

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
«Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный аграрный университет
имени Н.В. Парахина»

На правах рукописи

Дембовский Илья Андреевич

**РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ
РАСПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОДНООПОРНОГО
ШТАНГОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ**

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Родимцев Сергей Александрович

Орел - 2025

Оглавление

Аннотация.....	5
Введение.....	6
Глава 1. Состояние вопроса, цель и задачи исследования.....	13
1.1 Равномерность распределения рабочей жидкости, как одна из основополагающих характеристик опрыскивания.....	13
1.2 Обзор конструкций и классификация малогабаритных опрыскивателей.....	20
1.3 Анализ принципов управления геометрическими параметрами факела распыла жидкости распыливающими устройствами.....	25
1.4 Классификация свободных гидравлических струй, применительно к задачам механизации защиты растений	42
1.5 Формулирование цели и основных задач исследования	52
1.6 Выводы по Главе 1.....	54
Глава 2. Теоретическое обоснование распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя и оптимизация параметров многорежимного распылителя.....	56
2.1 Обоснование пределов изменения корневых углов факела распыла адаптивной распределяющей системы опрыскивателя	56
2.2 Оптимизация параметров многорежимного распылителя адаптивной распределяющей системы штангового опрыскивателя.....	67
2.3 Выводы по Главе 2.....	83
Глава 3. Программа и методика экспериментальных исследований. Разработка многорежимного распылителя для адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя.....	85
3.1 Программа экспериментальных исследований	85
3.2 Общие методы исследований.....	86
3.3 Описание макетного образца одноопорного штангового опрыскивателя тачечного типа. Методы выполнения полевых экспериментов.....	88
3.3.1 Краткое описание конструкции и принципа работы опрыскивателя.....	88

3.3.2 Устройство и методика для измерения величины вертикальных колебаний полевой штанги опрыскивателя	90
3.3.3 Методы проведения тестовых и рабочих испытаний опрыскивателя в полевых условиях.....	90
3.4 Разработка и создание опытного образца многорежимного дефлекторного распылителя для адаптивной распределяющей системы опрыскивателя.....	94
3.4.1 Описание конструкции и принципа работы оригинального распылителя.....	95
3.4.2 Проектирование и создание опытного образца распылителя.....	98
3.4.3 Принципы функционирования адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя.....	100
3.5 Средства и методы проведения лабораторных исследований.....	102
3.5.1 Экспериментальный стенд и методы оценки качественных характеристик распределения рабочей жидкости.....	102
3.5.2 Стенд и методика определения коэффициента расхода μ и Re-критерия Рейнольдса.....	106
3.5.3 Стенд для изучения зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности от угла γ натекания.....	107
3.5.4 Метод определения краевого угла смачивания отражающей поверхности дефлектора распылителя.....	108
3.6 Методика многофакторного анализа.....	109
3.7 Выводы по Главе 3.....	115
Глава 4. Результаты экспериментальных исследований элементов адаптивной распределяющей системы одноопорного опрыскивателя и их анализ	117
4.1 Результаты тестовых испытаний одноопорного опрыскивателя в производственных условиях	117
4.1.1 Определение величины рабочих колебаний штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости	117

4.1.2 Оптимизация рабочей скорости одноопорного опрыскивателя.....	120
4.1.3 Поисковый эксперимент по проверке концепции адаптивной технологии опрыскивания.....	123
4.2 Определение характеристических критериев процесса истечения рабочей жидкости в оригинальном дефлекторном распылителе.....	124
4.3 Определение углов смачивания отражающих поверхностей.....	126
4.4 Определение зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора от угла γ натекания.....	128
4.5 Установление основных конструкционных параметров многорежимного распылителя.....	130
4.6 Результаты факторного эксперимента и их анализ.....	132
4.7 Рабочие полевые испытания одноопорного опрыскивателя с адаптивной распределяющей системой: результаты и интерпретация данных...	141
4.8 Выводы по Главе 4.....	143
Глава 5. Техничко-экономическая эффективность применения адаптивной распределяющей системы одноопорного опрыскивателя.....	147
5.1 Объект экономической оценки. Субъекты наложения расчетов.....	148
5.2 Показатели экономической оценки.....	153
5.2.1 Исчисление эксплуатационных затрат.....	153
5.2.2 Основные показатели экономической эффективности.....	160
5.2.3 Дополнительные показатели экономической эффективности.....	162
5.3 Выводы по Главе 5.....	164
Заключение.....	166
Рекомендации производству и перспективы дальнейших исследований... 	168
Принятые обозначения, сокращения.....	170
Термины и определения.....	174
Список литературы.....	176
Приложения.....	195

Аннотация

Структура и объём диссертационной работы состоит из введения, основной части, включающей пять разделов, заключения, списка принятых обозначений и сокращений, использованных терминов и определений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 222 страницах, из них 194 страниц основной части, содержащая 54 иллюстрации и 15 таблиц, а также 3 приложений. Список литературы включает 170 наименований, из которых 30 – иностранные.

В работе решаются вопросы повышения эффективности средств механизации для обеспечения технологии внесения средств защиты растений, за счет компенсации равномерности распределения опрыскивателем рабочей жидкости по ширине захвата штанги, колеблющейся в поперечно-вертикальной плоскости, управлением текущими фронтальными проекциями углов факела распыла, формируемых адаптивным подключением секционных дефлекторных распылителей.

Решаются задачи, связанные с исследованием процессов истечения и формообразования жидкости, применительно к сельскохозяйственным распылителям ударно-струйного (дефлекторного) типа; разработкой и созданием элементов концептуально новой адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя; оптимизацией ключевых параметров основного рабочего органа адаптивной распределяющей системы одноопорного опрыскивателя – много-режимного секционного распылителя, обеспечивающего равномерность внесения препарата при вертикальных колебаниях штанги, путем управления геометрией факела распыла; созданием комплекса средств проведения экспериментальных исследований разработанного оборудования в лабораторных и полевых условиях; определением технико-экономической эффективности предлагаемых технологических и технических решений.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 12 печатных работах, из них 3 - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 статья в международных изданиях (Scopus), а также получен патент РФ на полезную модель №224484. Объём публикаций составляет 5,86 п.л., из них автору принадлежит 4,80 п.л.

Введение

Актуальность темы исследования. Повышение урожайности, сокращение затрат на производство сельхозпродукции и снижение ее потерь во многом обеспечивается использованием средств защиты растений (СЗР), различных стимуляторов роста и удобрений. Борьба с возбудителями и болезнями растений способствует увеличению урожайности культур в 1,5...2,0 раза. Мировой рынок химических препаратов для защиты растений будет расти, достигнув к 2027 г. 94,4 млрд долларов и в обозримой перспективе преимущественное использование пестицидов и удобрений остается безальтернативным.

При операции опрыскивания лишь 10...80% препарата попадает на объект защиты, до 40% СЗР распределяется по обрабатываемой поверхности крайне неравномерно. В реальных производственных условиях коэффициент вариации распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги даже при правильно подобранных распылителях, отсутствии износа и технически исправных базовых узлах опрыскивателя способен превышать более 50% (при нормативе до 25% для малообъемного и обычного опрыскивания).

Нарушение процесса внесения СЗР и удобрений приводит к негативным последствиям: сносу частиц рабочей жидкости и отрицательному воздействию на соседние посевы, усилению экологической нагрузки на расстоянии до 20 км от места обработки; снижению нормы внесения препарата, провоцирующему резистентность вредителей к препарату и снижению его токсикологического воздействия на возбудителей болезней; увеличению концентрации действующего вещества, вызывающего ожоги листьев растений и увеличению риска остаточного содержания в продуктах питания; экономическим потерям хозяйств, составляющим до 50% средств на закупку СЗР и т.д. Отметим негативное влияние снижения качества распределения препаратов при выполнении полевых работ в селекции и первичном семеноводстве, где должны соблюдаться требования агротехники возделывания линий и сортов и идентичные условия вегетации опытных посевов (принцип единственного различия).

Одной из причин ухудшения качества технологической операции опрыскивания является отклонение распределяющей штанги от первоначального положения вследствие внешних возмущений. Амплитуда вертикальных колебаний может составлять до 300 мм и более, вызывая соответствующее изменение ширины полосы обработки каждым распылителем до 38% и более.

Повышение равномерности опрыскивания достигается оснащением опрыскивателей системами стабилизации штанги в горизонтальной и вертикальной плоскостях (маятниковые и шарнирно-рычажные системы стабилизации с механическими, пневматическими, гидравлическими и иными демпферными устройствами); наличием гасителей колебаний полевой штанги, устройств подавления вибрации распределительной штанги и сочетанием ее различных поперечных сечений; применением новейших систем и устройств стабилизации и предотвращения раскачивания штанги.

Перечисленные технические решения, относящиеся к самоходным, прицепным и навесным опрыскивателям, вследствие сложности и массивности конструкции не применимы для малогабаритных средств малой механизации, применяемых в селекционно-семеноводческом процессе. К примеру, на делянках II-III этапов используются одноопорные тачечные опрыскиватели, обладающие высокой мобильностью, простотой конструкции и малой массой. Они намного эффективнее ранцевых и ручных устройств, при внесении средств защиты и жидких удобрений на большинстве полевых культур. В то же время, единственная точка опоры не позволяет стабилизировать положение штанги, что ведет к нарушению равномерности распыла. В связи с этим актуальна разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий и средств механизации производственных операций, реализующих качественно новые, высокоэффективные и наиболее адаптированные к внешним воздействиям подходы, способные решать задачи, как в основном производстве, так и в специфических процессах создания новых сортов.

Одним из путей решения этой задачи может стать компенсация равномерности распределения опрыскивателем рабочей жидкости, при вертикальных колебаниях штанги, на основе управления фронтальной геометрией факелов распыла.

Исходя из приведённых предпосылок, разработка и оптимизация адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя, обеспечивающая компенсацию равномерности внесения средств защиты и стимулирования роста и развития растений, при вертикальных колебаниях штанги, является актуальной и своевременной задачей.

Степень разработанности темы. Работа направлена на решение задачи повышения равномерности распределения одноопорным опрыскивателем рабочей жидкости по ширине обрабатываемой полосы, при вертикальных колебаниях штанги, на основе управления фронтальной геометрией факелов распыла.

В аналогичных трудах показано, что существенного снижения коэффициента неравномерности распределения препарата при вертикальных колебаниях штанги опрыскивателя, без использования сложных металлоемких конструкций, можно добиться изменением угла факела распыла во фронтальной проекции. Однако не создана работоспособная конструкция управляемого распылителя, не предложена концептуальная схема адаптивной распределяющей системы опрыскивателя, не рассмотрена теория распыла и формообразования факела рабочей жидкости, применительно к задаче оптимизации ключевых параметров управляемого распылителя.

Научная гипотеза. Компенсация равномерности распределения опрыскивателем рабочей жидкости по ширине захвата штанги, колеблющейся в поперечно-вертикальной плоскости, обеспечивается управлением текущими фронтальными проекциями углов факела распыла, формируемых адаптивным подключением секционных дефлекторных распылителей.

Цель исследования. Целью исследования является повышение качества внесения рабочей жидкости одноопорным опрыскивателем, путем компенсации равномерности распыла при вертикальных колебаниях штанги, применением адаптивной распределяющей системы.

Задачи исследования состоят в следующем:

- выполнить обзор конструкций малогабаритных опрыскивателей и анализ принципов управления геометрическими параметрами факела распыла жидкости распыливающими устройствами, с разработкой их классификаций;

- обосновать аналитические зависимости ширины захвата распылителя, и требуемого фронтального угла факела распыла жидкости от угла поперечного наклона распределяющей штанги, учитывающие конструктивные параметры одноопорного опрыскивателя;

- на основе анализа условий и характеристик процесса истечения, оптимизировать основные конструкционные параметры многорежимного распылителя для адаптивной распределяющей системы опрыскивателя;

- создать комплект опытных образцов многорежимного распылителя для адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя, а также разработать комплекс средств для проведения исследований в лабораторных и полевых условиях;

- на основе полученных экспериментальных данных выполнить технико-экономическое обоснование предложенных технических решений.

Научная новизна. Научную новизну представляют:

- теоретическая зависимость ширины захвата распылителя от конструктивных параметров одноопорного опрыскивателя и угла поперечного наклона рамы;

- уравнение, характеризующее влияние угла положения одноопорного опрыскивателя на требуемый угол распыла, с учетом дистанции вылета многорежимного распылителя, относительно вертикальной оси, проходящей через точку опоры опрыскивателя;

- уточненная математическая зависимость максимальной ширины слоя жидкости на отражающей поверхности от свойств контактирующего твердого тела, самой жидкости, режимов ее истечения и угла натекания, полученная de la Cruz, с привязкой к кривизне отражающей поверхности по параметру радиуса кривизны для оптимизации ширины устья дефлектора распылителя;

- уравнение толщины сходящей пленки рабочей жидкости, учитывающее

радиус и угол развертки сектора отражающей поверхности дефлектора;

- конструкция оригинального многорежимного дефлекторного распылителя для формирования управляемого угла факела распыла, обеспечивающего требуемую ширину полосы обработки, не зависимо от вертикальных колебаний штанги опрыскивателя, защищенная патентом РФ на полезную модель №224484;

- закономерности изменения коэффициента вариации распределения и дисперсии рабочей жидкости по ширине захвата штанги опрыскивателя от давления в гидромагистрالي, угла установки штанги в поперечно-вертикальной плоскости и типа распыливающего устройства, с использованием метода факторной оптимизации.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- разработаны классификации средств малой механизации для внесения химических средств защиты растений, способов управления формой факела распыла, гидравлических струй;

- предложена номограмма для определения значений требуемого угла распыла многорежимного распылителя, в зависимости от угла наклона одноопорного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости и разработан алгоритм переключения режимов работы многорежимных распылителей адаптивной распределительной системы опрыскивателя с построением операционного графика;

- предложен алгоритм оптимизации рабочей скорости одноопорного штангового опрыскивателя, который может быть использован в формировании карт-заданий на технологическую операцию опрыскивания;

- разработан оригинальный многорежимный дефлекторный распылитель для формирования управляемого угла факела распыла, обеспечивающего требуемую ширину обрабатываемой полосы, не зависимо от вертикальных колебаниях штанги опрыскивателя;

- сформулированы основные принципы функционирования адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя, обеспечивающие компенсацию равномерности и плотности распределения препарата

при колебаниях штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости;

- получены новые данные по характеристическим критериям процесса истечения рабочей жидкости применительно к дефлекторному распыливающему устройству;

- содержащиеся в работе научные положения и выводы, позволяют оптимизировать конструктивно-режимные параметры распыливающих устройств ударно-струйного типа на стадии их проектирования;

- разработанный комплекс лабораторных приборов и оборудования, а также материалы диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования базируются на классических положениях гидромеханики, общих методах получения и анализа информации, математической статистики, геометрического и математического моделирования, методов номограммирования функций нескольких переменных, планирования и обработки результатов эксперимента. Полевые испытания проводились в соответствии с рекомендациями ГОСТ 34630-2019, ГОСТ Р 54783-2011, ГОСТ 20915-2011, СТО АИСТ 6.3-2018, СТО АИСТ 7.3-2010.

Научные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся основные положения научной новизны и практической значимости выполненных исследований.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность результатов исследований подтверждена экспериментальными данными. Ошибка в определении контролируемых показателей не превышала 5%. Адекватность теоретических положений подтверждена экспериментальными исследованиями по критериям согласия К. Пирсона, А.Н. Колмогорова, Р. Фишера.

Апробация работы. Основные положения работы и результаты исследований доложены и одобрены на Всероссийских и Международных научно-практических конференциях на базах ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, ФГБОУ ВО Орловский госуниверситет, г. Орел (2020-2025 гг.), XV Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития агропромышлен-

ного комплекса», г. Ростов-на-Дону (2022г.), Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские научные чтения) «Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства», г. Рязань (2023г.), Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Приоритетные задачи научно-технологического развития агропромышленного комплекса», г. Улан-Уде (2024г.), III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии, переработки сельскохозяйственных культур и экологии» (СІВТА-III-2024), г. Уфа (2024г.), X Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт», г. Тамбов (2024г.).

Экспериментальные исследования выполнены в лабораториях и на опытных полях ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина и ФГБОУ ВО Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева (г. Орел).

Рекомендации производству и перспективы дальнейших исследований. Предлагаемые многорежимный дефлекторный распылитель и адаптивная распределяющая система опрыскивателя, обеспечивающие компенсацию равномерности и плотности распределения препарата при колебаниях штанги в поперечно-вертикальной плоскости могут быть востребованы при выполнении технологических операций по защите и стимулированию роста и развития растений, как в селекционно-семеноводческом процессе, так и в «большом» производстве.

В дальнейшем, одним из перспективных решений технической реализации принципа управляемого распыла может стать применение отражающей поверхности веерного типа. Адаптивное управление центральным углом веерного отражателя и угла натекания обеспечит требуемый текущий угол факела распыла. Исполнение распыливающего устройства в виде мехатронного модуля позволит решить все функциональные задачи адаптивного распылителя в едином унифицированном узле.

Глава 1. Состояние вопроса, цель и задачи исследования

1.1 Равномерность распределения рабочей жидкости, как одна из основополагающих характеристик опрыскивания

Достижение целей Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [98], во многом зависит от реализации прогрессивных технологических систем возделывания сельскохозяйственных культур. Однако, несмотря на неуклонное развитие уровня агротехнологий и постоянное совершенствование средств механизации, отдельные вопросы, связанные с их использованием, продолжают оставаться актуальными. В современных условиях сельскохозяйственного производства отдается предпочтение методам оптимизации механизированных операций. Это позволяет улучшить качество их выполнения и добиться более высоких конечных показателей.

Одним из важных элементов в структуре агротехнологий, является химическая защита растений от сорняков, вредителей и болезней. Увеличение роста стоимости сельскохозяйственной продукции является причиной роста рынка химических средств защиты растений (ХСЗР) [113], применение которых в обозримой перспективе останется приоритетным (рис. 1.1). В основе своей, внесение защитных и стимулирующих препаратов выполняется методом опрыскивания [108].

Равномерность распределения рабочей жидкости – основополагающая характеристика технологического процесса опрыскивания. Равномерность внесения препарата определяет качество и эффективность химической защиты растений, экономические показатели процесса, степень его негативного влияния на окружающую среду. Так, например, нарушение работы распылителей, снос, испарение, стекание части вносимого пестицида обуславливают пропуски и снижение концентрации вносимого препарата. Это приводит к недостаточному сдерживанию развития сорняков в зоне «недовнесения» [59], ускорению резистентности (привыканию) вредителей [63, 121 и др.] и снижению токсикологического воздействия на возбу-

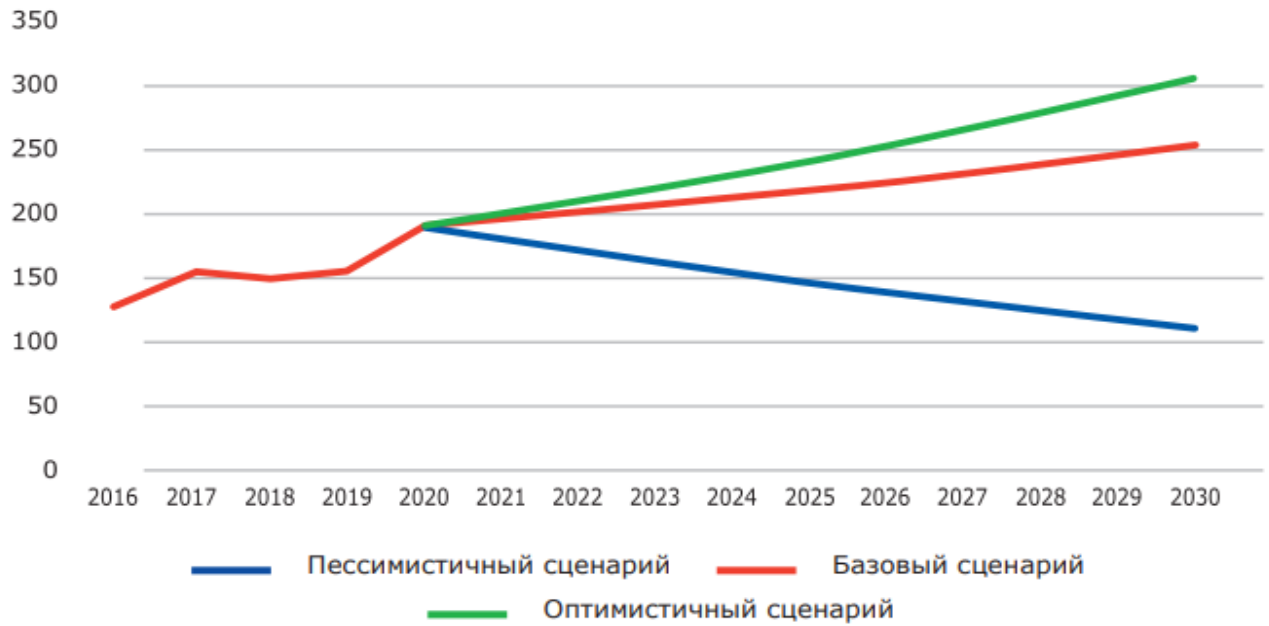


Рисунок 1.1 - Прогноз объема рынка химических средств защиты растений в России в 2021-2030 годах, тыс. тонн [113]

дителей болезней [96]. В свою очередь, превышение нормы внесения влечет увеличение концентрации действующего вещества, вызывающее ожоги листьев растений [97].

Качество внесения препаратов во многом влияет на эффективность их использования. Результаты исследований многих авторов подтверждается потенциальная возможность многократного уменьшения норм внесения рабочей жидкости за счет обеспечения более высокого качества обработки сельхозкультур [6, 77, 95].

Отмечается [75], например, что на 1% неравномерности распределения рабочей жидкости приходится 0,4% объема его непроизводительного использования. В переводе на конкретные цифры, это свидетельствует о потере не менее 8% препарата, при коэффициенте вариации распределения пестицида 20% [68]. Избегая указанных потерь возможно значительно снизить дозировку препарата на единицу площади посевов. Сокращение же расхода пестицидов ведет к существенному снижению себестоимости продукции.

Анализ исследований шведских ученых наглядно демонстрирует данное положение. Из графика на рис. 1.2 видно, что 100%-ная эффективность применения пестицидов достигается при коэффициенте вариации – не менее 7%. При этом доза

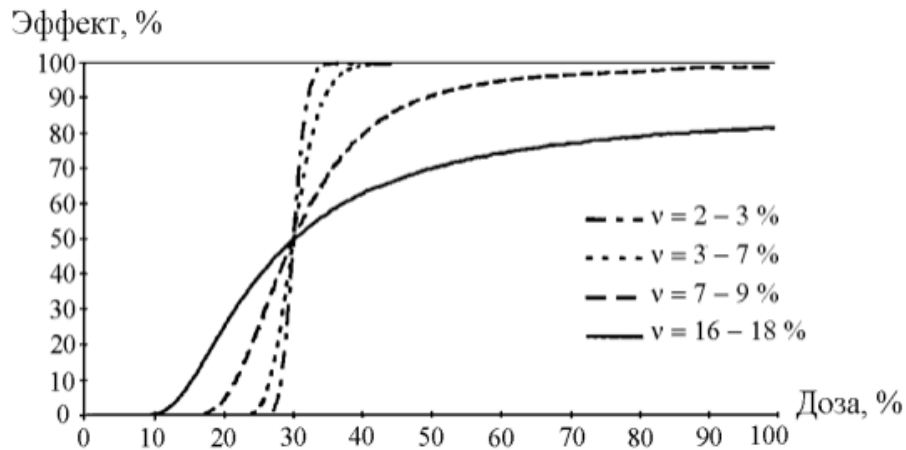


Рисунок 1.2 – Зависимость эффективности применения пестицидов от равномерности их распределения [68]

внесения препарата снижается более чем в 2 раза. Напротив, в случае неравномерности внесения более 16% приемлемой эффективности применения препарата невозможно достичь даже при его полной дозе [68].

По оценкам многих авторов, равномерность внесения рабочей жидкости способно влиять на урожайность культуры. Так в работе [137] показано, что точность внесения жидкости для опрыскивания дает возможность увеличить урожайность до 20...30%); специалисты холдинга «Эконива» утверждают о повышении урожайности не менее 3%, при сокращении затрат на препараты на 500 рублей с гектара [123].

Полученные данные позволяют рассматривать равномерность распределения препарата как один из важнейших показателей качества опрыскивания и зафиксировать ее численную оценку в агротехнических требованиях.

Потери распыленной жидкости при опрыскивании могут достигать 20...30% и более [83], что чрезвычайно актуально при все увеличивающейся стоимости и сферы применения препаратов (рис. 1.3) [156].

Снос мелких капель и стекание крупных капель с обрабатываемой поверхности являются одним из главных факторов риска для окружающей среды. Установлено, что при опрыскивании, доля имеющих малую скорость гравитационного оседания мелких капель (менее 80 мкм) составляет от 1...2% [72] до 5...6% [86] и более. В целом, потери гербицидов при сносе могут составлять 20...90%. До 70%

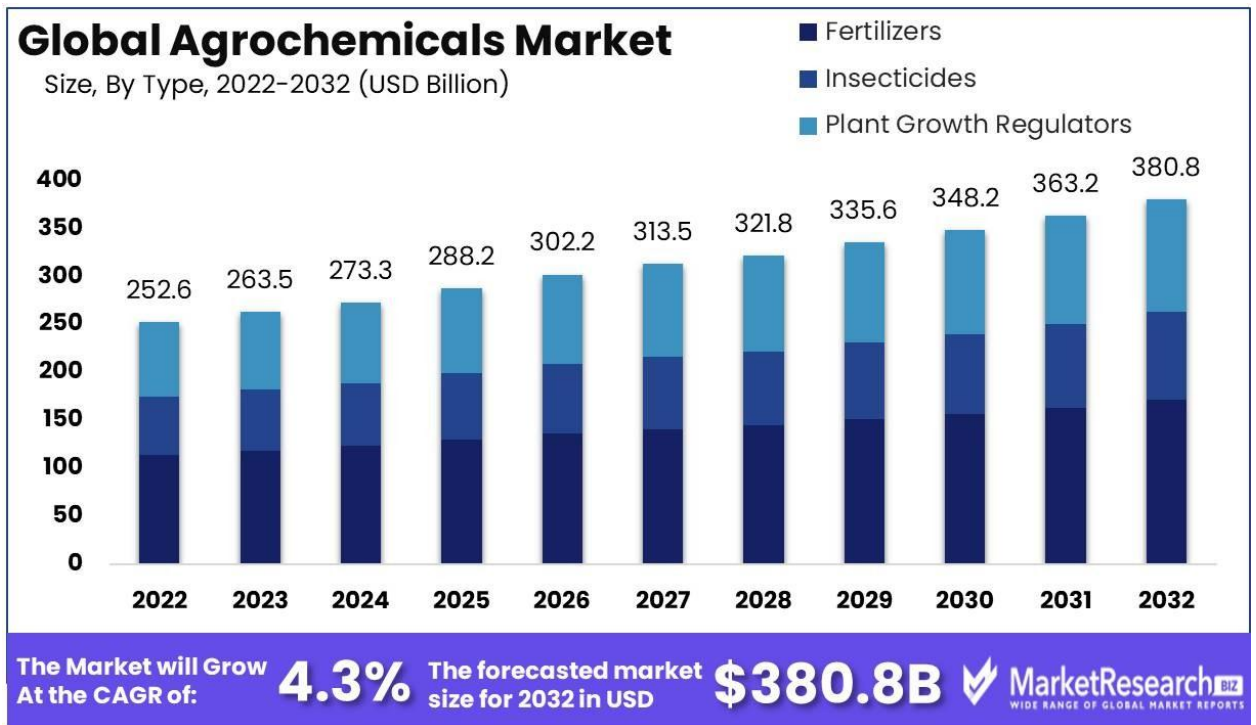


Рисунок 1.3 - Тенденции размера и доли рынка агрохимикатов и прогнозирование доли и сферы их применения к 2032 году [156]

рабочей жидкости не достигают объекта обработки. Снос частиц препарата за пределы обрабатываемого участка также вызывает ожоги других культур и растений рядом с зоной обработки. Установлено, что повреждения сельхозкультур в отдельных случаях обнаруживают на расстоянии до 20 км от участков опрыскивания [75].

Равномерность распределения рабочей жидкости при опрыскивании определяется многими факторами, среди которых основными являются качество работы распылителей, а также техническое состояние штанги и ее положение, относительно обрабатываемой поверхности [75, 108].

Оставляя, пока, в стороне вопросы, связанные с качественными характеристиками распылителей, остановимся на условиях равномерности внесения препарата, зависящих от положения штанги. Колебания штанги подразделяют на 2 вида: продольные колебания, зависящие от изменения скорости движения агрегата (рис. 1.4) и колебания в поперечно-вертикальной плоскости, представляющие для нас наибольший интерес в данной работе.

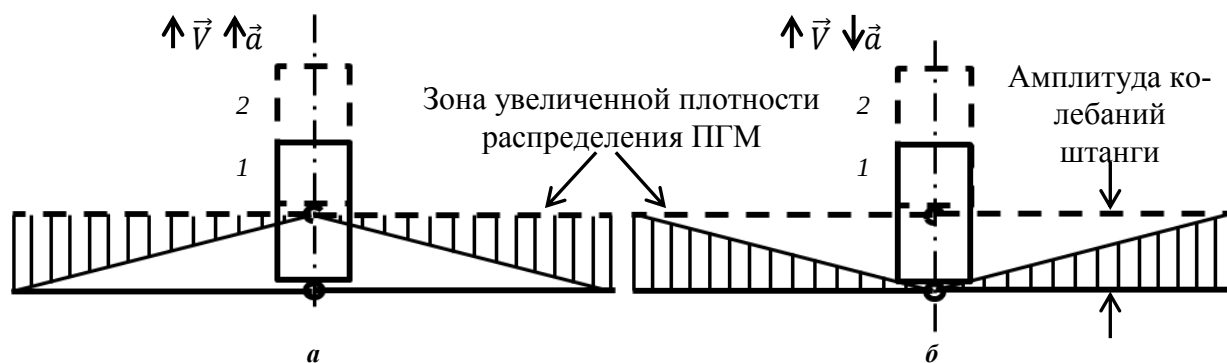


Рисунок 1.4 – Эпюры плотности распределения рабочей жидкости в горизонтальной плоскости, при положительном (а) и отрицательном (б) ускорении опрыскивателя: 1 – начальное положение агрегата; 2 – последующее положение агрегата; V , a – векторы скорости и ускорения агрегата, соответственно

Как известно [75, 108, 110], рекомендуемая высота установки штанги определяется точкой пересечения факелов распыла (ФР) смежных распылителей, которая находится на середине расстояния между местом истечения струи и уровнем обрабатываемой поверхности. Так, для распылителей с углом ФР 110-120° и размещенных с шагом 50 см, оптимальной будет считаться высота установки штанги 50 см. Переход к распылителям с углом факела 80-90° обусловит увеличение оптимальной высоты установки штанги на 25 см и т.д.

В производственных условиях вертикальные колебания штанги определяются неровностями рельефа, длиной и жесткостью конструкции, явлениями резонанса и могут быть весьма велики. Однако даже изменение высоты штанги на 10 см влечет увеличение расхода рабочей жидкости в зоне перекрытия на 40% (рис. 1.5). При этом расход препарата в остальной зоне снижается на 30% [75]. Как уже отмечалось, колебания штанги ведут и к ухудшению качества опрыскивания: с увеличением высоты распыла возрастают испарение и снос частиц рабочей жидкости; малая высота расположения распылителей обуславливает отсутствие зон перекрытия и превышение нормы внесения действующего вещества. Агротехническими требованиями к технологическому процессу штангового опрыскивания допускается неравномерность распределения (коэффициент вариации) рабочей жидкости – не более 25%, при малообъемном и обычном; не более 40%, при ультрамалообъемном опрыскивании [110]. Неравномерность распределения вноси-

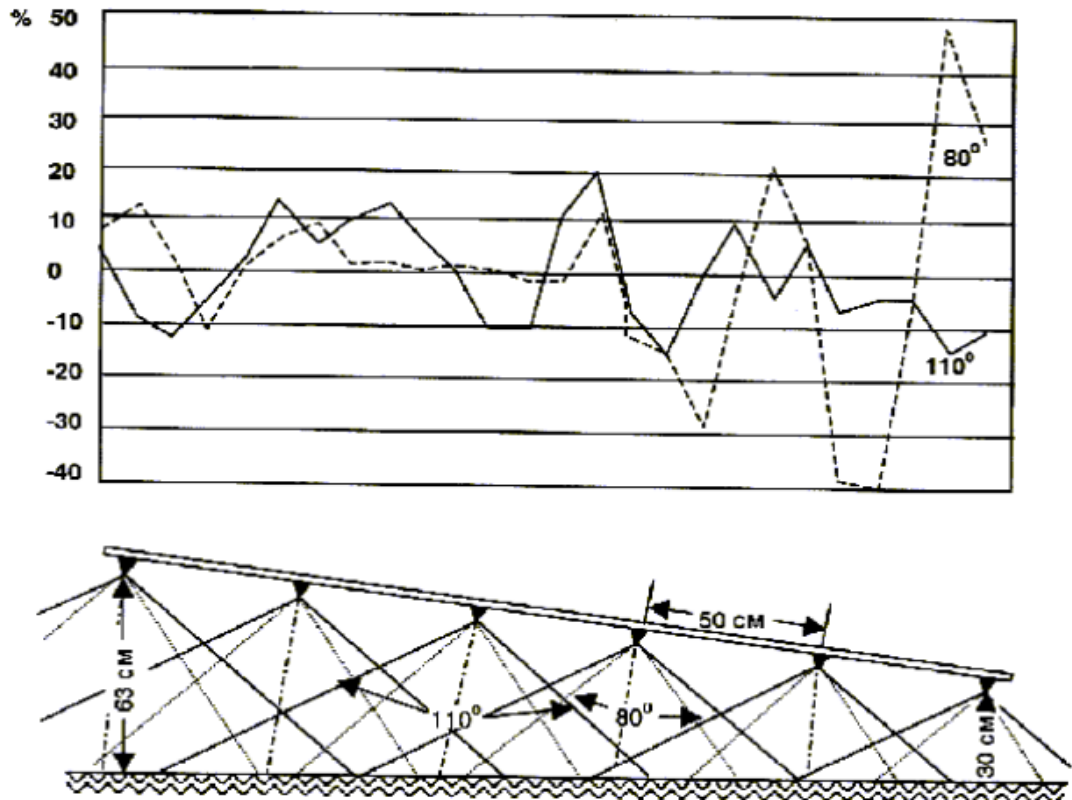


Рисунок 1.5 - Влияние наклона штанги на равномерность распределения пестицида по ширине захвата [75]

мого препарата по ширине захвата штанги должна быть не менее 30...40% [54; 48]. Рассматривая равномерность внесения средств защиты растений, как один из важнейших показателей качества опрыскивания, в большинстве европейских стран нормы по данному показателю ужесточены. Так, в Германии и Англии коэффициент вариации распределения жидкости не должен превышать 7%, во Франции – 10%. В США допускаемое отклонение принято до 5% [75].

Для обработки растений на испытательных делянках в процессах селекции и первичного семеноводства данные вопросы еще более актуальны. Ведь в селекции каждое отдельное растение может представлять неповторимый, оригинальный материал, воспроизвести который весьма сложно. Следовательно, очень важно обеспечить не только строгое внесение установленной дозировки препарата, но и идентичные условия обработки для всего опытного материала. При этом необходимо учитывать особенности конструкций средств малой механизации селекционно-семеноводческого процесса.

В этих условиях особое внимание должно быть уделено обеспечению равномерности внесения средств защиты, независимо от упругих колебаний штанги, явлений резонанса либо текущих изменений микрорельефа.

Так, для прицепных, навесных и самоходных опрыскивателей задача компенсации отклонения штанги планомерно решается в течение многих лет. Повышение равномерности опрыскивания достигается оснащением агрегатов системами стабилизации штанги в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Известны технические и технологические решения, основанные на копировании рельефа поля с помощью маятниковых и шарнирно-рычажных систем стабилизации с механическими, пневматическими, гидравлическими и иными демпферными устройствами [69, 101], гасителей колебаний полевой штанги [67], подавлении вибрации распределительной штанги сочетанием ее различных поперечных сечений [150, 169], использования вентиляторной форсунки с изменяемым углом распыления совместно с технологией широтно-импульсной модуляции [148], изменения слияния потоков смежных распылителей, в зависимости от величины колебаний штанги [13], применением новейших систем и устройств стабилизации и предотвращения раскачивания штанги фирм-разработчиков John Deere (США), Jacoby (Германия), Kverneland Groupe, Hardi [101] и др.

Вследствие сложности и массивности конструкции, перечисленные технические решения не применимы в селекционно-семеноводческом процессе, а средства малой механизации (СММ) не столь давно занимают устойчивое место в реализации современных технологий. В связи с этим актуальна разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий и технических средств производственных операций, реализующих качественно новые, высокоэффективные и наиболее адаптированные к внешним воздействиям подходы, способные решать задачи, как в основном производстве, так и в специфических процессах создания новых сортов.

Так, среди инженерных решений задачи снижения неравномерности опрыскивания из-за вертикальных колебаний штанги особое место занимают технические проекты, базирующиеся на изменении формы и геометрических размеров ФР от-

дельных распылителей [8, 52]. В этом случае, равномерность распределения рабочей жидкости при отклонениях распределяющей системы достигается регулированием геометрических характеристик распыла. Такой способ повышения равномерности распыла достаточно универсален и может быть распространен на малогабаритные технические средства.

Изучению равномерности опрыскивания растений при их защите от сорняков, вредителей и болезней посвящены труды ученых: В.А. Абубикерова [2, 3,], И.Б. Борисенко [11, 12], В.А. Вялых [21, 22], В.М. Дринчи [40, 126], И.М. Киреева [60, 61], А.К. Лысова [71, 72], М.В. Мезниковой [12, 79], Н.В. Никитина [42, 85], С.А. Родимцева [36, 103], Ю.А. Уткова [125, 126], А.А. Цымбала [130], Luck JD [153], Butts TR [142], Giles DK [149] и др.

В этих и других работах приводятся различные варианты инженерных и технологических решений. Однако все они ориентированы на навесные, прицепные и самоходные машины. К тому же, в большинстве исследований не ставится вопрос об управлении текущими параметрами распыла для нивелирования внешних возмущающих воздействий с целью повышения равномерности опрыскивания. Отдельные же предложения, основанные на принципе адаптации геометрии ФР к условиям работы распределяющей системы носят лишь абстрактный характер. Они не располагают аналитическими результатами, не обоснованы теоретически и не имеют практического выражения. Между тем, использование управляемого (многорежимного) распылителя, как элемента адаптивной распределяющей системы может стать универсальным решением задачи компенсации отклонений штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости, исключая применение сложных и массивных систем.

1.2 Обзор конструкций и классификация малогабаритных опрыскивателей

Основная цель механизации в любой области человеческой деятельности — свести к минимуму ручной труд и вероятность реализации опасностей. Данные вопросы вполне актуальны, как для большого производства, так и в применении к

целям выполнения различных работ на малых участках. К числу последних относятся технологические операции в селекционно-семеноводческом процессе, садовых и фермерских участках, в природообустройстве и ландшафтном строительстве, в коммунальном и садово-парковом хозяйствах, на приусадебных участках граждан и т.д. Здесь, в настоящее время широко распространены и хорошо зарекомендовали себя средства малой механизации. Это машины и вспомогательное оборудование с малой потребляемой мощностью и небольшой массой, предназначенные для сокращения затрат ручного труда и механизации трудоемких операций и отдельных процессов [15, 41].

В селекционно-семеноводческом процессе используют СММ для расчистки площадей от мусора; обработки почвы; внесения удобрений, посева и посадки; ухода за насаждениями; зимней и летней очистки полей и т.д. [87]. Широко применяются самоходные измельчители пней, бензопилы, мотокусторезы, мотосекаторы и мотоножницы, мотокультиваторы и мотоблоки, с различным навесным и прицепным оборудованием и рабочими органами, садовые пылесосы, ручные катки и виброплиты, газонные сеялки, сажалки, косилки и прочее оборудование. Особое место в этом списке занимают средства механизации для внесения жидких удобрений и средств защиты зеленых насаждений. В отличие от сложной и дорогостоящей навесной или монтируемой техники и малопроизводительного ранцевого и ручного оборудования, опрыскиватели такого типа весьма востребованы.

Известно [28], что к оборудованию для химической защиты растений предъявляют ряд требований: они должны обеспечивать безопасность операторов и окружающих лиц, не наносить вреда окружающей среде, быть легкими и удобными в работе, настройке и обслуживании, выполнять технологическую операцию качественно и эффективно.

Для обработки посевов, кроме навесных тракторных, с успехом применяют малогабаритные переносные и мобильные опрыскиватели с ручным, электрическим и механическим приводом [134, 158]. На рис. 1.6 приведена оригинальная классификация малогабаритных опрыскивателей.



Рисунок 1.6 - Классификация малогабаритных опрыскивателей

Оставляя в стороне монтируемую, навесную и прицепную тракторную технику, остановимся на известных мотоблочных, ручных, ранцевых и тачечных опрыскивателях.

Основным недостатком мотоблочных опрыскивателей является большая металлоемкость, сложность эксплуатации и ремонта базового оборудования. Также следует иметь ввиду, что мощность мотоблока, рассчитанного на энергозатратные операции по обработке почвы, зачастую не соответствует потребляемой мощности гидронасоса малогабаритного опрыскивателя. Это свидетельствует о непроизводительных затратах энергии, ресурса и горюче-смазочных материалов.

Насосы и помповые опрыскиватели наиболее просты, имеют незначительные массу и размеры, но малообъемны, требуют значительных затрат мускульной энергии и не обеспечивают должного качества обработки.

Ранцевые опрыскиватели могут иметь механический (ручной), электрический и мотопривод. Обладают высокой эффективностью, вследствие наличия гидробака, объемом 10...30 литров. Тем не менее, их длительное использование ведет к значительному напряжению и быстрой усталости оператора. Кроме того, как и для всех опрыскивателей с ручным рабочим органом, они не дают равномерного покрытия обрабатываемой поверхности, что приводит к пропускам, недовнесению, и, напротив, ожогам листьев, высокой концентрации препаратов в зонах обработки и загрязнению окружающей среды.

Известны, также, штанговые опрыскиватели, навешиваемые непосредственно на оператора. Однако, их использование возможно лишь в сочетании с полным комплектом средств защиты оператора, что не всегда удобно и не находит широкого применения.

Тачечные опрыскиватели конструктивно более сложны, но позволяют использовать более вместительные емкости. При возможности использования горизонтальных или вертикальных штанг, а также электро- или мотопривода насоса, данный фактор обеспечивает не только увеличение эффективности процесса, но и высокое качество обработки поверхностей, равномерность внесения препарата и снижение нагрузки на окружающую среду. Применение таких опрыскивателей

возможно в сельском и лесном хозяйстве (в селекции и семеноводстве растений), для обработки растений на сложных рельефах местности.

Так, для внесения СЗР на опытных участках II-III этапов применяются малогабаритные штанговые опрыскиватели тачечного типа, с одним опорным колесом [64, 92, 104, 122, 152, 164]. Такие устройства обладают универсальностью, мобильностью в пределах шаговой доступности, простотой эксплуатации и малой массой, что весьма важно для деляночного опрыскивателя. Одноопорная схема не восприимчива к различию ширины междурядий. Кроме того, по сравнению с ранцевыми и шприцевыми устройствами, такие опрыскиватели обладают большей производительностью и равномерностью обработки значительных площадей опытных посевов.

Из уровня техники известны несколько видов тачечных опрыскивателей, которые способны создавать давление в гидравлической системе помповым механизмом (ручной привод), электроприводом и приводом от двигателя внутреннего сгорания. Можно выделить такие конструкции, как малогабаритный штанговый опрыскиватель на одноколесном велосипедном шасси фирмы Wintersteiger (Австрия) [64, 122], Euro Pulve (Франция) [164] и опрыскиватель производства ОАО ГСКБ (Зерноочистка) г. Воронеж (Россия) [92]. В основном, эти опрыскиватели предназначены для сельскохозяйственного производства и выпускаются по заказам предприятий и частных лиц.

К недостаткам одноопорной конструкции, безусловно, относится следующее: удержание боковой штанги в горизонтальном положении требует определенных физических усилий и навыков оператора. Неустойчивость опрыскивателя определяет неизбежные колебания штанги в поперечно-вертикальной плоскости. Компенсация распределения пестицида при таких колебаниях позволит намного повысить качество работы устройства.

В последние годы находят применение новое поколение менее металлоемких тачечных опрыскивателей, имеющих более привлекательный дизайн и оборудованных высокотехнологичными системами (в том числе – информационно-цифровыми): Birchmeier (Швеция) [166], MM WaterTec Inc. (США) [163], опрыс-

квиватели Cub компании CR Willcocks (Англия) [146], ОТТ-120 (Россия) [91] и др. Область применения таких опрыскивателей достаточно широка и включает возможность выполнения задач в процессах селекции первичного семеноводства. Однако, при всех своих достоинствах эти машины достаточно дороги и требуют значительных затрат при обслуживании и ремонте. Кроме того, экономическая безопасность страны, сегодня диктует необходимость устранения зависимости от иностранных технологий и капитала и развитие собственного высокотехнологичного производства.

Отсюда следует вывод о необходимости разработки отечественного одноопорного опрыскивателя, оснащенного адаптивной системой распределения рабочей жидкости, на основе управления геометрическими параметрами факела распыла отдельных распылителей. Такой опрыскиватель должен использоваться в технологиях создания новых сортов, а также быть применимым для работ в садово-парковых хозяйствах, в природообустройстве, на малых фермерских и приусадебных участках.

1.3 Анализ принципов управления геометрическими параметрами факела распыла жидкости распыливающими устройствами

Защита растений имеет важное народнохозяйственное значение. Согласно данным ФАО ООН, из-за вредителей и болезней в мире ежегодно погибают до 40% всех продовольственных культур. При этом общий объем убытков в торговле сельскохозяйственной продукцией составляет более \$220 млрд. Десятки миллионов людей сталкиваются с угрозой голода, а аграрное производство испытывает серьезный ущерб [145].

Однако от качества внесения средств защиты на производственных участках зависят такие факторы, как эффективность обработки, степень экологической нагрузки и экономичность выполняемой операции [75, 141 и др.]. В этих условиях на первый план выходят инновационные способы и средства механизации производственного процесса.

Известно, что при использовании штанговых опрыскивателей, одной из актуальных задач является компенсация поперечных колебаний штанги и изменение высоты ее расположения, относительно поверхности обработки, вследствие недостатков копирования рельефа. Установлено [78], что при движении опрыскивателя, величина вертикальных колебаний штанги может составлять до 300 мм и более. Это влечет изменение геометрии факела распыла (ФР) рабочей жидкости полевыми наконечниками. В этом случае, ширина обработанной полосы может изменяться на 38%. Уменьшение ее способствует увеличению необработанной зоны и участков с превышением концентрации действующего вещества. Увеличение приводит к значительному сносу препарата.

