных исследований обработки растений пневмомеханическими и пневмогидравлическими распылителями жидкости в технологии их опрыскивании» посвящена экспериментальному подтверждению основных результатов исследований по конструктивному и технологическому исполнению пневматических

устройств и эффективности методов пневмотранспорта капель распыляемой жидкости. Моделирование работы распылителей осуществлялось на стендовом оборудовании (рисунок 9).



1 - вентилятор; 2 – корпус рабочей камеры устройства с распылителем и оборудованием для сбора капельной жидкости; 3 – решетчатый корпус; 4 – соединительные кожуха.

Рисунок 9 – Общий вид стенда для моделирования процесса работы распылителей

Опытные данные, полученные на стендовом оборудовании, сравнивались с данными лабораторных испытаний распылителей жидкости в составе опрыскивателя (рисунок 10).



Рисунок 10 – Общий вид штангового опрыскивателя при исследованиях традиционного способа опрыскивания карточек подкрашенной жидкостью

Результаты экспериментально – расчетных показателей по оценке метода моделирования рабочего процесса распылителя (сопло производство «Lechler» LU-02 AD-02, желтого кода цвета) в стендовом оборудовании при скоростях воздушного потока 3,72; 4,1; 4,44 и 5,2 м/с приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Результаты экспериментально – расчетных показателей по оценке метода моделирования рабочего процесса распылителя жидкости (сопло производство «Lechler» LU-02 AD-02, желтого кода цвета) в стендовом оборудовании при скоростях воздушного потока 3,72; 4,1; 4,44 и 5,2 м/с

Наименование показателя	Значение показателя			
Сопло (тип, код цвета)	LU-02, AD-02; желтый			
Высота расположения сопла над желобками, см	65			
Давление жидкости, МПа	0,2			
Скорость воздушного потока в области распылителя, м/с	3,72	4,1	4,44	5,2
Количество, оседающей в желобках капельной жидкости, мм ³ /см ²	0,352	0,319	0,296	0,237
Расход жидкости по количеству ее осаждения в желобки, дм ³ /га	35,25	31,9	29,64	23,65
Расход жидкости, через сопло распылителя, дм ³ /га	60	53,5	48,15	53,5
Потери жидкости, %	41,25	40,37	38,64	55,8
ММД капель по опытным данным в стендовом оборудовании, мкм	697	672	656	610
ММД капель по результатам исследований распылителя жидкости в составе опрыскивателя, мкм	866,23	797	703	768
Отличие ММД капель лабораторных исследований распылителя жидкости в составе опрыскивателя и опытных данных в стендовом оборудовании, %	19,54	15,68	6,69	20,5 7

В таблице 2 отличие ММД капель, полученных при лабораторных исследованиях распылителя жидкости в составе опрыскивателя и опытных данных на стендовом оборудовании, не превышает 21 % и свидетельствуют о возможности получения информационных данных для технологий опрыскивателей в лабораторных условиях. Расчетные и экспериментальные значения концентрации мелкодисперсного аэрозоля (таблица 2) приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Расчетные и экспериментальные значения концентрации мелкодисперсного аэрозоля при исследовании распылителей жидкости

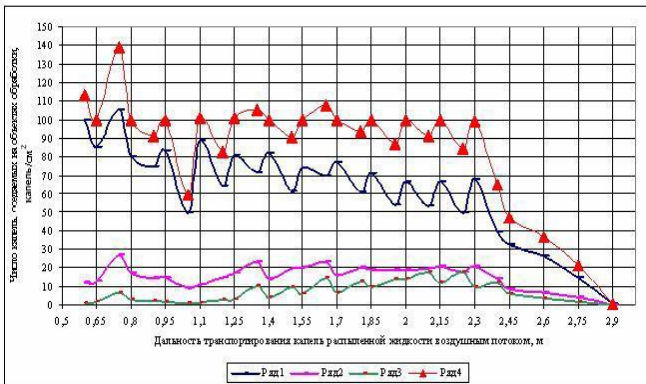
Скорость воздуха (опрыскивателя), м/с (км/ч)	Расчетная концентрация аэрозоля, г/м ³	Значение ослабления дисперсной системы, J/J ₀	Экспериментальное значение концентрации аэрозоля, г/м ³
3,72 (13,5)	19,66	0,886	18,13
4,1 (14,76)	17,10	0,904	15,07
4,44 (16,2)	14,77	0,914	13,54
5,2 (18,72)	23,55	0,870	21,06

Общий вид оборудования, используемого при определении концентрации мелкодисперсного аэрозоля в решетчатом корпусе с применением ДАК приведен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Общий вид оборудования при определении концентрации мелкодисперсного аэрозоля в решетчатом корпусе с применением ДАК

Результаты опытов по оценке дальности транспортирования капель распыленной жидкости воздушным потоком приведены графической зависимостью на рисунке 12.



Ряд 1 – диаметр следа капля до 150 мкм; Ряд 2 – диаметр следа капля от 150 до 300 мкм; Ряд 3 – диаметр следа капля свыше 300 мкм; Ряд 4– суммарное число капля мкм

Рисунок 12 – Дальность транспортирования капля различных фракций распыленной жидкости воздушным потоком (высота щелевого распылителя 0,65 м, давление жидкости 0,35 МПа, расход жидкости 0,6 дм³/мин)

Из данных рисунка 12 следует, что суммарное число капля на учетных карточках остается практически неизменным на расстоянии от устройства до 2 и более метров.

Общий вид стандового оборудования, на котором проводились эксперименты по оценке возможности разработанной конструкции пневмогидравлического устройства (рисунок 5) по нанесению растворов пестицидов на объекты обработки, представлен на рисунке 13.

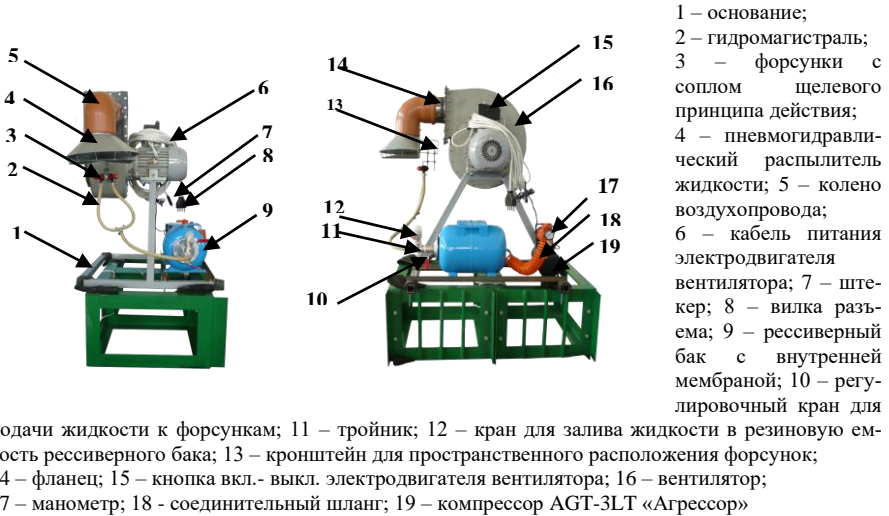
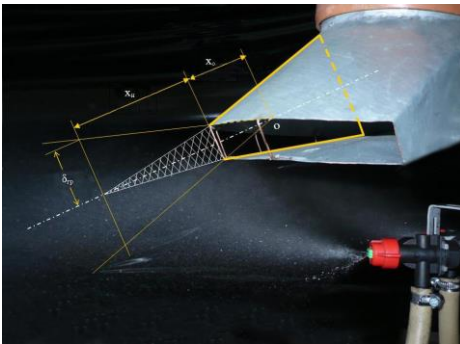


Рисунок 13 – Общий вид стандового оборудования с пневмогидравлическим распылителем жидкости

Фрагмент фотоизображения рабочего процесса пневмогидравлического устройства, приведен на рисунке 14.

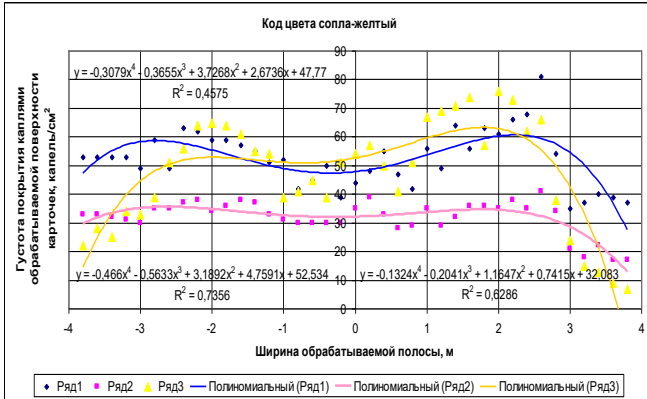


O – полюс струи; x_n – начальный участок воздушной струи, м; x_o – расстояние от начального сечения до полюса струи, м; $\delta_{тр}$ – половина высоты струи на расстоянии x от начального сечения, м.

Рисунок 14 – Фотоизображение рабочего процесса пневмогидравлического устройства

Густота покрытия карточек каплями подкрашенной жидкости при ее рас-

пылении соплами LU – 02 AD – 02 код цвета – **желтый**, инжестировании и транспортировании воздушным потоком пневматической части пневмогидравлического устройства по ширине опрыскивания приведена на рисунке 15.



Ряд 1 – диаметры следов капель/см² диапазона от 0 до 150 мкм;
 ряд 2 – диаметры следов капель/см² диапазона от 150 мкм до 300 мкм;
 ряд 3 – диаметры следов капель/см² более 300 мкм

Рисунок 15 – Графические зависимости густоты покрытия каплями, создаваемыми соплами LU – 02;AD – 02 (код цвета - **желтый**), поверхности карточек по ширине обрабатываемой полосы

Из данных рисунка 15 видно, что два щелевых распылителя пневмогидравлического устройства обеспечивают ширину опрыскивания 6 метров.

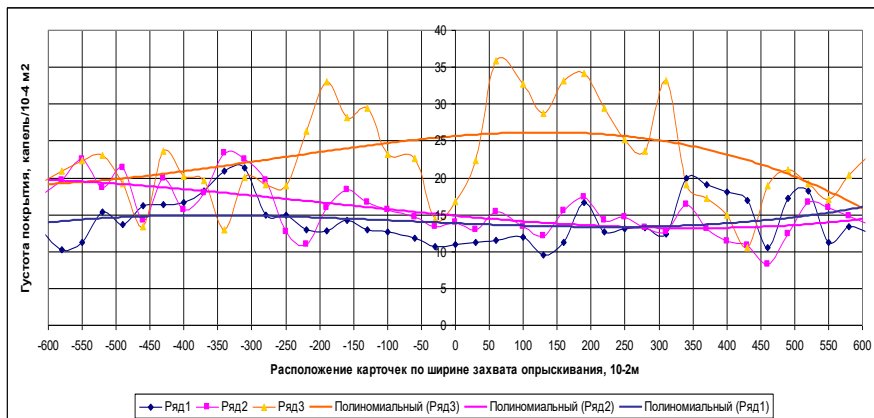
Исследование пневмогидравлических устройств в составе МТЗ–82 показаны моментом опрыскивания учетных карточек на рисунке 16.



Рисунок 16 – Общий вид опрыскивателя, оснащенного 4мя пневмогидравлическими устройствами с соплами LU – 02 AD – 02 (код цвета – **желтый**)

Скорость движения МТЗ–82 – 19,0 км/ч.