Среди известных способов решения задачи повышения равномерности распределения рабочей жидкости – уменьшение скорости движения агрегата [108], использование пружинно-гидравлических амортизаторов [151], реализация технологии стабилизации потока, образуемого парой смежных распылителей [78] и т.д.

При всех имеющихся достоинствах приведенных методов, одним из наиболее полно удовлетворяющих сопутствующим условиям следует считать способ, основанный на принципах непосредственного управления геометрией ФР.

Так как формирование ФР осуществляется распыливающим устройством, способы управления распылом, безусловно, основаны на конструктивных особенностях распылителей, технологических режимах последних и, в меньшей степени, на сопутствующих условиях. Однако, если классификация, собственно, распыливающих устройств рассмотрена в литературе достаточно подробно [68, 108, 155], то принципам управления формообразованием ФР незаслуженно уделено гораздо меньшее внимание. Между тем, подобный анализ позволил бы не только упорядочить и позиционировать существующие методы, но и сформулировать новые, на основе вновь выявленных взаимосвязей между отдельными категориями.

Установлено, что одним из наиболее распространенных способов изменения режима распыления жидких сред является применение комбинированных головок. Их конструкция предусматривает наличие сразу нескольких распыливающих

элементов. Принцип работы таких устройств основан на последовательном сообщении выходного канала комбинированной головки с входным каналом требуемого распылительного элемента. Схема на рис. 1.7 дает представление о расчетных параметрах данного технического решения.

Как видно, отдельные распылители расположены на комбинированной головке по окружности диаметром D , м. Общая длина L , м, окружности будет выражена зависимостью:

$$L = \pi D \quad (1.1)$$

Угол α , град, между радиальными осями распылителей легко определяется отношением:

$$\alpha = \frac{360}{n} \quad (1.2)$$

где n – количество распыливающих элементов на вращающемся секторе комбинированной головки.

В плоскости вращения сектора головки, максимальные габариты каждого i -того сменного распылителя описываются диаметром d_i .

Таким образом, минимально возможное расстояние l , м, по окружности диаметром D между смежными распылителями, определяется по формуле:

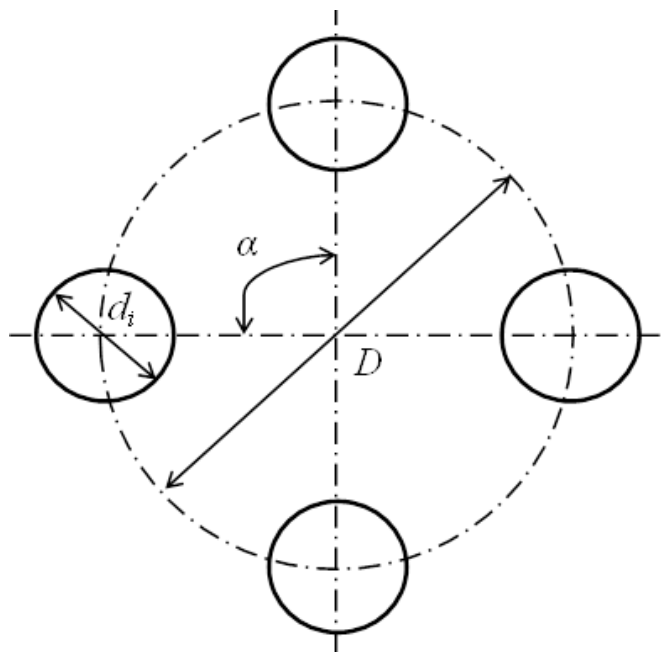


Рисунок 1.7 – Схема к определению количества распылителей на вращающемся секторе комбинированной головки

$$l \geq \frac{\pi D}{n} - \sum_{i=1}^2 \frac{d_i^{max}}{2} \quad (1.3)$$

Отсюда, найдем количество распылителей на комбинированной головке:

$$n \leq \frac{\pi D}{l + \sum_{i=1}^2 \frac{d_i^{max}}{2}} \quad (1.4)$$

Очевидно, что с учетом габаритных размеров d_i распылителей и диаметра D окружности их вращения, допустимый угол между распылительными элементами на секторе будет выражен формулой:

$$\alpha_{доп} \geq \frac{180}{n} - \arcsin \frac{\sum_{i=1}^2 d_i^{max}}{D} \quad (1.5)$$

К наиболее известным вариантам практического применения описанных устройств относятся револьверные комбинированные распыливающие головки (рис. 1.8) и многорежимные распыливающие насадки (рис. 1.9).

Многорежимные распылители [56] находят преимущественное применение в быту (душевые и поливочные насадки). Ввиду их массового производства и использования относительно дешевых материалов, имеют низкую стоимость и являются более доступными. При использовании в более ответственных технологических процессах практически не применимы, ввиду низкой надежности и коротких сроков эксплуатации.

Напротив, револьверные комбинированные распыливающие головки [108] широко применяются, например, в сельскохозяйственном производстве. Распре-

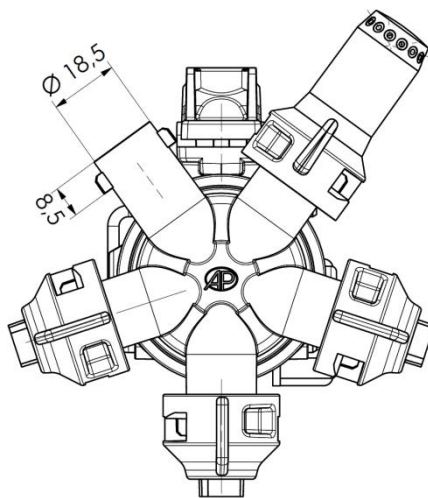


Рисунок 1.8 – 5-позиционная револьверная распылительная головка опрыскивателя [108]

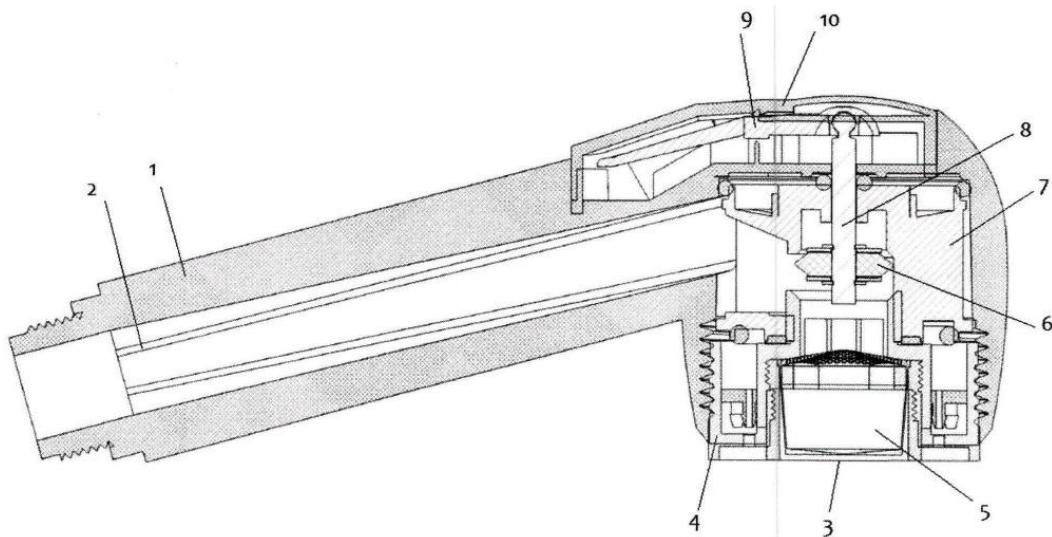


Рисунок 1.9 - Душевая головка: 1 – корпус; 2 – подводящая трубка; 3, 4 – сетка; 5 – аэратор; 6 – клапан; 7 – диафрагма; 8 – шток; 9 – рычаг; 10 – крышка [56]

делительные системы (полевые штанги) практически всех современных опрыскивателей могут комплектоваться такими устройствами. Это предоставляет солидные преимущества по времени при смене технологического режима операции (норма внесения, расход рабочей жидкости, угол распыла и др.). Револьверные распыливающие головки достаточно надежны в эксплуатации, однако следует отметить значительную стоимость комплекта, дискретность изменения режимов и ограниченность (2...5) количества распылителей на одной головке.

Простейший способ изменения ширины захвата ФР при обработке площади заключается в изменении пространственных свойств потока рабочей жидкости. Так, при фиксированном угле $\alpha_{\text{фр}}$ ФР, управляя расстоянием s от сопла форсунки до объекта обработки, легко добиться требуемой ширины b полосы обработки (рис. 1.10). Закономерность $b=f(s)$ следует из свойств равнобедренного треугольника:

$$b=s \operatorname{ctg} \alpha_{\text{фр}} \quad (1.6)$$

Гистограмма распределения жидкости приблизительно соответствует графику на рис. 1.11.

Вращением плоскоструйного распылителя вокруг своей оси, также возможно регулировать ширину полосы обработки (см. рис. 1.9). Здесь используется принцип изменения угла ФР в поперечно-вертикальной плоскости, по отношению к

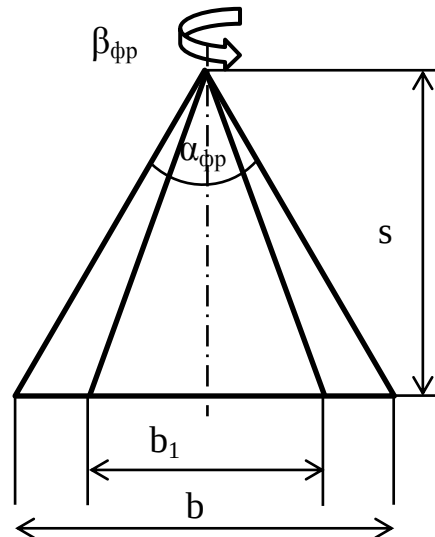


Рисунок 1.10 – Схема к расчету ширины захвата факела распыла форсунки направлению движения опрыскивателя. В этом случае, уже известное равенство (1.6) записывается с учетом угла $\beta_{фр}$ осевого поворота распылителя в горизонтальной плоскости:

$$b_1 = (s \operatorname{ctg} \alpha_{фр}) \sin \beta_{фр} \quad (1.7)$$

В практике находят применение оба этих способа. Изменение высоты положения распылителя применяют, обычно, при междурядной обработке посевов культиваторами [52]. В этом случае, распылители монтируют непосредственно на грядах секций, как показано на рис. 1.12.

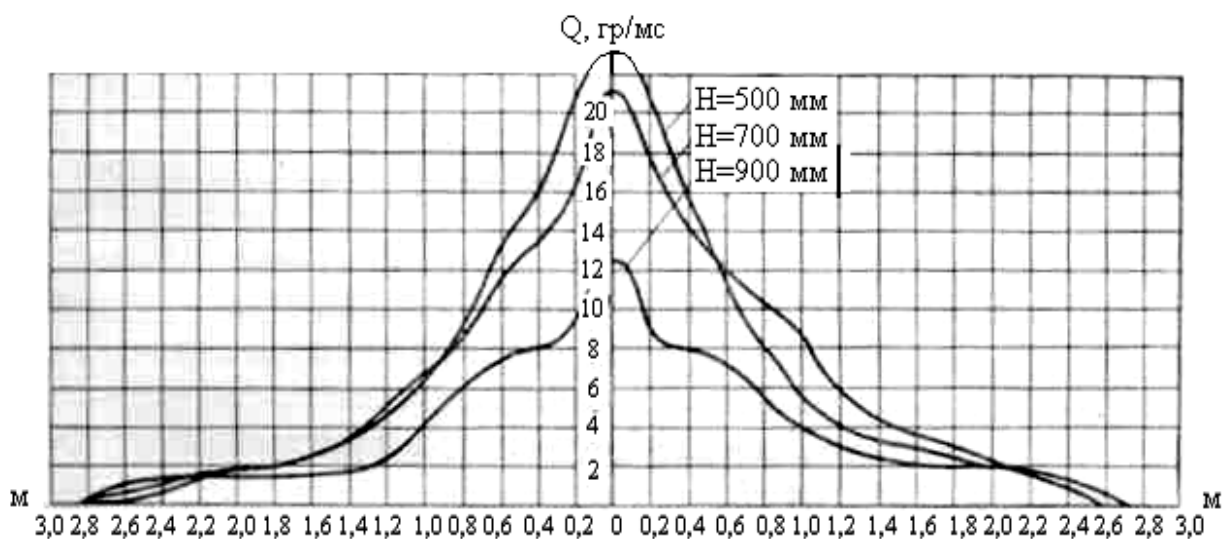


Рисунок 1.11 -. Распределение жидкости по ширине факела распыла дефлекторного распылителя в зависимости от высоты его расположения [108]

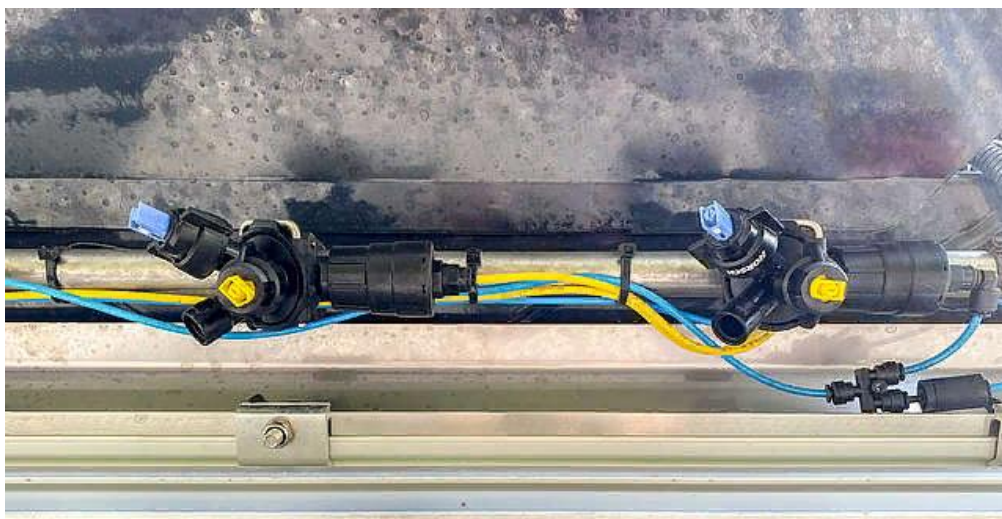


Рисунок 1.12 – Установка комбинированных распылителей на грядках пропашного культиватора [52]

При использовании принципа управления формой поперечно-вертикальной проекции ФР [131], на полевой штанге опрыскивателя устанавливают управляющие механизмы, регулирующие осевое положение распылителей в горизонтальной плоскости (рис. 1.13). Распылители смонтированы на поворотных устройствах, соединенных тягами с механизмом привода. Последний связан с управляющим устройством, сигналы на который исходят от датчиков положения распылителей, относительно обрабатываемой поверхности. Стоит отметить, что способ осевого вращения ФР может быть реализован не только вращением распылителя, но и его форсунки (щелевого вкладыша).

Несмотря на кажущуюся простоту, способы управления ФР изменением пространственных свойств достаточно сложны технологически. К примеру, вертикальное перемещение форсунок требует использования сложных и энергоемких приводов. Применение способа осевого вращения более доступно, хотя и имеет смысл исключительно в отношении плоскофакельных распылителей.

Принцип управления геометрией ФР варьированием расхода рабочей жидкости во времени (изменением давления), основан на таких свойствах жидкости, как плотность и сжимаемость.

Из теории известно [93], например, что в форсунке центробежного типа расход жидкости приблизительно прямо пропорционален корню квадратному из перепада давления:

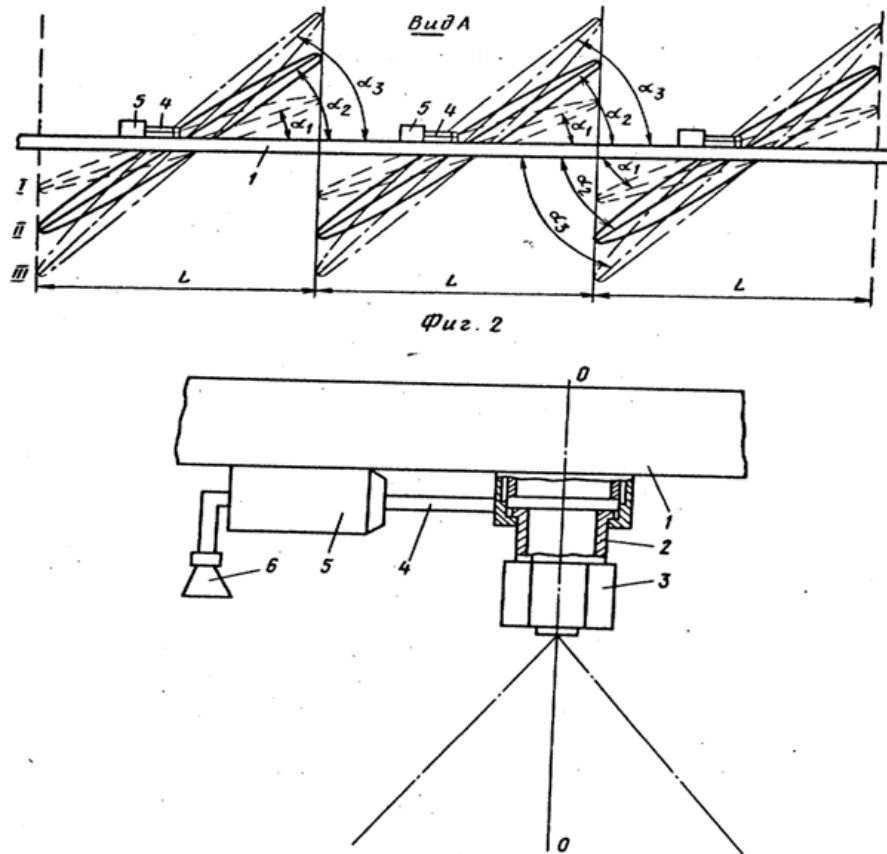


Рисунок 1.13 – Штанговый опрыскиватель: 1 – штанга; 2 – поворотное устройство; 3 – распылитель; 4 – тяга; 5 – механизм привода; 6 – датчик [77]

$$Q = k\sqrt{P_1 - P_2} \quad (1.8)$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние плотности жидкости;

P_1 , P_2 – рабочее давление и потери давления жидкости в гидросистеме, соответственно.

Графиком функции вида $Q=f(P)$ является перевернутая ветвь параболы (рис. 1.14). Приближение ее к осям OX и OY , соответственно, определяется уменьшением и увеличением коэффициента k по модулю.

Угол ФР поддается регулировке давлением в меньшей степени, чем расход и степень распыла жидкости. Известно [127], что угол распыла заметно изменяется при давлении до 0,5 МПа, стабилизируясь при дальнейшем увеличении давления. Так, если максимальное давление подачи составляет 0,6 МПа, то для уменьшения расхода в 20 раз необходимо снизить давление до 0,5 кПа, однако при столь низком давлении струя жидкости практически не распадается на капли.

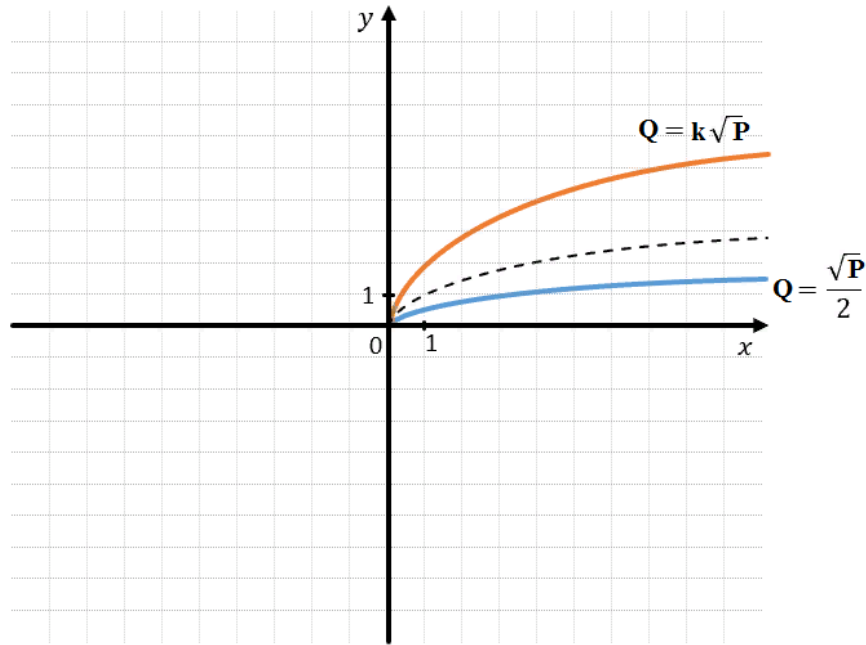


Рисунок 1.14 – Влияние коэффициента k на вид функции $Q=f(P)$

Тем не менее, рассматривая корневой угол ΦP , как функцию внутренней геометрии распылителя и его режимных параметров, знания о влиянии давления на параметры распыла также представляют ценность.

Так, в работе [162] отмечается, что, по всей вероятности, корневой угол распыла может зависеть от условий, определяемых формой и размером D сопла, а также рабочим давлением ΔP , плотностью ρ , поверхностным натяжением σ и вязкостью μ жидкости:

$$\theta = f\left(\frac{D\Delta P}{\sigma}; \frac{D\rho\sigma}{\mu^2}\right) \quad (1.9)$$

что было подтверждено экспериментально (рис. 1.15).

Несколько позднее эмпирическое соотношение корневого угла ΦP и комплекса конструктивно-технологических показателей было получено с помощью экспериментов Rizk и Lefebvre [160]:

$$2\theta = 6K^{-15} \left(\frac{\Delta P D_0^2 \rho_L}{\mu_L^2} \right) \quad (1.10)$$

где 2θ – угол распыла (угол конуса);

K - геометрическая константа распылителя;

ΔP — падение давления жидкости;

D_0 - диаметр выходного отверстия;

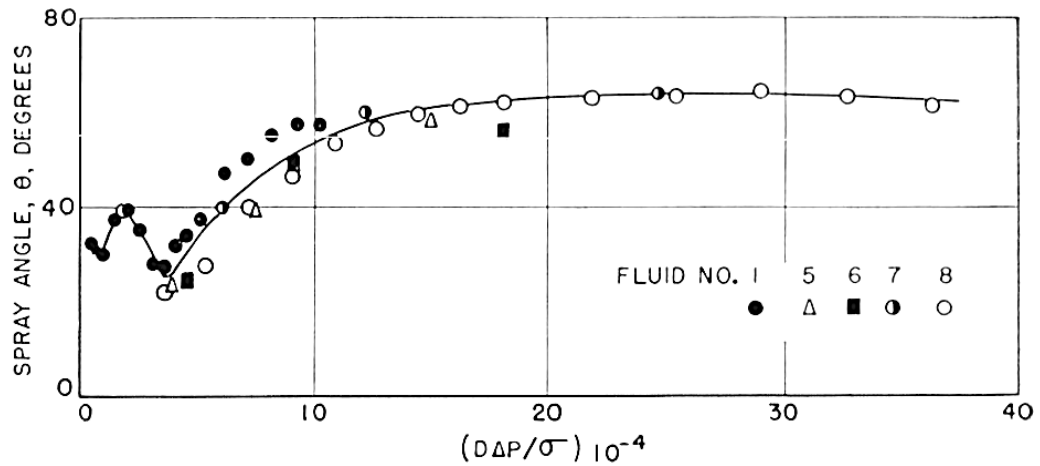


Рисунок 1.15 – Кривая угла факела распыла [162]

ρL – плотность жидкости;

μL – вязкость жидкости.

Помимо простейшего способа регулирования расхода жидкости в гидросистеме регуляторами давления, к техническим решениям изменения геометрии ФР относят включение в конструкцию распылителя регулируемых гидравлических сопротивлений. Известны схемы распыливающих устройств с управляемыми дефлекторами [135], дросселирующими элементами конфузора [89], набором дроссельных элементов [117].

Распылитель с управляемым дефлектором [135] имеет регулятор гидравлического сопротивления, функционирующий в качестве упругого отражателя в районе поперечного паза (рис. 1.16). Утверждается, что при углах передней стенки поперечного паза распылителя с направлением потока $\beta \leq 45^\circ$, с изменением расхода жидкости угол ФР плавно регулируется в пределах $15 \dots 180^\circ$.

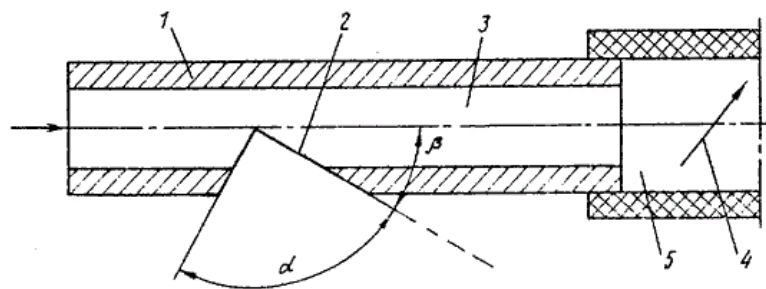


Рисунок 1.16 – Распылитель: 1 – наконечник; 2 – поперечный паз; 3 – отводящий канал; 4 – гидравлическое сопротивление; 5 – отводящая магистраль [135]

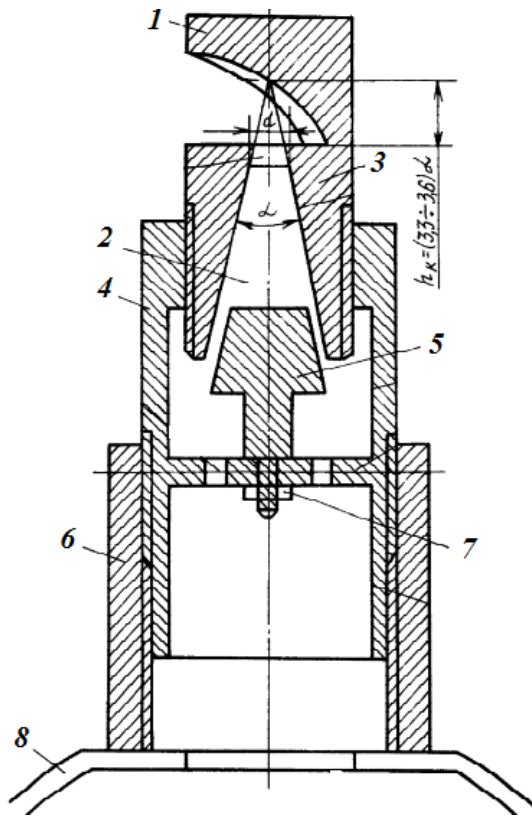


Рисунок 1.17 - Дождеобразующее устройство: 1 – дефлектор; 2 – проходной канал; 3 – дождевальная насадка; 4 – дросселирующий элемент; 5 – усеченный конус; 6 – штуцер; 7 – стопорная гайка; 8 – трубопровод [89]

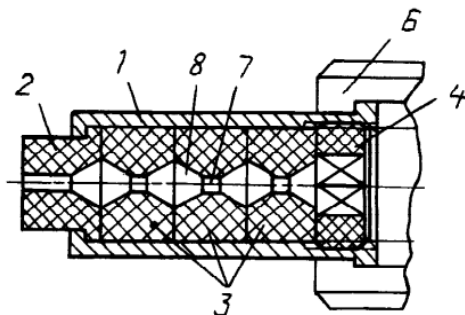


Рисунок 1.18 – Форсунка для распыления жидкостей: 1 – корпус; 2 – сопловый элемент; 3 – дроссельные вставки; 4 – стопорная гайка; 6 – гайка; 7 – дроссельные элементы; 8 – камера [117]

где Q – расход через дроссель;

k – коэффициент расхода;

В дождеобразующем устройстве по патенту RU 2417845 C1 [89], изменение давления реализуется дросселирующим элементом, на перегородке которого установлен усечённый конус (рис. 1.17). Последний входит в конфузор дождевальной насадки и выполнен с центральным углом, равным центральному углу конфузора. Управление расходом жидкости осуществляется осевым перемещением усечённого конуса. В определенной степени, этим достигается управление углом ФР дождевателя.

Входящий в комплект распылителя дроссельный пакет, состоящий из отдельных последовательно установленных дроссельных вставок [117], также способен регулировать расход жидкости через распылитель, влияя на геометрические параметры ФР (рис. 1.18). В этом случае, управление расходом жидкости осуществляется установкой требуемого количества дроссельных вставок в пакете. Достижение требуемого эффекта объясняется следующим уравнением гидравлики [7]:

$$Q = kA \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1.11)$$

A - площадь проходного сечения дроссельной щели;

ΔP - перепад давления на дросселе;

ρ - плотность рабочей жидкости.

Как и в предыдущих примерах, изменение расхода жидкости в таких распылителях способствует изменению геометрических характеристик распыления.

К результатам исследований, доказывающих влияние давления в гидросистеме на геометрию ФР, относятся данные в работах [159, 157].

Учитывая экспериментальные результаты [159], разработано и описано следующее уравнение, описывающее угол θ распыла испытывающего кавитацию сопла [157]:

$$\Theta = (C_n)^n (P_t)^m \quad (1.12)$$

где P_t – фактическое давление рабочей жидкости;

C_n – число кавитации.

Одним из условий, влияющих на формообразование распыла жидкости можно считать скорость потока в распылителе. Отмечается [56], что при малой скорости истечения (небольшом давлении) основным фактором, приводящим к разрушению жидкостной пленки, является сила тяжести. Под ее воздействием уже на небольшом расстоянии от выходного отверстия вертикально установленного распылителя, края пленки загибаются вниз, и она приобретает форму грибка. Увеличение скорости истечения приводит к увеличению размеров пленки и, в целом, к увеличению угла факела распыла жидкости.

Для вихревых распылителей, представим форму ФР в виде объемного конуса. При таком допущении можно считать [23], что угол 2α при вершине приближенно определяется отношением среднего значения тангенциальной u_{cp} и осевой ω скоростей:

$$tg\alpha = \frac{u_{cp}}{\omega} \quad (1.13)$$

где α – половина угла при вершине конуса.

Легко видеть, что при $u_{\text{ср}} = \text{const}$, увеличение скорости ω ведет к уменьшению численного значения отношения $\frac{u_{\text{ср}}}{\omega}$. В свою очередь, угол α имеет прямую зависимость от осевой скорости ω .

В работе [170], предложив неопределенную функциональную связь между углом распыления θ и некоторыми независимыми факторами, вида

$$\theta = f(d_0, V, \mu, \rho) \quad (1.14)$$

где d_0 - диаметр сопла;

V - скорость распыления;

μ, ρ - коэффициенты вязкости и плотности рабочей жидкости, соответственно, авторами выполняется безразмерный анализ (1.14):

$$\Pi = d_0^a V^b \mu^c \rho^d \quad (1.15)$$

Здесь, формулы размерностей определяются как $d_0 = L$; $V = LT^{-1}$; $\mu = MT^{-1}T^{-1}$; $\rho = ML^{-3}$ и подставляются в уравнение (1.15):

$$[\Pi] = [L]^a [LT^{-1}]^b [MT^{-1}T^{-1}]^c [ML^{-3}]^d \quad (1.16)$$

Так как сумма отношения размерности равна нулю, легко выводится формула количества размерностей выражения (1.14):

$$\Pi = \frac{\rho V d_0}{\mu} \quad (1.17)$$

Нетрудно видеть, что формула количества критериев (1.17) идентична соотношению числа Рейнольдса [65]. Следовательно, по мнению авторов, предоставляется возможность построения нового критериального соотношения:

$$\theta = A(\text{Re})^n \quad (1.18)$$

где коэффициент A и индекс n представляют собой экспериментальные значения.

В качестве примеров управления углом распыла потока на выходе из распылителя с помощью скорости потока можно предложить конструкции, описанные в работах [43, 44, 116].

При этом в патенте RU 2278742 [44], заявленный результат достигается путем изменения длины камеры расширения, т.е. - расстояния между соплом и ячеистой сетки для дополнительного дробления жидкости (рис. 1.19).

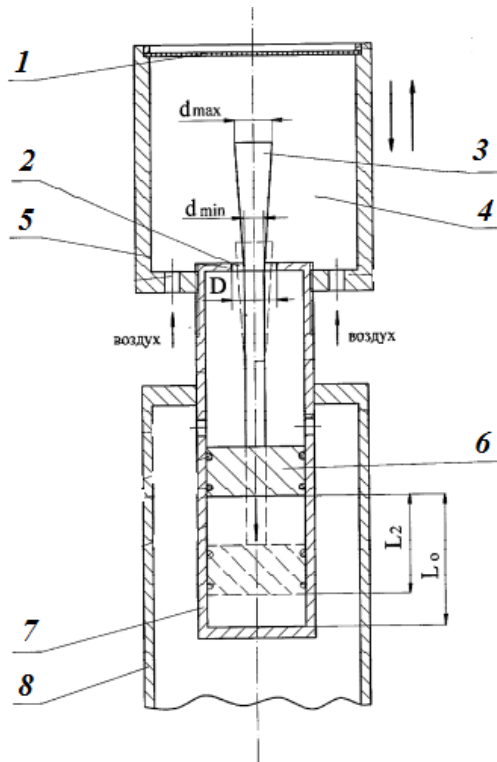


Рисунок 1.19 – Распылитель жидкости: 1 – ячеистая сетка; 2 – выходное отверстие; 3 – обтекатель; 4 – расширяющаяся камера; 5 – стенка; 6 – поршень; 7 – камера регулятора; 8 – корпус [44]

ФР.

По своей сути, техническое решение, сформулированное в патенте RU 156862 [116] не отличается от предыдущего. Однако, здесь (рис. 1.20, б), изменение длины камеры завихрения реализовано за счет возможности осевого перемещения наружного цилиндра, относительно неподвижного завихрителя.

Стоит отметить, что управление корневым углом распыла лишь скоростью потока намного менее эффективно, по сравнению с изменением пространственных свойств ФР или геометрией отражающих поверхностей. К тому же, в [43, 116] способы изменения геометрических характеристик ФР скоростью истечения жидкости решаются отношением тангенциальной и осевой скоростей потока.

Схожий принцип регулирования угла ФР посредством изменения скорости потока реализован в решениях [43, 116]. Принципиальным отличием последних является лишь применение данного способа для центробежных распылителей.

Так, в распылителе жидкости по патенту RU 54825 [43], генерирование газок капельных осесимметричных потоков с требуемой дисперсностью и углом ФР, осуществляется положением завихрителя (рис. 1.20, а). С этой целью завихритель выполнен с возможностью перемещения вдоль оси симметрии корпуса распылителя и соединен с управляющим штоком. Увеличение длины участка завихрения влечет потери скорости, вследствие увеличивающихся сил трения. В конечном итоге, это способствует уменьшению корневого угла

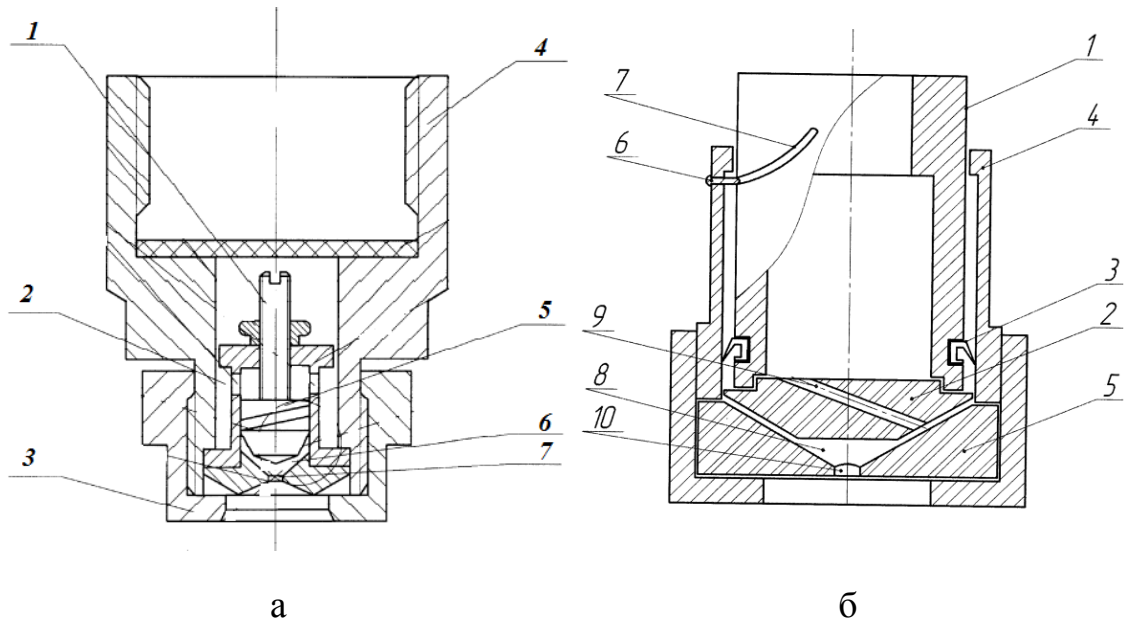


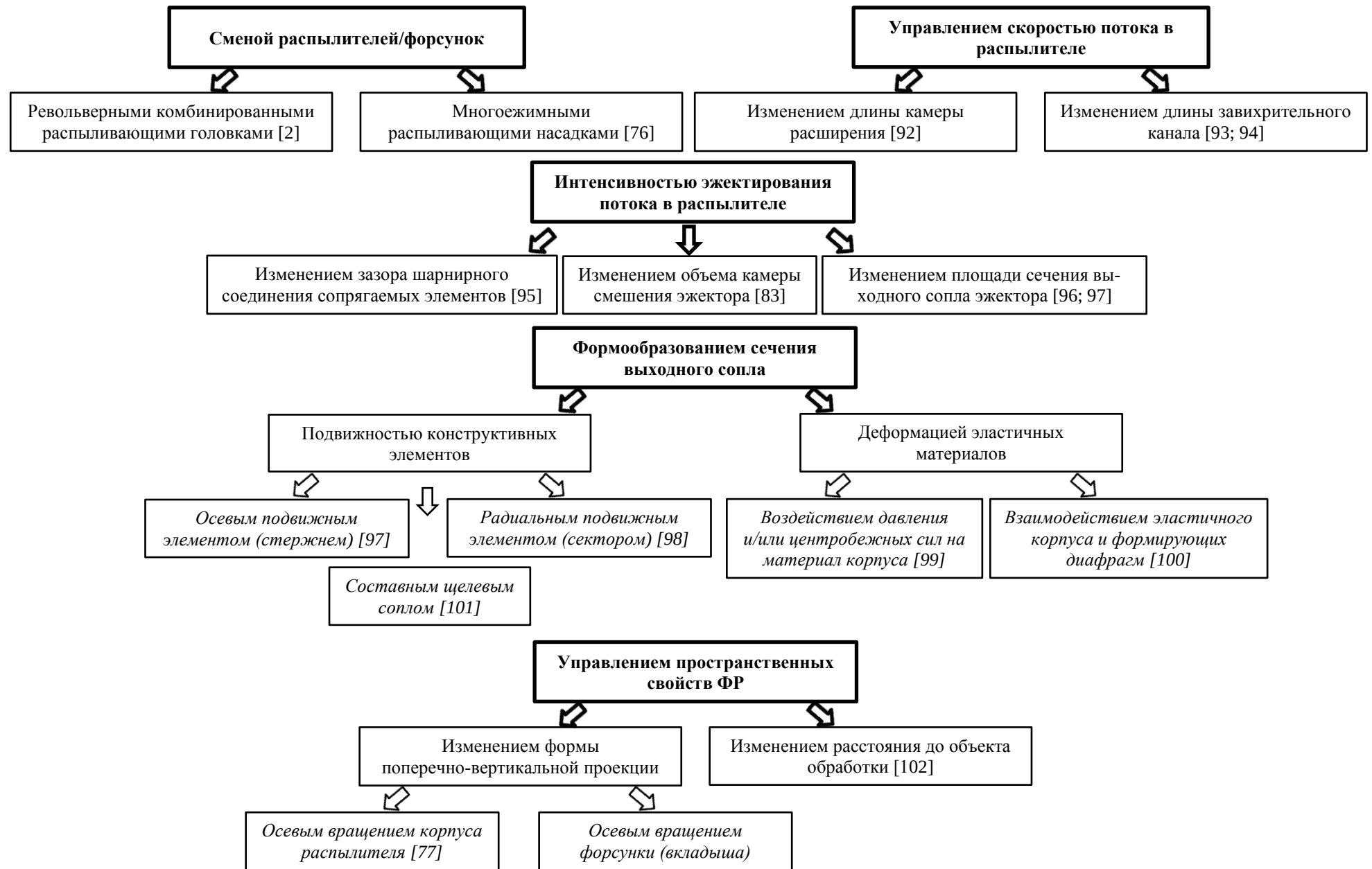
Рисунок 1.20 – Распылитель жидкости (а): 1 – управляющий шток; 2 – кольцевая полость; 3 – гайка; 4 – корпус; 5 – завихритель; 6 – проточный канал; 7 – сопло [43].

Распылитель опрыскивателя (б): 1 – корпус; 2 – завихритель; 3 – манжета; 4 – наружный цилиндр; 5 – форсунка; 6 – направляющая; 7 – паз; 8 – камера завихрения; 9 – тангенциальный канал; 10 – сопло [116]

Детальное изучение известных конструкций распылителей, позволило разработать трехуровневую классификацию управляемых распыливающих устройств (рис. 1.21).

Данная классификация включает 9 основных признаков распылителей по способу регулирования геометрии факела распыла: сменой распылителей; управлением скоростью потока в распылителе; интенсивностью эжектирования потока; формообразованием сечения выходного сопла; управлением пространственных свойств факела распыла; внешним управляющим воздействием на факел; формированием сопряженных потоков; формообразованием факела распыла свойствами отражающих поверхностей; изменением расхода рабочей жидкости.

Разработанная классификация может служить не только для изучения известных принципов регулирования угла распыла, но и для их комбинирования, с целью создания новых способов управления геометрией распыляемого потока рабочей жидкости. В предлагаемой работе, использование этой возможности



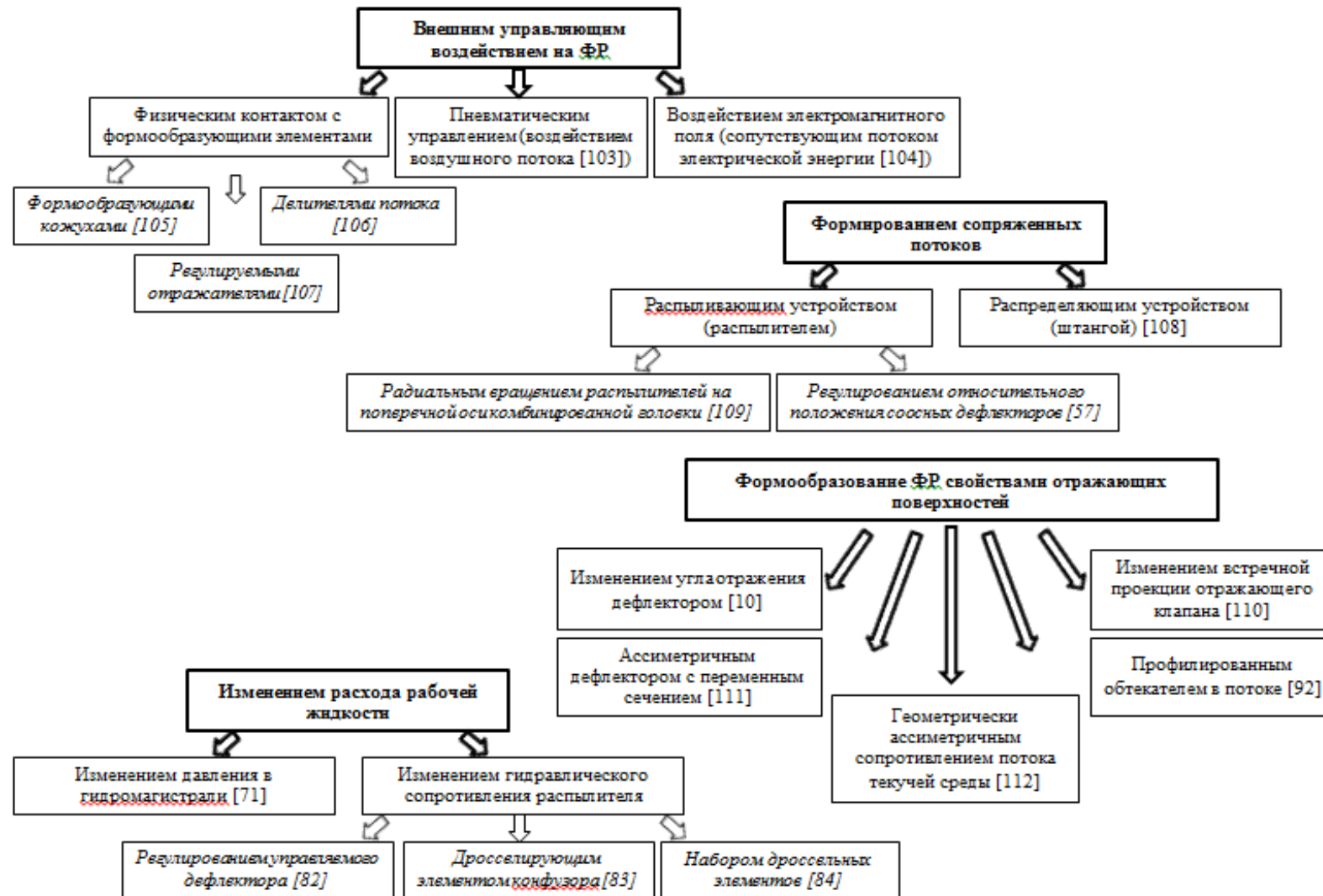


Рисунок 1.21 - Классификация способов управления формой факела распыла

позволило реализовать потенциал трех из 9 свойств в едином многорежимном распыливающем устройстве.

За основу приняты следующие признаки: «Управление пространственных свойств ФР изменением формы поперечно-вертикальной проекции», «Формированием сопряженных потоков распыливающим устройством», «Формообразование ФР свойствами отражающих поверхностей». Очевидно, данная комбинация осуществима в устройстве, снабженном комплектом отражающих поверхностей, различие геометрических форм которых, вкупе с изменяемым сочетанием их функционирования, обеспечит требуемую общую форму сопряженных потоков. Отрицательное влияние дискретности трансформации текущего угла факела распыла на равномерность распределения препарата по ширине захвата штанги может быть нивелирована обоснованным подбором углов ФР смежных распылителей.

В качестве ближайшего аналога нового распыливающего устройства является дефлекторный распылитель, с регулируемым расходом рабочей жидкости, состоящий из корпуса, входных и выходных каналов, дефлекторов, регулирующих клапанов и электрических шаговых приводов по патенту № 2757495 [76] (рис. 1.22).

Согласно описанию изобретения, данное устройство служит для дифференцированного внесения жидких минеральных удобрений, пестицидов и других агрохимикатов с заданной дозой на каждом элементарном участке обрабатываемого поля и не предназначено для регулирования ширины распыла. Тем не менее, идея совмещения в одном устройстве нескольких удаленно управляемых секций может быть применена в конструкции многорежимного распыливающего устройства.