Данные по густоте покрытия карточек каплями приведены на рисунке 17.



Ряд 1 – диаметры следов капель/см² диапазона от 0 до 150 мкм; ряд 2 – диаметры следов капель/см² диапазона от 150 мкм до 300 мкм; ряд 3 – диаметры следов капель/см² более 300 мкм)

Рисунок 17 – Графические зависимости густоты капель/см² по ширине захвата опрыскивания

Значения показателей стандартного отклонения и коэффициента вариации при лабораторных испытаниях разработанного способа опрыскивания в сравнении с традиционным способом опрыскивания (рисунок 17) для двух скоростей движения МТЗ–82 приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4 – Значения показателей стандартного отклонения и коэффициента вариации при лабораторных испытаниях разработанного способа опрыскивания в сравнении с традиционным способом опрыскивания

Наименование статистических характеристик выборки	Значение показателя		
	Диаметр следов капель, мкм		
	От 0 до 150	От 150 до 300	Более 300
При традиционном способе опрыскивания			
(при средней скорости движения агрегата 14,8 км/ч (4,11 м/с))			
Стандартное отклонение	4,14	3,86	5,33
Коэффициент вариации, %	34,18	36,08	18,15
(при средней скорости движения агрегата 18,8 км/ч (5,22 м/с))			

Окончание таблицы 4

Стандартное отклонение	6,06	5,66	8,9
Коэффициент вариации, %	44,89	43,84	22,18
При разрабатываемом способе опрыскивания			
(при средней скорости движения агрегата 15,5 км/ч (4,31 м/с))			
Стандартное отклонение	2,46	3,70	7,80
Коэффициент вариации, %	21,97	27,57	29,23
(при средней скорости движения агрегата 19,0 км/ч (5,3 м/с))			
Стандартное отклонение	3,08	3,37	6,22
Коэффициент вариации, %	21,69	21,59	27,51

Из данных таблицы 4 следует, что при средней скорости движения МТА в опытах 15,5 км/ч, производительности двух насадок в пневмогидравлическом устройстве 1,26 дм³/мин, создаваемом давлении жидкости 2 Бар и ширине захвата одним пневмогидравлическим устройством 300 см, расход рабочего раствора составил 16,26 дм³/га. При традиционном варианте расположения распылителей на штанге опрыскивателя через 50 см, скорости движения МТА 14,8 км/ч и производительности насадки 0,63 дм³/мин, расход рабочего раствора составляет 51,10 дм³/га, что в 3,14 раза больше, чем в разрабатываемом варианте.

Общий вид опытного образца опрыскивателя при проведении лабораторно – полевых исследований приведен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Общий вид опытного образца опрыскивателя в составе с МТЗ–82 при проведении лабораторно – полевых исследований

Результаты опытов агротехнической оценки приведены в таблице 5.

Т а б л и ц а 5 – Результаты опытов агротехнической оценки

Наименование показателя	Значение показателя			
Машинно-тракторный агрегат (МТА)	МТЗ-82+PM 229			МТЗ-82+ОП 2000
Скорость агрегата, км/ч	12,0	14,3	17,2	12,0
Норма препарата, дм ³ /га	2,5			3,3
Число сорных растений до прохода, шт.	17,5	12,0	15,7	13,7
Число сорных растений после прохода, шт. (на 7-й день)	Полная гибель падалицы озимой пшеницы			
Число сорных растений после прохода, шт. (на 14-й день)	Полная гибель амброзии и лебеды			
Число сорных растений после прохода, шт. (на 21-й день)	Не полная гибель вьюнка полевого	Полная гибель вьюнка полевого	Не полная гибель вьюнка полевого	

Приведенные обобщенные результаты опытов агротехнической оценки по уничтожению сорняков методом опрыскивания почвы сниженными расходами жидкости и гербицида сплошного действия «Спрут – Экстра, ВР» при исследовании опытного образца опрыскивателя в сравнении с опрыскивателем ОП 2000+МТЗ-80/82 подтверждают возможности снижения рабочей жидкости и препарата, дм³/га.

Моделированием работы распылителей в составе стендового оборудования экспериментально показана возможность получения информационных сведений об осаждении капельной жидкости, ее сносе в окружающую среду, равномерности ее распределения и дисперсности. Для экологической безопасности опрыскивания растений пестицидами предложено пневмогидравлическое устройство, обеспечивающее управляемое нанесение капель распыливаемой жидкости для закономерного их осаждения на объектах обработки с одновременной защитой от их сноса в окружающую среду.

В пятой главе «Экономическая эффективность внедрения предлагаемых решений по опрыскиванию растений» приведены расчеты сравнительной экономической эффективности процессов пневмотранспорта капель распыливаемой жидкости к средствам их регистрации и объектам назначения с применением разработанных пневматических устройств по отношению к базовым вариантам.

Экономическая эффективность предлагаемого варианта опрыскивателя с воздушным рукавом, при условии оснащения его пневматическими устройствами со щелевыми распылителями, по сравнению с опрыскивателем с воздушным рукавом и системой воздушного сопровождения капель, создаваемых распылителями жидкости щелевого принципа действия, составляет **573793,73** руб.

В предлагаемом варианте отличие в экономической эффективности при условии оснащения опрыскивателя с воздушным рукавом пневматическими устройствами с дисковыми распылителями или щелевыми распылителями составляет **4293,89** руб.

Экономическая эффективность стендового оборудования для осуществления моделирования режимов работы распылителей опрыскивателей составляет 1394075, 66 руб. Следует отметить, что важнейший экологический показатель по сносу капель распыляемой жидкости в полевых условиях при применении технических средств в работе не определяется по причине отсутствия приборного оснащения.

Сравнительная экономическая эффективность на сопоставимый объем работ в типичном хозяйстве рассчитывалась по программе «Технолог». За аналог при расчете сравнительной экономической эффективности на сопоставимый объем работ в типичном хозяйстве был принят опрыскиватель навесной ОН – 12. Исходные значения для расчета сравнительной экономической оценки исследуемого варианта, в сравнении с базовым вариантом, приведены в таблице 6.

Т а б л и ц а 6 – Исходные значения для расчета экономической оценки

Наименование показателя	Значение показателя	
	Базовый вариант МТЗ-82 + ОН-12	Исследуемый вариант МТЗ-82 + РМ-229
Скорость движения, км/ч	10,8	16,4
Ширина захвата, м	12,0	
Производительность за 1 ч, га:		
- основного времени	12,96	19,69
- сменного времени	8,27	13,59
Удельный расход топлива за время сменной работы, кг/га	0,4	0,57
Расход рабочей жидкости, дм ³ /га	182,9	15,29

Приведенные в таблице 6 показатели сравнительной экономической эффективности на сопоставимый объем работ в типичном хозяйстве свидетельствуют о том, что производственные затраты на объем работ, тыс. руб., при применении новой технологии при опрыскивании 1 га на 5,51 тыс. руб. меньше, чем при применении базового варианта опрыскивания, без учета экономии стоимости препарата, экономия которого на данный момент времени составляет примерно 537,6 руб. на га.

С учетом стоимости заправочных работ водой (заправки основной емкости водой из скважины, заправка водой из основной емкости в емкость за-

правщика и заправка водой из емкости заправщика в емкость опрыскивателя) экономия составляет 0,523 руб. на га.

Стоимость воды на один га составляет 6,0 руб.

Таким образом, экономия при годовом объеме работ на 1000 га новым способом опрыскивания составляет 549633руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 На основе анализа литературных источников установлено, что получение информационных сведений для рациональных технологий штанговых опрыскивателей растений при их защите от сорняков, вредителей и болезней возможно только на основе совершенствования методов и средств моделирования режимов работы распылителей. Основным направлением повышения качества опрыскивания растений является совершенствование методов и средств пневматического транспортирования капель распыливаемой распылителями жидкости к растениям в соответствии с назначением опрыскивателей.

2 Для моделирования работы распылителей жидкости опрыскивателей обоснована конструктивная схема пневматического устройства стендового оборудования. Опытными данными моделирования распылителей в сравнении с данными исследований распылителей жидкости в составе опрыскивателя установлено, что их отличие по основному критерию медианно-массовому диаметру капель не превышает 21%, что свидетельствует о возможности получения информационных данных для рациональных технологий опрыскивателей в лабораторных условиях.

3 Для повышения качества опрыскивания растений разработаны конструктивные схемы пневмомеханических и пневмогидравлических устройств, обеспечивающие пневмотранспортирование капель распыливаемой жидкости воздушным потоком с шириной осаждения более 4 м при одновременном препятствии их сноса в окружающую среду.

4 Обоснована схема конструкции пневмогидравлического устройства усеченной формы с углом конусности сопла 13° для увеличения скорости воздушной струи, инжекции капель распыливаемой жидкости двумя щелевыми распылителями с углами раскрытия факелов $100\dots^\circ$ и дальности их действия (≈ 35 см). Теоретически определены: площадь сечения сопла $2,25 \cdot 10^{-2}$ м² пневмогидравлического устройства, объем воздуха начального участка струи с постоянной скоростью $3,87 \cdot 10^{-3}$ м³, время его формирования $10,77 \cdot 10^{-3}$ с, объем инжектируемого воздуха $9,197 \cdot 10^{-3}$ м³, объем воздуха внешней области начального участка струи $8,146 \cdot 10^{-3}$ м³ и рабочий объем воздуха $1,53 \cdot 10^{-3}$ м³, который инжектирует объем воздуха, содержащийся в объеме факелов распыла жидкости $3,646 \cdot 10^{-3}$ м³. Рассчитанные коэффициенты инжекции для применяемых типов сопел 01 до 06 распылителей с давлениями жидкости от

3Ваг до 6Ваг подтвердили правомочность проведенных расчетов на основе закономерностей распространения воздушной струи. Время инъекции капель 0,011 с воздушным потоком обусловило снижение их коагуляции, которая по времени начинается после начала распыла жидкости с 0,01 с. С учетом скорости витания капель и скорости воздушного потока струи определена возможность их транспортирования и закономерного осаждения на растения.

5 На основе режимов работы пневмогидравлического устройства проведены расчеты воздухораспределительной системы опрыскивателя с воздушным сопровождением капель к растениям. Определены коэффициенты сопротивления участков системы, потери давления, обусловленные воздушной струей. Суммарные потери давления в системе воздухораспределительной системы опрыскивателя с пневмогидравлическими устройствами составили 464 Па, которые определили производительность вентилятора $L = 1,35 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$.

Расчетами оптимизирована высота расположения пневмогидравлического устройства 0,77 м, обеспечивающая функционирование опрыскивателя на скоростях движения 17 км/ч и более.

6 Сравнительными экспериментальными исследованиями получения данных по основному критерию опрыскивания медианно массовому диаметру (ММД) капель моделированием работы распылителей жидкости и при лабораторно-полевых исследованиях опрыскивателя со скоростями движения от 13,5 км/ч до 18,72 км/ч установлено, что наиболее близкое совпадение ММД капель (6,69 %) для скорости движения опрыскивателя 16,2 км/ч.

7 Результатами опытов агротехнической оценки по уничтожению сорняков методом опрыскивания почвы сниженными расходами жидкости и гербицида сплошного действия «Спрут – Экстра, ВР» при исследовании опытного образца опрыскивателя в сравнении с опрыскивателем ОП 2000+ МТЗ-80 показано, норма препарата снижается в 1,32 раза при скорости движения опрыскивателя 17,2 км/ч.