1.4 Классификация свободных гидравлических струй, применительно к задачам механизации защиты растений

При разработке и теоретическом обосновании конструктивно-режимных параметров распылителей полевых опрыскивателей, возникает необходимость рас-

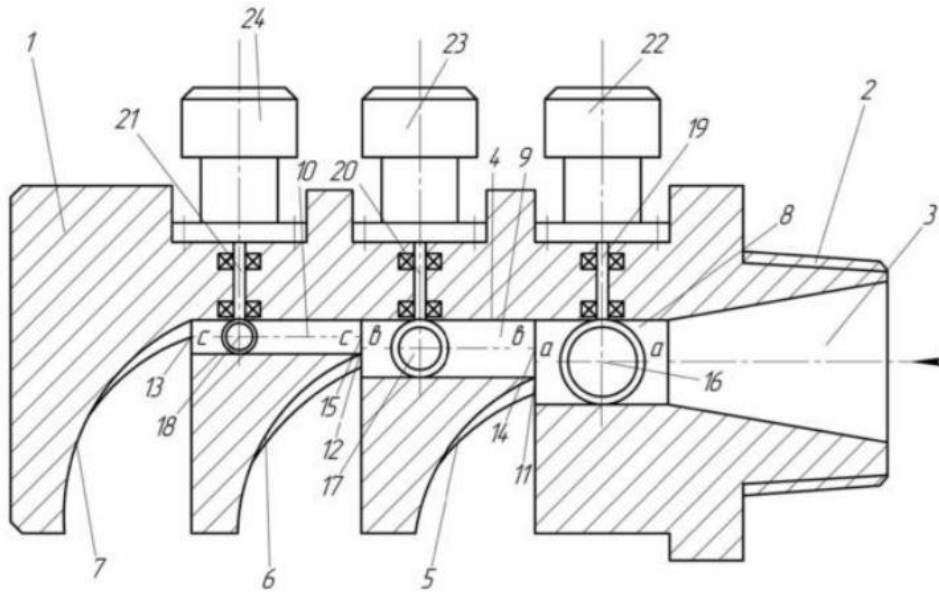


Рисунок 1.22 – Дефлекторный распылитель по патенту № 2757495 [76]: 1 – корпус; 2 – конический хвостовик; 3 – входной канал; 4 – выходной канал; 5, 6, 7 – дефлекторы; 8, 9, 10 – сопрягаемые секционные каналы; 11, 12, 13 – выходные отверстия каналов; 14, 15 – входные отверстия каналов; 16, 17, 18 – поворотные регулирующие клапаны; 19, 20, 21 – поворотные валы; 22, 23, 24 – электрические шаговые приводы

смотреть условия их функционирования. Так, характеристики процесса истечения и начального этапа распространения рабочей жидкости в среде имеют определяющее влияние на основные технологические показатели работы распылителя: производительность, угол факела распыла, плотность орошения, дальнобойность, средний диаметр капли и т.д. В свою очередь, технологический процесс распределения препарата зависит от строения и режимов работы форсунки.

Основные положения гидродинамики жидкости, достаточно подробно изложены в базовых трудах Г.Н. Абрамовича [1], Л.А. Витмана [19], Ю.Ф. Дитякина [38], Д.Г. Пажи [93, 94], Л. Прандтля [100], И.Ф. Савина [115], Р.Р. Чугаева [133] и иных авторов. Практическое приложение теории получено, в частности, в закономерностях распыливания жидкостей распыливающими устройствами дождеваль-ных агрегатов и опрыскивателей. Свой вклад в развитие данного направления внесли В.М. Дринча [40, 108, 126], А.И. Есин [50, 144], Л.А. Журавлева [51], А.П. Исаев [57], И.В. Лебедев [70], Г.В. Ольгаренко [88], С.А. Родимцев [108], Н.Ф. Рыжко [111, 118], В.А. Шмонин [138] и другие исследователи.

В этих и других работах обоснованы закономерности гидродинамики газожидкостного потока, даны основные характеристики струй, рассмотрены условия их механического взаимодействия на поверхности раздела сред, приведены условия распада струй и пленок жидкости, введены понятия, раскрыты особенности и предложены аналитические описания струй затопленных и не затопленных, свободных и ограниченных, изо- и неизотермических, ламинарных и турбулентных и т.д. Закономерно, что определенное внимание со стороны авторов уделено разделению струй на ряд признаков. В частности, Ю.Ф. Дитякиным [38] предложено классифицировать распыливание по условиям перемещения потока. Развитие этой идеи нашло в работах Д.Г. Пажи [93], который выделил 6 способов распыливания жидкости. В источнике [18] приведены экспериментальные пределы скоростных режимов, создающих определенные условия деформации и разрушения цилиндрической струи. В более поздних работах [4, 58, 66] содержатся результаты классификационных исследований гидравлических струй, учитывающих влияние на процесс истечения большего спектра условий. Данные теоретические предпосылки и предложенные классификационные признаки положены в основу многочисленных прикладных исследований, посвященных разработке новых типов распыливающих устройств для целей АПК.

Тем не менее, в известных нам источниках, мы не обнаружили достаточно полной и четко структурированной классификации свободных струй, как одного из инструментов изучения процесса истечения. Между тем, подобная систематизация признаков условий распыла способна упростить задачи по критериальному описанию распыливающих устройств и выбору соответствующих алгоритмов для их последующего анализа и оптимизации. Последнее, особенно актуально в отношении к вновь разрабатываемым устройствам для распределения рабочих жидкостей. Результаты такого исследования должны быть использованы для определения классификационных признаков процесса истечения в оригинальном распылителе, с разработкой его расчетной схемы.

Процесс распыливания струи жидкости представляет собой сложное физическое явление, которое заключается в дроблении струи или пленки жидкости на отдельные капли и распределение их в пространстве [94]. Значительное число факторов, влияющих на данный процесс, затрудняет формирование единой теории и обуславливает поиск необходимых решений в каждом конкретном случае.

Как известно [93, 109], гидравлическая струя - это конечный поток жидкости, не ограниченный твердыми стенками, либо движущийся на значительном удалении от них. Свободными называются струи, распространяющиеся в безграничной неподвижной среде [84]. В гидромеханике, струи жидкости, истекающие в среду, мало отличающуюся от свойств самой жидкости, определяют, как затопленные. Струи жидкости, окруженные газом, в частности воздушной средой, принято относить к незатопленным. Схемы свободных струй приведены во многих источниках [70, 84, 115, 133 и т.д.]. В целом, такие схемы описывают структуру струи, обозначая ее полюс, ядро постоянных скоростей (ядро струи), эпюры осредненных скоростей по длине потока, поверхности раздела (границы струи), характерные участки (части) и переходные сечения (рис. 1.23).

По характеру распределения скоростей потока в поперечных сечениях, в затопленной струе выделяют два участка (рис. 1.23, а). Истекая из круглого или щелевого отверстия насадка, диаметром $d_{отв}$, затопленная струя, постепенно расширяясь в направлении оси x , образует конус с углом α при вершине, с образующими, сходящими в полюсе O . Давление остается постоянным по всей длине струи и равно давлению окружающей среды. У сечения I-I начального участка, совпадающего с выходным сечением насадка, скорости u_0 слоев жидкости по всему сечению струи приблизительно равны скорости истечения. По мере дальнейшего распространения струи, область равных скоростей принадлежит лишь имеющему коническую форму ядру. Образующие ядра струи сходятся на некотором удалении от выходного отверстия, завершая область начального участка. Сечение II-II называют переходным. Поперечное сечение пограничного турбулентного слоя начального участка и области течения правее сечения II-II, характеризуются

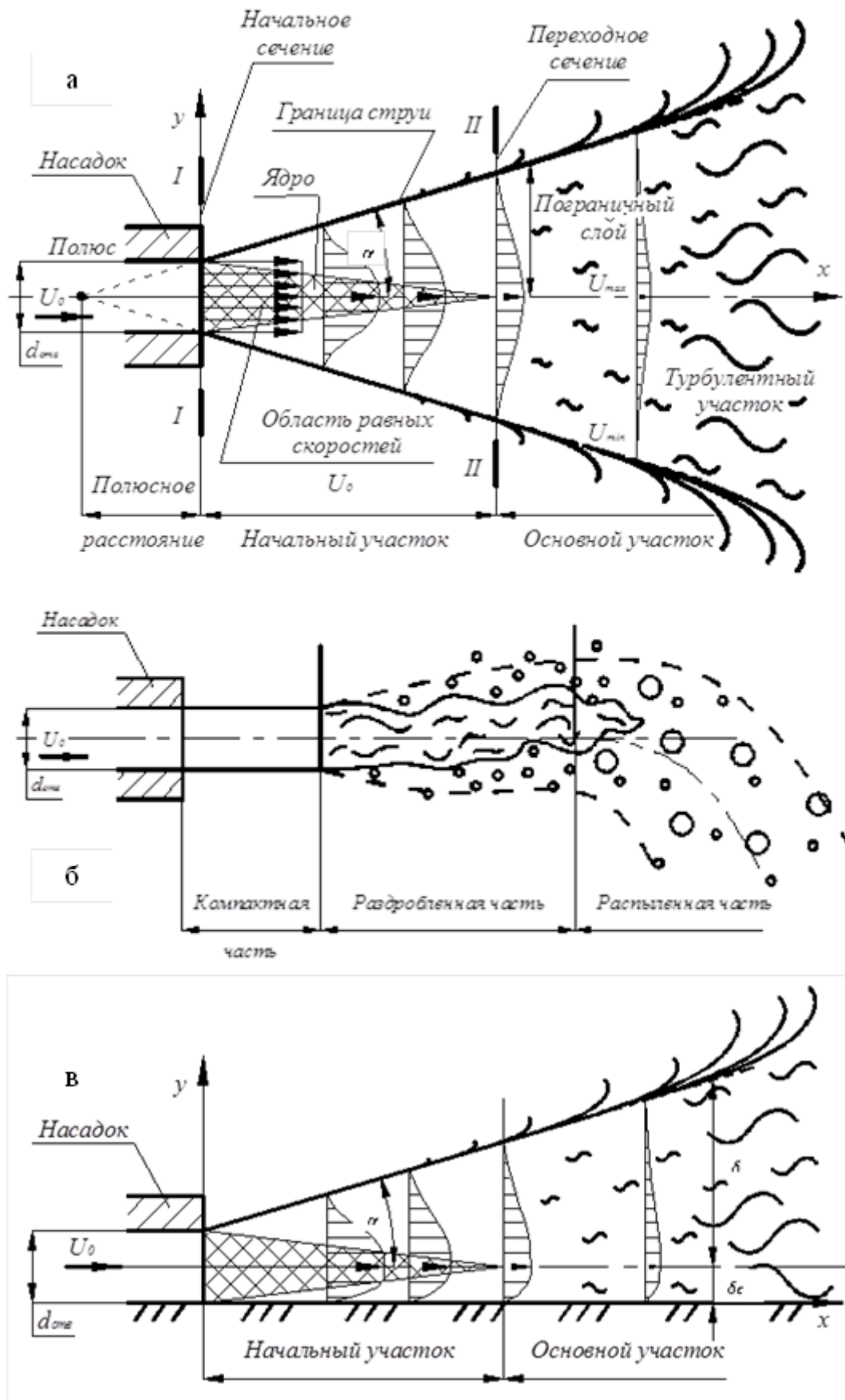


Рисунок 1.23 – Схемы струй: свободной затопленной (а); свободной незатопленной (б); полуограниченной (в)

плавным убыванием скорости и движения слоев жидкости от оси струи к ее периферии, в соответствии с законом, близким к распределению Гаусса-Лапласа. Область течения, следующую за пограничным сечением, называют основным участком струи. В конечном итоге, струя рассеивается в массе окружающей ее жидкости.

Отсутствие касательных сил, при взаимодействии свободной незатопленной струи с менее свободной незатопленной струи плотными слоями окружающей среды, обуславливает несколько иной характер истечения (рис. 1.23, б). Как видно, в пределах компактной части, струя сохраняет правильную, либо близкую к ней форму; сплошность движения жидкости не нарушена. Раздробленная часть характеризуется нарушением сплошности потока. Струя постепенно расширяется, увеличивая свое поперечное сечение, по отношению к сечению компактной части. Происходит разрушение потока на крупные элементы. В пределах распыленной части струя распадается на множество отдельных капель. К распаду струи приводит сочетанное действие таких факторов, как действующая сила тяжести, силы сопротивления воздушной среды и внутренние силы, вызываемые турбулентностью и колебательно-волновым движением жидкости.

Рассматривая возможные процессы истечения, следует упомянуть о часто встречающихся случаях движения струй в более сложных условиях. В частности, сюда относятся ограниченные и полуограниченные струи.

Движение ограниченных струй сдерживается пространством, имеющим твердые границы по всему периметру. Характерной особенностью таких струй является их развитие в камерах, с размерами, сопоставимыми с размерами самой струи.

Полуограниченные (пристенные) струи, распространяются с одной стороны вдоль твердой поверхности, а с другой – соприкасается с безграничной средой (рис. 1.23, в). Основная особенность полуограниченной струи состоит в том, что со стороны твердой поверхности она испытывает тормозящее воздействие. Результатом этого является образование пристенного пограничного слоя, толщиной

дс, поперечная эпюра скоростей в котором подчиняется логарифмическому закону. При этом закономерности развития полуограниченной струи со свободной стороны определяются свойствами среды распространения.

При дальнейшем рассмотрении условий истечения и распространения струй, можно выделить целый ряд признаков, способных стать основой для теоретического описания конкретного процесса распределения жидкости. Кроме разделения по типу среды распространения, сюда относятся группы по характеру и образованию истечения, форме начального сечения, режиму истечения, вектору скорости, виду распада струи и т.д.

Так, решение задачи о распаде струи жидкости определяется отношением скоростей сред. Пульсация жидкости усиливается вдоль струи [9]. Разрыву потока способствует динамическое воздействие газа на поверхность струи, что следует учитывать при больших скоростях истечения ($>2,5 \text{ м с}^{-1}$) [93]. Напротив, при симметричных колебаниях струи, движущейся с малой скоростью ($<1,5 \text{ м с}^{-1}$), влиянием окружающей струи газа можно пренебречь [19].

Для полуограниченных струй, большое значение имеет расположение выходного отверстия, относительно ограничивающей поверхности, режим течения, соотношение температур взаимодействующих сред. Относительно малое расстояние между соплом и поверхностью способно вызвать эффект Коанда [1], а ось неизотермической струи, вследствие действия гравитационных сил, искривляется вверх или вниз [133], что также может способствовать натеканию потока на ограничивающую поверхность. Такие эффекты ведут к трансформированию струй, даже изначально определяемых свободными, в разряд полуограниченных.

Кроме того, для изучения процесса распыла представляет интерес разделение гидравлических струй по объекту натекания. По нашему мнению, акцентирование на данном признаке необходимо, имея ввиду широкое применение в сельском хозяйстве распылителей дефлекторного (ударно-струйного) типа. Под влиянием формы и геометрии отражателя происходит формирование поверхностной жид-

костной пленки и условий ее распада; определяется характер силового взаимодействия струи на твердую преграду [94, 115].

Изучив существующие описания различных условий истечения, нами предложена классификация свободных гидравлических струй, применительно к задачам обоснования рабочих органов опрыскивателей (рис. 1.24). В соответствии с основными понятиями, используемыми в единой системе классификаций [99], метод разделения элементов классифицируемого множества следует отнести к фасетно-иерархическому. Основанные на отношениях подчинения блоки являются полииерархическими. Максимальная глубина классификации ограничивается тремя ступенями группировки признаков. Классификация содержит 11 классов наиболее существенных признаков, потенциально рассматриваемых при анализе устройств для распыления жидкости. Разработанная классификация может быть использована для характеристического анализа и последующей оптимизации процесса распыла распыливающими устройствами для целей АПК. Данная классификация использована авторами для характеристического анализа процесса распыла оригинальным распылителем.

Разрабатываемый многорежимный дефлекторный распылитель предназначен для внесения рабочей жидкости адаптивной распределительной системой одноопорного штангового опрыскивателя. В целом, рабочий процесс распылителя состоит из нескольких фаз: течение жидкости в струе, течение в пленке по поверхности отражателя, срыв пленки с поверхности отражателя и распад жидкостной пленки на капли. Для этого формируются несколько горизонтальных струй круглого сечения, под определенным давлением подаваемых на отражающие поверхности дефлекторов. Сопла расположены непосредственно под горизонтальной поверхностью, плавно сходящей в вертикальный отражатель. Поперечные сечения отражателей образованы плоскостью, имеющей периферийные буртики для формирования заданного угла факела распыла. Кроме того, отражающие поверхности последующих дефлекторов снабжены центральным ребром, разделяющим поток жидкости на отдельные секторы. В первом приближении, схема к оптимизации

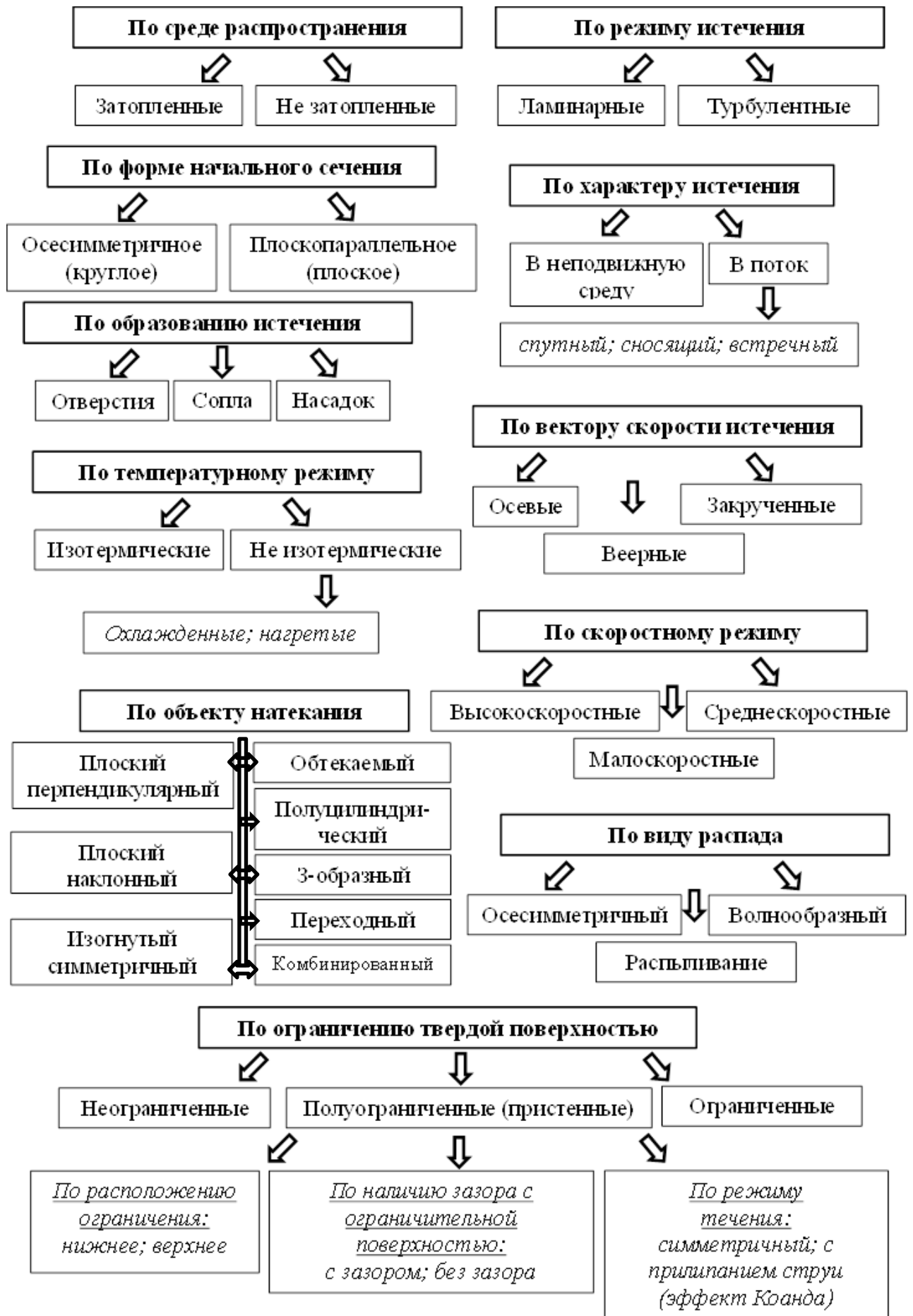


Рисунок 1.24 – Классификация свободных гидравлических струй

геометрических параметров распылителя может быть представлена рисунком 1.25.

Исходными условиями реализации процесса распыла определены следующие:

- диаметр сопла удовлетворяет требуемым расходу пестицида и давлению в гидросистеме опрыскивателя;
- для обеспечения качества распыла, максимальное расстояние между плоскостью выходного отверстия и отражающей поверхностью не превышает длины компактной части свободной незатопленной струи;
- длина образующей отражателя соответствует лучшим условиям для образования мелкодисперсного распыла жидкости;
- форма поперечного сечения отражателя обеспечивает требуемую геометрию факела распыла;
- толщина отражателя дефлектора допустима по условию прочности.

Основываясь на принятых условиях реализации распределения рабочей жидкости и параметрах устройства, определим классификационные признаки процесса распыла. Используя разработанную классификацию, имеем следующее. Формируемая соплом незатопленная осесимметричная гидравлическая струя является осевой изотермической; истекающей в неподвижную газовую среду, среднескоростной; на участке свободного потока относится к осесимметричной по виду

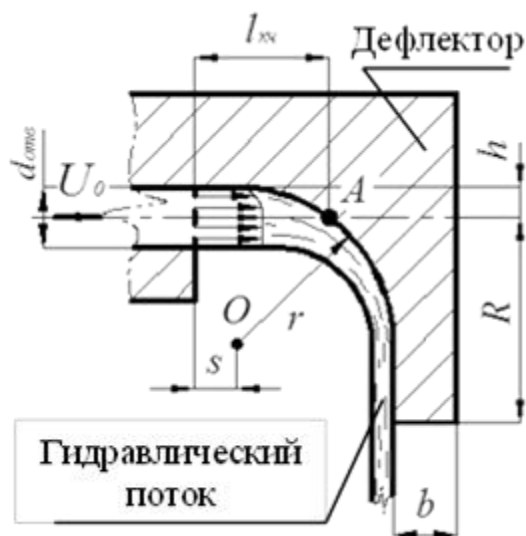


Рисунок 1.25 – Исходная схема к теоретическому обоснованию многорежимного дефлекторного распылителя

распада; полуограниченной с верхним ограничением без зазора; натекающей на переходный, либо комбинированный объект.

1.5 Формулирование цели и основных задач исследования

Технические решения компенсации равномерности опрыскивания при вертикальных колебаниях штанги, относящиеся к самоходным, прицепным и навесным опрыскивателям, вследствие сложности и массивности конструкции не применимы для малогабаритных средств механизации селекционно-семеноводческого процесса. В связи с этим актуальна разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий и технических средств, реализующих качественно новые, высокоэффективные и наиболее адаптированные к внешним воздействиям подходы, способные решать задачи, как в основном производстве, так и в специфических процессах создания новых сортов.

В селекционно-семеноводческом процессе находят применение одноопорные штанговые опрыскиватели тачечного типа, которые характеризуются мобильностью, универсальностью, возможностью равномерной обработки значительных площадей опытных посевов, а также простотой эксплуатации и доступностью [64, 92, 104, 122, 152, 164]. Однако удержание боковой штанги в горизонтальном положении требует определенных физических усилий и навыков оператора.

Компенсация равномерности распределения СЗР при вертикальных колебаниях штанги малогабаритного опрыскивателя может быть достигнута изменением геометрии текущего угла ФР распыливающих устройств во фронтальной проекции.

Предлагаемая в настоящей работе концепция равномерного распределения СЗР, независимо от вертикальных колебаний штанги опрыскивателя, основана на применении комплекта многорежимных распылителей, функционально связанных с системами контроля и управления адаптивной системы распределения рабочей жидкости.

Результаты критического анализа известных способов и технических решений компенсации равномерности распределения СЗР при вертикальных колебаниях штанги опрыскивателя, позволили сформулировать следующую рабочую гипотезу: **«Компенсация равномерности распределения опрыскивателем рабочей жидкости по ширине захвата штанги, колеблющейся в поперечно-вертикальной плоскости, обеспечивается управлением текущими фронтальными проекциями углов факела распыла, формируемых адаптивным подключением секционных дефлекторных распылителей».**

На основании выдвинутой научной гипотезы сформулированы цель и задачи исследования.

Целью исследования является повышение качества внесения рабочей жидкости одноопорным опрыскивателем, путем компенсации равномерности распыла при вертикальных колебаниях штанги, применением адаптивной распределяющей системы.

Задачи работы состоят в следующем:

- выполнить обзор конструкций малогабаритных опрыскивателей и анализ принципов управления геометрическими параметрами факела распыла жидкости распыливающими устройствами, с разработкой их классификаций;
- обосновать аналитические зависимости ширины захвата распылителя, и требуемого фронтального угла факела распыла жидкости от угла поперечного наклона распределяющей штанги, учитывающие конструктивные параметры одноопорного опрыскивателя;
- на основе анализа условий и характеристик процесса истечения, оптимизировать основные конструкционные параметры многорежимного распылителя для адаптивной распределяющей системы опрыскивателя;
- создать комплект опытных образцов многорежимного распылителя для адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя, а

также разработать комплекс средств для проведения исследований в лабораторных и полевых условиях;

- на основе полученных экспериментальных данных выполнить технико-экономическое обоснование предложенных технических решений.

1.6 Выводы по Главе 1

1. Равномерность внесения препарата определяет качество и эффективность химической защиты растений, экономические показатели процесса, степень его негативного влияния на окружающую среду. Одним из основных условий равномерности распределения рабочей жидкости при опрыскивании является стабильность положения штанги, относительно обрабатываемой поверхности.

2. Для внесения СЗР на опытных делянках селекционно-семеноводческого процесса, садовых и фермерских участках, в природообустройстве и ландшафтном строительстве, в коммунальном и садово-парковом хозяйствах, а также на приусадебных участках граждан применяются одноопорные штанговые опрыскиватели тачечного типа, обладающие универсальностью, мобильностью, простотой эксплуатации и малой массой. Существенный недостаток таких устройств - колебание распределяющей штанги в поперечно-вертикальной плоскости.

3. На основании результатов анализа литературных источников разработана классификация средств малой механизации для внесения химических средств защиты растений.

4. Вследствие сложности и массивности конструкций, технические решения компенсации вертикальных колебаний штанги для основных средств механизации не могут быть использованы для малогабаритных опрыскивателей. Оптимальным решением, здесь, может стать способ повышения равномерности распределения рабочей жидкости управлением текущими фронтальными проекциями углов факела распыла.

5. Рассмотрены принципы управления геометрическими параметрами факела распыла жидкости распыливающими устройствами. Разработана классификация, включающая 9 основных признаков распылителей по способу регулирования геометрии факела распыла. Разработанная классификация может служить не только для изучения известных принципов регулирования угла распыла, но и для их комбинирования, с целью создания новых способов управления геометрией распыляемого потока рабочей жидкости.

6. Установлено, что для управления фронтальным углом факела распыла, наиболее приемлемой является конструкция секционного многорежимного дефлекторного распылителя, способного формировать сопряженные плоские секторные потоки, создающие требуемую текущую ширину полосы обработки.

7. На основании известных описаний условий формирования и распространения потока жидкости в различных средах, предложена классификация гидравлических струй. Классификация представлена 11-ю классами признаков, имеющих наибольшее значение для рассмотрения процесса истечения в распыливающих устройствах средств механизации сельского хозяйства. Разработанная классификация может быть использована для характеристического анализа и последующей оптимизации процесса распыла сельскохозяйственными распылителями.

8. Составлена расчетная схема процесса истечения гидравлической струи для вновь разрабатываемого многорежимного распылителя дефлекторного типа; определены исходные условия реализации рабочего процесса; определены классификационные признаки последнего.

9. Сформулированы рабочая гипотеза, цель и задачи исследования.

Глава 2. Теоретическое обоснование распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя и оптимизация параметров многорежимного распылителя

2.1 Обоснование пределов изменения корневых углов факела распыла адаптивной распределяющей системы опрыскивателя

Во время работы штангового опрыскивателя его распределительная система испытывает колебания в продольно-горизонтальной и поперечно-вертикальной плоскостях. По оценкам специалистов величина вертикальных колебаний может составлять до 300 мм и более [78]. При этом изменение ширины полосы обработки каждым распылителем достигает 38%. Компенсация равномерности распределения СЗР при вертикальных колебаниях штанги одноопорного опрыскивателя может быть достигнута изменением геометрии текущего угла факела распыла распыливающих устройств.

С целью определения теоретической ширины захвата факела распыла одним распылителем, опишем геометрические параметры опрыскивателя схемой, изображенной на рис. 2.1.

Примем допущение стабильности расположения оси факела распыла (обеспечивается устройством вертикальной стабилизации). Из рис. 2.1 видно, что параметры распределения рабочей жидкости будут определяться не только углом α положения опрыскивателя (соответственно, положением горизонтальной штанги), относительно вертикали. На равномерность η распределения препарата также влияют базовая высота p штанги над обрабатываемой поверхностью, фронтальный угол β форсунок, расстояние l распылителей от оси колебаний:

$$\eta = f(\alpha; p; \beta; l) \quad (2.1)$$

Допуская возможность отклонения опрыскивателя лишь в плоскости чертежа, рама ОА, высотой h , имеет поперечные перемещения на угол α относительно

где b_i , d , c – стороны разностороннего треугольника $C_iB_iD_i$, образованного факелом распыла и обрабатываемой поверхностью, при отклонении рамы опрыскивателя на некоторый угол α .

Для определения сторон d и c треугольника $C_iB_iD_i$, разделим его на два прямоугольных $C_iB_iM_i$ и $M_iD_iD_i$, с катетом $p_i=B_iM_i$.

Используя формулы соотношения между сторонами и углами прямоугольного треугольника $C_iB_iM_i$, запишем:

$$d = \frac{p_i}{\sin \gamma}, \quad (2.3)$$

где γ – угол при основании треугольника.

Треугольник $C_iD_iD_i$ образован смещением треугольника CBD , вследствие поворота рамы на угол α . Тогда, угол γ можно определить, как разность углов α и одного из углов равностороннего треугольника CBD , при его основании. Отсюда:

$$\gamma = 90^\circ - \frac{\beta}{2} - \alpha \quad (2.4)$$

Соединив точки B и B_i с точкой опоры O , определим p_i , как разность высот треугольников CBD и $C_iB_iD_i$, относительно опорной поверхности.

Очевидно, что угол τ , между прямой OB_i и опорной поверхностью определяется функцией

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{h}{l}, \quad (2.5)$$

следовательно, если

$$OB = OB_i = \sqrt{h^2 + l^2}, \quad (2.6)$$

то

$$p_i = p - \left(h - \sqrt{h^2 + l^2} \times \sin(\tau - \alpha) \right), \quad (2.7)$$

откуда, с учетом (2.5)

$$d = \frac{p - \left((h - \sqrt{h^2 + l^2}) \times \sin\left(\arctg \frac{h}{l} - \alpha\right) \right)}{\sin\left(90^\circ - \frac{\beta}{2} - \alpha\right)} \quad (2.8)$$

Для вычисления стороны c треугольника $C_iB_iD_i$, воспользуемся уже известными углом при вершине B_i и высотой p_i :

$$c = \frac{p_i}{\cos\left(\frac{\beta}{2} - \alpha\right)} = \frac{p - \left((h - \sqrt{h^2 + l^2}) \times \sin\left(\arctg \frac{h}{l} - \alpha\right)\right)}{\cos\left(\frac{\beta}{2} - \alpha\right)} \quad (2.9)$$

После некоторых преобразований, равенство (2.2) для вычисления ширины распыла, учитывающее геометрические параметры одноопорного опрыскивателя, а также угол поперечного наклона рамы, окончательно запишется в виде:

$$b_i = \sqrt{\left(p - (h - \sqrt{h^2 + l^2}) \times \sin\left(\arctg \frac{h}{l} - \alpha\right)\right) \left(\left[\frac{1}{\sin\left(90^\circ - \frac{\beta}{2} - \alpha\right)}\right]^2 + \left[\frac{1}{\cos\left(\frac{\beta}{2} - \alpha\right)}\right]^2 - \right.} \quad (2.10)$$

$$\left. - 2 \left(\frac{1}{\sin\left(90^\circ - \frac{\beta}{2} - \alpha\right)}\right) \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\beta}{2} - \alpha\right)}\right) \times \cos\beta\right)$$

Графическое представление формулы (2.10) иллюстрируется рис. 2.2 для значений $p=0,5\text{м}$; $h=0,9\text{м}$; $l=1\text{м}$; $\beta=110^\circ$. Как видно, при горизонтальном положении штанги опрыскивателя ширина b полосы распределения рабочей жидкости одним распылителем составляет около 1,43 м. Однако, уже при отклонениях опрыскивателя на угол α от -15° до $+20^\circ$ в поперечно-вертикальной плоскости, ширина b изменяется от 2,60 м до 0,46 м, т.е. больше чем в 1,8...3,1 раза.

При постановке задачи определения необходимых пределов изменения фронтального угла распыла β распылителя, исходим из предпосылки соблюдения неизменной ширины захвата b_i . Ввиду незначительности поперечных отклонений горизонтальной проекции распылителя при наклонах штанги в поперечно-

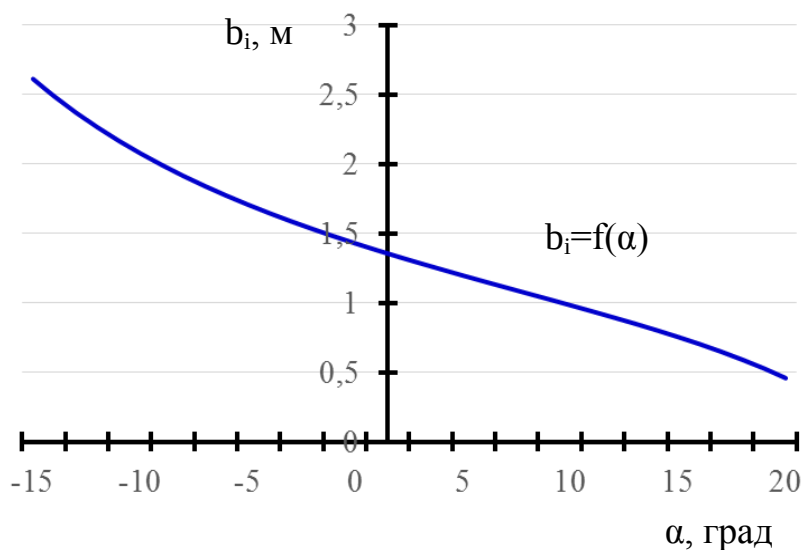


Рисунок 2.2 – Зависимость ширины полосы обработки одним распылителем от отклонения опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости

вертикальной плоскости, не учитываем эти отклонения в расчетах. Кроме того, принимаем допущение о стабильности вертикального расположения оси распылителя.

В соответствии с теоремой синусов имеем (см. рис. 2.2):

$$\frac{BD}{\sin 90^\circ} = \frac{b_0}{\sin \beta}, \quad (2.11)$$

откуда

$$\beta = \arcsin \frac{b_0}{2BD} \quad (2.12)$$

Из теоремы Пифагора, квадрат половины длины гипотенузы BD равен сумме квадратов катетов p и $b_0/2$, или:

$$BD = \sqrt{p^2 + \left(\frac{b_0}{2}\right)^2} \quad (2.13)$$

Подстановкой (2.13) в (2.12) получаем:

$$\beta = \arcsin \frac{b_0}{2\left(\sqrt{p^2 + \left(\frac{b_0}{2}\right)^2}\right)} \quad (2.14)$$

Из схемы на рис. 2.1 очевидно, что текущее значение p будет изменяться в соответствии с зависимостью (2.7). Принимая во внимание, что

$$\tau = \arctg \frac{h}{l}, \quad (2.15)$$

окончательную запись влияния угла α положения одноопорного опрыскивателя на требуемый угол β распыла, с учетом дистанции l вылета распылителя, относительно вертикальной оси, проходящей через точку опоры опрыскивателя, можно представить в виде:

$$\beta = 2\arcsin \frac{b_0}{2\left(\sqrt{\left[p - \left((h - \sqrt{h^2 + l^2}) \times \sin\left(\arctg \frac{h}{l} - \alpha\right)\right)\right]^2 + \left(\frac{b_0}{2}\right)^2}\right)} \quad (2.16)$$

Для ранее приведённых численных величинах, входящих в формулу (2.16) и заданном значении $b_0=1,43\text{м}$, графическая интерпретация зависимости $\beta=f(\alpha)$ демонстрируется рис. 2.3. Хорошо видно, что при строго вертикальном положении опрыскивателя ($\alpha=0^\circ$; горизонтальное расположение полевой штанги) фронтальный угол распыла $\beta=110^\circ$ позволяет обеспечить полосу обработки расчетной ши-

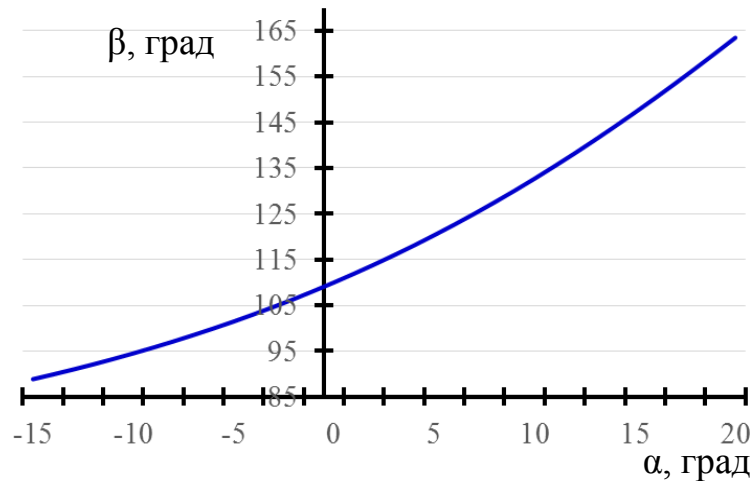


Рисунок 2.3 – Зависимость значений требуемого угла распыла адаптивного распылителя от угла наклона одноопорного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости

риной 1,43 м. При наклоне опрыскивателя влево, до значения $\alpha = -15^\circ$, увеличивается расстояние от сопла распылителя до обрабатываемой поверхности и, следовательно, ширина полосы обработки (см. рис. 2.1). Как следует из графика на рис. 2.3, с целью сохранения прежней ширины захвата b_0 , требуемый угол β_i распыла должен быть равен 89° . Соответственно, угол наклона опрыскивателя $\alpha = 20^\circ$ определяет раскрытие угла факела распыла до $\beta = 164^\circ$.

Использование формулы (2.16) предоставляет возможность вычислить требуемые пределы изменения угла распыла одного распылителя, при установленных средних значениях колебаний штанги в поперечно-вертикальной плоскости. Так, основываясь на ранее полученных экспериментальных значениях углов колебаний штанги и сведя их максимальные рабочие значения к средним показателям, получим: $\alpha = +11^\circ \dots -18^\circ$. Для данных пределов колебаний штанги в поперечно-вертикальной плоскости, изменения угла распыла адаптивным распылителем должны составлять $\beta = 86^\circ \dots 135^\circ$, на удалении $l = 1$ м.

Для дефлекторного распылителя, угол факела распыла в виде плоского конуса может быть сформирован углом схождения ограничительных буртиков на периферии дефлектора [8]. Следовательно, образованные внешними сторонами каждого отражающего дефлектора их центральные углы будут определяться расчетными углами факела распыла данного дефлектора адаптивного распылителя. Учиты-

вая удаление каждого распылителя от проходящей через точку опоры плоскости симметрии опрыскивателя, численные значения этих углов найдены по формуле (2.16) и сведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Значения корневых углов β распыла для дефлекторов адаптивных распылителей, при значениях $\alpha = -18^\circ \dots +11^\circ$

Расстояние точки установки адаптивного распылителя от оси опоры опрыскивателя, м	Пределы изменения углов факела распыла, град.		
	min	nom	max
0,5	99	110	123
1,0	86	110	135
1,5	76	110	149
2,0	67	110	164
2,5	60	110	179

Графическая интерпретация выражений (2.10 и 2.16) использована для построения оптимизационной номограммы (рис. 2.4). Номограмма дает возможность при любом положении штанги опрыскивателя получить значения текущих фронтальных углов распыла, удовлетворяющих допустимой ширине полосы обработки.

При малообъемном и обычном опрыскивании неравномерность распределения (коэффициент вариации) рабочей жидкости допускается не более 25%, при ультрамалообъемном опрыскивании – не более 40% [54]. Тогда, при фронтальном угле распыла 110° и допустимой неравномерности внесения жидкого препарата 25%, пределы отклонения ширины полосы обработки одной форсункой составят от 1,07 до 1,78 м (см. рис. 2.4). Как видно из верхнего сектора номограммы, в указанный промежуток укладываются параметры распределения жидкости, полученные распылом форсунок, находящихся на расстоянии $l = 2,5$ м от центра качения (при углах положения штанги $\pm 2^\circ$); $l = 2,0$ м ($\pm 3^\circ$); $l = 1,5$ м ($\pm 4^\circ$); $l = 1,0$ м ($-6^\circ \dots +7^\circ$). Факел распыла форсунки ближайшей к центру качения штанги, обеспечивает допустимые параметры распределения жидкости при уклонах штанги от -11° до $+13^\circ$. Верхний сектор номограммы демонстрирует зависимость ширины зоны распыла от угла наклона к горизонту распределительной системы (штанги),

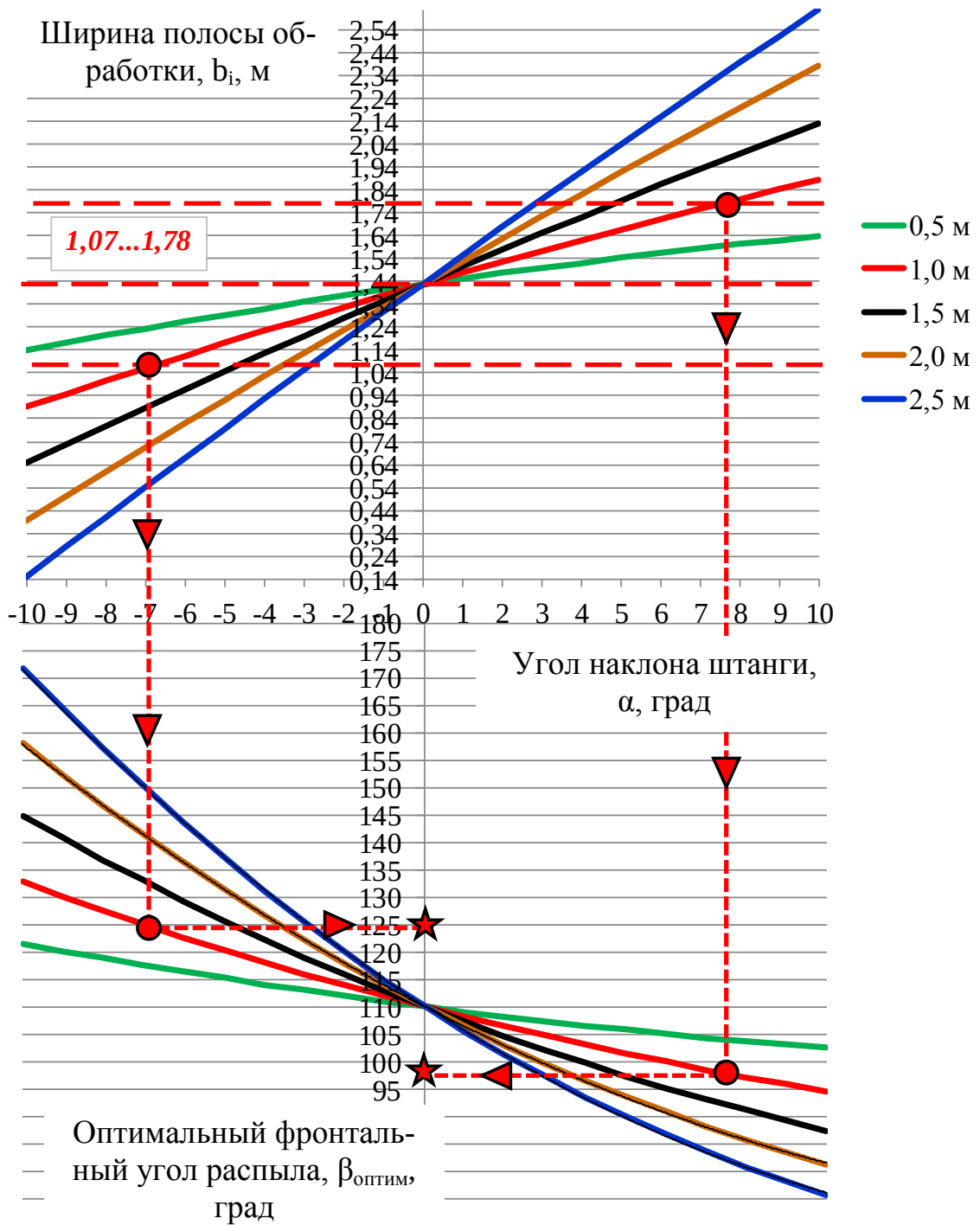


Рисунок 2.4 - Номограмма для определения оптимальных текущих значений фронтальных углов факела распыла форсунок опрыскивателя при вертикальных колебаниях распределяющей системы (для корневого угла распыла $\beta_k = 110^\circ$)

при соответствующем удалении форсунки от центра качения. На нижнем секторе представлена графическая формализация функции влияния угла наклона штанги

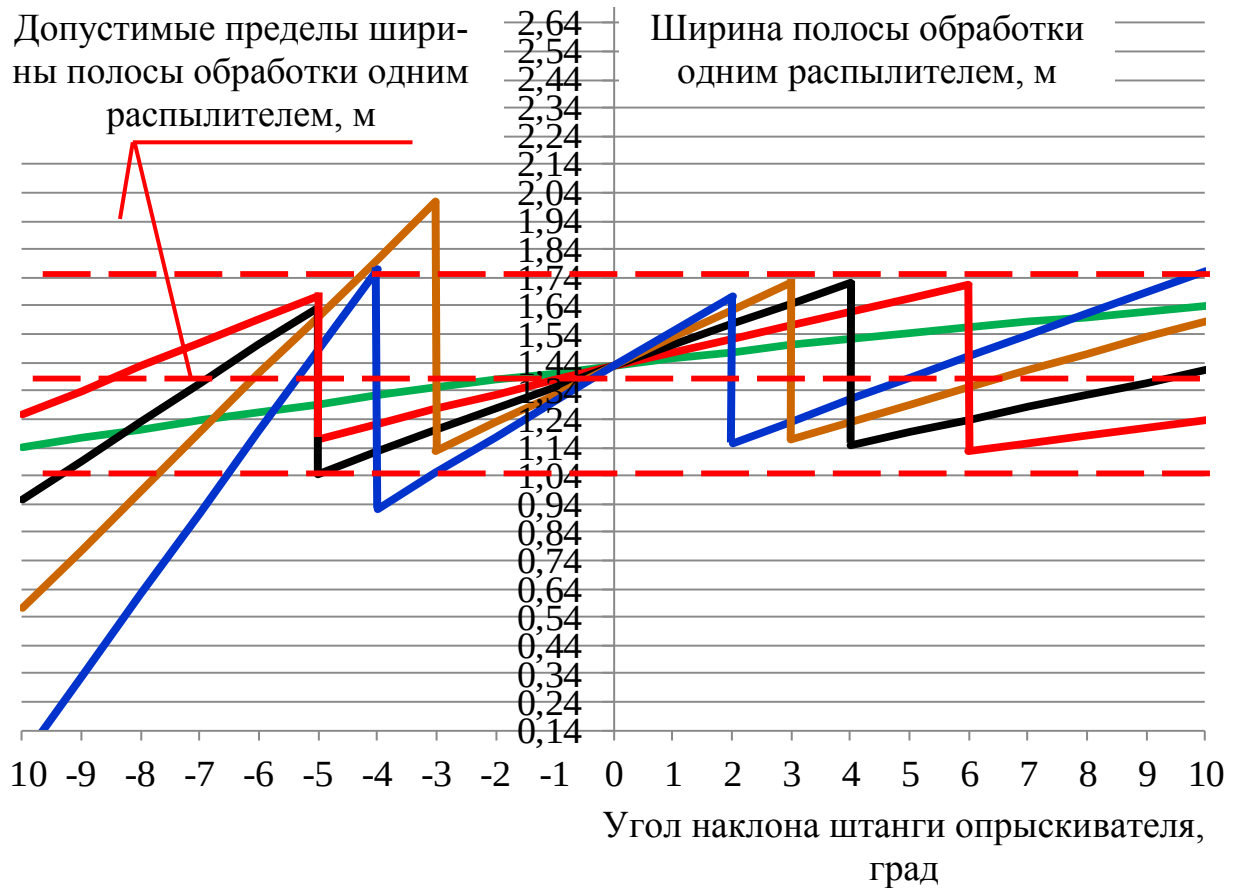
на требуемый фронтальный угол распыла, обеспечивающий оптимальную ширину обработки соответствующей форсункой.