На штанговом опрыскивателе объемного принципа действия пневматических устройств со щелевыми и дисковыми распылителями сокращается их количество в 3 раза с соответствующим снижением расхода рабочей жидкости до $25 \text{ дм}^3/\text{га}$ и $10 \text{ дм}^3/\text{га}$. Снижается производительность насоса от $151 \text{ дм}^3/\text{ч}$ до $12 \text{ дм}^3/\text{ч}$ и $23 \text{ дм}^3/\text{ч}$ соответственно по сравнению с базовым вариантом; новый вариант опрыскивателя с воздушным рукавом при условии оснащения его пневмогидравлическими устройствами со щелевыми распылителями позволяет применять мелкодисперсный аэрозоль без ограничений метеоусловиями, что позволит сократить расход препарата до 2,5 раз; применение инъекции капель факелов распыла сохранит образованное их количество и выполнять агротехнические требования с повышенными в 1,4 раза скоростями передвижения опрыскивателя при увеличенной в 1,6 раза высоте расположения

распылителей над объектами обработки по сравнению с рекомендуемой для традиционных технологий.

8 Сравнительная экономическая эффективность предлагаемых методов и средств разработанных методов и средств для совершенствования технологии опрыскивания растений растворами пестицидов составляет:

– при моделировании режимов процесса работы распылителей опрыскивателей в сравнении с агрегатом МТЗ - 82+ОП -22 – 2000 - 1394075,66 руб.;

– при применении в опрыскивателе с воздушным рукавом пневматических устройств с дисковыми и щелевыми распылителями 569499,84 руб. и 573793,73 руб. соответственно;

Экономическая эффективность при годовом объеме работ на 1000 га новым способом опрыскивания с пневмогидравлическими устройствами составляет 549633 руб.

Рекомендации производству

Моделирование режимов работы распылителей в разработанном устройстве может быть использовано для получения данных о дисперсности наряду с существующей в каталогах.

Разработанные конструкции пневмогидравлических и пневмомеханических устройств могут быть использованы в системах воздушного сопровождения капель к растениям для замены существующих решений.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Исследовать моделирование работы распылителей по получению показателей классового распределения дисперсности для современных технологий опрыскивателей.

Совершенствовать методы и средства по снижению коагуляции полидисперсного аэрозоля для высокопроизводительных технологий штанговых опрыскивателей.

Список работ, опубликованных по теме

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1 Коваль, З.М. Устройство к стендовому оборудованию для испытания распылителей опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Труды кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар.: ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2009. – Двухмес. №6. – С. 171 – 174. – (объем 0,462 у.п.л./в т.ч. автора 0,28 у.п.л.)

2 Коваль, З.М. Аэрозольная камера для определения концентрации и размера частиц аэрозоля, создаваемого распылителями пестицидов / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Труды кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар.: ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2009. – Двухмес. №6. – С. 201 – 205. – (0,578/0,29).

3 Коваль, З.М. Устройство для оценки качества работы щелевых распылителей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Тракторы и сельхозмашины. – М. – ISSN 0235–8573. 2011. – № 3. – С. 16-18. – (0,38/0,19).

- 4 Коваль, З.М. Пневмогидравлическое устройство для энергоэффективных и экологических технологий применения пестицидов в растениеводстве / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Тракторы и сельхозмашины. – М. – ISSN 0235–8573. 2013. – № 10. – С. 28-30. – (0,35/0,17).
- 5 Коваль, З.М. Пневматическое устройство с щелевыми распылителями для штангового опрыскивателя с воздушным рукавом [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Техника и оборудование для села. – М. – ISSN 2072–9642. 2014. – № 1. – С. 20-22. – (0,35 (0,17)).
- 6 Коваль, З.М. Динамическая аэрозольная камера с фотометрическим принципом действия / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Измерительная техника. – М. – ISSN 0368-1025. 2015. – № 12. – С. 61 – 63. – (0,35/0,17).
- 7 Коваль, З.М. Исследование ресурсосберегающего способа опрыскивания растений пневмогидравлическими устройствами / Техника и оборудование для села. – М. – ISSN 2072–9642. 2015. – № 4. – С. 26-29. – (0,462/2,932).
- 8 Коваль, З.М. Пневмотранспортирование и осаждение капель рабочей жидкости на растения для их защиты от вредителей, болезней и сорняков / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Тракторы и сельхозмашины. – М. – ISSN 0235–8573. 2015. – № 6. – С. 9-13. – (0,58/0,28).
- 9 Коваль, З.М. «Результаты лабораторно-полевых исследований опрыскивателя с пневмогидравлическими устройствами для высокопроизводительных экономичных и экологических технологий применения пестицидов в растениеводстве» / Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург. 2015. – № 8(39) Часть 4. – С. 28-32. (0,52/0,52).
- 10 Коваль, З.М. Способ и пневматическое устройство для снижения коагуляции капель в факалах распыла жидкости при защите растений / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Тракторы и сельхозмашины. – М. – ISSN 0235–8573. 2016. – № 9. – С. 3-6. – (0,462/0,231).
- 11 Коваль, З.М. Характеристики дисперсности при моделировании скорости движения щелевого распылителя жидкости / Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург. 2016. – № 8(50) Часть 3. – С. 174-177. – (0,462/0,462).
- 12 Коваль, З.М. Обоснование высоты штанги опрыскивателя с пневмогидравлическими распылителями растворов рабочей жидкости [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Техника и оборудование для села. – М. – ISSN 2072–3642. 2016. – № 9 – С. 19 - 22. – (0,462/0,231).
- 13 Koval' Z.M. Dinamic aerosol chamber with photometric principle of operation Kireev I.M., Koval' Z.M. Measurement Techniques. Springer. New York Consultants Bureau T.58. № 12. 2016. P. 1392-1395. ISSN. 0543-1972. eISSN. 1573-8906 DOI: 10.1007/s11018-016-0905-5. – (0,462/0,231).
- 14 Коваль, З.М. Новое устройство для опрыскивания сорняков / З.М. Коваль // Сельский механизатор. – М. 2017. – №. 3 – С. 16 - 17. – (0,231/0,231).
- 15 Коваль, З.М. Способ и средство для совершенствования технологий опрыскивания растений/ И.М. Киреев, З.М. Коваль // Агрохимия. – М.: Наука. 2017. – № 4. – С. 87-96. – (1,155/0,58).
- 16 Коваль, З.М. Метод и средство моделирования технологического процесса распылителей жидкости [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль, В.Н. Слесарев. //Техника и оборудование для села. – М. – ISSN 2072–9642. 2017. – №. 7 – С. 28 – 31. – (0,462/0,154).