На примере распылителя, установленного на расстоянии $l = 1,0$ м, от центра качения распределяющей системы видим, что при поперечном наклоне штанги менее -7° и более $+7^\circ 40'$ ширина полосы обработки выходит за пределы, допускаемые агротехническими требованиями на операцию опрыскивания. Находим точки пересечения кривой функции $b_i^{1,0} = f(\alpha)$ с верхней и нижней границами допустимых пределов ширины полосы обработки. Далее, проецируем найденные точки на соответствующую кривую функции $\beta^{1,0}_{\text{оптим}} = f(\alpha)$ в нижнем секторе номограммы. Проекции полученных точек пересечения на ось ординат сектора (отмечены звездочками) покажут оптимальные углы распыла данной форсунки, требуемые при данном положении распределяющей системы.

Найденные теоретические зависимости (2.10, 2.16) позволяют получить оптимальные конструктивно-режимные параметры распылителей адаптивной штанговой распределительной системы опрыскивателя. Режимы переключения распылителей представлены в таблице 2.2, операционный график функционирования адаптивной штанговой распределительной системы, при ее отклонениях в поперечно-вертикальной плоскости – на рисунке 2.5. Полученные оптимальные режимы функционирования распылителей предназначены для номинального угла ФР $\beta_k = 110^\circ$, обеспечивающего расчетную ширину полосы обработки 1,43 м, при высоте расположения распылителя над поверхностью обработки 0,5 м.

Таблица 2.2. Алгоритм переключения режимов работы распылителей адаптивной распределительной системы опрыскивателя

Расстояние установки распылителя относительно центра качения в горизонтальной проекции, м	Оптимальные углы (град.) ФР распылителей, при углах (град.) отклонения штанги в поперечно-вертикальной плоскости							
	0	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7
0,5	110	110	110	110	110	110	110	110
1,0	110	110	110	110	110	110/130	85/130	85/130
1,5	110	110	110	110	85/110	85/135	85/135	85/135
2,0	110	110	110	85/142	85/142	85/142	85/142	85/142
2,5	110	110	85/110	85/110	85/145	85/145	85/145	85/145



Расстояние установки распылителей относительно центра качения в горизонтальной проекции, м:

0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5

Рисунок 2.5 - Операционный график режимов работы адаптивной штанговой распределительной системы одноопорного опрыскивателя

Работа распылителя, ближайшего к точке опоры (центру качения) одноопорного опрыскивателя, обеспечивает допустимые пределы ширины полосы обработки, при отклонениях опрыскивателя до 10° и более, в любом направлении поперечно-вертикальной плоскости без изменения геометрии ФР ($\beta = 110^\circ$) (см. рис. 2.3, 2.4).

Номинальный угол распыла $\beta = 110^\circ$ распылителя, устанавливаемого на расстоянии 1,0 м от оси симметрии опрыскивателя (удаление от центра качения в горизонтальной проекции) удовлетворяет допустимому условию распределения жидкости (ширина полосы обработки 1,07...1,78 м) в пределах от -5° до $+6^\circ$ колебаний штанги, относительно горизонтали. Соответственно, данный распылитель нуждается в переключении режима распыла, при достижении наклона распреде-

лительной штанги от -5° и менее – на угол ФР $\beta = 130^\circ$ и при $+6^\circ$ и более – на угол ФР $\beta = 85^\circ$. Аналогичным будет алгоритм переключения режимов распыла для остальных распылителей комплекта.

Очевидно, что достижение условий равномерности распределения СЗР для отрицательных значений α (наклон штанги вниз) обусловлено необходимостью использования больших углов распыла. Это приводит к чрезмерным изменениям ширины полосы обработки (левая часть операционного графика рис. 2.5), что существенно снижает возможность подбора единого оптимального угла ФР, даже в пределах небольшого ряда значений отклонения штанги. С увеличением дистанции удаления распылителя от центра качения, данное ограничение ужесточается. В этой связи стоит обратить внимание на незначительный выход за допустимые пределы ширины полосы обработки, формируемой распылителем, устанавливаемым на расстоянии 2,5 м, функционирующего в режиме номинального угла распыла $\beta = 110^\circ$. Простым решением было бы перевести данный распылитель в режим угла распыла $\beta = 145^\circ$, уже при угле наклона опрыскивателя $\alpha = -3^\circ$. Однако, в данном случае, сокращается компенсируемый предел отрицательного угла наклона штанги. Более предпочтительным здесь, является компенсация уменьшения ширины полосы обработки данным распылителем, увеличением допустимой ширины полосы обработки смежным распылителем, установленным на расстоянии 2,0 м относительно центра качения в горизонтальной проекции.

При разработке и теоретическом обосновании конструктивно-режимных параметров распылителей полевых опрыскивателей, возникает необходимость рассмотреть условия их функционирования. Так, характеристики процесса истечения и начального этапа распространения рабочей жидкости в среде имеют определяющее влияние на основные технологические показатели работы распылителя: производительность, угол факела распыла, плотность орошения, дальнобойность, средний диаметр капли и т.д. В свою очередь, технологический процесс распределения препарата зависит от строения и режимов работы форсунки. Следова-

тельно, оптимизация параметров многорежимного распылителя представляет актуальность для настоящего исследования.

2.2 Оптимизация параметров многорежимного распылителя адаптивной распределяющей системы штангового опрыскивателя

Из условий технологичности изготовления распылителя, наиболее практичным можно принять простой цилиндрический сопловый канал, длиной l_k , с диаметром $d_{отв}$ выходного отверстия. Увеличение относительной длины $l_k/d_{отв}$ канала способствует начальному сжатию струи, с последующим расширением и заполнением канала в зоне выходного отверстия. Разрежение, создаваемое в области сжатия, вызывает увеличение скорости, что способствует повышению коэффициента расхода. Однако при этом увеличиваются и потери на трение. Оптимальной длиной канала считается $l_k=(2...4)d_{отв}$. Достоинство длинного цилиндрического канала заключается в создании факела распыла, угол которого не превышает $5...10^\circ$, что предпочтительно для ударно-струйной (дефлекторной) схемы распылителя. Для данного частного случая примем $l_k=3d_{отв}$. Значения коэффициентов расхода, скорости и заполнения сечения канала для длинного цилиндрического сопла, соответственно, будут равны: $\mu=0,82$; $\varphi=0,82$; $\varepsilon=1$.

Из уравнения непрерывности для трубки тока [100] следует, что секундное количество жидкости с плотностью $\rho_{ж}$, протекающей со скоростью ω через трубку, постоянно для каждого сечения F :

$$\rho_{ж}F\omega = const \quad (2.17)$$

Следовательно, объемный расход жидкости распылителя справедливо определить по формуле:

$$G = F\omega \quad (2.18)$$

Для нахождения скорости потока воспользуемся уравнением Бернулли [93], для случая, когда плотность жидкости постоянна:

$$\frac{\omega^2}{2} + \frac{\Delta p}{\rho_{ж}} = const \quad (2.19)$$

Здесь, под давлением Δp понимается разность абсолютного давления и давления в рассматриваемой точке:

$$\Delta p = p_{\text{вх}} - p_a \quad (2.20)$$

где $p_{\text{вх}}$ – полное входное давление;

p_a – атмосферное давление

Выражая параметр ω из (2.19), найдем величину идеальной скорости истечения жидкости по формуле Торричелли [114], откуда, с учетом определяемого вязкостью ν реальной жидкости влияния коэффициента φ , имеем:

$$\omega = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{\text{ж}}}} \quad (2.21)$$

Таким образом, учитывая характер течения жидкости в сопловом канале коэффициентом μ , расход через распылитель легко определить из выражения:

$$G\mu = F \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{\text{ж}}}} \quad (2.22)$$

Соответственно, суммарная площадь сопловых отверстий секционного распылителя составит:

$$F = \frac{G}{\mu} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{2(p_{\text{вх}} - p_a)}}, \quad (2.23)$$

а диаметр отверстий каждого из n_c сопел:

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4F}{n_c \pi}} \quad (2.24)$$

Для определения расхода рабочей жидкости через распылитель, воспользуемся известным отношением, связывающим технологические характеристики опрыскивателя:

$$G = 360 \frac{QBU}{n}, \text{ л мин}^{-1} \quad (2.25)$$

где Q – норма внесения препарата, л га⁻¹;

B – ширина захвата опрыскивателя, м;

U – скорость движения опрыскивателя, км ч⁻¹;

n – количество распылителей на распределительной штанге.

В разделе 1.4 Главы 1 сформулированы исходные условия реализации процесса распыла многорежимным распылителем. В разделе 2.1 обоснованы схемы его работы, требуемые для успешной реализации процесса. Руководствуясь изложенными предпосылками, найдем оптимальные параметры ключевых элементов конструкции распылителя. Схема к оптимизации геометрических параметров распылителя может быть представлена рисунком 2.6.

К наиболее значимым конструкционным элементам ударно-струйных распы-

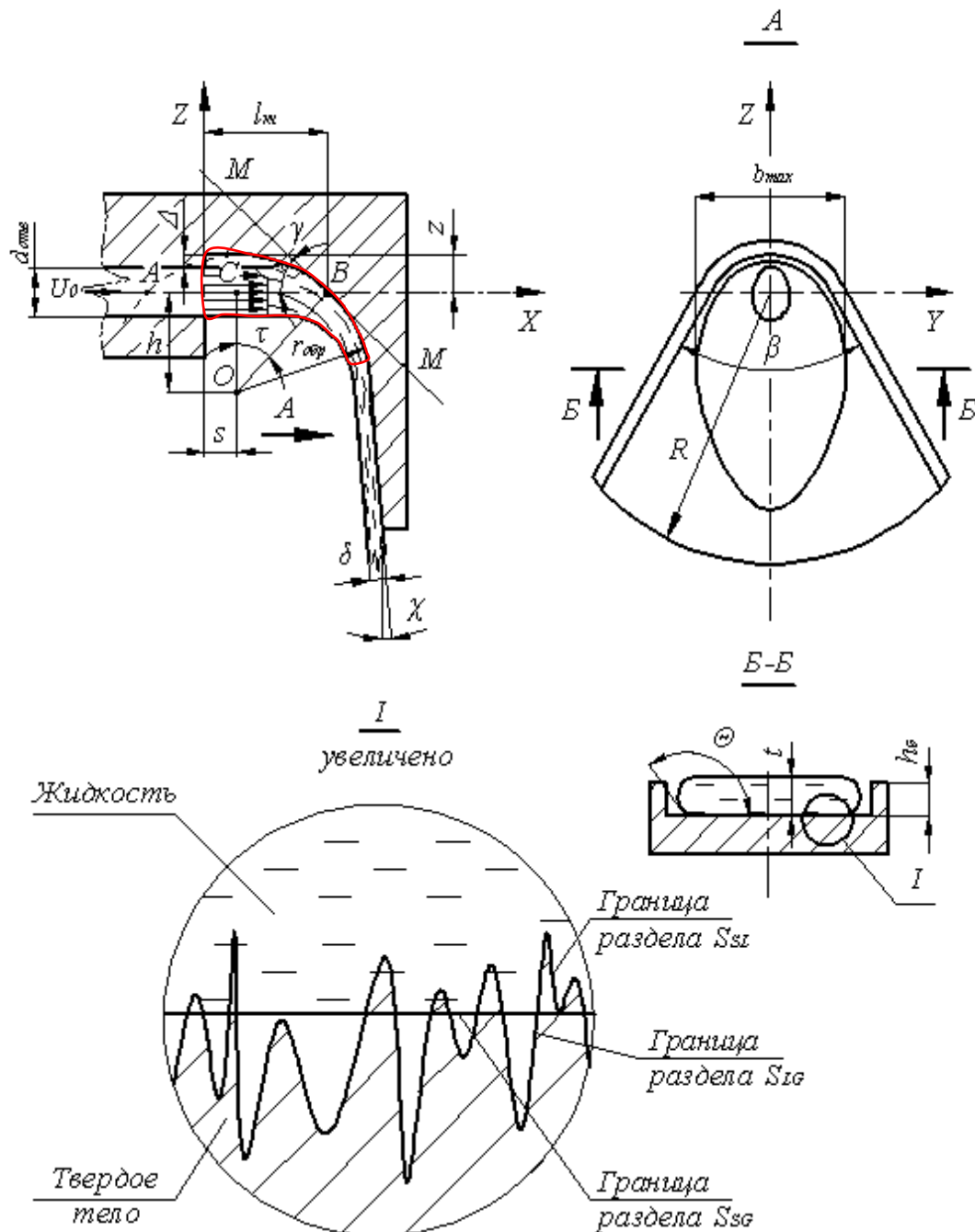


Рисунок 2.6 – Схема к обоснованию оптимальных параметров дефлектора распылителя

лителей, безусловно, следует отнести участок отражающей поверхности дефлектора, воспринимающий набегающий из сопла поток рабочей жидкости. Обычно, при проектировании подобных гидравлических распыливающих устройств параметры данного элемента принимаются на основе уже известных производственных решений или опытным путем. Такой подход не может быть применен для предлагаемой конструкции, поскольку формирование строго ограниченных углов факела распыла, здесь, должен обеспечиваться сходящимися в зоне пятна контакта направляющими буртиками дефлектора. Из рис. 2.6 видно, что количество $q_{ж}$ жидкости, поступающей на поверхность дефлектора в единицу времени Δt определяется геометрическими размерами контактирующего с этой поверхностью объема:

$$q_{ж} = \Delta l \times b \times t \quad (2.26)$$

где Δl , b , t – соответственно, длина, ширина и толщина слоя жидкости, поступившей на отражатель за время Δt .

Форма дефлектора и условия выполнения процесса распыла не ограничивают величины Δl и t . Однако, ширина b слоя поступающей жидкости должна соответствовать поперечному размеру контактной площадки. Следовательно, оптимизация параметра b приоритетна в теоретическом обосновании конструкции нового распылителя.

Для моделирования ширины b пятна контакта жидкости с отражающей поверхностью, введем понятия «контрольный объем» и «устье дефлектора». Под контрольным объемом (выделен на рисунке) подразумевается количество жидкости от выходного сопла до наиболее широкого сечения пятна контакта с поверхностью. Устьем дефлектора называем площадь отражающей поверхности дефлектора, в области пятна контакта.

Описываемый процесс заключается в подаче некоего объема жидкости в устье дефлектора. Здесь жидкость контактирует с поверхностью, растекаясь и заполняя пространство между ограничивающими буртиками, формирующими требуемый угол факела распыла при сходе жидкости с поверхности дефлектора. Анализ про-

цесса базируется на положениях, известных из теории смачивания гидрофобной поверхности [53].

Разбивая процесс на 2 фазы: до (I) и после (II) встречи жидкости с отражателем, полагаем постоянными давление и температуру. Полная энергия E_0 жидкого тела складывается из поверхностной $E_{\text{пов}}$, кинетической $E_{\text{кин}}$ и потенциальной $E_{\text{пот}}$ энергий. Определение параметра b ведется по условиям энергетического баланса жидкости до и после удара.

Из закона сохранения энергии, следует, что полные энергии жидкости I и II фаз процесса истечения постоянны и равны:

$$E_{\text{пов}}^I + E_{\text{кин}}^I + E_{\text{пот}}^I = E_{\text{пов}}^{II} + E_{\text{кин}}^{II} + E_{\text{пот}}^{II} \quad (2.27)$$

Состояние равновесия капли на поверхности твердого тела описывается уравнением Юнга:

$$\cos\Theta = \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LG}} \quad (2.28)$$

где Θ – краевой угол смачивания;

σ_{SG} , σ_{SL} , σ_{LG} – поверхностные натяжения на границах разделов твердое тело-газ, жидкость-твердое тело, жидкость-газ, соответственно.

Поверхностная энергия пропорциональна площади свободной поверхности жидкости:

$$E_{\text{пов}}^I = S_{\text{пов}} \sigma_{LG} \quad (2.29)$$

где $S_{\text{пов}}$ – площадь поверхности круглой струи.

Площадь поверхности струи жидкости определяется диаметром d_c струи и единицей длины Δl на участке между соплом и точкой В контакта. Допуская равенство диаметров свободной струи и отверстия сопла, запишем

$$S_{\text{пов}} = \Delta l \pi d_{\text{отв}} \quad (2.30)$$

откуда:

$$E_{\text{пов}}^I = \Delta l \pi d_{\text{отв}} \sigma_{LG} \quad (2.31)$$

Кинетическая энергия струи массой m , движущейся со скоростью ω :

$$E_{\text{кин}}^I = \frac{1}{2} m \omega^2 \quad (2.32)$$

Определяем массу m струи произведением объема V и плотности ρ :

$$m = V\rho_{\text{ж}} \quad (2.33)$$

Для объема струи с круглым поперечным сечением:

$$V = \pi \frac{d_{\text{отв}}^2}{4} \Delta l \quad (2.34)$$

Тогда:

$$E_{\text{кин}}^I = \frac{\pi}{8} d_{\text{отв}}^2 \Delta l \rho_{\text{ж}} \omega^2 \quad (2.35)$$

Найдем потенциальную энергию положения жидкости. Для этого используем вертикальное расстояние z от точки пятна контакта на поверхности отражателя до произвольного горизонтального уровня, лежащего на ограничивающей поверхности распылителя. Учитываем толщину t элементарного слоя жидкости и определяемый радиусом скругления поверхности угол γ ее положения на касательной, относительно горизонтали. Тогда, полное расстояние от центра тяжести площади поперечного сечения потока в наиболее широком месте слоя на дефлекторе:

$$z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \quad (2.36)$$

Следовательно

$$E_{\text{пот}}^I = mg \left(z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \right) \quad (2.37)$$

Что, после выражения массы жидкости через ее объем, аналогично (2.33, 2.34), дает:

$$E_{\text{пот}}^I = \frac{\pi}{4} d_{\text{отв}}^2 g \Delta l \rho \left(z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \right) \quad (2.38)$$

Определяем кинетическую и потенциальную энергии жидкости после встречи с отражающей поверхностью (II фаза процесса).

Принимая ось Z положительной вдоль вектора силы тяжести, в соответствии с законом сохранения массы вещества в замкнутой системе, массовый расход жидкости до и после встречи с отражающей поверхностью описывается, как:

$$\rho_{\text{ж}} b_{\text{max}} \int_0^t \omega^{\text{II}} dz = 2\pi \rho_{\text{ж}} \int_0^{d_{\text{отв}}/2} \omega^{\text{I}} dr \quad (2.39)$$

что, при постоянной плотности и равенстве массового расхода и средней скорости потока, выразится:

$$\omega^{\text{II}} b_{\text{max}} t = \omega \pi \frac{d_{\text{отв}}^2}{4} \quad (2.40)$$

где $b_{\max}$ – наибольшая ширина поперечного сечения потока на отражающей поверхности.

При равенстве масс, по аналогии с (2.32, 2.35) имеем:

$$E_{\text{кин}}^{\text{II}} = \frac{\pi}{8} d_{\text{отв}}^2 \Delta l \rho_{\text{ж}} \omega^2 \quad (2.41)$$

Считая вертикальным расстоянием от центра тяжести поперечного сечения до вогнутой поверхности

$$\frac{1}{2} t \cos \gamma + \left(\frac{1}{2} t \sin \gamma \right) \cos \gamma \quad (2.42)$$

потенциальная энергия в самой широкой точке потока, определится, как:

$$E_{\text{пот}}^{\text{II}} = \frac{\pi}{8} d_{\text{отв}}^2 g \Delta l \rho_{\text{ж}} t (\cos \gamma + \cos^2 \gamma) \quad (2.43)$$

Исходя из закона сохранения импульса, для контрольного объема жидкости имеем:

$$p_{\text{отр}} = m^{\text{II}} \omega^{\text{II}} - m^{\text{I}} \omega \cos \gamma \quad (2.44)$$

Считаем контрольный объем жидкости замкнутой системой, а влияние сил трения и тяжести пренебрежимо малым, по сравнению с толкающими силами. Тогда:

$$\omega^{\text{II}} = \omega \cos \gamma \quad (2.45)$$

Отсюда, выражение (2.41) перепишется в виде

$$E_{\text{кин}}^{\text{II}} = \frac{\pi}{8} d_{\text{отв}}^2 \Delta l \rho_{\text{ж}} (\omega \cos \gamma)^2 \quad (2.46)$$

Поверхностная энергия жидкости E_b на единицу длины в наиболее широком сечении потока определяется площадями отдельных границ разделов сред:

$$\frac{E_b}{\Delta l} = S_{SL} \sigma_{SL} + S_{LG} \sigma_{LG} + S_{SG} \sigma_{SG} \quad (2.47)$$

Моделирование поверхностной энергии выполняем с учетом доли f смоченной поверхности и ее шероховатости k , описанных уравнением Касси-Бакстера [168]:

$$\cos(\theta_{\text{КБ}}) = k f \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LG}} + f - 1 \quad (2.48)$$

Следуя стандартной теории (2.48), поверхностное натяжение разделов сред твердое тело-жидкость и твердое тело-газ:

$$k b_{\max} \sigma_{SL}; -k b_{\max} \sigma_{SG} \quad (2.49, 2.50)$$

Поверхность реальных твердых тел никогда не бывает идеально гладкой плоскостью, а покрыта многочисленными неровностями различной формы (см. выносной вид I сечения Б-Б рис. 2.6). Для характеристики микрорельефа (шероховатости) твердой поверхности обычно используют коэффициент шероховатости, равный отношению фактической (наблюдаемой) площади поверхности (с учетом наличия рельефа) к площади проекции на горизонтальную плоскость. Таким образом, для шероховатой поверхности уравнение Юнга (2.28) заменяется уравнением Венцеля-Дерягина [154]:

$$\cos \theta_{\text{ш}} = k \theta_0 \quad (2.51)$$

где $\theta_{\text{ш}}$, θ_0 – значения равновесного краевого угла на реальной (шероховатой) и идеальной (гладкой) поверхности, соответственно.

Следуя этой теории, определим величину несмоченного участка наибольшего поперечного сечения потока на отражающей поверхности, как

$$b_{\text{max}} - f b_{\text{max}} = (1 - f) b_{\text{max}} \quad (2.52)$$

Очевидно, интерфейс раздела жидкость-газ остальной части сечения описывается суммой

$$b_{\text{max}} + 2t \quad (2.53)$$

Используя (2.52), (2.53), запишем выражение для поверхностного натяжения раздела сред жидкость-газ:

$$[(1 - f) b_{\text{max}} + (2t + b_{\text{max}})] \sigma_{LG} \quad (2.54)$$

После несложных преобразований, подстановка полученных выражений в исходное равенство (2.27), дает:

$$\begin{aligned} \pi d_{\text{отв}}^2 \left\{ \frac{\sigma_{LG}}{d_{\text{отв}}} + \frac{\rho_{\text{ж}}}{4} \left[\frac{\omega^2}{2} + g \left(z + \frac{t \cos \gamma}{2} \right) \right] \right\} = & [(1 - f) b_{\text{max}} + (2t + b_{\text{max}})] \sigma_{LG} + \\ & + f b_{\text{max}} (\sigma_{SL} - \sigma_{SG}) + \frac{\pi}{8} d_{\text{отв}}^2 \rho_{\text{ж}} [(\omega \cos \gamma)^2 + g t (\cos \gamma + \cos^2 \gamma)] \end{aligned} \quad (2.55)$$

Используем уравнение Юнга для включения равновесного краевого угла вместо поверхностных натяжений σ_{SG} и σ_{SL} . Из (2.28) следует:

$$\sigma_{SG} - \sigma_{SL} = \sigma_{LG} \cos \Theta \quad (2.56)$$

Тогда, предполагая $t/b_{\max} \ll 1$, учитывая отрицательное направление вектора силы тяжести $E_{\text{пот}}^{\text{II}}$ и реорганизуя члены уравнения, получим:

$$\pi d_{\text{отв}}^2 \left\{ \frac{\sigma_{LG}}{d_{\text{отв}}} + \frac{\rho_{\text{ж}}}{4} \left[\frac{\omega^2}{2} + g \left(z + \frac{t \cos \gamma}{2} \right) \right] \right\} = b_{\max} \sigma_{LG} [2 - f(1 + \cos \Theta)] + \frac{\pi}{8} d_{\text{отв}}^2 \rho_{\text{ж}} (\omega \cos \gamma)^2 \quad (2.57)$$

Решением относительно $b_{\max}$ будет:

$$\frac{b_{\max}}{d_{\text{отв}}} = \frac{\pi \sigma_{LG} + \frac{1}{4} \rho_{\text{ж}} \pi d_{\text{отв}} g \left(z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \right) - \frac{1}{8} \rho_{\text{ж}} \pi d_{\text{отв}} (\omega^2 - \omega^2 \cos^2 \gamma)}{\cos \gamma \sigma_{LG} [2 - f(1 + \cos \Theta)]} \quad (2.58)$$

Как подробно описано в [143], для используемых скоростей истечения жидкость переходит из состояния Касси в состоянии Венцеля ($f=1$). Это означает, что вся поверхность раздела «поверхность-жидкость», становится смоченной. Следовательно:

$$2 - f(1 + \cos \Theta) = 1 - \cos \Theta \quad (2.59)$$

Выражая перпендикулярную составляющую ω_z скорости ω через $\sqrt{\omega^2(1 - \cos^2 \gamma)}$ и разложением (2.58) на простейшие, это дает право записать:

$$\frac{b_{\max}}{d_{\text{отв}}} = \frac{\pi}{\cos \gamma (1 - \cos \Theta)} + \frac{\rho_{\text{ж}} \pi d_{\text{отв}} g \left(z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \right)}{4 \sigma_{LG} \cos \gamma (1 - \cos \Theta)} + \frac{\rho_{\text{ж}} \pi d_{\text{отв}} \omega_z^2}{8 \sigma_{LG} \cos \gamma (1 - \cos \Theta)} \quad (2.60)$$

Входящее в (2.60) соотношение $\frac{\rho_{\text{ж}} d_{\text{отв}} \omega_z^2}{\sigma_{LG} (1 - \cos \Theta)}$ – есть измененное по краевому углу Θ число Вебера перпендикулярной составляющей ω_z скорости потока, $W_{e\Theta z}$.

Отсюда, находим:

$$\frac{b_{\max}}{d_{\text{отв}}} \frac{\cos \gamma}{\pi} = \frac{1}{1 - \cos \Theta} + \frac{\rho_{\text{ж}} d_{\text{отв}} g \left(z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \right)}{4 \sigma_{LG} (1 - \cos \Theta)} + \frac{W_{e\Theta z}}{8} \quad (2.61)$$

Известно [132], что в гидродинамике критерием подобия, определяющим соотношение между гравитационными силами и силами поверхностного натяжения принято число Бонда (Этвеша):

$$B_o = \frac{\rho_{\text{ж}} g d^2}{\sigma} \quad (2.62)$$

где g – ускорение свободного падения;

d – капиллярный диаметр;

σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Поскольку параметр $\frac{\rho_{\text{ж}} d_{\text{отв}} g \left(z + \frac{1}{2} t \cos \gamma \right)}{\sigma_{LG} (1 - \cos \Theta)}$ связывает гравитационные силы (т.е. – разность высот z) с поверхностным натяжением, источник [143] предлагает считать его модифицированным числом Бонда B_{odz} , откуда:

$$\frac{b_{\text{max}}}{d_{\text{отв}}} \frac{\cos \gamma}{\pi} = \frac{1}{1 - \cos \Theta} + \frac{B_{\text{odz}}}{4} + \frac{W_{e\Theta z}}{8} \quad (2.63)$$

В том же источнике [143] утверждается, что сравнительные исследования параметра B_{odz} обнаруживают его неизменное значение ниже 20% относительно остальных величин и менее 5% - для большинства случаев. Следовательно, запись выражения (2.63) может быть сокращена:

$$\frac{b_{\text{max}}}{d_{\text{отв}}} = \frac{\pi W_{e\Theta z}}{8 \cos \gamma} + \frac{\pi}{\cos \gamma (1 - \cos \Theta)} \quad (2.64)$$

что в ее решении, относительно b_{max} , даст:

$$b_{\text{max}} = \pi \frac{d_{\text{отв}}}{\cos \gamma} \left(\frac{1}{8} W_{e\Theta z} + \frac{1}{1 - \cos \Theta} \right) \quad (2.65)$$

Уравнение (2.64), полученное de la Cruz [143], предлагает зависимость максимальной ширины слоя жидкости на отражающей поверхности, от свойств контактирующего твердого тела, самой жидкости, режимов ее истечения и угла натекания. Тем не менее, в применении к сформулированным задачам настоящего исследования, данное выражение следует считать лишь общим случаем. Для оптимизации ширины устья дефлектора уравнение (2.65) может быть использовано после его дополнения, относительно кривизны отражающей поверхности в точке В контакта.

Из рис. 2.6 видно, что угол натекания рабочей жидкости на отражающую поверхность дефлектора может быть представлен углом γ между горизонтальной осью симметрии потока и касательной М-М к радиусу отражающей поверхности в точке контакта В. В свою очередь, угол γ равен внутреннему углу τ треугольника ОСВ ($\gamma = \tau$), образованному горизонтальной осью симметрии потока, расстоянием от оси симметрии потока до центра окружности, образующей отражающую поверхность и радиусом этой окружности. Очевидно, что:

$$\cos \gamma = \frac{h}{r_{\text{обр}}} \quad (2.66)$$

где h – вертикальное расстояние от оси симметрии потока до центра окружности, образующей отражающую поверхность;

$r_{\text{обр}}$ – радиус образующей окружности.

Следовательно, уточненная запись уравнения (2.65) с привязкой к кривизне отражающей поверхности по параметру $r_{\text{обр}}$ будет иметь вид:

$$b_{\text{max}} = \pi \frac{d_{\text{отв}}}{\cos\left(\arccos \frac{h}{r_{\text{обр}}}\right)} \left(\frac{1}{8} W_{e\Theta z} + \frac{1}{1-\cos \Theta} \right) \quad (2.67)$$

Следующая задача заключается в нахождении оптимального радиуса $r_{\text{обр}}$ и положения центра O образующей окружности.

Из рис. 2.6 следует, что форма образующей отражающей поверхности определяется положением центра окружности радиусом $r_{\text{обр}}$, относительно сопла. Для снижения влияния сил трения на границах потока, в зоне ограничивающей поверхности распылителя, сопловое отверстие выполнено с минимальным зазором Δ , относительно последней:

$$r_{\text{отв}} + \Delta \quad (2.68)$$

Исходя из условия компактности конструкции, центр O образующей окружности располагаем в плоскости поперечного сечения выходного сопла ($s=0$). Радиус $r_{\text{обр}}$ должен обеспечить расстояние между соплом и точкой B контакта не более длины $l_{\text{кч}}$ компактной части свободной струи.

Примем ось симметрии струи за секущую окружности радиусом $r_{\text{обр}}$. Тогда хордой окружности будет отрезок AB , длиной $2l_{\text{кч}}$, а высота сегмента – $r_{\text{отв}} + \Delta$.

Из свойств окружности имеем:

$$r_{\text{обр}} = \frac{1}{2} \left(\frac{l_{\text{кч}}^2}{r_{\text{отв}} + \Delta} + (r_{\text{отв}} + \Delta) \right) \quad (2.69)$$

Расчет $l_{\text{кч}}$ ведется из условия контакта с дефлектором компактной (не распыленной) части свободной струи. Длину данного участка определим по формуле Г.Н. Абрамовича [1]:

$$l_{\text{кч}} = \frac{1}{2} \left(\frac{0,67}{a} d_{\text{отв}} \right) \quad (2.70)$$

где a – коэффициент, характеризующий влияние турбулентности струи на ее распыл.

Установлено [1], что при малой интенсивности турбулентности $a=0,066\dots 0,08$. В среднем, для осесимметричных струй $a=0,07\dots 0,08$.

Отсюда, считая $a=0,075$, выражение (2.70) запишется в виде:

$$l_{кч}=4,5 d_{отв} \quad (2.71)$$

Следующим этапом оптимизации параметров распылителя является определение формы и размеров дефлектора. Дефлектор нового распылителя представим сектором круга радиусом R , относительно точки В пятна контакта (см. рис. 2.6). Центральный угол сектора определяется требуемым внешним углом факела распыла соответствующей секции распылителя. Для снижения сопротивлений потоку и создания лучших условий распыла, отражающая плоскость дефлекторов ударно-струйных распылителей отклонена от вертикали на угол $\chi \approx 5^\circ$ в направлении подачи рабочей жидкости. Известно [93], что фракционный состав капель зависит от характеристик дробления пленки жидкости на сходе с дефлектора. Следовательно, расчет значения параметра R можно вести из условия формирования требуемой дисперсности распыла.

Рассматриваем процесс обтекания дефлектора рабочей жидкостью, как установившийся осредненный турбулентный, с плавно изменяющимся движением, при избыточном давлении. Тогда, упрощая форму поверхности натекания до конической, с углом χ при вершине, составим уравнение Бернулли для сечений I-I, II-II, относительно плоскости сравнения I-I [50]:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{\omega_2^2}{2g} + h_f \quad (2.72)$$

где z_1, z_2 – геометрические высоты (высоты положения сечений I-I и II-II, соответственно);

$p_1/\gamma, p_2/\gamma$ - пьезометрические напоры (высоты давления в сечениях I-I и II-II);

α_1, α_2 - поправочные коэффициенты (коэффициенты Кориолиса), учитывающие изменение кинетической энергии вследствие неравномерности распределения скоростей в живом сечении потока;

ω_1^2, ω_2^2 - средние скорости движения потока жидкости в сечениях I-I и II-II;

h_f - суммарные потери напора, определяемые работой сил трения на поверхности дефлектора и на поверхности раздела жидкость-воздух.

Считая пьезометрический напор (высоту давления) p/γ ничтожно малым, по сравнению с давлением в гидросистеме, перепишем уравнение (2.72), перенеся члены z_1, z_2 в правую часть, представив их суммой $(z_1+z_2) = z_0$:

$$\alpha_1 \frac{\omega_1^2}{2g} = \alpha_2 \frac{\omega_2^2}{2g} + h_f + z_0 \quad (2.73)$$

откуда имеем:

$$\alpha_1 \frac{\omega_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{\omega_2^2}{2g} = h_f + z_0 \quad (2.74)$$

Суммарные потери напора определим по формуле Вейсбаха [139]:

$$h_f = \zeta \frac{\omega_1^2}{2g} \quad (2.75)$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления (коэффициент потерь).

Следуя методике, изложенной в [51], выразим средние скорости потока в сечениях I-I и II-II через расход G и площади s_1, s_2 живых сечений. С учетом (2.75):

$$\alpha_1 \frac{G^2}{2gs_1^2} - \alpha_2 \frac{G^2}{2gs_2^2} = \zeta \frac{\omega_1^2}{2g} + z_0 \quad (2.76)$$

Приближенно принимая $\alpha_1=\alpha_2=1$, запись (2.76), относительно G дает:

$$G = \sqrt{\frac{2gz_0}{\left(\frac{1}{s_1^2} - \frac{1}{s_2^2}\right)(1+\zeta)}} = \sqrt{\frac{2gz_0 s_1^2}{\left(1 - \frac{s_1^2}{s_2^2}\right)(1+\zeta)}} = m_1 s_1 \sqrt{2gz_0} \quad (2.77)$$

Здесь, m_1 – коэффициент расхода рабочей жидкости, относительно сечения I-I:

$$m_1 = \sqrt{\frac{1}{1 - (1+\zeta)\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2}} \quad (2.78)$$

Выражая m_1 расходом G (2.77) и возвращаясь к скоростной характеристике потока, после некоторых преобразований, можем записать:

$$m_1 = \sqrt{\frac{\omega_1^2}{2gz_0}} \quad (2.79)$$

Из теории гидродинамики [139] известно, что соотношение между действующими на элементарный объём жидкости силой инерции и внешней силой, в поле

которой происходит движение, характеризуется числом Fr Фруда. Это дает право записать (2.79), как:

$$m_1 = \sqrt{\frac{Fr}{2}} \quad (2.80)$$

Площадь поперечного сечения потока в плоскости I-I найдем через диаметр сопла:

$$s_1 = \pi \frac{d_{\text{отв}}^2}{4} \quad (2.81)$$

Площадь живого сечения в плоскости II-II определяем толщиной δ слоя жидкости, сходящей с кромки дефлектора. Представив длину кромки длиной сектора окружности радиусом R , через ее центральный угол, получим:

$$s_2 = \delta \pi \left(R \frac{\beta}{180^\circ} + \delta \cos \chi \right) \quad (2.82)$$

где β – угол факела распыла, формируемый направляющими буртиками дефлектора, град;

χ – угол стока пленки жидкости с поверхности дефлектора (уклон отражающей поверхности), град.

Из условий реализации адаптивного процесса распыла, устройство нового распылителя должно предусматривать создание факела распыла с незаполненным внутренним сектором, угол которого равен внешнему углу распыла дефлектора предыдущей секции.

В таком случае, формула (2.82) приобретает вид:

$$s_2 = \delta \pi \left(R \frac{(\beta - \beta')}{180} + \delta \cos \chi \right) \quad (2.83)$$

где β' – угол внутреннего незаполненного сектора факела распыла последующих секций распылителя, град.

Отсюда, приравнявая (2.78) и (2.80), получим:

$$\sqrt{\frac{1}{1 - (1 + \zeta) \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^2}} = \sqrt{\frac{Fr}{2}} \quad (2.84)$$

Подставляя в (2.84) значения площадей s_1 и s_2 из (2.81), (2.83) и приравнявая к 0, после некоторых преобразований, имеем:

$$4 \frac{\delta^2}{d_{\text{отв}}^2} \sqrt{\frac{1}{1-(1+\zeta)}} + \frac{\delta R(\beta-\beta')}{45 d_{\text{отв}}^2 \cos \chi} \sqrt{\frac{1}{1-(1+\zeta)}} - \frac{\sqrt{\frac{Fr}{2}}}{\cos \chi} = 0 \quad (2.85)$$

Решение (2.85), относительно δ позволяет получить полное приведенное квадратное уравнение для определения толщины пленки рабочей жидкости, сходящей с поверхности дефлектора:

$$\delta^2 + \frac{R(\beta-\beta')}{180^\circ \cos \chi} \delta - k_0 \frac{d_{\text{отв}}^2}{4 \cos \chi} = 0 \quad (2.86)$$

где k_0 - поправочный коэффициент, учитывающий работу сил трения и кинетичность набегающего на отражающую поверхность потока жидкости:

$$k_0 = \sqrt{\frac{1+\zeta}{1-\frac{2}{Fr}}} \quad (2.87)$$

Решая уравнение (2.86), определим толщину слоя рабочей жидкости, сходящей с кромки дефлектора:

$$\delta = -\frac{R(\beta-\beta')}{360^\circ \cos \chi} + \sqrt{\left(\frac{R(\beta-\beta')}{360^\circ \cos \chi}\right)^2 + k_0 \frac{d_{\text{отв}}^2}{2 \cos \chi}} \quad (2.88)$$

Рисунок 2.7 демонстрирует влияние радиуса и угла развертки дефлектора на формирование пленки жидкости.

С другой стороны, уравнение (2.86) дает возможность вычислить радиус R отражательной поверхности дефлектора, учитывая толщину δ сходящей пленки,

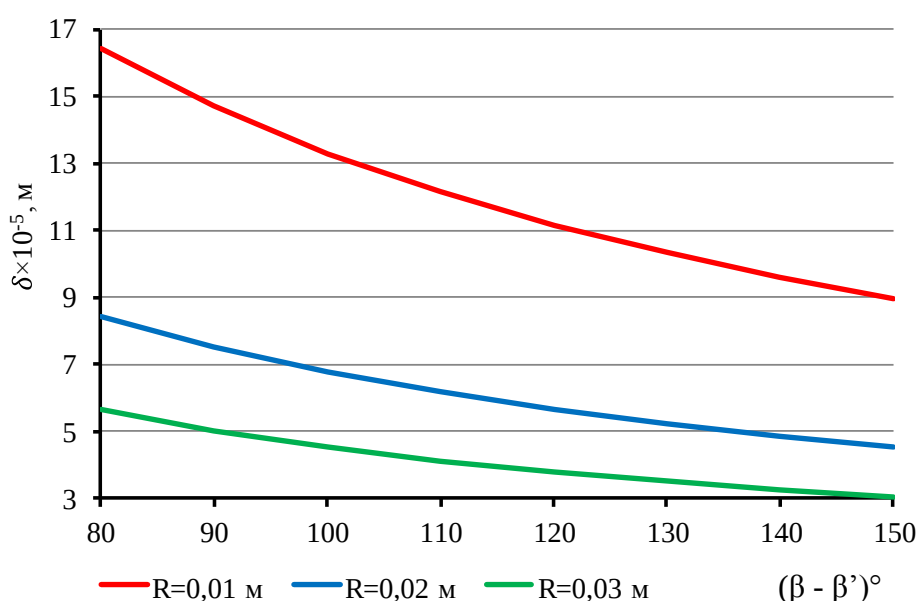


Рисунок 2.7 - Зависимость толщины пленки рабочей жидкости от радиуса и угла развертки дефлектора

обуславливающую требуемый размер капель рабочей жидкости:

$$R = k_0 \frac{d_{\text{отв}}^2}{\delta(\beta - \beta')} 45^\circ - \delta \frac{\cos \chi}{(\beta - \beta')} 180^\circ \quad (2.89)$$

Известно [57], что при значениях числа Вебера

$$We = \frac{\rho l v_0^2}{\sigma} > 7,5 \dots 15 \quad (2.90)$$

закономерности дробления потока на отдельные капли определяют волны, имеющие максимальный инкремент неустойчивости. Рэлея [165] установил, что это условие соответствует длине волны $\lambda = 9,016 \delta$.

Расчет показал, что при имеющихся параметрах работы распылителя, значение We составит 184,6. Тогда, справедливо найти средний диаметр капель жидкости, образуемых пленкой, сходящей с поверхности дефлектора, из выражения:

$$d_k \approx \lambda = 9,016 \delta \quad (2.91)$$

что подстановкой в (2.89), окончательно даст:

$$R = 9,016 k_0 \frac{d_{\text{отв}}^2}{d_k(\beta - \beta')} 45^\circ - \frac{d_k \cos \chi}{9,016(\beta - \beta')} 180^\circ \quad (2.92)$$

Для определения численного значения поправочного коэффициента k_0 в формулах (2.88), (2.92) необходимо найти параметр ζ .

Представляя гидравлическое сопротивление участком трубы длиной $l_{\text{кч}}$ компактного участка и диаметром отверстия $d_{\text{отв}}$, коэффициент потерь определяется по формуле

$$\zeta = \psi \frac{l_{\text{кч}}}{d_{\text{отв}}} \quad (2.93)$$

где ψ - коэффициент потерь на трение по длине (коэффициент Дарси).

Для турбулентных течений, при числах Рейнольдса $Re \leq 10^5$, определим ψ используя формулу Блазиуса [139]:

$$\psi = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.94)$$

Подстановкой численных значений в формулу (2.87) получен коэффициент местных потерь $k_0 = 1,05$.

Важно отметить, что выражение (2.88) служит не только для определения размеров отражающей поверхности дефлектора, но и для обоснования минимально допустимой высоты h_6 направляющих буртиков в зоне схода потока с дефлектора:

$$h_6 \geq \delta \quad (2.95)$$

2.3 Выводы по Главе 2

1. Теоретически подтверждена гипотеза о принципиальной возможности компенсации равномерного распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги, при ее вертикальных колебаниях, за счет управления текущей фронтальной проекции углов факела распыла отдельных распылителей.

2. Предложена схема к расчету изменения ширины захвата факела распыла распылителей опрыскивателя, при колебаниях штанги в поперечно-вертикальной плоскости.

3. Получено уравнение для вычисления ширины захвата распылителя, учитывающее конструктивные параметры одноопорного опрыскивателя, а также угол поперечного наклона рамы.

4. Установлено, что при горизонтальном положении штанги опрыскивателя ширина b полосы распределения рабочей жидкости одним распылителем составляет около 1,43 м. Однако, уже при отклонениях опрыскивателя на угол α от -15° до $+20^\circ$ в поперечно-вертикальной плоскости, ширина b изменяется от 2,60 м до 0,46 м, т.е. больше чем в 1,8...3,1 раза.

5. Получено уравнение, характеризующее влияние угла положения одноопорного опрыскивателя на требуемый угол распыла, с учетом дистанции вылета многорежимного распылителя, относительно вертикальной оси, проходящей через точку опоры опрыскивателя.

6. Для пределов колебаний штанги $\alpha = +11^\circ \dots -18^\circ$ в поперечно-вертикальной плоскости, изменения угла распыла многорежимным распылителем должны составлять $\beta = 86^\circ \dots 135^\circ$, на удалении $l = 1$ м.

7. Представлена таблица численных значений фронтальных углов факела распыла каждого распылителя, учитывающие их удаление от проходящей через точ-

ку опоры плоскости симметрии опрыскивателя, в применении к эксплуатационным пределам углов колебаний штанги.

8. Предложена номограмма для определения значений требуемого угла распыла многорежимного распылителя, в зависимости от угла наклона одноопорного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости; описан алгоритм ее использования. Номограмма применима при разработке программного обеспечения управляющего комплекса опрыскивателя, оснащенного адаптивной системой распределения рабочей жидкости в меняющихся условиях.

9. Найденные теоретические зависимости позволили разработать алгоритм переключения режимов работы многорежимных распылителей адаптивной распределительной системы опрыскивателя с построением операционного графика.

10. На основе известных законов гидродинамики обоснованы параметры выходных сопел и расстояние между плоскостью выходного отверстия и точкой пятна контакта на отражающей поверхности дефлектора; образованные внешними сторонами каждого отражающего дефлектора их центральные углы определяются расчетными углами факела распыла данного дефлектора многорежимного распылителя.

11. Базируясь на положениях теории смачивания гидрофобной поверхности и требований к форме отражающей поверхности дефлектора, уточнена запись уравнения de la Cruz с привязкой к кривизне отражающей поверхности по параметру радиуса кривизны для оптимизации ширины устья дефлектора.

12. Выведено уравнение толщины сходящей пленки рабочей жидкости, учитывающее радиус и угол развертки сектора отражающей поверхности дефлектора. Уравнение использовано для оптимизации радиуса отражающей поверхности по параметру дисперсности распыла, а также для обоснования минимально допустимой высоты направляющих буртиков дефлектора.

13. Полученные теоретические предпосылки положены в основу проектирования и разработки опытных образцов многорежимного распылителя для адаптивной системы распределения рабочей жидкости одноопорным опрыскивателем.

Глава 3. Программа и методика экспериментальных исследований.

Разработка многорежимного распылителя для адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя

Экспериментальные исследования ставят своей целью получение фактических показателей качественных характеристики работы адаптивной распределяющей системы штангового одноопорного опрыскивателя, а также подтверждение результатов теоретических предпосылок, сформулированных в Главе 2 предлагаемой диссертационной работы.

В задачи экспериментальных исследований входило:

- определение фактических значений амплитуды и размаха рабочих колебаний штанги одноопорного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости;
- определение допустимой скорости поступательного движения тачечного опрыскивателя в производственных условиях;
- нахождение численных значений коэффициента расхода и Re -критерия Рейнольдса для вновь спроектированного многорежимного распылителя;
- оценка зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора распылителя от угла натекания рабочей жидкости;
- изучение равномерности распределения и дисперсности распыла рабочей жидкости по ширине захвата адаптивной распределяющей системы опрыскивателя, при вертикальных колебаниях штанги, в сравнительных стендовых испытаниях.

Исходя из поставленных цели и задач, разработана программа экспериментальных исследований.

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программой экспериментальных исследований предусматривалось выполнение следующих видов работ:

- разработка и изготовление комплекса приборов и приспособлений для лабораторных опытов;
- проектирование и сборка универсального гидравлического стенда для проведения исследований в лабораторных условиях;
- разработка и создание комплекта опытных образцов оригинального много-режимного распыливающего устройства адаптивной распределяющей системы опрыскивателя;
- разработка принципиальных положений функционирования адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя;
- доработка и специализированное оснащение макетного образца одноопорного штангового опрыскивателя тачечного типа, как базового мобильного средства для проведения испытаний адаптивной распределяющей системы;
- планирование многофакторного комплекса;
- проведение комплекса экспериментальных исследований в лабораторных и полевых условиях;
- математическая обработка опытных данных и представление результатов исследования.

Полевые исследования проводились с целью изучения исходных условий эксплуатации одноопорного штангового опрыскивателя, а также для определения качественных характеристик операции внесения рабочей жидкости адаптивной распределяющей системой на опытных посевах.

3.2 Общие методы исследования

В исследовании использовались общие методы получения и анализа информации, геометрическое и математическое моделирование, теоретический анализ качественных и агротехнических параметров опрыскивания, обоснование закономерностей технологического процесса опрыскивания на основе известных зако-

нов физики и классической математики, метод номограммирования функций нескольких переменных.

В лабораторных исследованиях использованы основополагающие методы гидродинамики и проведения стендового эксперимента, графическая интерпретация анализа рабочего процесса. При испытаниях распылителей руководствовались требованиями ГОСТ ISO 5682-1-2004 [30].

Полевые исследования и испытания одноопорного опрыскивателя, оснащенного адаптивной распределяющей системой проводились на опытных участках НОПЦ «Интеграция» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина, в соответствии с рекомендациями ГОСТ 34630-2019 [28], ГОСТ Р 54783-2011 [32], ГОСТ 20915-2011 [25], СТО АИСТ 6.3-2018 [119], СТО АИСТ 7.3-2010 [120].

Условия испытаний: культура – озимая пшеница. Почва серая лесная, средне-суглинистая. Предварительная обработка – культивация. Предшественник ячмень. Повторность проведения опытов – 3х кратная; погрешность измерений - не более 5%.

В качестве опытного образца опрыскивателя использовался малогабаритный одноопорный штанговый опрыскиватель тачечного типа, разработанный в Орловском ГАУ [102]. Испытания распределительной системы осуществлялись в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53053-2008 [31].

Основные методики математической обработки данных экспериментов производились на основе требований, изложенных в стандартах ГОСТ 11.006-74 [24]; ГОСТ 8.-207-76 [29]. Результаты измерений обрабатывались методами математической статистики, в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 8.736-2011[33].

Для оперативной обработки эмпирических данных использовались программные средства, такие как русскоязычная версия системы математических расчетов Mathcad 14, специализированные утилиты программного обеспечения AutoCad и Excel 2015 для Windows 7. Кроме того, с целью сокращения временных затрат на обработку и анализ данных полнофакторного эксперимента, разработаны и применялись в исследовании специальные шаблоны электронных таблиц. Принятие

решений в сфере статистической обработки первичных данных осуществлялось на основе известных критериев сравнения К. Пирсона (χ^2), А.Н. Колмогорова и Н.В. Смирнова (λ), проверкой выпадов ранжированных рядов, V-критерия Грэбса-Смирнова [47, 74] и др.

3.3 Описание макетного образца одноопорного штангового опрыскивателя тачечного типа. Методы выполнения полевых экспериментов

Средства малой механизации находят все более широкое применение в самых разных сферах деятельности. Не являются исключением технологические процессы, используемые при защите растений. Свой вклад в развитие данного направления внес ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. Здесь разработан и создан макетный образец одноопорного штангового опрыскивателя тачечного типа, с приводом от малогабаритного ДВС [102, 106, 161]. В предлагаемой работе данное устройство использовалось в качестве базового мобильного средства для разработки и исследования адаптивной распределяющей системы штангового опрыскивателя.

3.3.1 Краткое описание конструкции и принципа работы опрыскивателя

Предлагаемый опрыскиватель предназначен для внесения ХСЗР на малогабаритных и труднодоступных участках крестьянских и фермерских хозяйств, на личном подворье и дачных участках, на опытных посевах I и II этапа селекционно-семеноводческого процесса, а также для обработки пестицидами и канального орошения в садово-парковом и ландшафтном декоративном растениеводстве. Опрыскиватель (рис. 3.1, а) состоит из рамы с опорным колесом и мотопомпой, смонтированной в специальной универсальной корзине, уравнивающего механизма, элементов гидросистемы и горизонтальной штанги с установленными распылителями. Основные технические характеристики опрыскивателя представлены в табл. 3.1.



а



б

Рисунок 3.1 – Макетный образец одноопорного штангового мотоопрыскивателя (а) и устройство для измерения величины вертикальных колебаний полевой штанги (б)

Принцип работы опрыскивателя заключается в следующем. Под давлением, создаваемой работой мотопомпы, рабочая жидкость из гидробака поступает в напорную систему и распределяется по ширине захвата штанги с помощью распылителей. Равномерность и норма внесения препарата по длине гона обеспечивается необходимой скоростью поступательного перемещения опрыскивателя. Распределяющая система опрыскивателя, также, была задействована для лабораторных исследований на экспериментальном стенде.

Таблица 3.1 - Технические характеристики одноопорного мотоопрыскивателя Орловского ГАУ

Наименование показателя	Значение
Колесная база	велосипедная одноколесная
Основной агрегат	Мотопомпа Champion
Емкость бака, л	20
Давление насоса, МПа	0,2
Ширина захвата штанги, м	3,0
Расход жидкости, $\text{м}^3/\text{мин}$, л мин^{-1} (форсунка щелевая, 02 желтая)	4
Высота положения распылителей, относительно земли, м	0,7...1,7
Вес пустого, кг	40
Габаритные размеры в транспортном положении, мм (Ш/В/Д)	1230/2265/2055

3.3.2 Устройство и методика для измерения величины вертикальных колебаний полевой штанги опрыскивателя

Регистрация данных по отклонению опрыскивателя от вертикальной оси выполнялась с помощью специально разработанного угломера (рис 3.1, б). Последний состоит из измерительной шкалы, жестко закрепленной на раме опрыскивателя и шарнирно установленной указательной стрелки, оснащенной отвесом [105]. Фиксация поперечных отклонений опрыскивателя (а, следовательно, и его штанги) во время работы, производится автомобильным видеорегистратором, оснащенным автономным питанием.

Принцип работы описанного устройства заключается в следующем. Перед началом работы на устройство устанавливают автомобильный видеорегистратор таким образом, что область его обзора распространена на контрольную стрелку. При выполнении эксперимента (контрольного прохождения опрыскивателя) осуществляется видеозапись положений стрелки. Кроме того, контроль вертикального положения опрыскивателя осуществляется оператором с помощью той же контрольной стрелки. После завершения эксперимента, база данных из видеорегистратора вводится в ПК и выполняется их дешифровка и статистическая обработка в среде Excel.

Данное устройство конструктивно не сложно, легко монтируется на раму опрыскивателя, в то же время, позволяя получать объективные данные о необходимых параметрах изучаемого процесса.

3.3.3 Методы проведения тестовых и рабочих испытаний опрыскивателя в полевых условиях

Тестовыми испытаниями предусматривалось определить фактические значения колебаний штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости, обосновать оптимальную рабочую скорость движения опрыскивателя и оценить

принципиальную возможность реализации концепции повышения равномерности опрыскивания, за счет регулирования геометрии факела распыла.

Рабочие испытания ставили целью исследование качественных характеристик работы адаптивной распределяющей системы опрыскивателя в производственных условиях.

Амплитуда и размах вертикальных колебаний штанги опрыскивателя оценивались с помощью устройства и методики, описанными в разделе 3.3.2. Для исключения отрицательного фактора квалификации, проведению эксперимента предшествовала соответствующая подготовка оператора.

При обосновании оптимальной скорости движения опрыскивателя исходили из следующих предпосылок. Очевидно, что производительность Π опрыскивателя во многом определяется площадью S посевов обработанной за единицу времени t :

$$\Pi = \frac{S}{t}, \text{ га час}^{-1} \quad (3.1)$$

Задача повышения производительности Π , для установленной нормы Q внесения препарата, легко может быть решена в функции увеличения скорости v движения опрыскивателя и/или увеличения ширины L захвата полевой штанги:

$$\Pi(Q) = f\{v, L\} \quad (3.2)$$

Под качеством η технологической операции опрыскивания, в первую очередь, понимаются равномерность внесения рабочей жидкости и требуемая дисперсность капель, при обеспечении заданного расхода q рабочей жидкости [75].

В свою очередь, качественные характеристики опрыскивания существенно зависят от условий проведения технологического процесса. Так, колебания распределительной штанги в поперечно-вертикальной плоскости влекут изменение расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью [69]. Последнее способствует нарушению оптимальной схемы перекрытия потоков распыливаемой жидкости, а также условий ее осаждения [72]. В результате, часть препарата сносится ветром или испаряется в воздухе, не достигая обрабатываемой поверх-

ности. Другая часть – концентрировано осаждается на локальных участках растений, вызывая ожоги листьев.

Учитывая одноопорную схему опрыскивателя, следует предполагать наличие влияния скорости его движения на качество выполняемой технологической операции. В изученных авторами статьи литературных источниках не найдено какого-либо обоснования требуемых скоростных параметров одноопорного опрыскивателя. Таким образом, исследование влияния скорости движения малогабаритного опрыскивателя на формируемые им условия обработки являются актуальными.

Полевой эксперимент проводили на делянках опытного поля ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. Для исключения зависимости оцениваемых показателей опрыскивателя от ряда сопутствующих факторов (порывы и скорость ветра, температура и влажность воздуха, погрешности при обработке и анализе учетных карточек), применялся косвенный метод определения влияющих условий. Для этого, вместо прямой оценки численных значений равномерности распределения рабочей жидкости и дисперсности распыла, фиксировались количество и углы отклонения штанги в поперечно-вертикальной плоскости, при движении опрыскивателя по экспериментальному участку.

Методика эксперимента заключалась в следующем. Одноопорный штанговый опрыскиватель с заполненным гидробаком и функционирующей гидросистемой перемещался оператором в междурядье опытной делянки, длиной 20 м. Скорость движения опрыскивателя в каждом опыте была фиксированной и изменялась от 2 до 4 км ч⁻¹, с шагом 0,5 км ч⁻¹ в отдельных вариантах. Время движения опрыскивателя в междурядье замерялось секундомером. Принимался в расчет установившийся режим движения опрыскивателя (наличие начальных и конечных «пробеговых» участков). При этом производилась цифровая запись текущего времени и величины вертикальных отклонений штанги от горизонтального положения. Фиксация угловых колебаний опрыскивателя осуществлялась с помощью специально разработанного угломера [105]. Устойчивость горизонтального положения штан-

ги определялась значением взвешенной средней арифметической $\bar{x}_\alpha$ углов α вертикальных колебаний штанги в каждом опыте:

$$\bar{x}_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n |\omega_i| \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n |\omega_i|} = \frac{|\omega_1| x_1 + |\omega_2| x_2 + \dots + |\omega_n| x_n}{|\omega_1| + |\omega_2| + \dots + |\omega_n|} \quad (3.3)$$

где $|\omega_i|$ - угол разового отклонения штанги от горизонтали, град;

x_i – количество зафиксированных отклонений данного значения.

Оптимизация скорости перемещения опрыскивателя реализуется методом определения координат пересечения графиков функций производительности Π и качества η выполнения технологической операции. Для получения тренда показателей η , обратного тренду Π , использован принцип симметричности обратных величин:

$$\eta = \frac{1}{\bar{x}_\alpha} \quad (3.4)$$

Производительность опрыскивателя определяли по формуле:

$$\Pi = 0.1 v B, \text{ га ч}^{-1} \quad (3.5)$$

где v – скорость движения опрыскивателя, км ч⁻¹;

B – ширина полосы обработки опрыскивателем, м.

Для приведения оцениваемых параметров (производительности Π и устойчивости $\bar{x}_\alpha$) к сопоставимым величинам использован способ числового кодирования переменных, по формуле:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{\lambda_i} \quad (3.6)$$

где x_i – кодированная переменная;

$\tilde{x}_i$ - натуральная переменная;

$\tilde{x}_{i0}$ - значение натуральной переменной в точке, принятой за начало отсчета (центр эксперимента);

λ_i - новая единица измерения $\tilde{x}_i$, называемая «единицей варьирования»;

x_i - кодированная переменная.

Повторность опытов трехкратная. Погрешность измерений – не более 5%.

С учетом (3.4) и (3.6) выполнялась графическая интерпретация результатов измерений. На основании полученных математических моделей зависимостей Π и

$\bar{x}_\alpha$ от рабочей скорости v опрыскивателя, оптимизация последней реализовывалась методом координат.

Описанный алгоритм расчета может быть использован в формировании карт-заданий на технологическую операцию опрыскивания при мелкомасштабном или опытно-селекционном производстве АПК; планировании задач по защите и стимулированию растений в иных отраслях экономики и личных хозяйствах граждан.

Оригинальность методики поискового полевого эксперимента для проверки концепции адаптивной технологии опрыскивания заключалась в следующем. На штанге опрыскивателя устанавливали стандартные щелевые распылители Lechler ST 110-03 (Синий). Моделирование изменения угла ФР отдельных распылителей осуществлялось их осевым поворотом на требуемый угол. Для этого, в каждом из опытных проходов наконечники распылителей поворачивали так, чтобы фронтальная проекция угла факела распыла каждого распылителя соответствовала требуемой ширине полосы обработки при задаваемом угле наклона штанги опрыскивателя. Соответствующие номеру распылителя и углу наклона опрыскивателя значения углов поворота наконечников определяли по разработанной в Главе 2 номограмме (рис. 2.4). Использование стандартных распылителей (условие исключения слияния ближайших потоков) и выполненная ранее оптимизация значений конкретного ряда фронтальных проекций углов распыла, предусматривали изменение положения штанги, в пределах $0 \dots +7^\circ$.

Рабочие полевые испытания одноопорного опрыскивателя, оснащенного разработанной адаптивной распределяющей системой, осуществляли в соответствии с общими требованиями проведения полевых испытаний. Угол наклона штанги в поперечно-вертикальной проекции изменяли в пределах $\pm 7^\circ$.

3.4 Разработка и создание опытного образца многорежимного дефлекторного распылителя для адаптивной распределяющей системы опрыскивателя

На основании анализа литературных источников и патентного поиска в Главе 1, была выдвинута гипотеза о повышении равномерности распределения СЗР при

вертикальных колебаниях штанги, путем управления геометрией факела распыла. Также, предложен способ управления фронтальным углом факела распыла секционным многорежимным дефлекторным распылителем, способным формировать сопряженные плоские секторные потоки, создающие требуемую текущую ширину полосы обработки. В данном разделе содержатся результаты работы по разработке и созданию комплекта опытных образцов устройства.

3.4.1 Описание конструкции и принципа работы оригинального распылителя

Разрабатываемый дефлекторный распылитель (Приложение 1) адаптивной распределяющей системы штангового опрыскивателя состоит из трех секций, каждая из которых включает сопловое отверстие и отражающий дефлектор. Плоское распыливание происходит за счет удара струи о расположенный напротив сопла отражательный элемент. Форма отражающей поверхности каждого дефлектора определяет соответствующий угол факела распыла жидкости. Последующие за первой секции распылителя снабжены управляемыми клапанами. Переключением режимов работы секций распылителя добиваются оптимального угла распыла, необходимого для сохранения заданной ширины полосы обработки, при данном положении штанги в поперечно-вертикальной плоскости. Распылитель предназначен для внесения, преимущественно, жидких комплексных удобрений. Среди агрохимикатов подобного типа, наиболее распространены карбамидо-аммиачные смеси (КАС) с различной концентрацией действующих веществ. Т.к. предлагаемая адаптивная распределительная система разрабатывалась применительно к малогабаритному опрыскивателю тачечного типа [102, 106, 161], последний будем считать базовым оборудованием. Исходные данные для теоретического обоснования и проектирования распылителя сведены в табл. 3.2.

Технической задачей разработки оригинального распылителя является повышение равномерности внесения жидких средств защиты растений и удобрений,

повышение эффективности технологической операции и уменьшение рисков загрязнения окружающей среды.

Таблица 3.2. Исходные данные для оптимизации параметров оригинального дефлекторного распылителя

Показатель	Описание
Распыливаемая жидкость	Карбамидо-аммиачная смесь (КАС-28)
Норма внесения, л га ⁻¹	70
Окружающая газовая среда	Атмосферный воздух
Тип распылителя	Дефлекторный, многорегимный
Номинальный угол распыла, град	110
Число секций (сопловых отверстий)	3
Аналоги распылителя	FT 90/140 Lechler (Германия); DEF 140 ARAG (Италия); TKT-VP 40/60 Teejet (США); ТКР 130/135 Тесомес (Италия)
Ближайший аналог	ТКР 130 Тесомес 1,0 (желтый): норма внесения - 69 л га ⁻¹ ; скорость опрыскивателя - 4 км ч ⁻¹ ; давление – 1 Бар; расход – 0,46 л мин ⁻¹ ; параметр распыла – «М» (Medium) 250...350 мк.

Общий вид многорегимного распылителя дефлекторного типа [107] показан на рисунке 3.2. В исходном положении распылителя шаровой регулирующий клапан

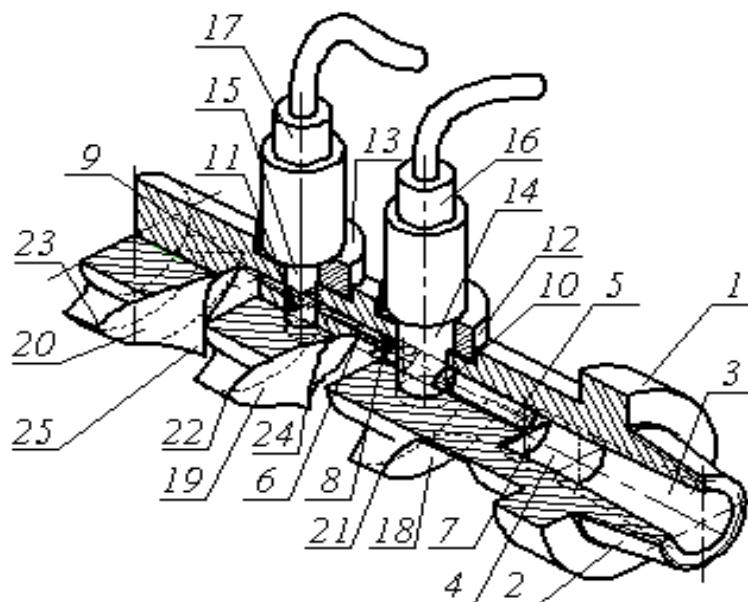


Рисунок 3.2 - Многорегимный распылитель дефлекторного типа [107]:

- 1 – корпус; 2 – конический хвостовик; 3 – входной канал;
- 4, 5, 6 – секционные каналы; 7, 8, 9 – выходные отверстия;
- 10, 11 – регулирующие клапаны; 18, 19, 20 – дефлекторы;
- 21, 22, 23 – направляющие буртики; 24, 25 – центральное ребро

пан 11 закрыт, а шаровой клапан 10 открыт для прохода рабочей жидкости. При этом рабочая жидкость поступает во входной канал 3 и далее в секционный канал 4. Выходя через отверстие 7, часть потока поступает на дефлектор 18 и посредством его боковых направляющих буртиков 21 приобретает при диспергировании угол $\alpha_{\min}$ распыла, например, на $1/3$ меньший угла $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, установленного картой-заданием на внесение средства защиты или удобрения. Другая часть потока рабочей жидкости поступает в секционный канал 5, откуда через отверстие 8 распределяется на секторный дефлектор 19, где, благодаря направляющим буртикам 22 и центральному ребру 24 формируется в секторный факел распыла с внешним углом $\alpha_{\text{ном}}$ при вершине, установленным картой-заданием на обработку и внутренним углом $\gamma_{\min}$ симметричного оси распыла незаполненного сектора, равным углу $\alpha_{\min}$ распыла, сформированного предыдущим дефлектором 18.

При уменьшении расстояния от распылителя до обрабатываемой поверхности, фиксируемого установленными на штанге опрыскивателя датчиками расположения, бортовой компьютер опрыскивателя подает управляющий электрический сигнал на электромагнитный привод 17. В результате этого происходит поворот вала 15 на угол 90° , открывая нормально закрытый шаровой клапан 11. При этом часть рабочей жидкости из секционного канала 5 поступает в секционный канал 6, откуда, минуя выходное отверстие 9, распределяется на секторный дефлектор 20. Благодаря направляющим буртикам 23 и центральному ребру 25, жидкость диспергируется секторным факелом распыла с внешним углом $\alpha_{\max}$ при вершине, например, на $1/3$ большим угла $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, и внутренним углом $\gamma_{\text{ном}}$ симметричного оси распыла незаполненного сектора, равным внешнему углу $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, сформированного предыдущим дефлектором 19. Таким образом, ширина полосы внесения средства защиты или удобрения увеличивается, компенсируя уменьшение высоты расположения распылителя над обрабатываемой поверхностью.

При увеличении расстояния от распылителя до обрабатываемой поверхности, фиксируемого датчиками расположения, бортовой компьютер опрыскивателя по-

дает управляющий электрический сигнал на электромагнитный привод 16, в результате чего происходит поворот вала 14 на угол 90° , закрывая нормально открытый шаровой клапан 10. При этом прекращается доступ потока к секторным дефлекторам 19 и 20, а диспергирование рабочей жидкости факелом распыла с углом $\alpha_{\min}$ при вершине, реализуется лишь дефлектором 18, оснащенным боковыми направляющими буртиками 21. В этом случае ширина полосы внесения средства защиты или удобрения уменьшается, компенсируя увеличение высоты расположения распылителя над обрабатываемой поверхностью.

Применение данного регулируемого дефлекторного распылителя обеспечивает равномерность распределения жидких средств защиты растений и удобрений при отклонениях от заданного расположения над поверхностью в процессе обработки на каждом элементарном участке поля, снижает потери и расход рабочей жидкости, уменьшает вредное воздействие на окружающую среду. Совместная «умная» работа всего комплекта многорежимных распылителей формирует оригинальный принцип адаптивного распределения рабочей жидкости штанговым опрыскивателем, обеспечивая высокое качество технологической операции.

3.4.2 Проектирование и создание опытного образца распылителя

Субъектом исследования диссертационной работы является разработанный авторами многорежимный распылитель [107]. Создание распылителя осуществлялось на основе сформулированных исходных условий реализации рабочего процесса и результатов оптимизации формы и геометрических размеров отдельных элементов конструкции. Опытные образцы распылителя выполнены методом 3D печати с помощью принтера Creality Ender-3 (Китай). Используемые ПО: программа трехмерного моделирования FreeCAD; приложение Creality Slicer 4.8 для 3D печати. Материал – пластик ABS, с плотностью $1,06 \text{ г см}^3$.

Создание опытных образцов осуществлялось печатью отдельных секций распылителя, с последующей их доработкой и окончательной сборкой в единую кон-

струкцию. Общий вид 3D моделей секций и один из опытных образцов распылителя демонстрируются рис. 3.3.

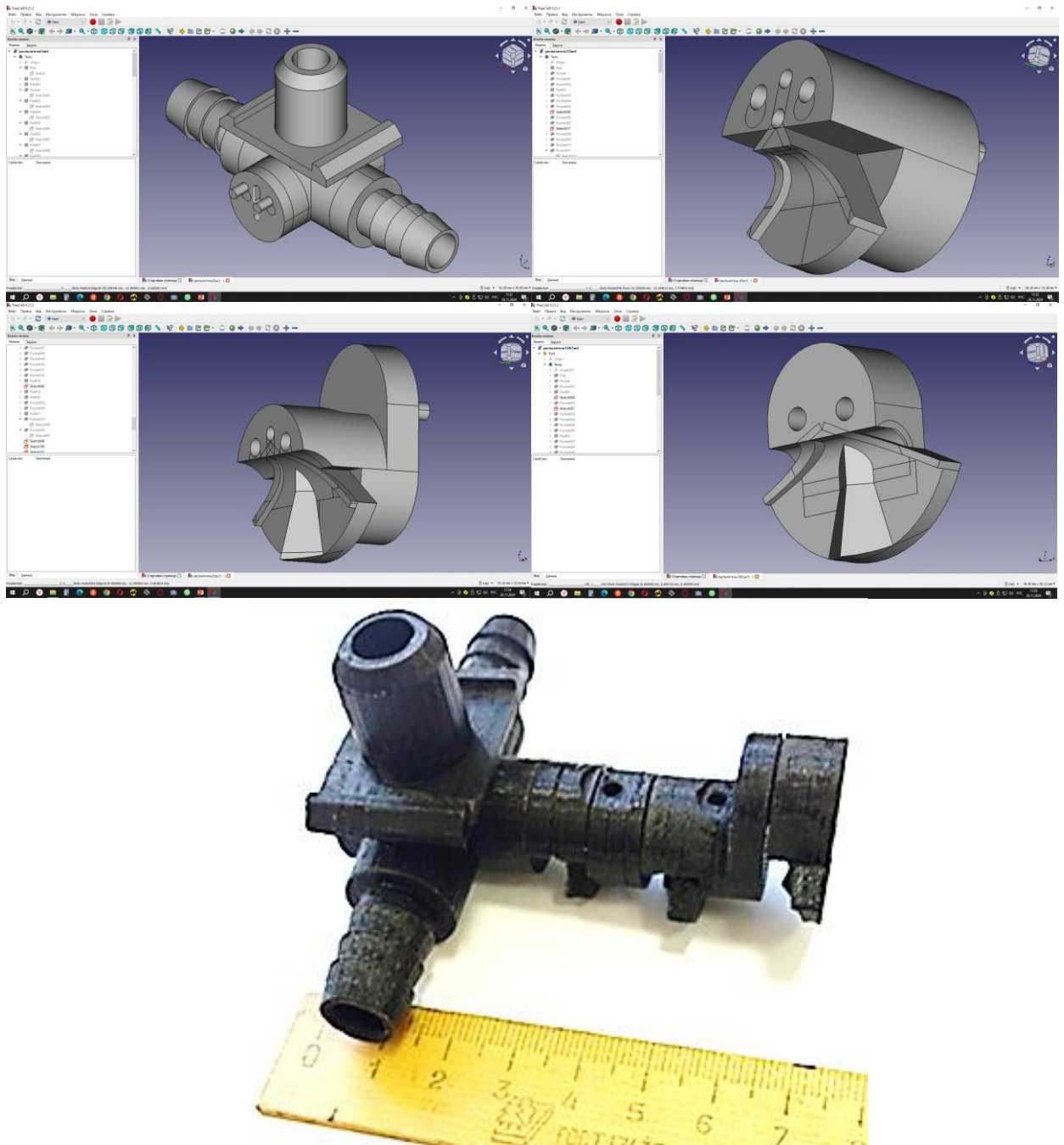


Рисунок 3.3 – 3D модели секций и общий вид опытного образца многорежимного распылителя в сборе

3.4.3 Принципы функционирования адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя

В соответствии с представленной в Главе 1 концепции, задача адаптивной распределяющей системы опрыскивателя состоит в формировании факелов распыла отдельных распылителей, обеспечивающих равномерное распределение рабочей жидкости по ширине захвата, независимо от угла положения штанги в поперечно-вертикальной плоскости. Эта задача решается автоматическим управлением работы секций распылителей.

Опрыскиватель оснащается комплектом опытных оригинальных адаптивных распылителей, подключенных к гидро- и электросистемам опрыскивателя. Разработанная вновь электросистема опрыскивателя (рис. 3.4) предназначена для контроля положения выносной штанги и управления запорными клапанами адаптивных распылителей.

Для обеспечения функции управления распылителями опрыскивателя разработана схема подключения электромагнитных клапанов к системе электроснабжения. Как видно из рис. 3.4, схема включает отдельные блоки распылителей БР, состоящие из распылителей, способных формировать факел распыла от минимального (min) до максимального (max) угла распыла рабочей жидкости. Управление нормально открытыми (ИГо) и нормально закрытыми (ИГз) игольчатыми клапанами осуществляется путем подачи электрического тока на обмотки электромагнита ЭМ. Блок БПУ питания и управления режимами работы распылителей содержит датчик контроля угла наклона ДУ опрыскивателя, а также блок питания БП, состоящий из аккумуляторной батареи 12 В, 7а ч⁻¹.

Работа схемы заключается в следующем. При горизонтальном положении штанги опрыскивателя, находящийся в вязкой среде металлический шарик датчика угла наклона, занимает среднее положение, не входя в контакт с клеммами электрической цепи. При этом ток в цепи отсутствует; нормально открытый и нормально закрытый клапаны распылителей формируют угол факела распыла,

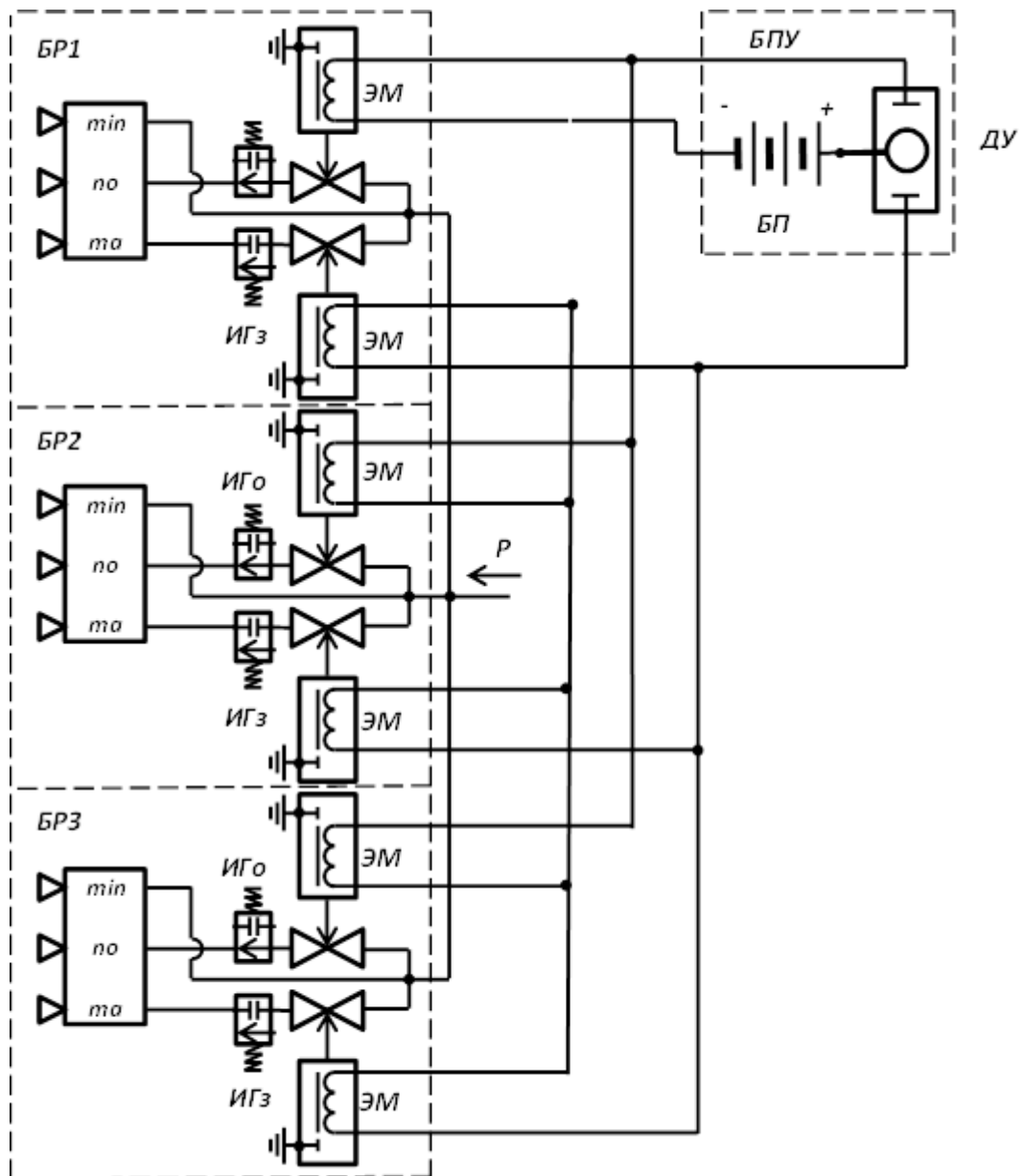


Рисунок 3.4 – Схема подключения адаптивных распылителей к системе контроля и управления геометрией распыла

образованный работой первого (min) и среднего (nom) дефлекторов. Данный режим работы распылителя соответствует номинальному значению корневого угла распыла рабочей жидкости.

При отклонении штанги в одну из сторон, шарик датчика угла наклона контактирует с одной из клемм, запитывая соответствующую ветвь электрической цепи. Так, при замыкании верхнего (в плоскости схемы) контакта, запирается средний клапан, прекращая доступ рабочей жидкости как к среднему, так и к третьему дефлектору. Такой режим работы будет соответствовать распылу с мини-

мальным углом. Напротив, при замыкании нижнего контакта, напряжение подается на катушку лишь третьего (нормально закрытого) клапана, увеличивая угол распыла до максимального.

3.5 Средства и методы проведения лабораторных исследований

Для изучения качественных характеристик распыла рабочей жидкости разработаны и смонтированы экспериментальные лабораторные стенды: стендовая установка для определения равномерности и дисперсности распыла по ширине штанги; стенды для определения расходных параметров нового распылителя и изучения зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора от угла натекания струи. Все экспериментальные лабораторные установки выполнены на единой универсальной базе, включающую напорную и отводящую магистрали и отличаются лишь конечным специализированным звеном схемы (рис. 3.5).

3.5.1 Экспериментальный стенд и методы оценки качественных характеристик распределения рабочей жидкости

Оригинальный испытательный стенд разработан и применяется в научных исследованиях и учебном процессе в ФГБОУ ВО Орловского ГАУ [108].

Стенд (рис. 3.6) состоит из регулируемого по высоте металлического каркаса, на котором смонтированы коллекторы с распылителями. Штанга опрыскивателя, оснащенная комплектом адаптивных распылителей, имеет возможность установки с наклоном в поперечно-вертикальной плоскости на угол до $\pm 10^\circ$. Этим обеспечивается условие изменения одного из влияющих факторов в планируемом факторном эксперименте. Коллекторы оборудованы быстросъемными герметичными разъемами, служащими для замены различных типов опытных распылителей. Герметичная ванна оборудована скатными желобами, по которым распылен-

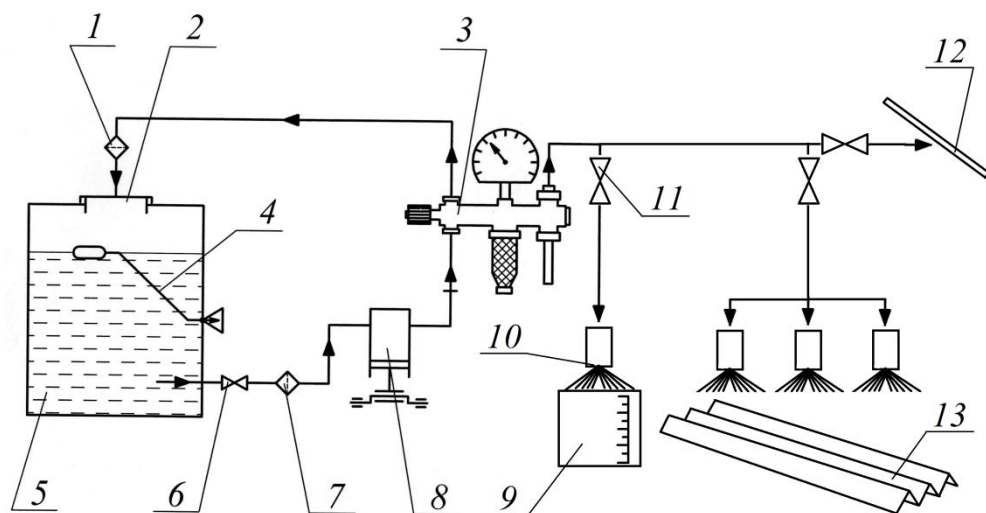


Рисунок 3.5 – Универсальная схема экспериментального гидравлического
стенда: 1, 7 – фильтры; 2 – горловина; 3 – регулятор давления;
4 – уровень; 5 – емкость; 6 – вентиль; 8 – насос; 9 – мерная емкость;
10 – распылитель; 11 – запорный кран; 12 – прозрачная смачиваемая
поверхность; 13 – скатные желоба

ная жидкость поступает в мерные стаканы. Верхняя и нижняя метки на стаканах соответствуют регламентируемому агротехническими требованиями значению отклонения расхода жидкости по отдельным распылителям. Работа стенда обеспечивается наличием гидроемкости, мембранного электронасоса, системы фильтрации. В качестве управляющего устройства рабочего режима системы, использовалась гидропанель КМ фирмы RAU с регулятором давления, фильтром тонкой очистки и манометром.

Для оценки дисперсности и распределения капель рабочей жидкости использовались индикаторные водочувствительные карточки, меняющие цвет при соприкосновении с жидкостью, а также специальные полимерные шаблоны (рис. 3.7).

Методика определения равномерности распределения жидкости по ширине штанги заключалась в сборе жидкости мерными стаканами и последующем вычислении коэффициента вариации.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 53053-2008 [31], статистическая обработка данных лабораторных испытаний подразумевает вычисление среднеарифметического значения количества x жидкости в мерных стаканах, по формуле:

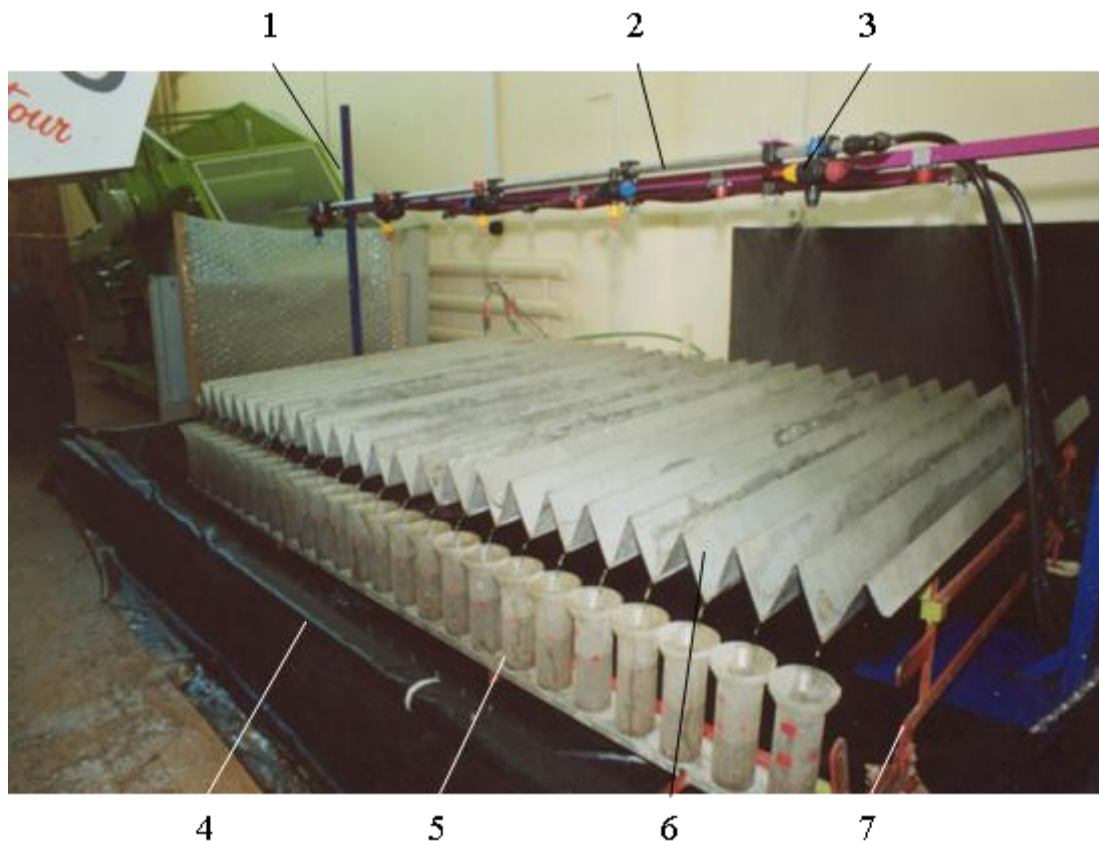


Рисунок 3.6 – Стационарный стенд для изучения параметров распределяющей системы штангового опрыскивателя: 1- каркас; 2 – коллектор; 3 – распылители; 4 – ванна; 5 – мерный стакан; 6 – скатный желоб; 7 – рама

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ дм}^3 \quad (3.7)$$

где n - число мерных стаканов, шт.

Стандартное отклонение σ находится по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ дм}^3 \quad (3.8)$$

Неравномерность v расхода жидкости между отдельными распылителями оценивают с помощью коэффициента вариации:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \% \quad (3.9)$$

Густоту покрытия Π_0 , вычисляли по формуле:

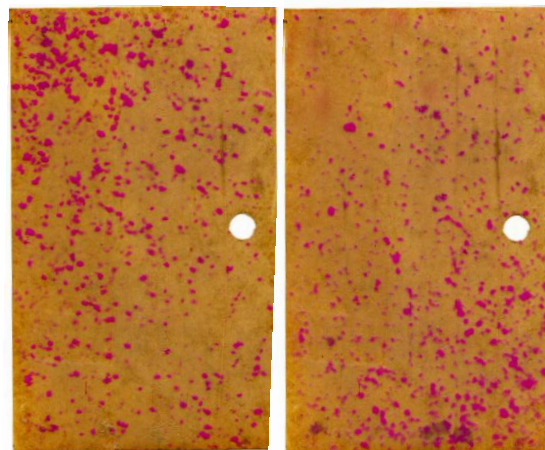
$$\Pi_0 = \frac{n_k}{S_n}, \text{ капля см}^{-2} \quad (3.10)$$

где n_k - общее количество учётных капель, шт.;

S_n - просмотренная площадь, см^2 .



а



б

Рисунок 3.7 – Определение качества распыла с помощью полимерного шаблона (а) и образцы изображений учетных карточек (б)

Анализ учетных карточек для определения дисперсности (крупности) капель, проводили методом сканирования, с последующей обработкой в программе Adobe Photoshop.

Оценка дисперсности выполнялась с учетом разбивки капель на 3 размерные группы:

- условно мелкие - до 150 мкм;
- средние - 150 ... 300 мкм;
- крупные - более 300 мкм.

Далее, определяли количественную долю каждой группы от общего числа карточек. Затем, для каждой группы находили значение медианно-массового диаметра капель. По средневзвешенному значению медианно-массового диаметра капель, устанавливали принадлежность опрыскивания к определенной группе, по дисперсности распыла.

В соответствии с ГОСТ 21507-2013 [26], дисперсность распыла определялась следующими размерно-количественными характеристиками капель:

- высокодисперсное опрыскивание – 0,025...0,05 мм;
- мелкокапельное опрыскивание - не менее 80% капель, размером 0,05...0,15 мм;

- крупнокапельное опрыскивание - не менее 80% капель, размером не менее 0,15мм.

3.5.2 Стенд и методика определения коэффициента расхода μ и Re-критерия Рейнольдса

Основные характеристические критерии работы распыливающих устройств достаточно подробно описаны в литературе, где даны их числовые значения для самых разных условий эксплуатации. Тем не менее, они не всегда могут быть применены в отношении оригинальных конструкций, обладающих специфическими особенностями. В полной мере это относится к оценке расходных параметров нового распылителя дефлекторного типа, с возможностью работы в нескольких режимах распределения рабочей жидкости. Таким образом, цель данного сегмента исследования состояла в нахождении значений некоторых ключевых гидродинамических критериев, определяющих процесс истечения в оригинальном распыливающем устройстве.

Экспериментальная часть заключалась в оценке коэффициента расхода распылителя, в зависимости от диаметра отверстия сопла и давления в гидросистеме, с учетом имеющегося верхнего ограничения струи. Кроме того, ставилась задача определения численного значения Re-критерия Рейнольдса.

Простейшая лабораторная установка (см. рис. 3.5) состоит из кронштейна с закрепленным распылителем, гидробака, поршневого насоса, системы фильтрации, регулятора давления и мерной емкости. Принятые диаметры выходных отверстий распылителя – 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Давление в гидросистеме – 0,05; 0,1; 0,15 МПа. Истекающая струя - полуограничена в верхнем секторе. Повторность опытов – трехкратная.