17 Коваль, З.М., Киреев, И.М. Пневмогидравлический распылитель жидкости для совершенствования технологии опрыскивания растений при их защите от сорняков / Достижения науки и техники АПК. – М. – ISSN 0235–2451. 2018. – № 2 – С. 73–76. – (0,232/0,116).

Патент на изобретение

18 Патент на изобретение № **2367153**, А01М 7/00 Способ нанесения монодисперсных капель растворов пестицидов на растения / Киреев И.М., Скорляков В.И., Коваль З.М., (ГНУ СКС ВИМ Россельхозакадемии) (RU); зарегистрирован 20.09.2009 г. – (0,36/0,12).

Публикации в других изданиях

19 Коваль, З.М. Аэрозольная камера для определения концентрации и размера частиц аэрозоля, создаваемого распылителями пестицидов / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Н.К. Таригин // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции: сб. науч. докладов XIII международной научно – практической конференции «Новые технологии и техника для ресурсосбережения и повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве». – Тамбов: ГНУ "ВИИТИН", 2005. – С. 183 – 191. – (0,52/0,21).

20 Коваль, З.М. Применение аэрозольной камеры при испытании опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Т.И. Козлова // Исследование сельскохозяйственных технологий и машин: сб. науч. тр., – ФГНУ "РосНИИТиМ", - Новокубанск., 2006. – С. 35 – 41. – (0,41/0,164).

21 Коваль, З.М. Устройство к стендовому оборудованию для испытания распылителей опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: сб. науч. тр. международной научно–технической конференции «Приоритетные направления исследований и разработка новых технологий и технических средств». – Зерноград: "ВНИПТИМЭСХ", 2007. – С. 239 – 244. – (0,35/0,17).

22 Коваль, З.М. Аэрозольная камера для определения концентрации и размера частиц аэрозоля, создаваемого распылителями пестицидов / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: сб. науч. тр. международной научно–технической конференции «Приоритетные направления исследований и разработка новых технологий и технических средств». – Зерноград: "ВНИПТИМЭСХ", 2007. – С. 252–260. – (0,56/0,28).

23 Коваль, З.М. Устройство к стендовому оборудованию для испытания распылителей опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Повышение эффективности использования ресурсов в растениеводстве и животноводстве: сб. науч. тр. XIV международной научно – практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции». В 2 ч. Ч.1. – Тамбов: ГНУ "ВИИТИН", 2007. – С. 52 – 56. – (0,36/0,18).

24 Коваль, З.М. Система контроля концентрации и размера частиц аэрозоля, создаваемого распылителями пестицидов / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: сб. науч. докл. X международной научно – практической конференции, г. Углич. В 2 ч. Ч.1 – М.: ФГНУ "Росинформагротех" 2008. – С. 290 – 301. – (0,66/0,33).

25 Коваль, З.М. Определение основного критерия при агротехнической оценке опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // *Агроинженерная наука в сфере АПК: инновации, достижения: сб. науч. тр. VII-й междунар. науч.-техн. конф. –* *Зерноград: ГНУ «СКНИИМЭСХ», 2012. – С. 115-121. – (0,41/0,205).*

26 Коваль, З.М. Решение экологической проблемы при защите растений с применением пневмогидравлического распылителя растворов пестицидов / И.М. Киреев, З.М. Коваль // *«Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития»: сборник научных трудов по материалам Международной научно – практической конференции 29 марта 2013 г.; в 10 частях. Ч.2; М-во обр. и науки РФ. Тамбов. Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. 195 с. ISBN 978-5-4343-0311-8, ISBN 978-5-4343-0313 (Часть 2). – (0,174/0,09).*

27 Коваль, З.М. Пневмогидравлический распылитель растворов пестицидов для перспективных технологий защиты растений с применением штанговых опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // *«Инновационные разработки для АПК» 28-29 марта 2013 г. в 2 частях, Ч 1 «Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК»: VIII-й междунар. науч.-практич. конф. –* *Зерноград: ГНУ «СКНИИМЭСХ», 2013, - 312 с. ISBN 978-5-904960-24-7. – (0,44/0,22).*

28 Koval', Z.M. Determination of average weighted median-mass droplet diameter as one of the main criteria of agronomic evaluation of sprayers / I.M. Kireev, Z.M. Koval' // *"Global Science and Innovation": materials of the I International Scientific Conference, Vol. II, Chicago, December 17-18th, 2013 / publishing office Accent Graphics communication – Chicago – USA, 2013. – P. 35 – 41. ISBN 978-0-9895852-1-7 (Сборник напечатан в феврале 2014 г.). – (0,41/0,205).*