Re-критерий вычисляли аналитически, по формуле:

$$Re = \frac{d_{\text{отв}} \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\rho}}}{v} \quad (3.11)$$

где $d_{\text{отв}}$ – диаметр сопла, м;

g – ускорение свободного падения ($9,8 \text{ м с}^{-2}$);

ΔP – перепад давления, кгс м^{-2} ;

ρ – плотность жидкости, кг м^{-3} ;

ν – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2 \text{ с}^{-1}$.

Для определения фактического значения коэффициента μ использовали отношение действительного массового расхода жидкости m_d к его идеальной величине $m_{ид}$:

$$\mu = \frac{m_d}{m_{ид}}, m_{ид} = F_{\phi} \sqrt{2\rho \Delta P_{\phi}} \quad (3.12, 3.13)$$

где F_{ϕ} ; ΔP_{ϕ} – фактические значения площади отверстия сопла и разности давлений.

3.5.3 Стенд для изучения зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности от угла γ натекания

С целью определения максимальной ширины слоя жидкости на отражающей поверхности дефлектора, для универсального гидравлического стенда разработан специализированный блок (рис. 3.8). Он состоит из штатива с жестко закрепленной рамкой и кронштейном крепления распылителя. В рамке смонтированы вращающиеся держатели листа прозрачного материала (стекла), позволяющие по-

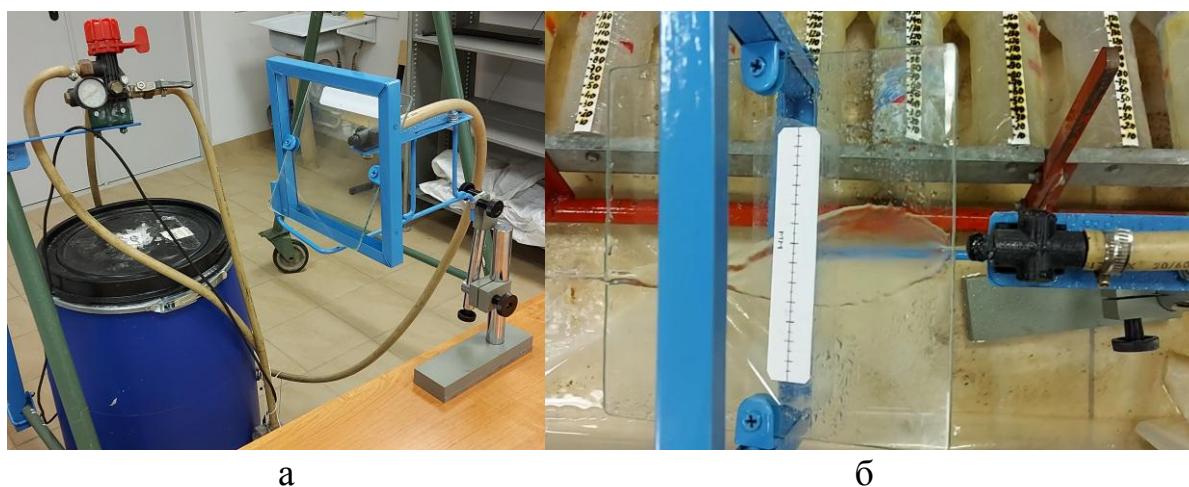


Рисунок 3.8 – Устройство для исследования растекания жидкости на гидрофобной поверхности (а) и общий вид характера растекания (б)

следнему поворачиваться на требуемый угол γ , относительно оси струи, поступающей из отверстия распылителя. Кронштейн крепления распылителя имеет возможность осевого перемещения. Перпендикулярно прозрачной плоскости смонтировано устройство для крепления фото- и видео аппаратуры, фиксирующей ширину растекания потока на отражающей поверхности. Экспериментом предусматривалось изменение угла γ натекания, в пределах $10...90^\circ$, с шагом 20° , расстоянием между соплом и отражающей поверхностью – 10 мм и давлением в гидромагистрالي 0,01; 0,05; 0,1 и 0,15 МПа.

3.5.4 Метод определения краевого угла смачивания отражающей поверхности дефлектора распылителя

Смачиваемость поверхности принадлежит к важным свойствам материала, применяемого для изготовления дефлекторного распылителя. Во многом благодаря степени гидрофобности (гидрофильности) отражающей поверхности будут зависеть процессы растекания жидкости, формирования пленки и ее дробления на капли.

Расчет максимальной ширины $b_{\max}$ слоя жидкости в устье дефлектора по уточненной формуле (2.67), изложенной в Главе 2, предусматривает использование численного значения краевого угла Θ смачивания поверхности. С этой целью проведен соответствующий эксперимент. Применялся описанный в литературе [37] метод лежащей капли (анализ формы поверхности). Метод основан на измерении угла контакта неподвижной капли в точках пересечения (трехфазных контактных точках) между контуром капли и проекцией поверхности с использованием фотоизображения. На тестируемую поверхность капля жидкости помещается с помощью шприца. Средний диаметр капли должен составлять 2...5 мм, что гарантирует независимость краевого угла от диаметра капли. Угол смачивания определяли по фотоизображению, с помощью утилиты «Формат фигуры» для касательной к поверхности капли, в месте основания, как показано на рис. 3.9.

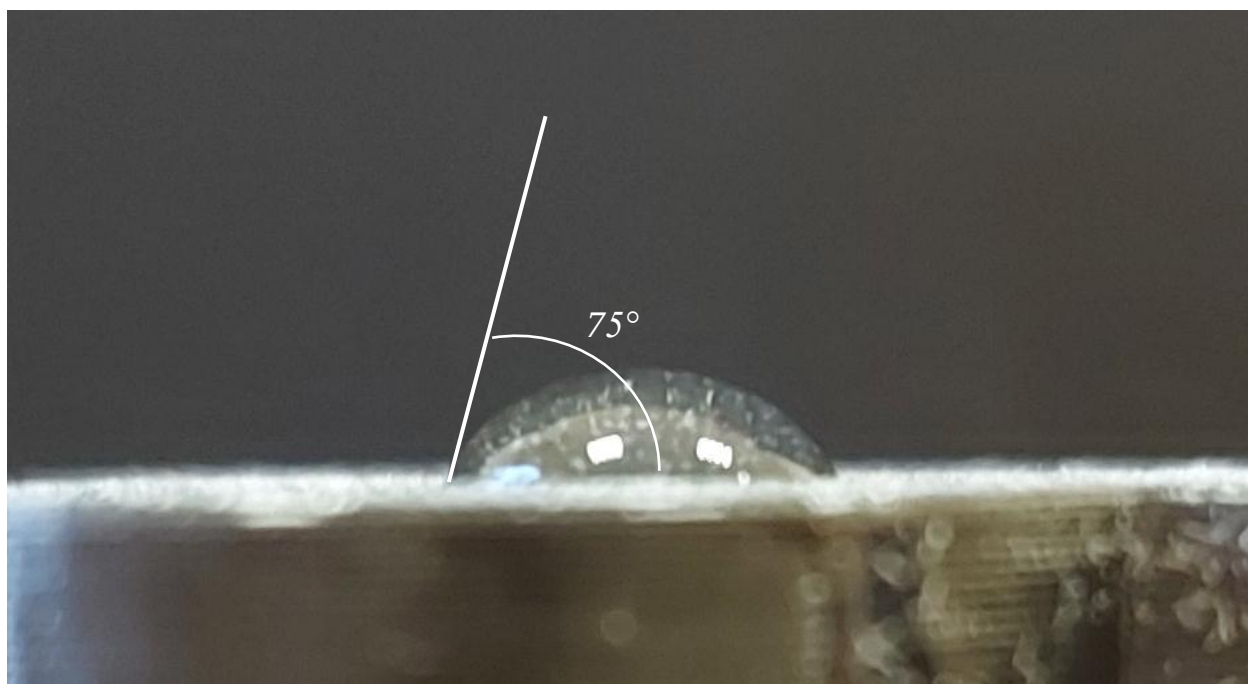


Рисунок 3.9 – Определение угла смачивания поверхности материала

Сопоставимость данных, полученных для поверхностей фактического материала распылителя и стеклянной поверхности лабораторного стенда, описанного в разделе 3.5.3 осуществлялась сравнительным анализом.

3.6 Методика многофакторного анализа

Исследование оригинальных многорежимных распылителей опрыскивателя в стендовых испытаниях, проводилось по плану многофакторного эксперимента, с факториальной схемой $3 \times 3 \times 3$ (3^3).

Количество факторов - 3;

Количество уровней (градаций) каждого фактора - 3.

За управляемые факторы были приняты:

x_1 – давление в гидромагистрали (МПа);

x_2 - угол установки штанги, град;

x_3 – тип распыливающего устройства.

Оптимальное давление, необходимое для работы оригинального распылителя и его ближайших стандартных аналогов – 1,0 МПа (0,1 бар). Данное значение вы-

брано центральным. Исходя из этого, варьирование фактора x_1 осуществлялось в пределах от 0,5 до 1,5 МПа.

Угол установки штанги изменяли от -8° до $+8^\circ$, шагом 8° . При этом, высота установки штанги и расстояние между распылителями выбиралась из условия требуемого перекрытия факелов распыла монтируемых распыливающих устройств, имеющих различные корневые углы распыла.

В качестве сравниваемых с опытным распылителем, использовались дефлекторные распылители ТКР 130 Тесомес (Италия) 1,0 (желтый) (норма внесения - 69 л га^{-1} ; скорость опрыскивателя - 4 км ч^{-1} ; номинальное давление – 1 Бар; расход – $0,46 \text{ л мин}^{-1}$; параметр распыла – «М» (Medium) 250...350 мк.) (тип 2) и FT 140-01 Lechler (Германия) (желтый) (норма внесения - 66 л га^{-1} ; скорость опрыскивателя - 4 км ч^{-1} ; номинальное давление – 1 Бар; расход – $0,23 \text{ л мин}^{-1}$; параметр распыла – «VC» (Very coarse) 450...550 мк.) (тип 3). Опытный образец многорежимного распылителя (тип 1) соответствовал параметрам ближайшего аналога - ТКР 130 Тесомес 1,0 (желтый), для базового режима распыла.

В качестве критериев оптимизации использовались:

y_1 – равномерность распределения жидкости по длине штанги, %;

y_2 – дисперсность распыла капель жидкости, мкм.

Таблица 1 в Приложении 2 содержит принятые управляемые условия проведения ПФЭ в натуральных единицах и их кодированных измерениях. Первоначальный план эксперимента реализовывался в рендомизированном виде, с целью компенсации действующих факторов, принятых «белым шумом». Первоначальная матрица плана полного факторного эксперимента и его рендомизированная версия, использованная в качестве рабочей, сведены в табл. 2 и 3 Приложения 2.

Анализ регрессии первичных данных ПФЭ осуществлялся по методике, предложенной К. Иейтсом, известной, как «алгоритм Иейтса» [74].

В соответствии с данной методикой, общий вид регрессионной модели для полнофакторного эксперимента для 3 факторов, изменяющихся на 3 уровнях, записывается в виде:

$$\begin{aligned}
y = & B_1 + B_2x_1 + B_3P_1 + B_4x_2 + B_5x_1x_2 + B_6P_1x_2 + B_7P_2 + B_8P_2x_1 + B_9P_1P_2 + \\
& + B_{10}x_3 + B_{11}x_1x_3 + B_{12}P_1x_3 + B_{13}x_2x_3 + B_{14}x_1x_2x_3 + B_{15}P_1x_2x_3 + \\
& + B_{16}P_2x_3 + B_{17}P_2x_1x_3 + B_{18}P_1P_2P_3 + B_{19}P_3 + B_{20}P_3x_1 + B_{21}P_1P_3 + \\
& + B_{22}P_3x_2 + B_{23}P_3x_1x_2 + B_{24}P_1P_3x_2 + B_{25}P_2P_3 + B_{26}P_2P_3x_1 + B_{27}P_1P_2P_3,
\end{aligned} \tag{3.14}$$

В данном уравнении, коэффициенты регрессии B_u принадлежат факторам x_i и всем их возможным сочетаниям, определяясь, как

$$B_u = \frac{c_u}{d_u} \tag{3.15}$$

Важным является то, что индексация коэффициентов регрессии B_u является обозначением строк таблицы, предложенной Иейтсом. Сочетания факторов высшего уровня (2 степени) представлены в уравнении (3.14), некоторым новым параметром P_i . Данная составляющая взаимодействует с конкретным значением фактора x_i и раскрывается на этапе математического анализа в форме несложного равенства:

$$P_i = 3x_i^2 - 2 \tag{3.16}$$

Известно [47], что в статистике степень влияния условия на измеряемую величину оценивают параметром значимости. Таким образом, исходное уравнение регрессии (3.14) освобождается от связей, менее важных по отношению к более значимым условиям.

Робертом Фишером был предложен критерий так называемой нулевой гипотезы равенства дисперсий S_2 и S_{2y} двух независимых выборок. Именно она использована в настоящем исследовании для оценки уровня влияния каждого коэффициента B_u . В случаях, когда применение данного метода не представлялось возможным (при сильном влиянии не оцениваемых факторов «белого шума»), дополнительно использовался описанный в работе [47] графический способ оценки значимости влияющих факторов. Данный способ предусматривает прорисовку графика полунормального вероятностного распределения величин, полученных в модели (3.14). Ранжирование величин b_u на поле графика дает визуальное представление о значимости каждого из них. В этом случае, точки, характеризующие более значимые факторы, будут находиться на некотором удалении от совокупно-

сти точек, принадлежащих одной прямой, проходящей через нулевую отметку оси графика.

Пример построения полунормального графика для оценки значимости факторов уравнения (3.14) представлен рисунком 1 в Приложении 2. Формула для определения ранжированных величин, записывается в виде:

$$b_u = \frac{c_u}{\sqrt{d_u}} \quad (3.17)$$

где c_u – контрасты управляемых факторов;

d_u – делители, соответствующие контрастам.

Учитывая общее количество возможных взаимодействий m факторов, а также принятое количество N реализуемых экспериментов, доверительная вероятность p' может быть найдена из ранжированного порядкового номера (i) взаимодействия факторов с использованием следующей формулы:

$$p' = \left(\frac{i - 0.5}{m} \right) \cdot 100, \quad m = (N - 1) \quad (3.18)$$

Приведение параметров к единой системе обозначений выполняется способом кодирования переменных. В реализуемом факторном эксперименте, с целью определения единого шага варьирования, натуральные $\tilde{x}_i$ значения разноименных переменных переводили в кодированные, x_i , пользуясь известным соотношением, включающим натуральные $\tilde{x}_{i0}$ величины переменных в центре эксперимента и, так называемой «новой» единицей $\tilde{x}_i$, обозначающей принятую область изменения влияющего условия:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{\lambda_i} \quad (3.19)$$

Для реализации описываемого полнофакторного эксперимента принимались единицы и область варьирования действующих условий, представленные ниже.

Интервал варьирования фактора x_1 : 0,5...1,5; шаг варьирования фактора x_1 : $\lambda_1 = 0,5$; центр эксперимента фактора x_1 : $\tilde{x}_{10} = 1,0$.

Интервал варьирования фактора x_2 : $-8 \dots +8$; шаг варьирования фактора x_2 : $\lambda_2 = 8$; центр эксперимента фактора x_2 : $\tilde{x}_{20} = 0$.

Фактор x_3 фиксировался на уровне, заранее определенном планом факторного комплекса.

Проверку адекватности полученных регрессионных уравнений выполняли с помощью критерия Р. Фишера, располагая оценками остаточной дисперсии S_{ad}^2 (или дисперсии адекватности) и дисперсии выходного параметра $S_{\{y\}}^2$ (или дисперсии воспроизводимости), основанного на результатах опытных данных y_u :

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{\bar{y}\}} \leq F_m \quad (3.20)$$

В данном неравенстве, критерий F_T – есть критическое значение, определяемое по таблице при уровне значимости $\alpha=0,05$ для числа степеней свободы v_1 и v_2 . Под числом степеней свободы понимают полное количество способных варьироваться значимых факторов N' в данном регрессионном уравнении: $v_1=N'-2$; $v_2=N$.

Графическое отображение уравнений функции отклика параметров оптимизации y_1 и y_2 представляет некоторую гиперповерхность, образованную множеством точек. Поверхность отклика используется в качестве основы, при определении наиболее приемлемых параметров работы оригинального адаптивного распылителя.

Общий вид уравнений, описывающих отдельные пространственные линии, формирующие поверхность отклика, можно записать, как:

$$\begin{aligned} y_{11} &= f(x_1 x_2) & y_{21} &= f(x_1 x_2) \\ y_{12} &= f(x_1 x_2) & y_{22} &= f(x_1 x_2) \\ y_{13} &= f(x_1 x_2) & y_{23} &= f(x_1 x_2) \end{aligned} \quad (3.21-3.26)$$

Здесь, индексы 1, 2, 3 при параметре оптимизации обозначают характерный показатель решения задачи и неизменное значение не приводимого на графике третьего фактора, принадлежащего данной регрессионной модели.

Не подлежит сомнению факт принадлежности оптимального показателя режима распыла к линии пересечения поверхностей откликов, образованных двумя

рассматриваемыми моделями регрессий, в данном диапазоне работы экспериментальной установки:

$$y_{1i} = f(x_1 x_2) \text{ и } y_{2i} = f(x_1 x_2) \quad (3.27; 3.28)$$

В то же время, следует принять во внимание существующие предпосылки, связанные с практической реализацией процесса опрыскивания. Так, например, может иметь значение некоторое смещение наибольшего показателя равномерности распыла, для удовлетворения заявленных дисперсных характеристик. Так как для данных условий статичное определение минимумов не дает искомого результата, более приемлемые показатели x_1 и x_2 условий процесса распыла будут соответствовать экстремумам функций (3.27; 3.28):

$$y_{1\min} = f(x_1 x_2) \text{ и } y_{2\max} = f(x_1 x_2) \quad (3.29; 3.30)$$

В данных равенствах, левые части представляют собой искомые характеристики измеряемых величин (аргументы функции цели) при режимах работы адаптивного распылителя, обеспечивающие наиболее предпочтительные показатели равномерности распределения и дисперсности распыла капель рабочей жидкости.

Заключительный этап оптимизации условий реализации изучаемого процесса заключается в нахождении пространственной кривой пересечения поверхностей, образованных моделями (3.29; 3.30):

$$Y_{12} = f(x_1 x_2) \quad (3.31)$$

Для описываемых условий, данная пространственная кривая находится в пределах $0,5 \leq x_1 \leq 1,5$ и $-8 \leq x_2 \leq +8$ и аналитически определяется нахождением второй производной общего уравнения (3.31). Проекция на оси x_1 и x_2 экстремально-го минимума этой производной представляют собой оптимальные значения давления p в гидромагистрале и угла α установки штанги, дающие предпочтительные качественные характеристики распыла.

Таблицы 4, 5 Приложения 2 содержат численные данные параметров p' для регрессионного уравнения полнофакторного эксперимента. В табл. 6 приведены итоги работы по определению дисперсии воспроизводимости факторного комплекса. Для повышения точности результата определения динамического течения

функции, область изменения значимых условий состояла из семи участков, определяемых с помощью метода кодирования исходных параметров.

Реализация многофакторного комплекса дает возможность выявить влияние величины давления в гидромагистрале и типа распылителя, учитывая уклон штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости, на изменение равномерности распределения и дисперсности распыла капель рабочей жидкости. Помимо этого, данные ПФЭЗ³ должны подтвердить корректность уравнений (2.10, 2.16), полученных на основании теоретического анализа, выполненного в Главе 2.

3.7 Выводы по Главе 3

1. В главе представлены способы реализации исследования, выполняемые по известным и оригинальным методикам, а также приведены документы используемой актуальной нормативно-технической базы.

2. Выполнение комплекса экспериментальных исследований в лабораторных и полевых условиях осуществлялось с применением имеющихся доработанных и специально разработанных приборов, оборудования и устройств: универсальный экспериментальный гидравлический стенд; устройства для исследования расходных характеристик распыливающего устройства и изучения зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности от угла натекания рабочей жидкости.

3. В качестве базового мобильного средства для полевых испытаний адаптивной распределяющей системы, применялся макетный образец одноопорного штангового опрыскивателя тачечного типа Орловского ГАУ, доработанный для задач диссертационного исследования. Опрыскиватель оснащен системой уравнивания момента боковой штанги и устройством для измерения величины вертикальных колебаний полевой штанги.

4. Предложен алгоритм оптимизации рабочей скорости малогабаритного штангового опрыскивателя тачечного типа. Описанный порядок расчета может быть использован в формировании карт-заданий на технологическую операцию опрыскивания при мелкомасштабном или опытно-селекционном производстве АПК; планировании задач по защите и стимулировании растений в иных отраслях экономики и личных хозяйствах граждан.

5. Исходя из теоретических предпосылок, разработан оригинальный многорежимный дефлекторный распылитель для формирования управляемого угла факела распыла, обеспечивающего требуемую ширину зоны обработки, при вертикальных колебаниях штанги опрыскивателя, защищенный патентом РФ на полезную модель №224484; дано описание нового распылителя; созданы 3D-модели и изготовлен комплект опытных образцов для монтажа на адаптивной распределяющей системе одноопорного опрыскивателя.

6. Сформулированы основные принципы функционирования адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя. «Умная» система контроля и управления режимами работы комплекта новых распылителей позволяет компенсировать равномерность и плотность распределения препарата при колебаниях штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости.

7. Описан алгоритм проведения сравнительного экспериментального исследования адаптивной распределяющей системы опрыскивателя по факториальной схеме 3^3 , позволяющий оптимизировать конструкционные и режимные параметры разрабатываемого технического устройства.

Глава 4. Результаты экспериментальных исследований элементов адаптивной распределяющей системы одноопорного опрыскивателя и их анализ

Ввиду отсутствия в изученной литературе достоверных данных об условиях и показателях работы малогабаритных одноопорных опрыскивателей, настоящие экспериментальные исследования состояли из трех основных частей. Наряду с опытными работами в лабораторных и полевых условиях, проведены предварительные тестовые испытания макетного образца опрыскивателя, как базового мобильного средства для реализации концепции адаптивной технологии опрыскивания. Результаты этой работы положены в основу дальнейшего совершенствования рабочих органов опрыскивателя.

4.1 Результаты тестовых испытаний одноопорного опрыскивателя в производственных условиях

Тестовые полевые испытания ставили целью получить исходные данные по средней величине амплитуды и размаха вертикальных колебаний штанги, а также обосновать оптимальную скорость перемещения опрыскивателя, эксплуатируемого в типовых производственных условиях. Кроме того, отдельно спланированным поисковым экспериментом предусматривалось оценить принципиальную возможность реализации концепции адаптивной технологии опрыскивания, используя стандартные рабочие органы штангового опрыскивателя.

4.1.1 Определение величины рабочих колебаний штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости

С целью экспериментального определения эксплуатационных колебаний штанги одноопорного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости, про-

ведены полевые испытания. Исследование проводилось с использованием устройства видеофиксации отклонений, разработанных в Орловском ГАУ (рис. 4.1).

Результаты эксперимента по оценке рабочих колебаний в поперечно-вертикальной плоскости одноопорного опрыскивателя с правосторонней штангой иллюстрируются гистограммой на рис. 4.2. Данные результаты зафиксированы для опрыскивателя, не оборудованного системой противовеса односторонней штанги.

Установлено, что максимальные углы отклонения опрыскивателя от вертикали могут составлять от $+17^\circ$ (левосторонний уклон, по ходу движения опрыскивателя) до -30° (правосторонний уклон, по ходу движения). При этом среднее арифметическое значение угла поперечных колебаний составляет $-3(\pm 0,4)^\circ$. Важно отметить, что пиковые значения отклонений достаточно редки и зависят, в основном, от подготовки оператора, состояния опорной поверхности и скорости передвижения опрыскивателя. Средние значения максимальных углов наклона лежат в области от $+11^\circ$ до -18° . Кроме того, анализ диаграммы поперечных колебаний (см. рис. 4.2) свидетельствует о явном наличии правосторонней асимметрии. Очевид-

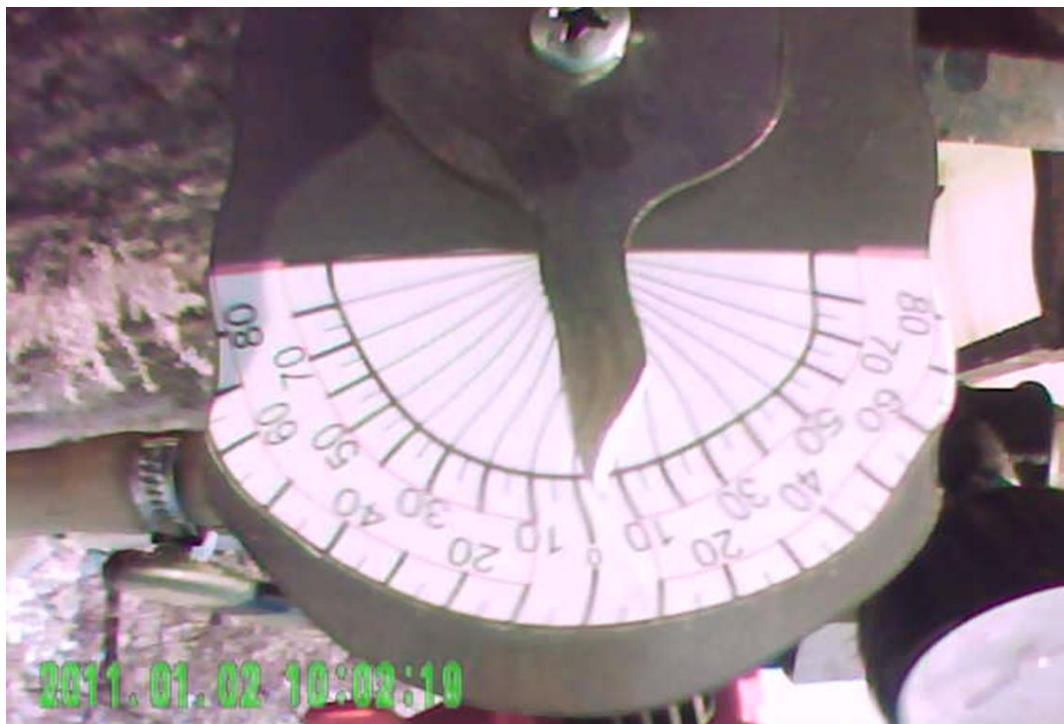


Рисунок 4.1 – Устройство видеофиксации отклонений опрыскивателя поперечно-вертикальной плоскости в работе

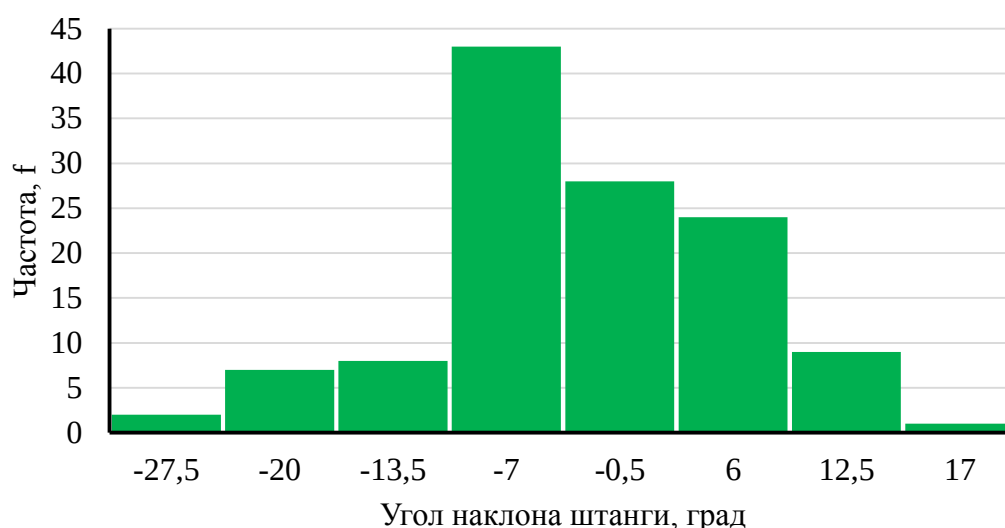


Рисунок 4.2 – Гистограмма распределения значений величины колебаний штанги опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости

но, последняя вызвана некоторым смещением центра тяжести макетного образца опрыскивателя, вследствие неуравновешенности момента сил от веса односторонней полевой штанги. Данный недостаток конструкции устранен оснащением опрыскивателя следящим уравнивающим механизмом [106]. Подобное устройство способно регулировать балансировку опрыскивателя пространственным положением бака, в зависимости от количества находящейся в нем рабочей жидкости. В этом случае, средние значения отрицательных (наклон вниз) и положительных (наклон вверх) колебаний боковой штанги будут иметь равную амплитуду $\pm 7^\circ$, при общем размахе 14° . Именно эти значения приняты в качестве определяющих условий для последующего теоретического обоснования режимов работы и конструктивного исполнения адаптивных распылителей, позволяющих управлять геометрией факела распыла.

Как отмечалось в Главе 2, вертикальные колебания штанги обуславливают важность обеспечения равномерности распределения рабочей жидкости одноопорным опрыскивателем. Данная задача может быть решена компенсацией колебаний штанги изменением геометрии факела распыла, с помощью многорежимных распылителей.

4.1.2 Оптимизация рабочей скорости одноопорного опрыскивателя

Расчетные данные производительности опрыскивателя при различных значениях его рабочей скорости сведены в табл. 4.1. Как видно, имеется явная прямая зависимость производительности Π опрыскивателя от его рабочей скорости v . При ширине захвата штанги $B=3\text{м}$ и увеличению скорости движения опрыскивателя от 2 до 4 км ч⁻¹, значения Π изменяются от 0,6 до 1,2 га ч⁻¹ или в те же 2 раза.

Таблица 4.1. Влияние скорости движения одноопорного опрыскивателя на его производительность

$v, \text{ км ч}^{-1}$ (м с^{-1})	2,0 (0,56)	2,5 (0,69)	3,0 (0,83)	3,5 (0,97)	4,0 (1,11)
$\Pi, \text{ га ч}^{-1}$	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20

Табл. 4.2 содержит результаты полевого эксперимента. Здесь, также установлено влияние скорости движения одноопорного тачечного опрыскивателя на среднюю величину вертикальных колебаний полевой штанги. Так, если при поступательной скорости $v=2,0 \text{ км ч}^{-1}$ ($0,56 \text{ м с}^{-1}$) взвешенная среднеарифметическая $\bar{x}_\alpha$ углов α вертикальных колебаний составила $2,2^\circ$, то увеличение v до $3,0 \text{ км ч}^{-1}$ ($0,83 \text{ м с}^{-1}$) способствует снижению устойчивости рабочего положения штанги почти в 2,5 раза ($\bar{x}_\alpha=5,4^\circ$). Дальнейшее увеличение скорости движения опрыскивателя характеризуется еще более интенсивной неустойчивостью положения распределительной штанги.

Таблица 4.2. Влияние скорости движения одноопорного опрыскивателя на устойчивость рабочего положения распределительной штанги

$v, \text{ км ч}^{-1}$ (м с^{-1})	2,0 (0,56)	2,5 (0,69)	3,0 (0,83)	3,5 (0,97)	4,0 (1,11)
$\bar{x}_\alpha, \text{ град}$	2,2	3,8	5,4	10,2	15,3

Кумуляты распределений частот вертикальных колебаний штанги иллюстрируются графиками на рис. 4.3. Графики дают наглядное представление о характере

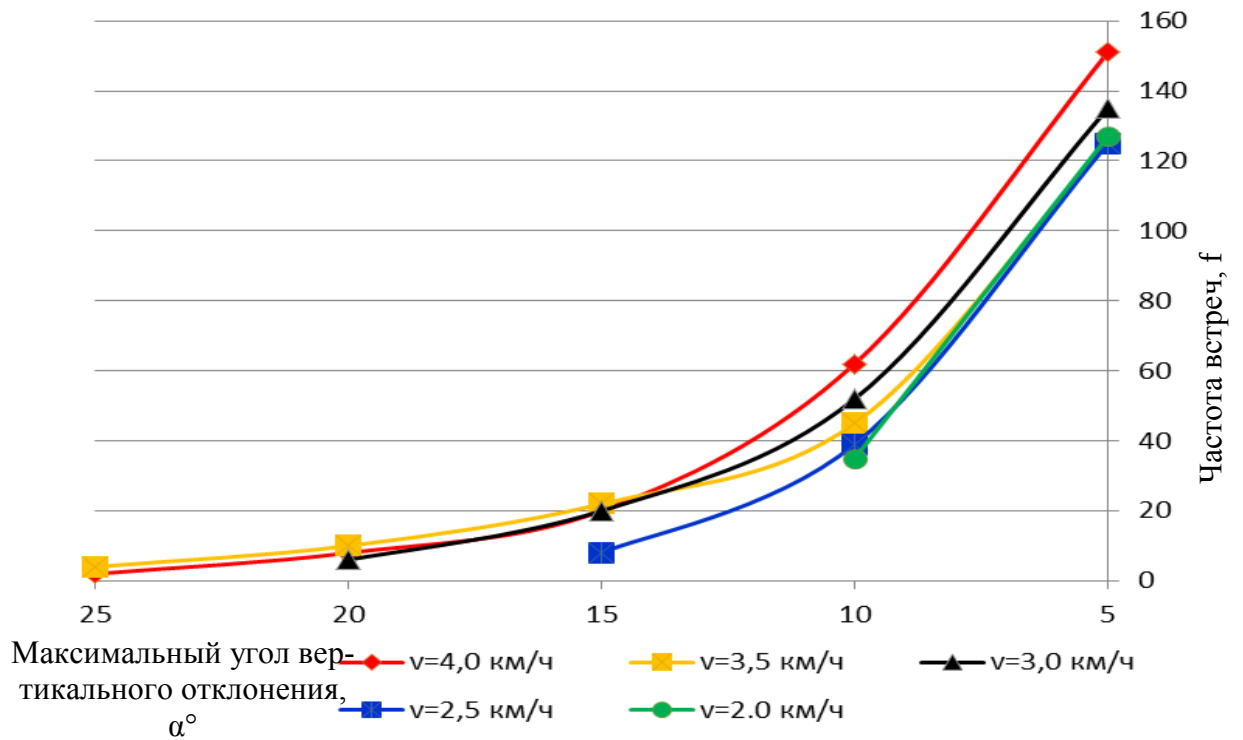


Рисунок 4.3 – Кумуляты распределений частот вертикальных колебаний штанги опрыскивателя

ре изменений количества и частоты максимальных и минимальных отклонений штанги от горизонтали, при различных рабочих скоростях опрыскивателя. Как видно из графика, с увеличением скорости движения опрыскивателя, количество колебаний штанги, с максимальной амплитудой (до 25°) увеличивается. Напротив, при меньших рабочих скоростях, снижается частота встреч для максимальных амплитуд колебаний штанги и увеличивается количество ее минимальных отклонений от горизонтального положения. Последнее характеризует большую устойчивость опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости.

Графическая интерпретация результатов измерений, с учетом представленных в Главе 3 выражений (3.4) и (3.6), представлена на рис. 4.4. На основании полученных математических моделей зависимости Π и $\bar{x}_\alpha$ от рабочей скорости опрыскивателя, выполнена оптимизация последней методом координат.

Считая, что обе функции пересекаются в некоторой точке, ее координаты удовлетворяют и уравнению прямой и уравнению параболы:

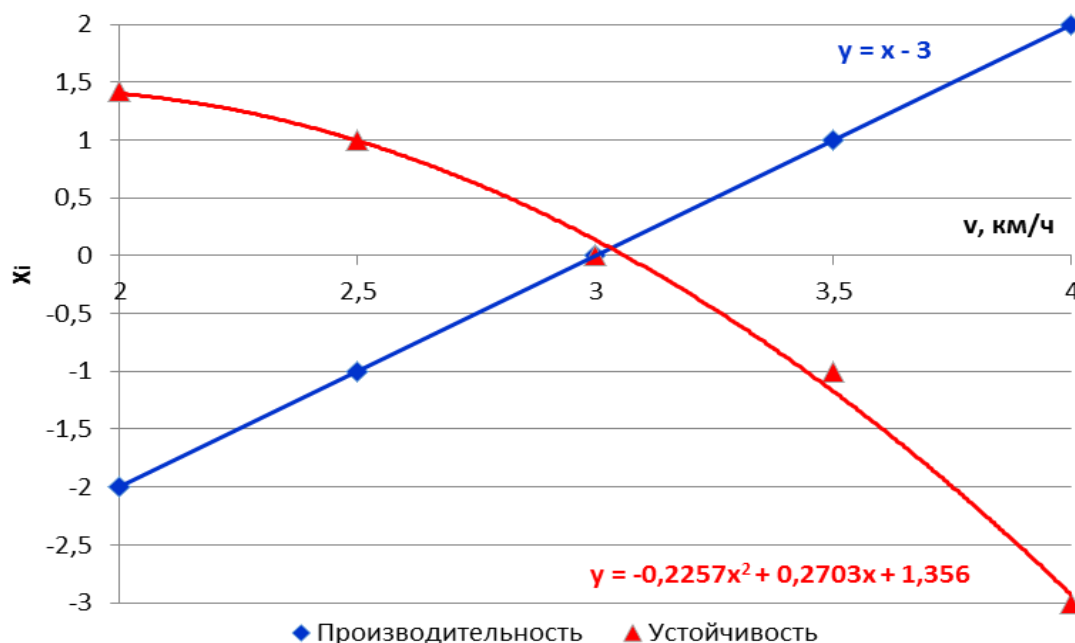


Рисунок 4.4 – График к оптимизации рабочей скорости одноопорного опрыскивателя

$$\begin{cases} y = x - 3 \\ y = -0,2257x^2 + 0,2703x + 1,356 \end{cases} \quad (4.1)$$

Приравняв обе функции, решаем полученное уравнение:

$$y = -0,2257x^2 - 0,7297x + 4,356 \quad (4.2)$$

Вычисляя дискриминант, определяем корни квадратного уравнения:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} \quad (4.3)$$

откуда $x_1 = -6,3$; $x_2 = 3,1$.

Очевидно, точка пересечения функций на абсциссе для x_1 не принадлежит к рассматриваемой области. Следовательно, искомой координатой является абсцисса точки $x_2 = 3,1$.

Таким образом, установлено, что оптимальной рабочей скоростью движения одноопорного опрыскивателя, при данных условиях, следует принять $v = 3,1 \text{ км ч}^{-1}$.

Анализируя полученные уравнения (4.1) и переведя кодированные единицы Π и $\bar{x}_\alpha$ в натуральные, найдем, что при скорости движения одноопорного опрыскивателя $v = 3,1 \text{ км ч}^{-1}$, его производительность составит $0,93 \text{ га ч}^{-1}$, при средневзвешенном значении амплитуды вертикальных колебаний штанги $5,3^\circ$.

4.1.3 Поисковый эксперимент по проверке концепции адаптивной технологии опрыскивания

С целью эмпирического подтверждения практической осуществимости концепции адаптивной технологии опрыскивания реализован полевой модельный эксперимент. Предусматривалось оценить принципиальную возможность достижения равномерного распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги при ее отклонениях от горизонтального положения, путем регулирования фронтальных углов распыла рабочей жидкости.

Результатами эксперимента обнаружено, что в пределах рассматриваемого диапазона поперечных уклонов, изменение фронтальных проекций углов распыла, соответствующее расчетной ширине полосы обработки каждым распылителем, обеспечивает общую равномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги, независимо от положения последней в поперечно-вертикальной плоскости (табл. 4.3). Так, если с изменением угла положения штанги от 0 до +7° при типовой установке распылителей коэффициент ν изменялся от 4,1 до 15,8% (или на 11,7%), то при адаптивном способе – от 4,2 до 6,4% (2,2%). Увеличение ν при больших углах поперечного наклона распределяющей системы во многом объясняется сносом более мелких капель. Количество последних повышалось при увеличении расстояния до поверхности обработки. Тем не менее, реализуемое адаптивной распределяющей системой устранение фактора, связанного с нарушением схемы перекрытия смежных потоков (при изменении положения штанги, относительно обрабатываемой поверхности), увеличивает качество выполняемой технологической операции.

Таким образом, предлагаемая концепция гарантирует повышение качества, эффективности и экологичности выполнения технологической операции по внесению СЗР: обеспечивает повышение равномерности распределения препаратов, снижение непроизводительных потерь, экономию средств производства, а также снижение экологической нагрузки на окружающую среду. Реализация предлагае-

мых решений в селекции растениеводства за счет снижения влияния не учитываемых факторов, позволит улучшить условия опытной работы селекционного процесса.

Таблица 4.3. Равномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги одноопорного опрыскивателя, при типовом и адаптивном способах ориентирования плоскостей ФР

Ориентирование плоскостей ФР распылителей, относительно штанги	Коэффициент вариации, v , %, при угле наклона штанги в поперечно-вертикальной плоскости, град							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Типовое (8°)	4,1	4,2	5,7	9,4	9,6	10,4	13,3	15,8
Согласно указаниям номограммы на рис. 2.4 Главы 2	4,2	4,2	4,4	4,7	5,0	5,3	5,8	6,4

4.2 Определение характеристических критериев процесса истечения рабочей жидкости в оригинальном дефлекторном распылителе

Результаты данного исследования должны быть использованы для определения классификационных признаков процесса истечения в оригинальном распылителе и определения диаметра сопла, как одного из основополагающих конструктивных факторов рабочего процесса.

Для описанных в Главе 1 условий работы предлагаемого распылителя с препаратом КАС, имеем: $\Delta P = 0,1$ МПа; $\rho = 1,26$ кг л⁻¹; $v = 1,004$ м² с⁻¹; $Q = 70$ л га⁻¹; $B = 4$ м; $V = 0,86$ м с⁻¹.

В первом приближении, принимаем рекомендованную [93, 94] величину $\mu = 0,82$. Отсюда, по формуле (2.23) Главы 2, находим $F = 3,4 \times 10^{-6}$ м². В пересчете на одно сопло (формула (2.24) Главы 2, имеем $d_{отв} = 1,2$ мм. Эти значения использованы для изготовления исходного экспериментального образца распылителя.

В табл. 4.4 содержатся показатели действительного объемного расхода жидкости через распылитель, полученные при различных вариантах его работы. На рис. 4.5 отражены экспериментально-аналитические результаты исследования.

Таблица 4.4. Действительный объемный расход рабочей жидкости, m_d , $kg\ s^{-1}$, полученный при различных режимах истечения

Давление, ΔP , МПа	Диаметр отверстия сопла, $d_{отв}$, мм				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,05	0,0087	0,0174	0,0327	0,0619	0,0811
0,1	0,0107	0,0227	0,0423	0,0779	0,1014
0,15	0,0122	0,0267	0,0538	0,0954	0,0940

Как видно из графика на рис. 4.5, значение коэффициента Рейнольдса при различных режимах истечения изменяется от $0,99 \times 10^4$ до $5,18 \times 10^4$. Таким образом, $10^4 < Re < Re_{крит} = 2322$. Последнее однозначно характеризует режим истечения, как неустойчивый турбулентный или переходный.

Коэффициент расхода μ , в целом, имеет явную тенденцию к увеличению, с повышением давления в гидросистеме, что вполне согласуется с результатами аналогичных исследований [140, 167]. При давлении $\Delta P \approx 0,1$ МПа и диаметре отверстия сопла $d_{отв} \approx 1,5$ мм, значение $\mu \approx 0,92$. Подставляя полученное значение μ в формулу (2.23) Главы 2, окончательно имеем $F = 5,9 \times 10^{-6}$ м². Тогда, определяемый по формуле (2.24) Главы 2 диаметр каждого сопла многорежимного распылителя должен быть принят $\approx 1,5$ мм. Полученная величина $d_{отв}$ используется в представ-

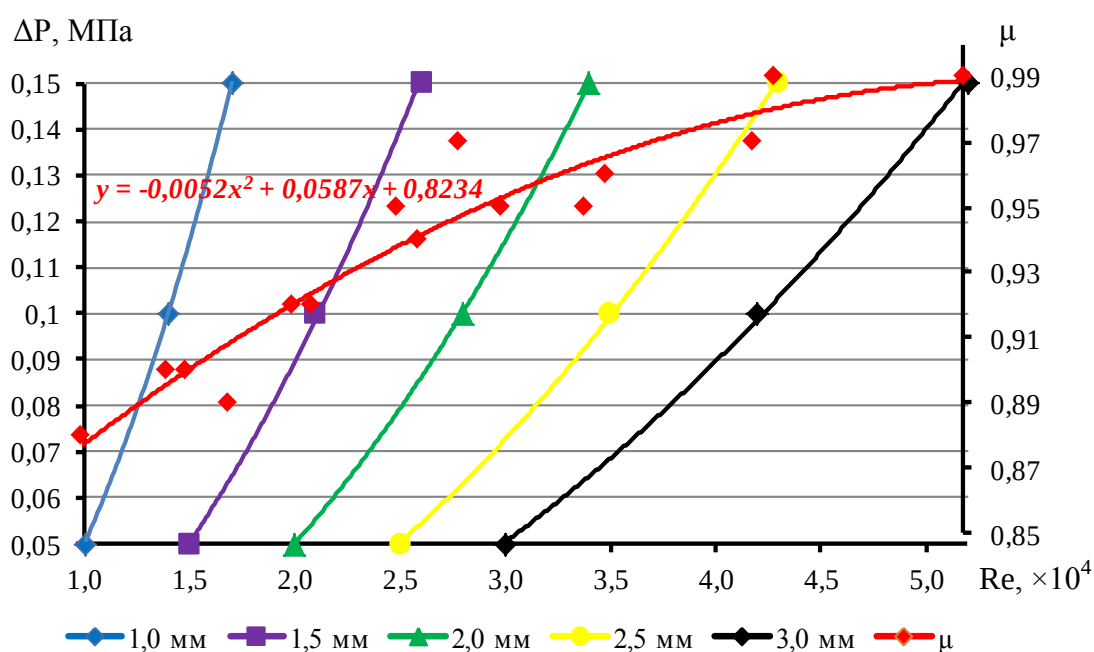


Рисунок 4.5 – Влияние критерия Рейнольдса Re на коэффициент расхода μ и их зависимость от разности давления ΔP в гидросистеме и диаметра $d_{отв}$ сопла

ленном алгоритме в качестве параметрической. В реальном устройстве, диаметр отверстий последующих за первой секций распылителя определяется соответствующей площадью сектора факела распыла.

4.3 Определение углов смачивания отражающих поверхностей

Характер взаимодействия материала с жидкой средой важен для процесса формирования геометрии факела распыла на отражающей поверхности дефлектора. Гидрофобность материала в зоне точки натекания (устье дефлектора) будет способствовать более компактной форме поперечного сечения потока. Напротив, гидрофильность отражающей поверхности дефлектора до самой кромки обеспечит лучшие условия растекаемости, в пределах буртиков, формирующих геометрию ФР.