29 Koval', Z.M. Pneumohydraulic device for protection of plants from weeds, pests and diseases with the use of boom sprayers / I.M. Kireev, Z.M. Koval' // *"European Science and Technology": materials of the VII International Research and Practice Conference, Munich April 23^h–24th Vol. II, Munich, Germany, 2014. – P. 488–493. ISBN 978-3-941352-35-3. – (0,29/0,145).*

30 Коваль, З.М. «Сравнительные лабораторные испытания распылителей в составе экспериментального образца опрыскивателя» [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Ф.А. Зимин // *«Инновационные разработки для АПК»: сборник научных трудов по материалам IX-й междунар. науч.-практич. конф. –* *Зерноград: ГНУ «СКНИИМЭСХ», 2014. – С.206-211. – (0,25/0,1).*

31 Коваль, З.М. "Испытания распылителей в составе экспериментального образца опрыскивателя для решения экологической проблемы при защите растений" / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Ф.А. Зимин // *«Наука и образование: проблемы и перспективы развития»: сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции 30 августа 2014 г.: в 5 частях. Часть 4; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТР)) «Бизнес-Наука-Общество, 2014. – С.83-89. – (0,26/0,11).*

32 Коваль, З.М. Экспериментальный образец опрыскивателя растений с пневмогидравлическими устройствами / И.М. Киреев, З.М. Коваль // *"Geography and geology. Agriculture": Materials of the I International scientific and practical conference «Science and Education-2014», - 5-6 September 2014. Vol. 14. Belgorod – Sheffield, S Yorkshire, England. Science and education LTD – С 78 - 84. – (0,4/0,2).*

33 Коваль, З.М. Технические характеристики пневмогидравлического распылителя для разработки штанговых опрыскивателей растений // Наука и современность. 2014 № 2(2). С.53 – 59. – (0,81/0,81).

34 Коваль, З.М. Конструкция пневмогидравлического распылителя для штангового опрыскивателя растений // Научный вестник. 2014 № 2(2). С.73 – 79. – (0,81/0,81).

35 Коваль, З.М. «Защита растений от вредителей, болезней и сорняков пневмотранспортированием и осаждением на них капель рабочей жидкости» / И.М. Киреев, З.М. Коваль // «Новейшие исследования в современной науке: опыт, традиции, инновации»: сборник научных трудов по материалам III-й междунар. науч.-практич. конф.28-29 апреля 2015 г., – г. Москва. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015.С.97–106–(0,55/0,275).

36 Коваль, З.М. «Воздухораспределительная система для штангового опрыскивателя растений с пневмогидравлическими устройствами» / «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» Часть 8 (раздел «Сельскохозяйственные науки»): сборник научных трудов по материалам X-й международной научно-практической конференции 17-18 апреля 2015 г., – г. Новосибирск, 2015.С.69–73.–(0,52/0,52).

37 Коваль, З.М. «Сравнительные показатели традиционного и разрабатываемого способов опрыскивания для защиты растений от сорняков, вредителей и болезней» /Международный научный журнал «Educatio». –Новосибирск: «Россия».2015.–№4(11). – С. 118-122. –(0,462/0,462).

38 Коваль, З.М. «Инжектирование капель факелов распыла жидкости воздушной струей для транспортирования пестицидов к растениям» / «Современные концепции научных исследований» Часть 11 (раздел «Сельскохозяйственные науки»): сборник научных трудов по материалам XIII-й международной научно-практической конференции. – г. М.: Издательство «Евразийский союз ученых», 2015. – № 4(13). – С. 58-63. – (0,635/0,635).

39 Коваль, З.М. «Уничтожение сорняков с применением опрыскивателя, оснащенного пневмогидравлическими распылителями растворов жидкости» / «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков»: сборник материалов X-й международной научно-практической конференции 10 июня 2015 г., – г. Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2015. С. 99 – 107. – (0,44/0,44).

40 Коваль, З.М. «Способы и технические решения по выполнению природоохранных требований при штанговом опрыскивании растений» / «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» Часть 3 (раздел «Сельскохозяйственные науки»): сборник научных трудов по материалам XI-й международной научно-практической конференции 19-20 июня 2015 г., – г. Новосибирск, 2015. – № 5(12). – С. 103 – 107. – (0,52/0,52).

41 Коваль, З.М. Результаты лабораторных испытаний опытного образца опрыскивателя с пневмогидравлическими устройствами / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сборник научных докладов Международной научно-технической конференции.15-16 сентября 2015 г., – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского х-ва. 2015.С.231-236.–(0,694/0,347).

42 Коваль, З.М. Лабораторно-полевые исследования опрыскивателя с пневмогидравлическими устройствами для экономичных и экологических технологий применения пестицидов в растениеводстве / И.М. Киреев, З.М. Коваль // «Информационные технологии и приборы в АПК» «АГРОИНФО- 2015»: сб. науч. докл. VI Международной

научно-практической конференции «АГРОИНФО 2015», г. Новосибирск. В 2 ч. Ч.1. – Новосибирск: ГНУ СибФТИ аграрных проблем, 2015. – С. 350-357. – (0,42/0,21).

43 Коваль, З.М. Характеристики дисперсности щелевых распылителей некоторых производителей при моделировании их функционирования на стендовом оборудовании / Международный научный журнал «Educatio». – Новосибирск: «Россия». 2016. – № 6(24). – С. 15-21. – (0,75/0,75).

44 Коваль, З.М. Методы и средства исследований параметров распылителей штанговых опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Ф.А. Зимин // «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» сборник научных трудов по материалам IX международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2017». – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – С. 353-362. – (0,625/0,25).

45 Коваль, З.М. Режим распыления / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Ф.А. Зимин // Агробизнес – Краснодар. ООО «Пресс-центр». – 2017. – № 5 – С.166 – 168. – (0,35/0,14).