Установлено, что значение краевого угла Θ смачивания зависит от вида и состояния материала твердой среды. На рис. 4.6, а демонстрируется характер свободного растекания контрольной капли на исходной поверхности, полученной из пластика ABS методом 3D-печати. Как видно, растекание происходит неравно-

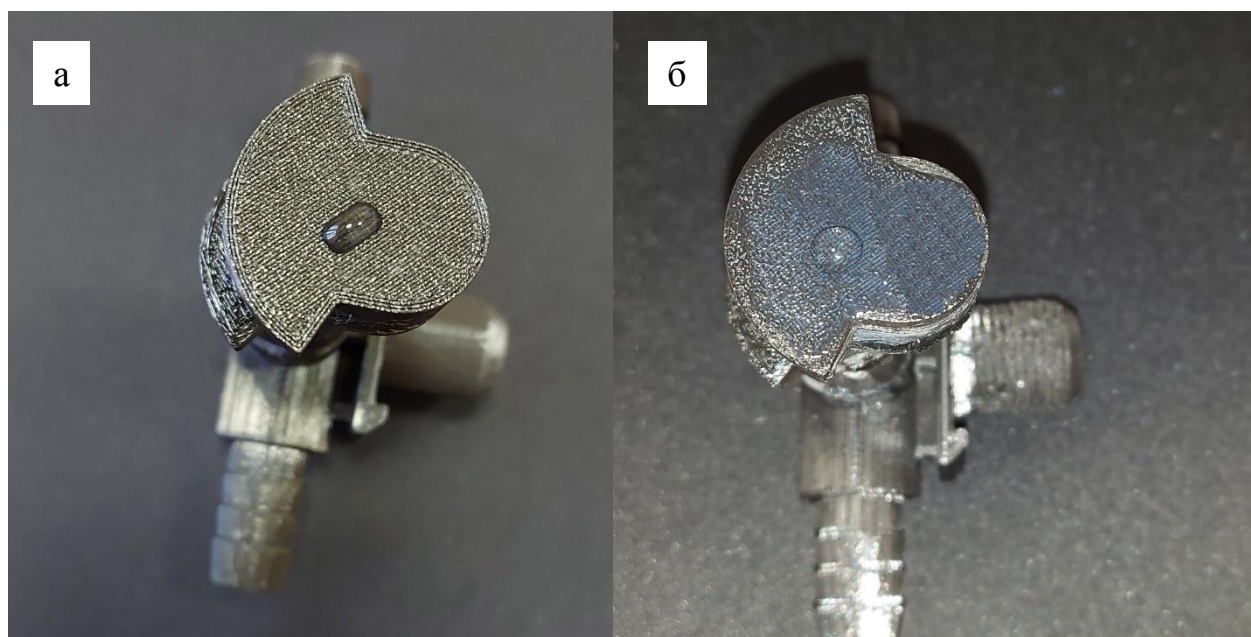


Рисунок 4.6 – Общий вид растекания контрольной капли на исходной (а) и постобработанной (б) поверхности пластика ABS, выполненной методом 3D-печати

мерно из-за наличия на поверхности пластика линий его наложения 3D-принтером. «Растяжение» капли происходит вдоль этих линий. Очевидно, и краевой угол смачивания будет большим, для поперечного сечения капли, перпендикулярного, относительно линий наложения, что подтверждается экспериментальными данными.

Так, для поперечного сечения контрольной капли, перпендикулярно направлению линий наложения, угол Θ , в среднем, равен 75° . Напротив, для поперечного сечения симметричного линиям наложения пластика, угол Θ принимает значение 60° .

Постобработка поверхности детали методом «ацетоновой бани» [128] обеспечивает хорошее сглаживание (до глянца) поверхности за счет сплавления слоев пластика (рис. 4.6, б). Этим достигается равномерность растекания и увеличение гидрофильности контактной поверхности до $\Theta=51^\circ$, что меньше Θ для необработанной детали в 1,2...1,5 раза (15...32%).

Оценка гидрофильности чистого стекла, используемого в лабораторной установке для изучения угла γ натекания показала значение угла $\Theta=34^\circ$. В то же время, краевой угол смачивания для стекла, обработанного $C_{17}H_{33}COOK$ (жидкое мыло) равен 7° . Гидрофильность стекла, обработанного моторным маслом марки 5W-30 оценивается углом $\Theta=47^\circ$.

Таблица 4.5 содержит полученные в экспериментах характеристики интенсивности молекулярного взаимодействия некоторых поверхностей с водой.

Таблица 4.5. Значения краевого угла смачивания различных контактных поверхностей

Твердая среда	Θ , град $\pm\sigma$
Пластик ABS, 3D-печать:	
- сечение вдоль линий наложения	$60\pm3,8$
- сечение поперек линий наложения	$75\pm4,0$
- поверхность, подвергнутая постобработке (ацетоновая баня)	$51\pm5,2$
Стекло:	
- чистое	$34\pm4,2$
- обработанное $C_{17}H_{33}COOK$	$7\pm1,0$
- обработанное моторным маслом 5W-30	$47\pm4,1$

Ввиду сложности процесса, постобработка поверхностей отражения дефлекторов распылителя не проводилась. В расчетах по формуле (2.67) Главы 2, принималось значение угла $\Theta=68^\circ$. Таким образом, коэффициент, учитывающий изменение гидрофобности материала в формуле (2.67), определяем из соотношения:

$$k_{\Theta} = \frac{\cos 68}{\cos 47} = \frac{0.38}{0.68} = 0,56 \quad (4.4)$$

4.4 Определение зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора от угла γ натекания

Результаты эксперимента по исследованию изменения ширины поперечного сечения натекающего потока приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6. Изменение ширины поперечного сечения натекающего потока для поверхностей с различной гидрофильностью

Угол встречи, γ°	Давление, ΔP , МПа	Ширина поперечного сечения, $b_{\max}$, мм
1	2	3
<i>Стекло чистое ($\Theta=34^\circ$)</i>		
10	0,01	40
	0,05	70
	0,1	90
	0,15	100
30	0,01	70
	0,05	95
	0,1	105
	0,15	125
50	0,01	73
	0,05	110
	0,1	130
	0,15	145
70	0,01	85
	0,05	125
	0,1	130
	0,15	165
90	0,01	95
	0,05	120
	0,1	180
	0,15	205

Продолжение табл. 4.6

1	2	3
<i>Стекло обработанное C17H33COOK ($\Theta=7^\circ$)</i>		
10	0,01	45
	0,05	80
	0,1	105
	0,15	110
30	0,01	70
	0,05	110
	0,1	110
	0,15	130
50	0,01	78
	0,05	120
	0,1	135
	0,15	150
70	0,01	100
	0,05	115
	0,1	135
	0,15	170
90	0,01	95
	0,05	120
	0,1	180
	0,15	200
<i>Стекло обработанное моторным маслом 5W-30 ($\Theta=47^\circ$)</i>		
10	0,01	5
	0,05	10
	0,1	15
	0,15	20
30	0,01	8
	0,05	10
	0,1	15
	0,15	30
50	0,01	10
	0,05	25
	0,1	40
	0,15	45
70	0,01	30
	0,05	60
	0,1	70
	0,15	75
90	0,01	90
	0,05	110
	0,1	180
	0,15	200

Очевидно, что максимальная ширина потока в зоне встречи с отражающей поверхностью дефлектора определяется как углом натекания и давлением (соро-

стью потока), так и гидрофильными свойствами поверхности. Ширина поперечного сечения увеличивается с повышением давления и увеличением угла γ встречи. Наибольшие значения $b_{\max}$ характерны для растекания по стеклу, обработанному C17H33COOK (при $\Theta=7^\circ$). Так, если при давлении в гидросистеме $\Delta P=0,1$ МПа ширина $b_{\max}$ на стекле, обработанном жидким мылом изменялась от 105 до 200 мм, при углах контакта от 10° до 90° , то для чистого стекла $b_{\max}$ принимала значение от 90 до 180 мм, при средних показателях по всему эксперименту 128 мм против 113 мм.

Наиболее компактной оказалась максимальная ширина растекания для стеклянной поверхности, обработанной моторным маслом ($\Theta=47^\circ$). Здесь, пределы значений $b_{\max}$ при $\Delta P=0,1$ МПа ограничивались диапазоном 15...180 мм, при углах контакта $10...90^\circ$. Отсюда следует, что уменьшения габаритов устья дефлектора можно достичь увеличением гидрофобности отражающей поверхности в зоне контакта с набегающим потоком.

Установлено, что при увеличенных углах контакта с потоком ($\gamma=90^\circ$) изменение гидрофильных свойств поверхностей не имеет существенного влияния на ширину зоны растекания. К примеру, при $\Delta P=0,1$ МПа, $b_{\max}=180$ мм, независимо от вида обработки поверхности.

На рис. 4.7 изображен график зависимости $b_{\max}$ от угла γ натекания потока на отражающую поверхность в зоне устья, при расчетном давлении $\Delta P=0,1$ МПа для поверхности с краевым углом смачивания $\Theta=47^\circ$. Как видно, экспериментальные значения $b_{\max}$ находятся в области теоретической кривой, описываемой уравнением (2.67) Главы 2. Сопоставимостью данных установлено, что среднее отклонение экспериментальных значений от теоретических не превышает 8%.

4.5 Установление основных конструктивных параметров многорежимного распылителя

Исследованиями установлено, что при требуемых конструктивно-режимных параметрах предлагаемого распылителя, число Рейнольдса для свободной струи

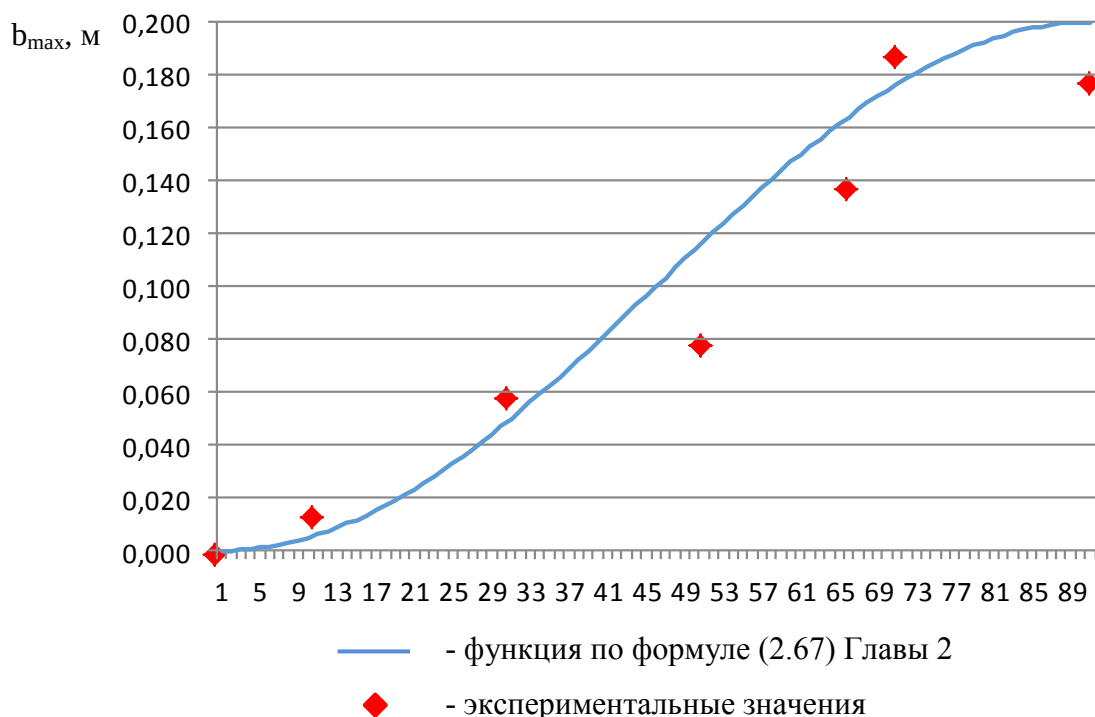


Рисунок 4.7 – Зависимость ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора от угла γ натекания, для $\Theta=47^\circ$

составляет $Re\ 0,99...5,18 \times 10^4$. Подставляя в уравнение (2.71) Главы 2 полученное ранее значение $d_{отв}=0,0015$ м, имеем $l_{кч} \approx 0,007$ м. Тогда, по формуле (2.69) Главы 2, принимая $\Delta=0,001$ м, найдем радиус $r_{обр}$ окружности, образующей отражающую поверхность дефлектора нового распылителя: $r_{обр}=0,014$ м. При этом, угол γ встречи струи с отражателем в точке В контакта составит $\approx 20^\circ$.

Для определения $b_{\max}$ по формуле (2.67), Главы 2 воспользуемся экспериментальными данными, полученными в настоящей главе. Из условия компактности конструкции распылителя, наиболее предпочтительной является отражающая поверхность устья, обладающая меньшей гидрофильностью. Принимая поверхность, с краевым углом смачивания $\Theta=47^\circ$, имеем $\cos \Theta \approx 0,68$. Соответственно, число Вебера перпендикулярной составляющей ω_z скорости потока $W_{e\Theta z} = 0,036$. В первом приближении это позволяет установить оптимальную ширину устья дефлектора - не менее $b_{\max}=0,016$ м.

Используя заявленные производителем характеристики ближайшего аналога распылителя по дисперсности распыла ($d_k=250...350$ мк), принимаем обоснован-

ную в разделе 2.1 геометрию факелов распыла отдельных секций нового распыливающего устройства. Определение радиусов R дефлекторов, относительно точки пятна контакта выполняем с учетом корректировки диаметров сопел, определяемых фактическими площадями секторов распыла (табл. 4.7). Для лучших условий процесса формирования факела распыла, отражающая сточная поверхность должна иметь гидрофильность, характеризуемую краевым углом Θ , не более 30° ,

Таблица 4.7. Радиусы R , мм, дефлекторов секций многорежимного распылителя, при оптимальных параметрах факела распыла (α/α'), град

I секция	II секция	III секция			
		110/130	110/135	110/142	110/145
85	85/110	110/130	110/135	110/142	110/145
24	20	25	20	15	14

Полученные конструкционные параметры использованы при изготовлении комплекта экспериментальных распылителей.

4.6 Результаты факторного эксперимента и их анализ

Для сравнительной оценки качественных характеристик распределения рабочей жидкости различными распыливающими устройствами проведен стендовый эксперимент. Рис. 4.8 дает представление о характерном виде истечения рабочей жидкости из сравниваемых типов распылителей.

Установлено, что равномерность распределения рабочей жидкости по длине штанги в значительной степени зависит от рабочего режима гидросистемы и положения штанги в вертикальной плоскости. Для всех сравниваемых вариантов коэффициент вариации распределения жидкости снижался при увеличении давления в гидросистеме стенда. Отрицательный наклон штанги ведет к резкому снижению равномерности распыла по ширине захвата. Увеличение угла установки распределительной штанги в поперечно-вертикальной плоскости, напротив, способствует некоторому повышению равномерности распыла. Однако, при работе

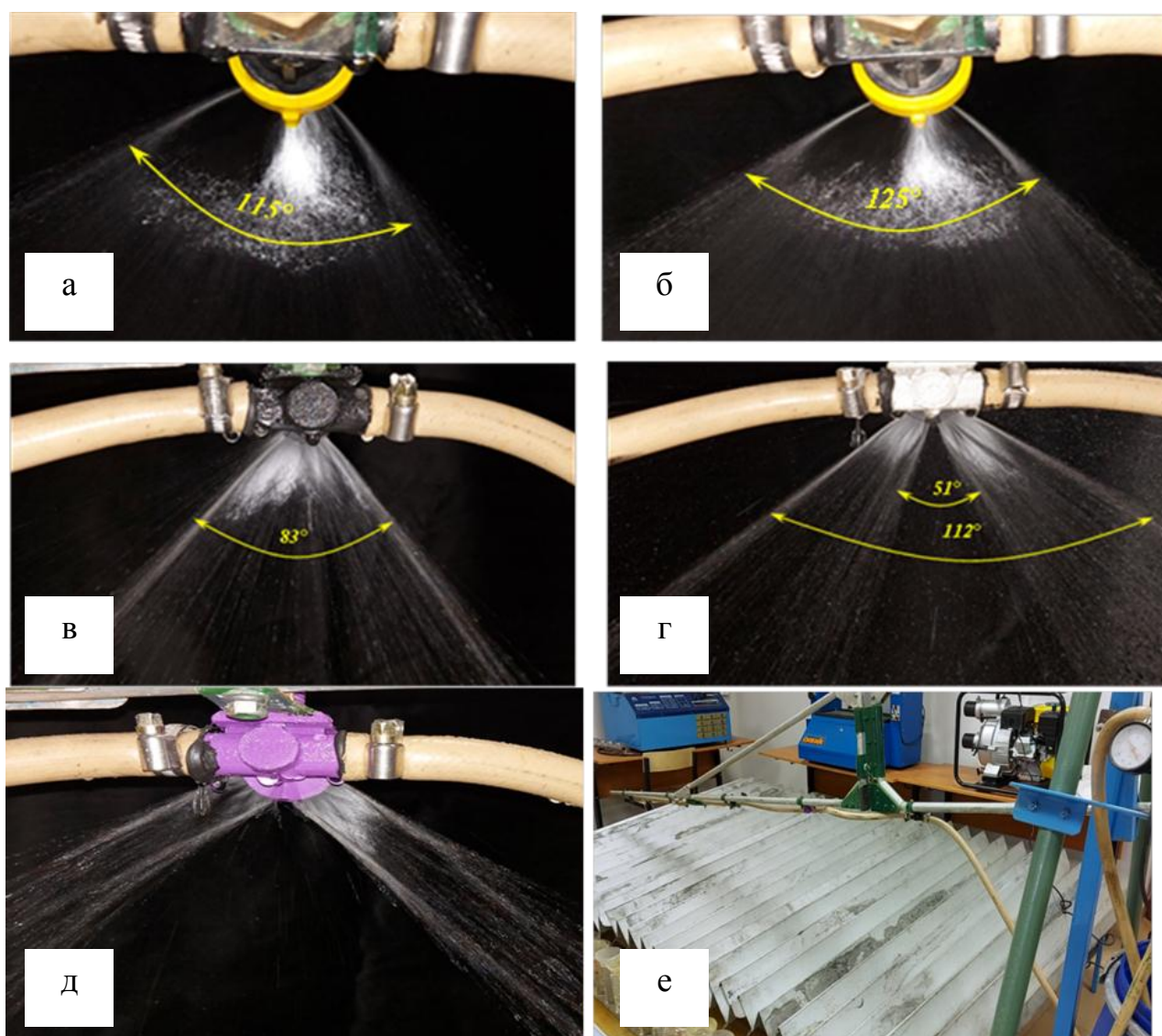


Рисунок 4.8 – Общий вид истечения рабочей жидкости из сравниваемых распыляющих устройств: ТКР 130 Tecomex (а); FT 140-01 Lechler (б); работа 1й (в), 2й (г), 3й (д) секции многорежимного распылителя; распределение потоков адаптивной распределяющей системой при угловом положении штанги (е)

адаптивной системы распределения (комплектование многорежимными распылителями), влияние угла наклона штанги на равномерность распределения жидкости существенно ниже. Важно, что данный эффект особенно очевиден при отрицательных углах положения штанги. Как видно из графиков на рис. 4.9, а, средние значения коэффициента вариации распределения жидкости по ширине захвата, при работе стандартных распылителей ТКР 130 Tecomex и FT 140-01 Lechler составляют 51,9%, 34,8% и 30,8%, при углах установки штанги -8° , 0° и $+8^\circ$, соответственно. Для подобных же условий, работа адаптивной системы распреде-

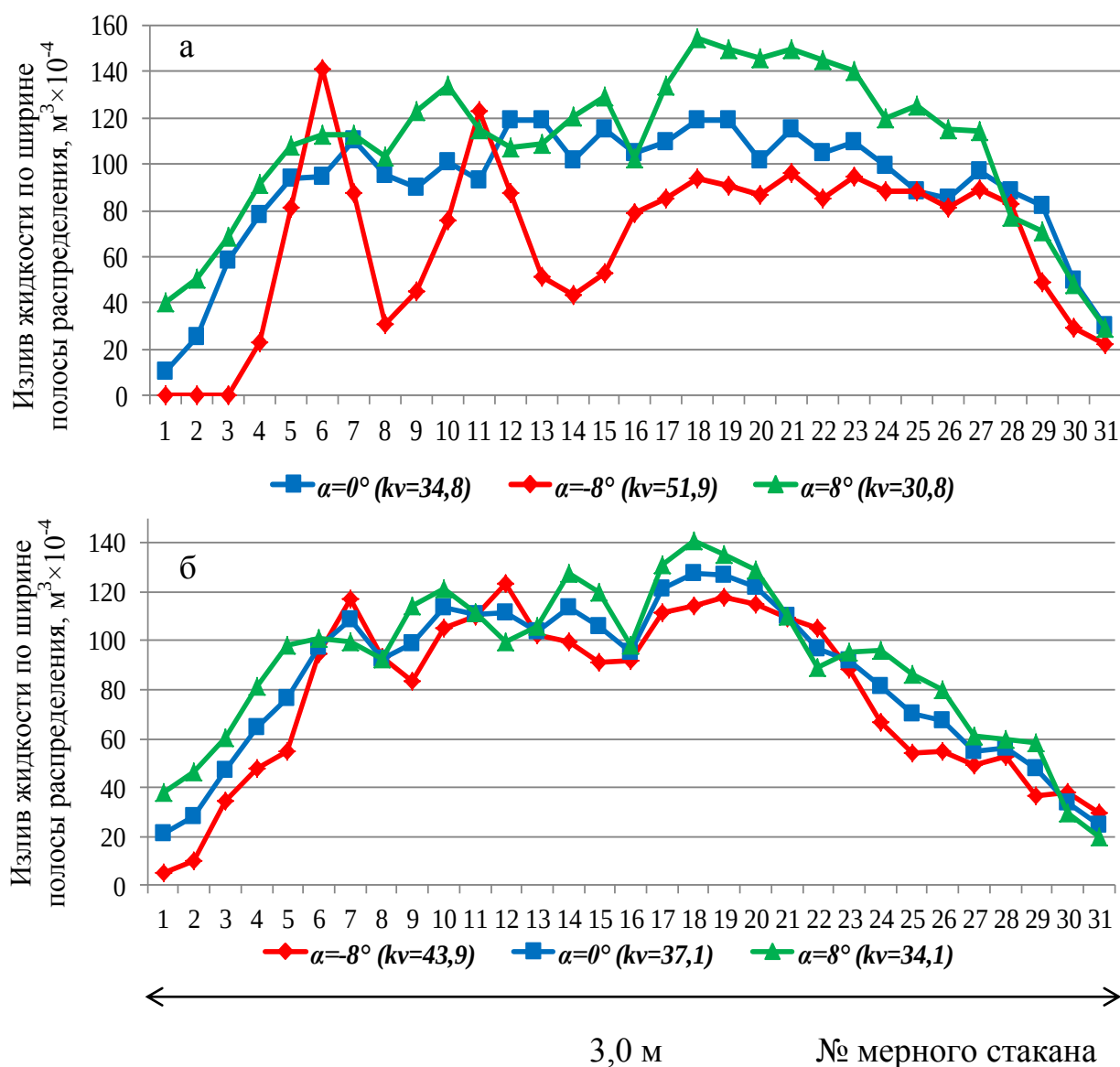


Рисунок 4.9 – Гистограммы пролива сравниваемых типов распылителей по ширине захвата штанги, при различном ее положении в поперечно-вертикальной плоскости: ТКР 130 Tescomes и FT 140-01 Lechler (среднее) (а); опытные образцы многорежимного распылителя (б)

ления обеспечивает показатель неравномерности 43,9%, 37,1% и 34,1% - соответственно (рис. 4.9, б). Разность величин коэффициента вариации распределения при наклоне штанги от горизонтального положения (0°) до -8° при комплектовании стандартными и новыми распылителями составит 17,1% и 6,8% - соответственно. Таким образом, применение адаптивной распределительной системы опрыскивателя позволяет компенсировать негативное влияние поперечных колебаний штанги за счет повышения равномерности распределения жидкости, не менее чем в 2,5 раза.

Характеристики дисперсности распыливаемой жидкости показали, что все сравниваемые распылители обеспечивают крупнокапельный распыл, при давлении в гидросистеме от 0,05 до 0,1 МПа (рис. 4.10). Исключением являются стандартные распылители ТКР 130 Tecomex и FT 140-01 Lechler, функционирующие в режиме давления 0,15 МПа. Здесь, фракции частиц, размером, превышающим 150 мкм составили 63,2% и 76,1%, соответственно.

Средние диаметры капель, сформированных распылителями ТКР 130 Tecomex, FT 140-01 Lechler и новым многорежимным устройством, при номинальном давлении (0,1 МПа) и установленном расстоянии до объекта обработки, составили 348, 457 и 431 мкм. Данные показатели примерно соответствуют заявленным производителем (ТКР 130 Tecomex - 250...350 мкм; FT 140-01 Lechler - 450...550 мкм).

Принимая за основу параметры, заявленные производителем, фракционный состав факела распыла при номинальных параметрах эксперимента ($\alpha=0^\circ$; $p=0,1\text{МПа}$) представлен следующими дисперсными характеристиками:

- для распылителей ТКР 130 Tecomex: 0,152...0,249 мм – 20,7%; 0,250...0,350 мм – 50,9%; 0,351...0,810 мм – 28,4%;
- для распылителей FT 140-01 Lechler: 0,174...0,449 мм – 25,4%; 0,450...0,550 мм – 59,0%; 0,551...0,763 – 15,6%.
- для нового распыливающего устройства: 0,181...0,409 – 36,4%; 0,410...0,667 – 43,6%; 0,668...0,962 – 20,0%.

По соотношению содержания фракций распыленной рабочей жидкости можно судить о распределении размеров частиц близком к нормальному закону.

Независимо от типа распылителя, численные показатели дисперсности распыла снижаются при повышении давления в гидросистеме и положительном наклоне штанги (увеличении расстояния до обрабатываемой поверхности).

В среднем, для всех типов распылителей, при изменении давления на 0,05 МПа, относительно исходного значения (0,1 МПа), разность диаметра капель составляла 490...550 мкм.

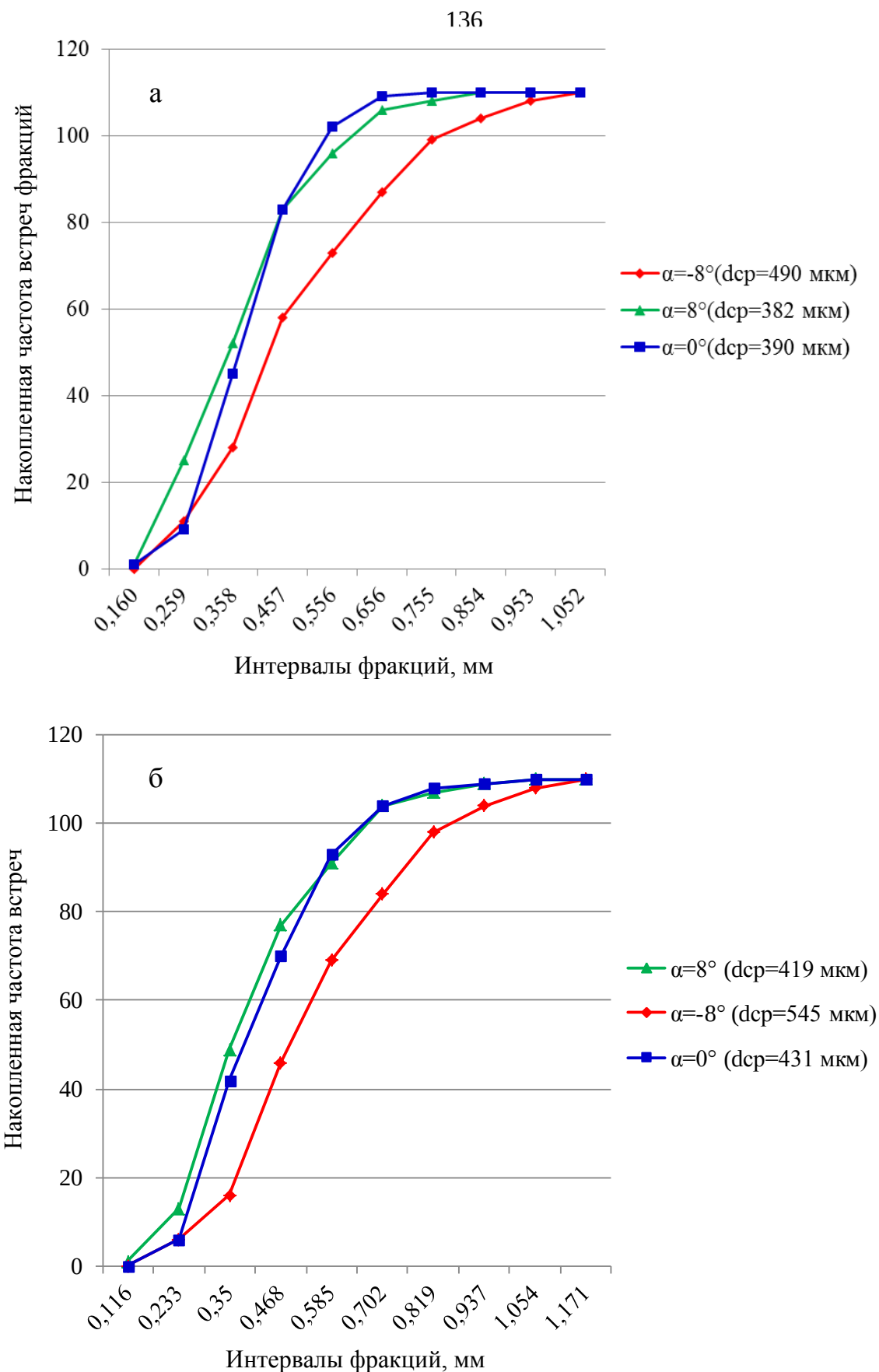


Рисунок 4.10 – Кумуляты дисперсности и средние значения частиц рабочей жидкости, распыленной сравниваемыми типами распылителей, при различном положении штанги в поперечно-вертикальной плоскости: ТКР 130 Tescot и FT 140-01 Lechler (среднее) (а); опытные образцы многорежимного распылителя (б)

Кумуляты фракционного распределения частиц, при различных положениях штанги (см. рис. 4.10) показали, что для всех сравниваемых распылителей характерно увеличение доли более крупных капель на обрабатываемой поверхности, с уменьшением расстояния до нее. Так, при горизонтальном положении штанги, фракции крупных частиц составляли 28,4%; 15,6% и 20,0% - соответственно, для распылителей ТКР 130 Tecomes, FT 140-01 Lechler и нового устройства. Отрицательный наклон штанги (-8°) приводит к увеличению крупных фракций до 37,5%; 23,5% и 32,4% (или на 7,9...12,4%) – для распыливающих устройств, в приведенном выше порядке.

Плотность покрытия поверхности каплями рабочей жидкости также определялась рабочим режимом гидросистемы и положением распределяющей штанги. Обработка контрольной поверхности при давлении 0,1 МПа и горизонтальном положении штанги обеспечила плотность покрытия 42 см^{-2} ; 29 см^{-2} и 39 см^{-2} , соответственно, распылителями ТКР 130 Tecomes, FT 140-01 Lechler и новым распыливающим устройством. Плотность распределения увеличивалась при повышении давления в гидросистеме и расстоянии до объекта обработки.

В целом, отмечено, что предлагаемый многорежимный распылитель формирует распыленные частицы, размеры которых несколько превышают ожидаемые. В большей степени это характерно для режимов работы адаптивной распределяющей системы при пониженном давлении. По-видимому, данный факт обусловлен двумя причинами:

- наличие направляющих буртиков способствует струйному образованию в периферийных зонах отражающих дефлекторов;
- некачественная обработка отражающей поверхности распылителя, полученной методом 3D-печати.

Анализ данных факторного эксперимента позволил получить математические модели изменения коэффициента вариации распределения (Y_{kv}) и дисперсности (Y_d) распыла по ширине захвата штанги опрыскивателя, при влиянии действующих факторов:

$$Y_{kv} = 34,9 + 4,5x_1 - 10,0x_2 + 2,6x_3 + 2,6x_1^2 + 8,1x_2^2 - 6,3x_2x_3 \quad (4.5)$$

$$Y_o = 0,38 - 0,05x_1 - 0,04x_2 - 0,02x_3 + 0,03x_2^2 + 0,09x_3^2 - 0,03x_2x_3 \quad (4.6)$$

На рис. 4.11 и 4.12, а демонстрируются поверхности отклика параметров оптимизации Y_{kv} и Y_d на изменение давления в гидросистеме, угла наклона распределяющей штанги и типа распылителя.

Как видно, в пределах рассматриваемого диапазона факторов, явно прослеживается отрицательная отзывчивость коэффициента вариации k_v распределения и среднего диаметра d распыленных частиц на увеличение угла α положения штанги и повышение давления p в гидросистеме. При этом степень влияния положения распределяющей штанги на равномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата явно ниже для многорежимного распылителя, что и являлось основной решаемой задачей.

Включение в математические модели (4.5, 4.6) степенных значений аргументов x_1 , x_2 , позволило выявить минимумы функций и выполнить оптимизацию режимов работы опрыскивателя.

На рис. 4.12, б представлены линии равных уровней для функций Y_{kv} , $Y_d=f(P, \alpha)$ для результатов факторного эксперимента нового многорежимного распылителя. Линии минимумов функций находятся в области, соответствующей горизонтальному положению штанги. При этом экстремумы принадлежат режиму функционирования гидросистемы $P=0,12$ МПа. В данном случае коэффициент вариации распределения рабочей жидкости составит $k_v=28\%$, а средний диаметр d распыленных частиц будет равен 395 мкм. Дальнейшее увеличение давления ведет к некоторому повышению равномерности распыла, однако при этом снижается средний диаметр частиц и возрастает доля мелкой фракции. Последнее повышает риск сноса частиц и ухудшает качественные и экологические показатели технологического процесса опрыскивания.

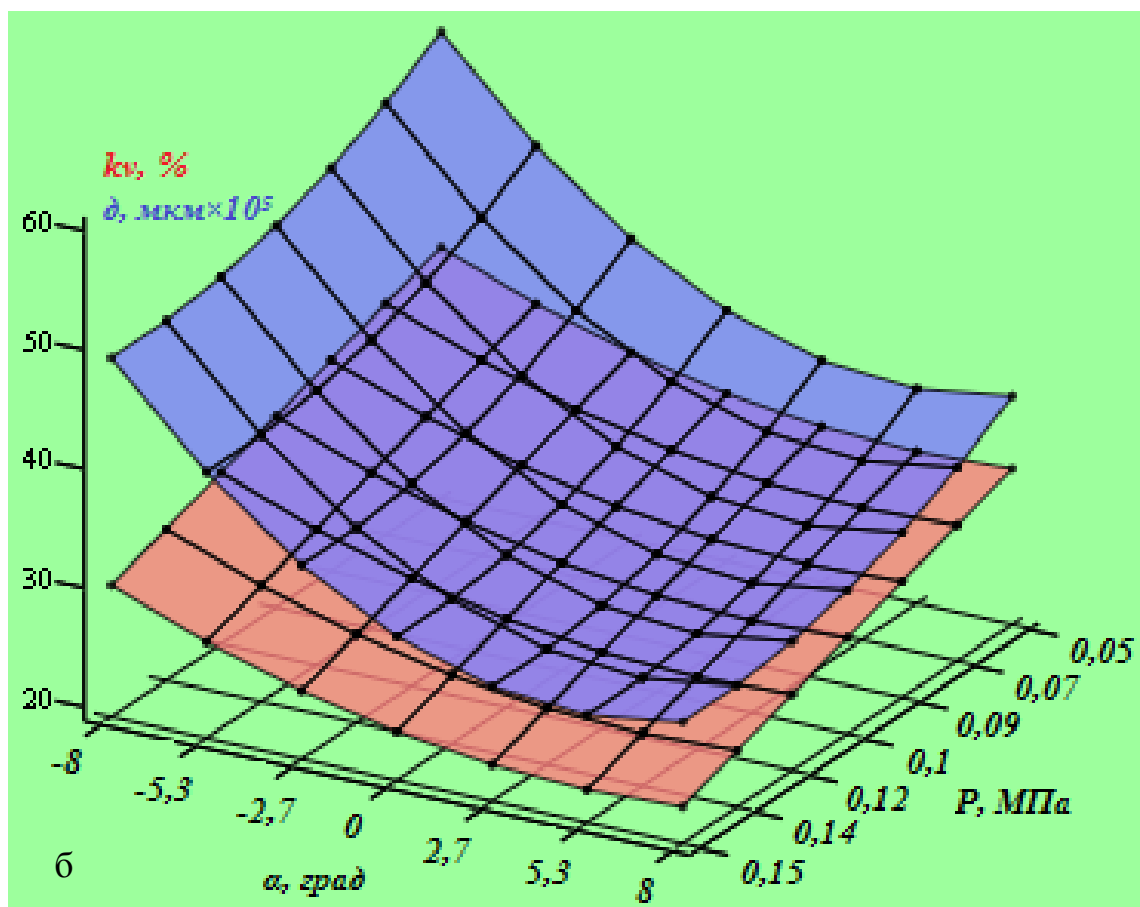
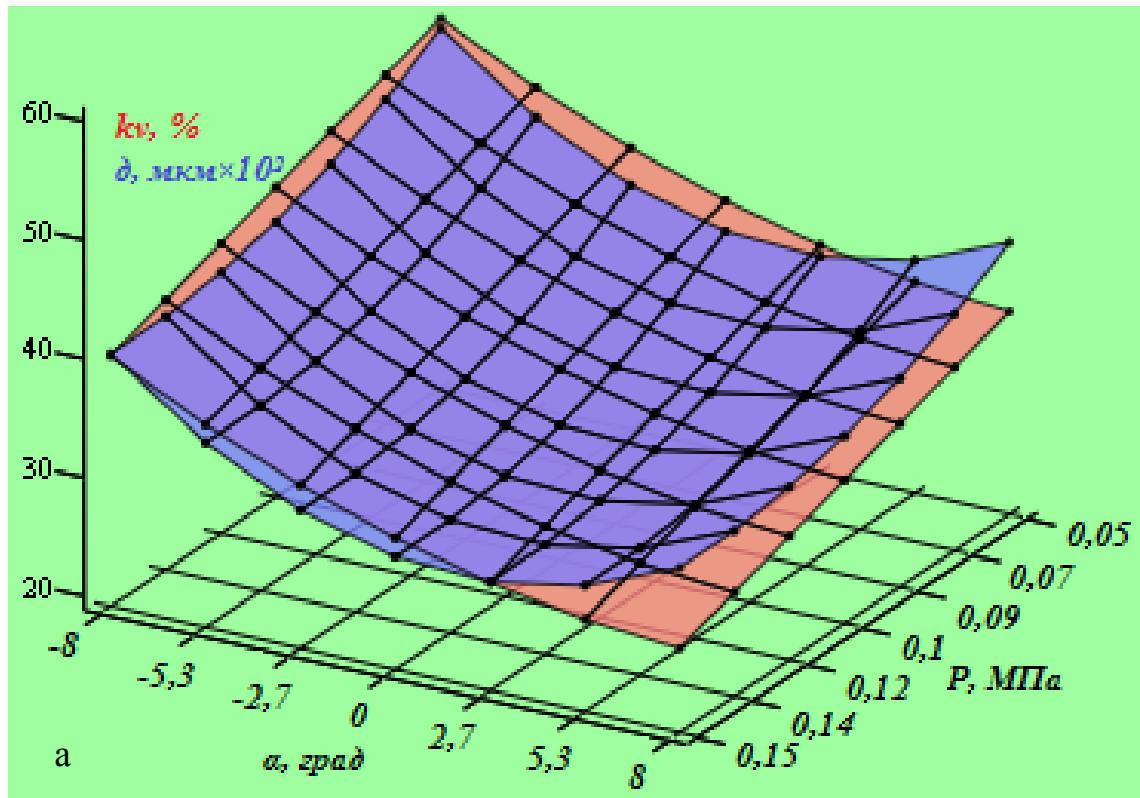


Рисунок 4.11 – Поверхности отклика Y_{kv} , $Y_d = f(P, \alpha)$, для распылителей FT 140-01 Lechler (а) и распылителей ТКР 130 Tecomes (б)

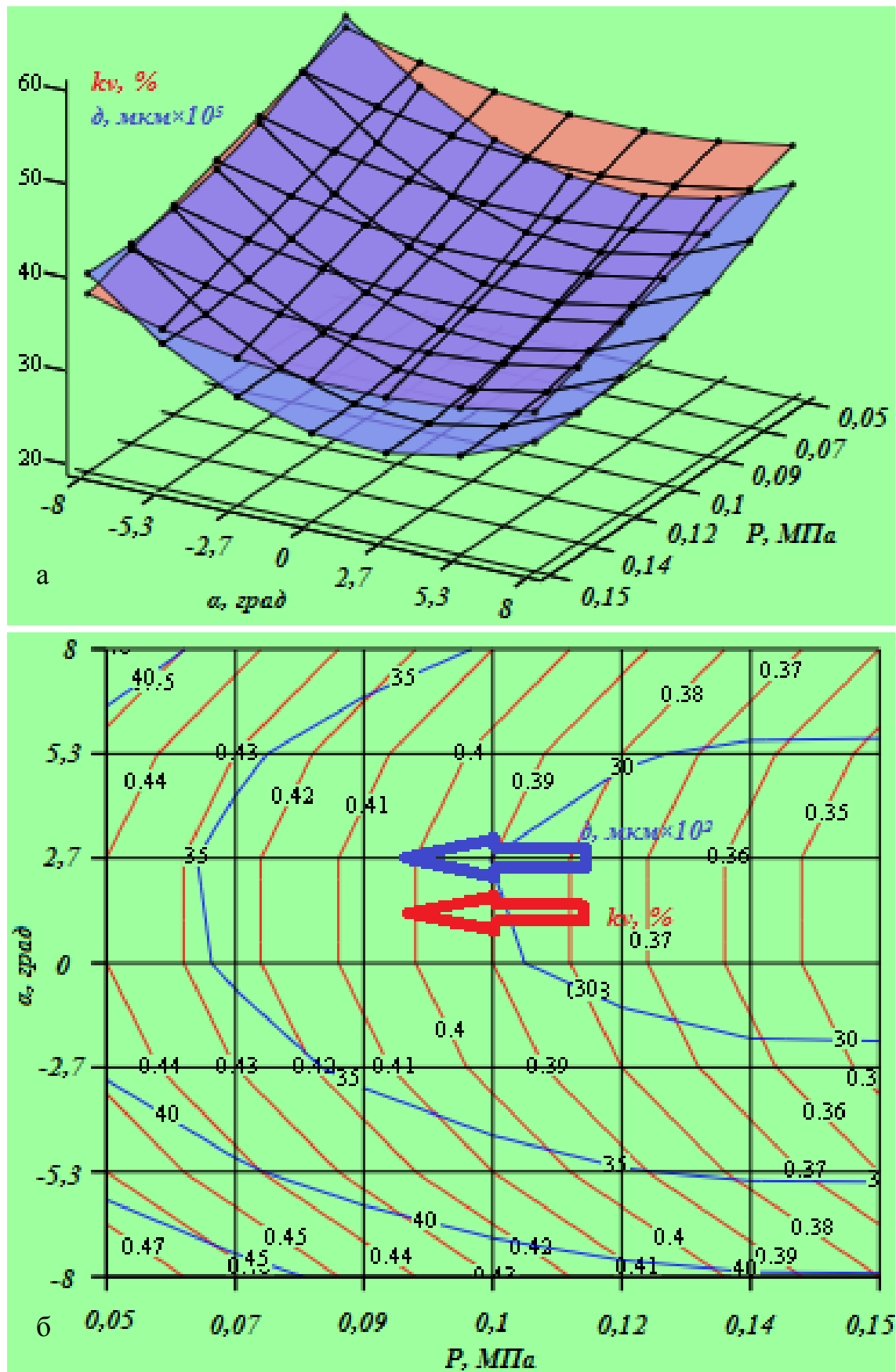


Рисунок 4.12 – Поверхность отклика $Y_{kv}, Y_d = f(P, \alpha)$, для экспериментальных распылителей (а) и изолинии соответствующих функций (б)

4.7 Рабочие полевые испытания одноопорного опрыскивателя с адаптивной распределяющей системой: результаты и интерпретация данных

Сравнительные испытания адаптивной и типовой штанговой распределяющих систем осуществлялись на опытных полях научно-образовательного производственного центра «Интеграция» ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ». В первом случае одноопорный опрыскиватель оснащался комплектом опытных оригинальных адаптивных распылителей. Сравнимый вариант – использование стандартных распылителей ТКР 130 Тесомес дефлекторного типа. Задачей эксперимента являлось сравнение равномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги, при ее комплектации различными типами распылителей. Равномерность распределения оценивалась коэффициентом вариации. Для каждой комплектации опрыскивателя методикой эксперимента предусматривались три линейных прохода, при различных положениях штанги в поперечно-вертикальной плоскости: с наклоном $\pm 8^\circ$ и с горизонтальной установкой. Кроме того, оценивались средний диаметр частиц распыленной жидкости и плотность покрытия. Результаты полевых испытаний сведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8. Качественные параметры опрыскивания в полевых условиях с применением типовой и адаптивной распределяющих систем

Тип распределяющей системы опрыскивателя	Качественные параметры опрыскивания, при положении распределяющей штанги								
	Коэффициент вариации распределения жидкости, % $\pm\sigma$			Средний диаметр распыленных частиц, мкм $\pm\sigma$			Плотность покрытия, $\text{см}^{-2} \pm\sigma$		
	-8°	0°	8°	-8°	0°	8°	-8°	0°	8°
Типовая	53,3 $\pm 2,2$	28,6 $\pm 0,9$	36,6 $\pm 2,1$	421 ± 98	398 ± 62	380 ± 42	41 $\pm 1,8$	30 $\pm 1,1$	21 $\pm 2,0$
Адаптивная	35,2 $\pm 1,8$	30,4 $\pm 1,6$	32,4 $\pm 1,1$	415 ± 58	405 ± 81	386 ± 59	39 $\pm 1,0$	32 $\pm 0,7$	22 $\pm 1,4$

Как видно, при горизонтальном положении штанги, равномерность распределения распыленных частиц в полевых условиях даже несколько превышает анало-

гичный показатель работы системы в стационарном режиме. По нашему мнению, это объясняется большей плотностью используемой рабочей жидкости ($\rho_{\text{воды}} = 997 \text{ кг м}^{-3}$; $\rho_{\text{КАС}} = 1260 \text{ кг м}^{-3}$), а также заметным перераспределением частиц при сносе. Напротив, увеличение расстояния до поверхности обработки при положительном уклоне штанги ($+8^\circ$) влечет некоторое ухудшение равномерности. Очевидно, это также вызвано сносом и испарением мелких частиц. Тем не менее, сравнительная отзывчивость коэффициента вариации на изменение положения штанги для тестируемых распределяющих систем осталась прежней. Так, при отрицательном уклоне штанги ($\alpha = -8^\circ$) разница k_v , относительно исходного положения ($\alpha = 0^\circ$) составила 24,7% - для типовой системы, против лишь 4,8% - для адаптивной, или на 19,9%. Таким образом, средние показатели равномерности распределения рабочей жидкости составили: 39,5% и 32,7%.