46 Коваль, З.М. Точность рассеивания. / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Агробизнес – Краснодар. ООО «Пресс-центр». – 2017. – № 6 – С.192 – 198. – (0,462/0,231).

47 Коваль, З.М. Моделирование рабочего процесса распылителей для рациональных технологий применения опрыскивателей / И.М. Киреев, З.М. Коваль // АгроСнабФорум. – Краснодар: ООО «Институт развития сельского хозяйства». № 3 (159). апрель 2018. С. 22-24. – (0,462/0,231).

48 Коваль, З.М. Сравнительные показатели разрабатываемой и традиционной технологий опрыскивания растений по результатам лабораторных испытаний / АгроСнабФорум. – Краснодар: ООО «Институт развития сельского хозяйства». № 4 (160). май 2018. С. 26-28. – (0,350,35/).

Патенты на полезную модель

49 Пат. на полезную модель 50675, МПК⁷ G 01 N 21/05 Аэрозольная камера для определения концентрации и размера частиц аэрозоля, создаваемого распылителями пестицидов [/ Киреев И.М., Коваль З.М., Таригин Н.К.; заявитель и патентообладатель ФГНУ «РосНИИТиМ». – № 2005120138; заявл. 28.06.2005; опубл. 20.01.2006, Бюл. № 02. – 3 с.: ил. – (0,36/0,12).

50 Пат. на полезную модель 62495, МПК⁷ А 01 М 7/00 Система контроля аэрозоля для испытания опрыскивателей / Киреев И.М., Таригин Н.К., Сыса В.И., Коваль З.М.; заявитель и патентообладатель ФГНУ «РосНИИТиМ». – № 2006108823; заявл. опубл. 27.04.2007, Бюл. № 12. – 3 с.: ил. – (0,36/0,09).

51 Пат. на полезную модель 72814, МПК⁷ А 01 М 7/00 Устройство для испытания распылителей опрыскивателей / Киреев И.М., Коваль З.М., Нефедов А.А.; заявитель и патентообладатель ФГНУ «РосНИИТиМ». – № 2007106262; заявл. 19.02.2007; опубл. 10.05.2008, Бюл. № 13. – 3 с.: ил. – (0,36/0,12).

52 Пат. на полезную модель 73162, МПК⁷ А 01 М 7/00 Устройство для фотографирования и измерения углов факела распыливаемой жидкости / Киреев И.М., Коваль З.М.; заявитель и патентообладатель ФГНУ «РосНИИТиМ». – № 2007140660; заявл. 01.11.2007; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14. – 3 с.: ил. – (0,36/0,18).

53 Пат. на полезную модель 78406, МПК⁷ А 01 М 7/00 Пневмомеханический распылитель растворов пестицидов / Киреев И.М., Скорляков В.И., Коваль З.М.; заявитель и патентообладатель ГНУ СКС ВИМ Россельхозакадемии. – № 2008125712; заявл. 24.06.2008; опубл. 27.11.2008, Бюл. № 33. – 3 с.: ил. – (0,36/0,12).

54 Пат. на полезную модель 87324, МПК⁷ А 01 М 7/00 Пневмомеханический распылитель растворов пестицидов / Ревенко В.Ю., Киреев И.М., Коваль З.М., Скорляков В.И., Воробьев В.И.; заявитель и патентообладатель ГНУ СКС ВИМ Россельхозакадемии. – № 2009106632; заявл. 25.02.2009; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28. – 3 с.: ил. – (0,45/0,09).

55 Пат. на полезную модель 91807, МПК⁷ А 01 М 7/00 Пневмогидравлический распылитель растворов пестицидов / Киреев И.М., Коваль З.М.; Ревенко В.Ю.; заявитель и патентообладатель ГНУ СКС ВИМ Россельхозакадемии. – № 2009136839; заявл. 05.10.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 7. – 3 с.: ил. – (0,36/0,12).

56 Пат. на полезную модель 129764, МПК А 01 М 7/00 Устройство к опрыскивателю многолетних растений / Киреев И.М., Коваль З.М.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Росинформагротех». – № 2012133604; заявл. 06.08.2012; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19. – 3 с.: ил. – (0,36/0,18).

57 Пат. на полезную модель 111392, МПК⁷ А 01 М 7/00 Система объемного опрыскивания растений / Киреев И.М., Коваль З.М.; заявитель и патентообладатель ГНУ СКС Краснодарского НИИСХ Россельхозакадемии. – № 2011100573; заявл. 11.01.2011; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35. – 3 с.: ил. – (0,36/0,18).

58 Патент на полезную модель 138902, МПК Пневмогидравлический распылитель растворов пестицидов / Киреев И.М., Коваль З.М.; заявители и патентообладатели Киреев И.М. (RU), Коваль З.М. (RU). – № 2013107260; заявл. 19.02.2013; опубл. 27.03.2014, Бюл. № 9. – 3 с.: ил. – (0,36/0,18).

59 Патент на полезную модель 157537, МПК Устройство малообъемного опрыскивания / Киреев И.М., Коваль З.М.; заявители и патентообладатели Киреев И.М. (RU), Коваль З.М. (RU). – № 2015105142; заявл. 16.02.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34. – 3 с.: ил. – (0,36/0,18).

60 Патент на полезную модель 179647, МПК Устройство для испытания распылителей опрыскивателей / Киреев И.М., Коваль З.М., Зимин Ф.А., Новиков В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Росинформагротех». – № 20017144656; заявл. 19.12.2017; опубл. 21.05.2018, Бюл. № 15. – 3 с.: ил. – (0,36/0,09).

В авторской редакции

Подписано в печать 05.12. 2018.

Формат 60/84/16. Уч. – изд. п.л.2,0. Тираж 100 экз. Заказ №

352243 г. Новокубанск Краснодарского края, ул. Красная, 15, КубНИИТиМ