Показатели плотности распределения и размеров распыленных частиц ожидаемо определяются положением распределяющей штанги. Как и в стендовом эксперименте, средний диаметр частиц увеличивается с уменьшением расстояния до обрабатываемой поверхности. В среднем, увеличение среднего диаметра капель при переводе штанги из горизонтального положения до угла $\alpha = -8^\circ$ составляло от 15 до 45 мкм.

Плотность покрытия каплями распыленной жидкости уменьшалась с увеличением расстояния до обрабатываемой поверхности. Так, если при установленном положении распределяющей системы количество капель на единице площади находилось в пределах $30 \dots 35 \text{ см}^{-2}$, то при установке штанги на угол $\alpha = 8^\circ$ их количество снижалось до $21 \dots 25 \text{ см}^{-2}$.

Сравнительные данные полевого эксперимента по равномерности внесения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя, оборудованного типовой и адаптивной системами распределения использованы при оценке экономической эффективности предлагаемых решений.

4.8 Выводы по Главе 4

1. Проведена серия экспериментальных исследований оснащенного типовой и адаптивной распределяющей системами одноопорного штангового опрыскивателя, а также его элементов, реализованных в лабораторных и полевых условиях.

2. Средние значения отрицательных (правосторонний уклон, по ходу движения) и положительных (левосторонний уклон, по ходу движения) рабочих колебаний боковой штанги одноопорного опрыскивателя имеют равную амплитуду $\pm 7^\circ$, при общем размахе 14° . Превышающие данные показатели пиковые значения отклонений достаточно редки и зависят, в основном, от подготовки оператора, состояния опорной поверхности и скорости передвижения опрыскивателя

3. Графической интерпретацией результатов измерений устойчивости рабочего положения распределяющей штанги и производительности опрыскивателя, в зависимости от скорости его перемещения, на основе полученных математических моделей установлено, что оптимальная скорость движения опрыскивателя равна $3,1 \text{ км ч}^{-1}$. В этом случае производительность опрыскивателя составит $0,93 \text{ га ч}^{-1}$, при средневзвешенном значении амплитуды вертикальных колебаний штанги $5,3^\circ$.

4. Реализован поисковый эксперимент по подтверждению корректности заявленной концепции адаптивной технологии опрыскивания. Установлено, что теоретически обоснованным ранее изменением фронтальных углов факелов распыла комплекта стандартных щелевых распылителей полевой штанги возможно снижение коэффициента вариации распыла не менее чем на $9,5\%$, относительно типовой установки распылителей.

5. Значение коэффициента Рейнольдса при различных режимах истечения для нового распылителя изменяется от $0,99 \times 10^4$ до $5,18 \times 10^4$, что характеризует режим его работы, как неустойчивый турбулентный или переходный. Установлено влияние диаметра сопла и давления в гидросистеме на критерий Рейнольдса и коэф-

фициент расхода пристенного потока. Оптимальная суммарная площадь сопловых отверстий многорежимного распылителя равна $5,9 \times 10^{-6} \text{ м}^2$.

6. Характер взаимодействия материала с жидкой средой важен для процесса формирования геометрии факела распыла на отражающей поверхности дефлектора. Экспериментально определены значения краевых углов смачивания для различных типов поверхностей. Среднее значение краевого угла для необработанной поверхности пластика ABS распылителя, полученной методом 3D печати составляет 68° .

7. Определением зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора от угла γ натекания показано, что максимальная ширина потока в зоне встречи с отражающей поверхностью дефлектора определяется как углом натекания и давлением (скоростью потока), так и гидрофильными свойствами поверхности. Наиболее компактной оказалась ширина растекания для стеклянной поверхности, обработанной моторным маслом ($\Theta=47^\circ$). Здесь, пределы значений $b_{\max}$ при $\Delta P=0,1 \text{ МПа}$ ограничивались диапазоном 15...180 мм, при углах контакта 10...90°. Отсюда следует, что уменьшения габаритов устья дефлектора можно достичь увеличением гидрофобности отражающей поверхности в зоне контакта с набегающим потоком.

8. Экспериментально подтверждена корректность полученной ранее теоретической зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора от угла γ натекания, для $\Theta=47^\circ$. Среднее отклонение экспериментальных значений от теоретических не превышает 8%.

9. Теоретическими и экспериментальными исследованиями обоснованы основные конструкционные параметры многорежимного распылителя: диаметр сопла $d_{\text{отв}}=0,0015 \text{ м}$; расстояние от края сопла до верхней ограничивающей поверхности $\Delta=0,001 \text{ м}$; радиус окружности, образующей отражающую поверхность дефлектора: $r_{\text{обр}}=0,014 \text{ м}$; угол встречи струи с отражателем в точке контакта $\gamma \approx 20^\circ$; ширина отражающей поверхности дефлектора в зоне устья - не менее 0,016 м, при краевом угле смачивания $\Theta=47^\circ$. Для лучших условий процесса формиро-

вания факела распыла, отражающая сточная поверхность должна иметь гидрофильность, характеризуемую краевым углом, не более $\Theta = 30^\circ$. Определены радиусы дефлекторов секций многорежимного распылителя.

10. Реализован факторный эксперимент ПФЭЗ³. Установлено, что качественные характеристики опрыскивания в значительной степени зависят от рабочего режима гидросистемы и положения штанги в вертикальной плоскости. Коэффициент вариации распределения жидкости снижается при увеличении давления в гидросистеме и резко увеличивается при отрицательном наклоне штанги в поперечно-вертикальной плоскости. Увеличение угла установки штанги способствует некоторому повышению равномерности распыла. При работе адаптивной системы распределения влияние угла наклона штанги на равномерность распределения жидкости существенно ниже, особенно, при отрицательных углах положения штанги.

Средние значения k_v распределения жидкости, при работе стандартных распылителей ТКР 130 Tecomes и FT 140-01 Lechler составляют 51,9%, 34,8% и 30,8%, при углах установки штанги -8° , 0° и $+8^\circ$, соответственно; адаптивной системы распределения - 43,9%, 37,1% и 34,1%. Следовательно, применение адаптивной распределительной системы опрыскивателя компенсирует негативное влияние поперечных колебаний штанги за счет повышения равномерности распределения жидкости, не менее чем в 2,5 раза, относительно типовой системы.

Дисперсность распыла снижается при повышении давления в гидросистеме и увеличении расстояния до обрабатываемой поверхности. Средние диаметры капель, сформированных распылителями ТКР 130 Tecomes, FT 140-01 Lechler и новым многорежимным устройством, при номинальном давлении и установленном расстоянии до объекта обработки, составили 348, 457 и 431 мкм. Для нового распыливающего устройства дисперсионные характеристики составили 181...409 мкм – 36,4%; 410...0,667 мкм – 43,6%; 668...962 мкм – 20,0%.

Плотность покрытия составила 42 см^{-2} ; 29 см^{-2} и 39 см^{-2} , соответственно, для распылителей ТКР 130 Tecomes, FT 140-01 Lechler и нового распыливающего

устройства. Плотность распределения увеличивалась при повышении давления в гидросистеме и увеличения расстояния до объекта обработки.

Получены математические модели изменения коэффициента вариации распределения и дисперсности распыла при влиянии действующих факторов. Оптимальное давление в гидросистеме для разработанной адаптивной системы $P=0,12$ МПа. При этом $k_v=28\%$, а средний диаметр d распыленных частиц - 395 мкм.

11. Средние показатели равномерности распределения рабочей жидкости в полевых испытаниях составили 39,5% и 32,7% - для типовой и адаптивной систем, соответственно. При отрицательном уклоне штанги разница k_v , относительно исходного положения составила 24,7% - для типовой системы и 4,8% - для адаптивной, что на 19,9% меньше. Это доказывает преимущество разрабатываемой распределяющей системы.

Глава 5. Технико-экономическая эффективность применения адаптивной распределяющей системы одноопорного опрыскивателя

Одним из обязательных требований по допустимости применения новой разработки в процессах реализации получения продукции в различных сферах производства необходимо считать экономическую эффективность предлагаемого технического решения. В свою очередь, последняя, определяется разностью приносимой прибыли и затрат, связанных с дополнительными капиталовложениями и внедрением новой разработки, влекущего соответствующие затраты на эксплуатацию оборудования.

Степень экономической обоснованности внедрения в производство предлагаемой адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя оценивалась в соответствии с утвержденной Методикой определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники МСХ РФ [80].

Предпосылками к выбору критериев оценки экономической эффективности применения предлагаемой разработки послужили следующие известные показатели, освещенные в Главе 1.

По данным [123], за счет равномерности обработки посевов средствами защиты, урожайность культуры повышается на 3%, а затраты на приобретение препаратов сокращаются на 500 рублей с гектара. В работе [137] утверждается, что точность внесения рабочей жидкости при опрыскивании позволяет увеличить урожайность до 20...30%.

Кроме того, установлено [68], что каждые 4% непроизводительного использования объема вносимого вещества регламентированы десятью процентами коэффициента вариации распределения средства защиты или стимулирования роста и развития растений.

Избегая указанных потерь, можно значительно снизить дозировку препарата на единицу площади. Сокращение же расхода средств защиты и стимулирования роста растений ведет к существенному снижению себестоимости продукции.

Таким образом, ключевыми элементами основных показателей экономической эффективности предлагаемой разработки выбраны повышение урожайности культуры и сокращение расходов на приобретение препаратов.

5.1 Объект экономической оценки. Субъекты наложения расчетов

В предлагаемой работе экономическая экспертиза выполнялась в отношении технологического процесса внесения рабочей жидкости, выполняемого одноопорным штанговым опрыскивателем, оснащенный экспериментальной адаптивной распределяющей системой для повышения качества распыла рабочей жидкости (рис. 5.1). Опрыскиватель предназначен для внесения ХСЗР и жидких удобрений на малогабаритных и труднодоступных участках крестьянских и фермерских



Рисунок 5.1 – Макетный образец одноопорного штангового опрыскивателя

хозяйств, на личном подворье и дачных участках, на опытных посевах I и II этапа селекционно-семеноводческого процесса, а также для обработки пестицидами и канального орошения в садово-парковом и ландшафтном декоративном растениеводстве.

Макетный образец базового опрыскивателя оборудован оригинальным уравновешивающим устройством. Благодаря этому, независимо от степени заполнения гидробака обеспечивается симметричное, относительно продольной оси опрыскивателя распределение моментов сил, создаваемых односторонней штангой и гидробаком. Последнее позволяет значительно улучшить условия труда оператора и повысить производительность и качество работы опрыскивателя. Кроме того, в отличие от известных аналогичных разработок (Wintersteyger, Euro-Pulve и др.), конструкция предлагаемого опрыскивателя предполагает использование в качестве привода насоса бензинового и электрического двигателей, а также ручного помпового насоса.

Важной отличительной особенностью экспериментального опрыскивателя является наличие адаптивной распределяющей штанговой системы. Данная система позволяет повысить качество внесения рабочей жидкости, за счет повышения равномерности распределения препарата по ширине захвата полевой штанги.

Практическое применение разработанный малогабаритный опрыскиватель получил на опытных полях научно-образовательного производственного центра «Интеграция» ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ». Опрыскиватель оснащался комплектом опытных оригинальных адаптивных распылителей и использовался при послевсходовой обработке посевов гороха и сои на экспериментальных делянках в сравнительных опытах. Вносимый препарат – новый биостимулятор «Нигор» [10]) + экзометаболиты *Trichoderma atroviride* ВКПМ F-1434. Обработку по вегетации проводили дважды опрыскиванием вегетирующих растений в фазе кущения и в фазе цветения. Также, опрыскиватель активно использовался при внесении жидких удобрений КАС.

Важной составляющей процесса экономического обоснования производственного внедрения предлагаемого технического решения стали организация и проведение испытаний сравниваемых образцов в полевых условиях. Стерильность опытной работы во время технологической операции обеспечивается лишь при влиянии идентичных действующих факторов. Это обусловило то, что один и тот же одноопорный опрыскиватель был принят в качестве базовой и экспериментальной модификации. Вариантами комплектации его распределяющего устройства предусматривалась установка обычной штанги или предлагаемой адаптивной распределяющей системы. Суммарная стоимость работ по проектированию и изготовлению рабочих органов и оснащению ими экспериментального устройства составила 15600 руб. в ценах 2024 года.

Технические параметры опытного одноопорного мотоопрыскивателя представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Технические параметры опытного одноопорного опрыскивателя

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
Тип машины	-	Одноопорный мотоопрыскиватель
Колесная база	-	Велосипедная одноколесная
Основной агрегат	-	Мотопомпа «Champion»
Емкость бака	л	20
Давление насоса	МПа	0,2
Ширина захвата штанги	м	3,0
Тип штанги	-	Адаптивная распределяющая система
Тип распылителя	-	Экспериментальный, дефлекторный, многорежимный
Расход жидкости одним распылителем	л мин ⁻¹	0,4
Высота положения распылителей, относительно обрабатываемой поверхности	м	0,5
Вес пустого	кг	42
Габаритные размеры в транспортном положении, (Ш/В/Д)	мм	1230/2265/2055

Начальными условиями определения экономической оценки новой распределяющей системы опрыскивателя, при его внедрении в производство стали результаты сравнительных полевых экспериментов базовой и новой версий мотоопрыс-

ктивателя на полях НОПЦ «Интеграция» Орловского ГАУ (Орловский район Орловской области). Основная деятельность предприятия – выращивание зерновых, зернобобовых и других культур. Общая площадь опытных участков составила 5,3 га.

Нормативы для экономической оценки нового технического решения использовались из рекомендованных региональным объединением «Орелагропромснаб». Кроме того, дополнительно применялись производственные данные, полученные непосредственно в условиях данного хозяйства.

Базовые показатели для экономической оценки одноопорного штангового опрыскивателя, оборудованного адаптивной системой распределения пестицидов приведены в табл. 5.2.

Субъект наложения экономических расчётов должен быть типичным, в отношении реализации тех задач, которые решаются с использованием предлагаемого вновь оборудования. Значительный опыт и наработанные данные были получены ранее, при использовании макетного образца опрыскивателя в хозяйственных условиях НОПЦ «Интеграция» Орловского района Орловской области. Поэтому, именно данное типичное хозяйство решено считать субъектом экономической оценки.

В соответствии с планами реализации технологических операций и схемы опытных посевов НОПЦ «Интеграция», всего под зернобобовыми культурами находится 5,3 га, что составляет 56,8% суммарной опытно-производственной площади научно-производственного центра. На момент проведения исследования, средняя урожайность культур составила 22,4 центнера с одного гектара.

Согласно требованиям изложенными в [17; 27; 81], а также рекомендациям специалистов и имеющимся опытом, расчет загрузки опрыскивателя производили по наиболее напряженному периоду работ.

По данным, которыми располагает хозяйство, в течение года опрыскиватель использовался при обработке гороха – 120,1 часа, при обработке сои – 48,2 часов.

Таблица 5.2. Исходные данные к расчету экономического эффекта от внедрения в производство одноопорного штангового опрыскивателя, оснащенного адаптивной распределяющей системой

Наименование показателя	Ед. изм.	Базовый вариант	Новый вариант
Тип устройства	-	Макетный образец одноопорного штангового опрыскивателя	Макетный образец одноопорного штангового опрыскивателя, оснащенного адаптивной распределяющей системой
Часовая производительность опрыскивателя	г ч ⁻¹	0,93	0,93
Номинальная мощность двигателя	кВт	0,9	0,9
Стоимость изготовления	руб.	23250	43530
Годовая загрузка	час	168,3	168,3
Удельная стоимость 1 м ² машино-места	-	0,87	0,87
Часовой расход топлива опрыскивателем	кг (кВт ч) ⁻¹	0,39	0,39
Цена 1 кг комплексного топлива с учетом смазочных материалов	руб.	62,15	62,15
Часовая оплата работников III разряда – лаборант (оператор)	%	10,0	10,0
Норма отчислений на ремонт, техническое обслуживание и хранение	%	3,2	3,2
Коэффициент использования сменного времени	руб.	170	170
Амортизационные отчисления	руб. ч ⁻¹	180,26	180,26
Количество обслуживающего персонала	чел	1	1
Удельный расход горючего	кг ч ⁻¹	0,43	0,43

Общая годовая загрузка одноопорного опрыскивателя на обработке опытных посевов бобовых культур в 2022 году составила 168,3 часа.

С целью определения необходимого типажа технических средств и расчета операционных расходов (эксплуатационных затрат), действительную производительность опрыскивателя рассчитывали по формуле:

$$П=0,1 \times u \times Ш \times K_m \times K_{cm} \quad (5.1)$$

Здесь, u – рабочая скорость опрыскивателя, км ч⁻¹;

$Ш$ – ширина полосы обработки, м;

K_m – коэффициент использования ширины штанги;

$K_{см}$ – коэффициент использования сменного времени.

Учитывая необходимость достижения устойчивости хода одноопорного опрыскивателя, оператор должен работать на определенной скорости, которую рассчитывали по математической модели (4.2), полученной в Главе 4.

Отсюда рассчитаем фактическую производительность опрыскивателя:

$$П=0,1 \times 3,1 \times 3 \times 0,9 \times 0,87 = 0,73 \text{ га ч}^{-1}.$$

Тогда, для использования в последующих расчетах принимаем рабочую скорость опрыскивателя – $3,1 \text{ км ч}^{-1}$; производительность – $0,73 \text{ га ч}^{-1}$.

5.2 Показатели экономической оценки

В рамках экономической оценки технических решений рассчитываются эксплуатационные затраты и определяются ключевые и дополнительные показатели экономической эффективности. Эксплуатационные затраты, обычно связанные с текущей деятельностью, в отличие от показателей экономической эффективности, которые отражают общую результативность, позволяют оценить, насколько эффективно достигаются поставленные экономические задачи.

5.2.1 Исчисление эксплуатационных затрат

Издержки, связанные с хранением, обслуживанием и эксплуатацией технических средств определяются соответствующей статьей затрат в общей стоимости производства сельскохозяйственной продукции. Так, например, амортизационные отчисления, затраты на техническое обслуживание и ремонт техники, ее хранение, приобретение горюче-смазочных и вспомогательных материалов относят к эксплуатационным статьям. Сюда же включают отчисления на заработную плату работников и нужды социального характера.

Стоимостной анализ новой разработки проводится, исходя из следующих допущений.

Для расчета общей балансовой стоимости K_{TC} , руб. приобретения и внедрения нового технологического оборудования необходимо сложить цену Π_{OPT} , руб. самого оборудования с затратами на его доставку T_C (0,1 от цены приобретения), руб., монтаж и пусконаладочные работы (0,2 от цены приобретения), руб.:

$$K_{TC} = \sum_1^i (\Pi_{OPT} + T_C + M_H) \quad (5.2)$$

$$T_C = 0,1 \cdot \Pi_{OPT} = 0,1 \cdot 15600 = 1560 \text{ рублей};$$

$$M_H = 0,2 \cdot \Pi_{OPT} = 0,2 \cdot 15600 = 3120 \text{ рублей};$$

$$K_{TC} = 15600 + 1560 + 3120 = 20280 \text{ рублей}.$$

Тогда, если стоимость создания опрыскивателя в базовом исполнении составляет **23250** руб., после внедрения предложенного инженерного решения она будет равна **43530** руб.

Размер амортизационных отчислений для одноопорного опрыскивателя и сопутствующего оборудования определялся с помощью формулы, учитывающей балансовую стоимость опрыскивателя, B , руб., нормы отчислений на амортизацию оборудования, H_a , %, годовые загрузки $T_{год}$, опрыскивателей, ч, а также производительность эксплуатационного времени, $\Pi_{ч}$ га ч⁻¹:

$$Z_a = 0,01 \times B \times H_a \times T_{год}^{-1} \times \Pi_{ч}^{-1}, \text{ руб.} \quad (5.3)$$

В целях упрощения расчета, оптовую цену базовой и модернизированной модели опрыскивателя будем считать равной стоимости их создания (23250 руб. и 43530 руб.). Имея ввиду налог на добавочную стоимость и торговую наценку 12,5% (2906 руб.), в итоге, балансовая стоимость равнялась 26156 руб. и 46436 руб., соответственно.

Ввиду того, что полезный срок службы опрыскивателя определяется 10 годами, норма отчислений на амортизацию оборудования рассчитаем, как: 100%:10=10%.

Производительность по площади обработки опрыскивателем, в реальных условиях составляет 0,73 га ч⁻¹.

Анализ затрат на реновацию, основанный на сравнении новой и базовой техники, позволяет установить следующее:

$$z_a^H = \frac{46436 \times 10}{100 \times 168,3 \times 0,73} = 37,80 \text{ руб.}; \quad z_a^B = \frac{26156 \times 10}{100 \times 168,3 \times 0,73} = 21,29 \text{ руб.}$$

Формула для расчета отчислений на операции по техобслуживанию и ремонту опрыскивателя, содержит критерий, $H_{то}$ (% балансовой прибыли), учитывающий соответствующие расходы:

$$z_{то} = 0,01 \times BH_{то} \times T_{год}^{-1} \times \Pi_q^{-1}, \text{ руб.} \quad (5.4)$$

Согласно нормативным материалам [80], рекомендованный годовой бюджет на ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования составляет 3,2. Следовательно, имеем:

$$z_{то}^H = \frac{46436 \times 3,2}{100 \times 168,3 \times 0,73} = 12,09 \text{ руб.}; \quad z_{то}^B = \frac{26156 \times 3,2}{100 \times 168,3 \times 0,73} = 6,81 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с хранением оборудования, определяем по формуле, учитывающей регламент затрат $H_{хр}$, руб. год⁻¹, на 1 комплект опрыскивателя

$$z_{хр} = H_{хр} \times T_{год}^{-1} \times \Pi_q^{-1}, \text{ руб.} \quad (5.5)$$

Расчет норматива затрат на хранение одноопорного опрыскивателя производится по следующей формуле:

$$H_{хр} = 0,01 \times S_o \times K_{хр} \times H_{хр}^a, \text{ руб.} \quad (5.6)$$

Как видно, выражение (5.6) учитывает занимаемую одним опрыскивателем площадь, S_o , м², стандартный критерий $H_{хр}^a$, руб., отчислений на амортизацию и восстановление мест хранения техники и удельную стоимость $K_{хр}$ одного квадратного метра машино-места.

Отсюда, принимая регламент [80], получим:

$$H_{хр}^H = H_{хр}^B = \frac{3,29 \times 170 \times 6,5}{100} = 36,35 \text{ руб.}$$

Тогда, ежегодная стоимость хранения нового и базового оборудования для внесения СЗР, равны:

$$z_{xp}^H = z_{xp}^B = \frac{36,35}{168,3 \times 0,73} = 0,30 \text{ руб.}$$

Следующая зависимость позволяет оценить стоимость топлива, необходимого для производства единицы работы:

$$z_m = H_m^q \times \Pi_m \times \Pi_q^{-1}, \text{ руб.} \quad (5.7)$$

где H_m^q – потребление ГСМ, кг (л) за один час работы опрыскивателя;

Π_q – стоимость ГСМ, руб. (кг (л))⁻¹.

Часовая потребность ГСМ опрыскивателем находится из выражения, учитывающего мощность N , двигательной установки, л.с., расход, q_n , ГСМ удельный (на одну лошадиную силу), а также коэффициент, K_m , применения мощности двигателя в рамках данной задачи:

$$H_m^q = N q_n K_m, \text{ кг} \quad (5.8)$$

$$H_m^{qn} = H_m^{qb} = 0,9 \times 0,53 \times 0,91 = 0,43 \text{ кг ч}^{-1}$$

В этом случае, расходы на горючее определяться, как:

$$z_m^H = z_m^B = \frac{0,43 \times 62,15}{0,73} = 36,61 \text{ руб.}$$

Размер заработной платы оператора-лаборанта на выполнение единицы работы учитывает тарифную ставку $C_{\text{тар}}$, руб. ч⁻¹, работника соответствующей квалификации, сложность работ, определяемую коэффициентом $K_{\text{сл}}$, дополнительную плату персонала, $K_{\text{доп}}$, %, а также количество работников, задействованных в операционной технологии:

$$z_n = \frac{C_{\text{тар}} K_{\text{сл}} (1 + K_{\text{доп}}) L}{W_{\text{ч}}}, \text{ руб.} \quad (5.9)$$

Заработная плата определяется на основе часовой тарифной ставки в размере 7720 рублей, с учетом коэффициента сложности и вредности технологического процесса внесения химических средств защиты растений, равного 1,5, а также дополнительной оплаты (премии) за работу в полевых условиях в размере 100%:

$$3_n^H = 3_n^B = \frac{7720 \times 1,5 \times (1+1) \times 1}{0,73} = 31726,03 \text{ руб.}$$

Расчет общей суммы отчислений на социальные нужды выполнялся из следующего соотношения:

$$3_{от} = 0,01 \times 3_z \times K_{отч}, \text{ руб.} \quad (5.10)$$

В данном выражении, $K_{отч}$ – нормативные отчисления на нужды социального характера, руб.; 3_z – годовой объем фонда заработной платы для лаборантов, руб.

На социальные нужды отчисляются средства на социальное страхование, равные 5,4%, финансирование государственного фонда занятости - 1,5%, пенсионного фонда - 20,6%, фонда медицинского страхования - 3,6%. Все эти отчисления производятся из всех выплат, получаемых в виде оплаты труда, которая рассчитывается по формуле, представленной в пункте 5.9.

$$3_{от}^H = 3_{от}^B = \frac{31726,03 \times 31,1}{100} = 9866,79 \text{ руб.}$$

Сумма расходов, связанных со страхованием техники в течение одного года, определяется по формуле, учитывающей годовую норму $H_{стр}$, страхования, выраженной в процентах, от балансовой стоимости оборудования:

$$3_{стр} = 0,01 \times B \times H_{стр} \times (T_{год} \times W_q)^{-1}, \text{ руб.} \quad (5.11)$$

Если норма страхования составляет 0,45%, то затраты на страхование и базовой техники определяться, как:

$$3_{стр}^H = \frac{46436 \times 0,45}{100 \times 168,3 \times 0,73} = 1,70 \text{ руб.}; \quad 3_{стр}^B = \frac{26156 \times 0,45}{100 \times 168,3 \times 0,73} = 0,96 \text{ руб.}$$

В состав налоговых расходов предприятий входят экологические налоги, H_z , руб., уплачиваемые за вредное воздействие на окружающую среду, налоги на использование транспорта, $H_{тз}$, руб., а также сборы Госгортехнадзора, $H_{гт}$, руб., за регистрацию и проведение периодического технического осмотра сельскохозяйственной техники, выдачу номерного знака и паспорта, выдачу талона о прохождении техосмотра и т.д.

Сумму налогов определяют по формуле:

$$З_H = H_{ГТ} + H_Э + H_T, \text{ руб.} \quad (5.12)$$

Экологический налог рассчитывается использованием выражения, включающего нормативы комплекса экологических затрат в расчете на одну лошадиную силу мощности двигателя, $H_{эш}$, и одну израсходованную тонну топлива, $H_{эГ}$, принимаемых равными 37,15 руб. и 1,142 руб., соответственно; потребление ГСМ в течение года, q_T , т; число единиц i -той техники, K_i :

$$H_Э = \sum N K_i H_{эш} + q_T H_{эГ}, \text{ руб.} \quad (5.13)$$

Потребление ГСМ за один год определяется произведением расхода топлива мотоопрыскивателем за один час и загрузки оборудования в течение одного года:

$$q_T^H = q_T^Б = 0,43 \times 168,3 = 72,37 \text{ кг.}$$

В этом случае, суммарный экологический налог для сравниваемой техники, составит:

$$H_Э^H = H_Э^Б = 1,22 \times 1 \times 37,15 + 72,37 \times 1,142 = 127,97 \text{ руб.}$$

Транспортный налог учитывается при необходимости доставки опрыскивателя к участкам, не находящимся в шаговой доступности. Налог определяют из выражения, с учетом значений фонда оплаты труда $\Phi_{ГФ}$, при выполнении механизированных работ в хозяйстве, за год и принимаемой за 0,01 ставка транспортного налога K_T :

$$H_T = \Phi_{ГФ} \times K_T, \text{ руб.} \quad (5.14)$$

При равенстве значений $\Phi_{ГФ}$ и $З_П$, получим:

$$H_T^H = H_T^Б = 31726,03 \times 0,01 = 317,26 \text{ руб.}$$

Ввиду того, что мотоопрыскиватель не принадлежит к транспортным средствам, сборы, взимаемые инспекцией Госгортехнадзора не учитываются.

Итоговая сумма налогов вычисляется путем агрегирования всех налогов, которые были учтены в себестоимости и рассчитаны ранее:

$$З_H^H = З_H^Б = 127,97 + 317,26 = 445,23 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с эксплуатацией, на обработку зернобобовых культур и внесение удобрений на годовой объем работ и общие экономические показатели технологического процесса, при использовании мотоопрыскивателя, оборудованного адаптивной распределяющей системой, в сравнении с базовой штангой, приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Операционные расходы и окупаемость применения опрыскивателя, оборудованного адаптивной распределяющей системой, руб.

Статьи затрат	Обозначение	Базовый вариант	Новый вариант
Амортизационные взносы	$З_a$	21,29	37,80
Отчисления на техобслуживание и ремонт	$З_{то}$	6,81	12,09
Отчисления на хранение	$З_{хр}$	0,3	0,3
Отчисления на приобретение ГСМ	$З_t$	36,61	36,61
Вознаграждение за выполненную работу – всего		41592,82	41592,82
Из них:			
заработная плата	$З_{п}$	31726,03	31726,03
взносы на социальные нужды	$З_{от}$	9866,79	9866,79
Страховые платежи	$З_{стр}$	0,96	1,70
Затраты на общие налоги	$З_n$	445,23	445,23
на экологические сборы	$Н_э$	127,97	127,97
на транспортные сборы	$Н_t$	317,26	317,26
на сборы Госгортехнадзора	$Н_{гт}$	-	-
Полная себестоимость - всего	$З$	42104,02	42126,55
Фактическая выручка от реализации продукции (без учета НДС)	$Ц$	223193,60	250096,40
Балансовая прибыль	$П_б$	181089,58	207969,85
Чистая прибыль	$П_ч$	177741,68	204218,40
Рентабельность производства, %	$Н_p$	43,0	49,4
Коэффициент эффективности от балансовой прибыли	E_{ϕ}^b	1,32	
Коэффициент эффективности от чистой прибыли	$E_{\phi}^ч$	1,30	
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет:			
- балансовой	T_o^b	1,0	
- чистой	$T_o^ч$	1,0	
Сопоставляемый экономический эффект (+;-)	$Э_{ср}$		+298332,83

Как видно из таблицы, сумма эксплуатационных затрат на обработку и подкормку зернобобовых культур составляет для опрыскивателя с новой системой распределения рабочей жидкости - 42126,55 руб. Это несколько превышает аналогичный показатель для базового оборудования. Однако, данный вид затрат компенсируется себестоимостью продукции и сокращением затрат на приобретение препаратов.

5.2.2 Основные показатели экономической эффективности

Исключая налог на добавленную стоимость, прибыль от сбыта произведенного товара определяется выражением:

$$Pr = 3UrЦ_n - H_{ндс}, \text{ руб.} \quad (5.15)$$

В формуле (5.15): 3 – масса собранного урожая зерна, т;

U_p – урожайность культуры, т га⁻¹;

$Ц_n$ – стоимость реализуемого продукта, руб.;

$H_{ндс}$ – отчисления на добавочную стоимость, руб.

Как отмечалось ранее, снижение вариации распределения средств защиты и удобрений в период вегетации растений способствует их равномерному развитию и дружному созреванию. Во многом благодаря этим условиям, урожайность культур способна к увеличению до 10...12% и более [123, 137]. В то же время, снижение каждого процента неравномерности распределения препарата позволит сократить его потери не менее чем на 0,4% [68].

В ходе полевых испытаний (раздел 4.7 Главы 4) установлено, что средний коэффициент вариации распределения рабочей жидкости составляет 32,7% и 39,5%, соответственно, - для опрыскивателя, оборудованного адаптивной и типовой штанговой системой. Таким образом, снижение затрат на приобретение препаратов при использовании опрыскивателя с адаптивной системой распределения рабочей жидкости, относительно типового оборудования, составит:

$$39,5-32,7=6,8; 6,8 \times 0,4=2,7\%$$

Рассчитаем количество зерна сорта 3, собранного при заготовке урожая с участков, где проводились опыты. Для средней продуктивности культуры $Y_6 = 22,4 \text{ ц га}^{-1}$ и применения опрыскивателя с базовым вариантом штанги, общий объем полученного урожая будет равен $Z_6 = 5,3 \text{ га} \times 22,4 \text{ ц га}^{-1} = 118,7 \text{ ц} = 11,9 \text{ т}$. Использование нового оборудования предоставляет возможность увеличить урожайность выращиваемых культур, не менее, чем на 5...10%, за счет обеспечения высокой равномерности внесения и компенсации потерь (снос и испарение частиц) средств защиты и стимуляторов роста и развития растений.

Отсюда найдем, что урожайность основной культуры будет равна $Y_n = 25,1 \text{ ц га}^{-1}$, а объем полученной продукции Z_n при повышении качества внесения ХСЗР и удобрений, составит около 13,3 т.

В соответствии с информацией, предоставленной [112], в апреле-июле 2024 года, стоимость зерна, при закупках в Орловской области, равнялась в районе 1600 руб. за одну тонну – для гороха и 36000 руб. за одну тонну – для сои. Если средняя закупочная цена бобовых культур составляет $C_n = 18800 \text{ руб.}$ за одну тонну, то легко определить стоимость его продажи по предлагаемому и известному вариантам, а также рассчитать экономическую эффективность по двум вариантам:

$$Ц^6 = 2,24 \times 18800 \times 5,3 - 40174,8 = 183018,8 \text{ руб.}$$

$$Ц^H = 2,51 \times 18800 \times 5,3 - 45017,3 = 205079,1 \text{ руб.}$$

Для расчета экономической эффективности внедрения предлагаемого технического решения, следует учесть наличие ряда действующих условий. Среди них: стоимость продажи продукции по новому C_n , и базовому, C_6 , вариантам, руб. за одну тонну продукции; себестоимость производства всего объема зерна по новому C_n , и базовому C_6 , вариантам, руб.; масса полученного продукта за истекший период, по новому A_n , и базовому A_6 вариантам, выраженная в тоннах.

Тогда, расчет экономической пользы при внедрении в производство нового технического решения, будет вестись по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \left[\left[(C_H \times A_H) - C_H \right] \times (A_H)^{-1} - \left[(C_{\bar{b}} \times A_{\bar{b}}) - C_{\bar{b}} \right] \times (A_{\bar{b}})^{-1} \right] A_H, \text{ руб.} \quad (5.16)$$

Использование уравнения (5.16), предоставляет возможность получить следующий результат:

$$\mathcal{E}_{cp} = \left[\frac{(205079,1 \times 13,3) - 42126,55}{13,3} - \frac{(183018,8 \times 11,9) - 42104,02}{11,9} \right] \times 13,3 = 298332,83 \text{ руб.}$$

С учетом повышения равномерности внесения препаратов, следует учитывать потенциал снижения затрат на приобретение дополнительных ХСЗР и удобрений, необходимых для производства продукции.

По данным [112], стоимость комплексного удобрения КАС 32 составляет 20000 р за 1 тонну; комбинированные инсектициды широкого спектра действия предлагаются по средней цене 2000 р за 1 л. В соответствии с технологическими картами хозяйства и по условиям работы предлагаемого распылителя, для обработки 5,3 га посевов в течение года (не менее 2 обработок) необходимо 742 л удобрений (70 л га^{-1}) и 650 л средств защиты. Отсюда, затраты 3^x на приобретение ХСЗР и удобрений составят для базового и нового вариантов опрыскивателя:

$$3_{\bar{b}}^x = (0,742 \times 20000) + (650 \times 2000) = 1314840 \text{ руб.}$$

$$3_H^x = (0,679 \times 20000) + (595 \times 2000) = 1203580 \text{ руб.}$$

Это дает основание утверждать, что при использовании опрыскивателя с новой распределяющей системой, можно планировать снижение расходов на дополнительное приобретение препаратов, на сумму не менее **111260** руб.

5.2.3 Дополнительные показатели экономической эффективности

Расчет балансовой прибыли для анализируемой техники производится, с учетом суммарных издержек $З$, руб, производства и сбыта продукции:

$$П_{\bar{b}} = Ц - З, \text{ руб.} \quad (5.17)$$

Отсюда, имеем:

$$\Pi_{\bar{o}}^H = 250096,40 - 42126,55 = 207969,85 \text{ руб.};$$

$$\Pi_{\bar{o}}^{\bar{o}} = 223193,60 - 42104,02 = 181089,58 \text{ руб.}$$

Расчет чистой прибыли по анализируемому оборудованию производится путем корректировки балансовой прибыли на величину отчислений в региональный жилищный фонд. Размер отчислений равен 1,5% от стоимости реализованной продукции, не включающей налог на добавленную стоимость. Итоговая чистая прибыль:

$$\Pi_{\bar{q}} = \Pi_{\bar{o}} - \frac{\Pi \times 1,5}{100}, \text{ руб.} \quad (5.18)$$

$$\Pi_{\bar{q}}^H = 207969,85 - \frac{250096,40 \times 1,5}{100} = 204218,40 \text{ руб.}$$

$$\Pi_{\bar{q}}^{\bar{o}} = 181089,58 - \frac{223193,60 \times 1,5}{100} = 177741,68 \text{ руб.}$$

Урожай, полученный с помощью опрыскивания сравниваемым оборудованием, будет иметь следующую рентабельность:

$$H_p = \frac{\Pi_{\bar{o}}}{3} \times 100, \% \quad (5.19)$$

$$H_p^H = \frac{207969,85}{42126,55} \times 100 = 49,4 \%; \quad H_p^{\bar{o}} = \frac{181089,58}{42104,2} \times 100 = 43,0 \%$$

Расчет коэффициентов эффективности дополнительных капитальных вложений по прибыли балансовой и чистой, предусматривает статью расходов, связанных с дополнительными капвложениями по применяемому оборудованию, $K_{\text{доп}}$, руб.:

$$E_{\bar{\phi}}^{\bar{o}} = (\Pi_{\bar{o}}^H - \Pi_{\bar{o}}^{\bar{o}}) \times (K_{\text{доп}})^{-1}; \quad E_{\bar{\phi}}^H = (\Pi_{\bar{q}}^H - \Pi_{\bar{q}}^{\bar{o}}) \times (K_{\text{доп}})^{-1} \quad (5.20; 5.21)$$

Разница между общими капиталовложениями по различным сравнимым вариантам и определяет величину дополнительных капитальных вложений:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ}}^H - K_{\text{общ}}^{\bar{o}}, \text{ руб.} \quad (5.22)$$

Полный объем капиталовложений учитывает балансовую, B_o , цену опрыскивателя, руб. и потребность, K_o , единиц, его использования, исходя из загруженности производства и равняется сумме сопоставимых объемов работ:

$$K_{общ} = (B_o \times K_o), \text{ руб.} \quad (5.23)$$

$$K_{общ}^H = (43530 \times 1) = 43530 \text{ руб.}; \quad K_{общ}^{\bar{\phi}} = (23250 \times 1) = 23250 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на дополнительные капитальные вложения, дал следующий результат:

$$K_{дон} = 43530 - 23250 = 20280 \text{ руб.}$$

Численные значения коэффициентов эффективности, определились, как:

$$E_{\bar{\phi}}^{\bar{\phi}} = \frac{207969,85 - 181089,58}{20280} = 1,32; \quad E_{\bar{\phi}}^{\chi} = \frac{204218,40 - 177741,68}{20280} = 1,30$$

Период окупаемости вложений в основные средства по показателям прибыли балансовой и чистой:

$$T_o^{\bar{\phi}} = \left(E_{\bar{\phi}}^{\bar{\phi}} \right)^{-1}, \text{ лет}; \quad T_o^{\chi} = \left(E_{\bar{\phi}}^{\chi} \right)^{-1}, \text{ лет} \quad (5.24; 5.25)$$

$$T_o^{\bar{\phi}} = \frac{1}{1,32} = 0,76 \text{ лет}; \quad T_o^{\chi} = \frac{1}{1,30} = 0,77 \text{ лет}$$

Т.к. особенностью сельскохозяйственного производства является сезонность работ, справедливым будет увеличить срок окупаемости внедрения разработки до одного года.

5.3 Выводы по Главе 5

1. На основе данных полевых экспериментов и статистики производственного применения в условиях хозяйства НОПЦ «Интеграция» Орловского ГАУ выполнен расчёт экономической эффективности применения одноопорного штангового опрыскивателя, оснащенного адаптивной распределяющей системой рабочей жидкости.

2. Сумма эксплуатационных затрат при использовании нового опрыскивателя на обработке зернобобовых культур составляет 42126,55 руб., что несколько выше, чем при обработке с использованием опрыскивателя с базовой штангой на 22,53 руб. или на 0,05%.

3. Эффективность применения нового опрыскивателя обосновывается повышением равномерности внесения препарата на объект обработки, что способствует повышению урожайности культуры и сокращению расходов на приобретение препаратов.

4. Сравнительный экономический эффект от применения опрыскивателя с адаптивной распределяющей системой составляет 298332,83 руб., при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений по балансовой и чистой прибыли – не более 1 года.

5. За счет сокращения непроизводительного использования препарата новым оборудованием, возможно значительное снижение дозировки, что позволит снизить расходы на приобретение препаратов, на сумму не менее 111260 руб.

6. Полученные расчетные показатели экономической эффективности свидетельствуют о преимуществе предлагаемой разработки, по сравнению с базовым вариантом и возможности внедрения в производство одноопорного штангового опрыскивателя, оборудованного адаптивной распределяющей системой рабочей жидкости.

Заключение

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Оптимальным решением повышения равномерности опрыскивания при вертикальных колебаниях штанги может стать управление текущими фронтальными проекциями углов факела распыла. На основании обзора известных решений разработаны: классификация средств малой механизации для защиты растений и внесения удобрений; классификация, включающая 9 основных признаков распыливающих устройств по способу регулирования геометрии факела распыла; классификация гидравлических струй, представленная 11-ю классами признаков, имеющих наибольшее значение при изучении процесса истечения в распыливающих устройствах средств механизации сельского хозяйства.

2. Получены уравнения для определения ширины захвата распылителя и влияния угла положения штанги на требуемый угол распыла, учитывающие конструктивные параметры одноопорного опрыскивателя и угол его поперечного наклона. Установлено, что при отклонениях штанги на угол от -15° до $+20^\circ$ в поперечно-вертикальной плоскости, ширина полосы обработки одним распылителем изменяется больше чем в 1,8...3,1 раза. Предложена номограмма для определения значений требуемого угла распыла многорежимного распылителя, в зависимости от угла наклона штанги; представлена таблица численных значений фронтальных углов факела распыла каждого распылителя, учитывающие их удаление от плоскости симметрии опрыскивателя.

3. Основываясь на исследовании условий процесса истечения, уточнена предложенная ранее запись уравнения для определения максимальной ширины слоя жидкости на отражающей поверхности, с привязкой к кривизне отражающей поверхности по параметру радиуса кривизны для оптимизации ширины устья дефлектора распылителя. Выведено уравнение толщины сходящей пленки рабочей жидкости, учитывающее радиус и угол развертки сектора отражающей поверхно-

сти дефлектора. Теоретически обоснованы геометрические характеристики основных конструктивных элементов нового многорежимного распылителя.

4. Разработан комплект оригинальных многорежимных дефлекторных распылителей для формирования управляемых углов факела распыла, обеспечивающих требуемую равномерность обработки, при вертикальных колебаниях штанги опрыскивателя (Патент РФ №224484). Разработаны универсальный экспериментальный гидравлический стенд, устройства для исследования расходных характеристик распылителя и изучения зависимости ширины поперечного сечения потока на отражающей поверхности от угла натекания рабочей жидкости. Предложен алгоритм оптимизации рабочей скорости малогабаритного штангового опрыскивателя тачечного типа. Сформулированы основные принципы функционирования адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового опрыскивателя.

5. Установлено, что средние значения рабочих колебаний боковой штанги уравновешенного одноопорного опрыскивателя имеют амплитуду $\pm 7^\circ$, при общем размахе колебаний 14° . Оптимальная скорость движения опрыскивателя равна $3,1 \text{ км ч}^{-1}$. При этом производительность опрыскивателя составит $0,93 \text{ га ч}^{-1}$, при средневзвешенном значении амплитуды вертикальных колебаний штанги $5,3^\circ$. Экспериментально получены значения характеристических критериев процесса истечения и показатели гидрофобности рабочих поверхностей для нового распылителя; обоснованы его основные конструктивные параметры. Среднее значение коэффициента вариации для адаптивной системы распределения позволяет утверждать о повышении равномерности распределения жидкости, не менее чем в 2,5 раза, относительно типовой системы. Годовая технико-экономическая эффективность использования одноопорного штангового опрыскивателя, оснащенного адаптивной распределяющей системой составляет 298332,83 руб., при сроке окупаемости не более 1 года.

Рекомендации производству и перспективы дальнейших исследований

Предлагаемые многорежимный дефлекторный распылитель и адаптивная распределяющая система одноопорного штангового опрыскивателя, обеспечивающие компенсацию равномерности и плотности распределения препарата при колебаниях штанги в поперечно-вертикальной плоскости могут быть востребованы при выполнении технологических операций по защите и стимулированию роста и развития растений, как в селекционно-семеноводческом процессе, так и в «большом» производстве.

Содержащиеся в работе научные положения и выводы, позволяют оптимизировать конструктивно-режимные параметры распыливающих устройств ударно-струйного типа на стадии их проектирования, а алгоритм оптимизации рабочей скорости одноопорного штангового опрыскивателя может быть использован в формировании карт-заданий на технологическую операцию опрыскивания.

Предлагаемые инженерно-технологические решения рекомендованы к использованию в ФИЦ «Немчиновка» Московской области, ФГБНУ «ВНИИЗР» Воронежской области, внедрены в производственный процесс опытного поля ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина».

Практическое применение секционной конструкции многорежимного распылителя дефлекторного типа продемонстрировало некоторые ее недостатки. Среди них:

- дискретность изменения геометрии факела распыла и ограниченность числа секций, формирующих потоки;
- использование буртиков отражателей, формирующих требуемую геометрию факела, создающих струйность периферийных участков сходящей пленки; сложность конструкции распылителя;
- ограничение взаимозаменяемости и отсутствие унификации распыливающих устройств.

Для устранения этих недостатков, в процессе настоящего диссертационного исследования сформулированы возможные направления дальнейшего совершенствования конструкции распыливающих устройств для реализации принципов адаптивной технологии опрыскивания.

Одним из перспективных решений может стать применение отражающей поверхности веерного типа. Адаптивное управление центральным углом веерного отражателя и угла натекания обеспечит требуемый текущий угол факела распыла. Исполнение распыливающего устройства в виде мехатронного модуля позволит решить все функциональные задачи адаптивного распылителя в едином унифицированном узле.

Принятые обозначения, сокращения

- a – коэффициент влияния турбулентности струи на ее распыл
- B – ширина захвата опрыскивателя
- B_ϕ – ширина полосы обработки
- b – элементарная ширина слоя жидкости, поступившей на отражатель
- b_i – ширина полосы обработки i -м распылителем
- b_{max} – наибольшая ширина поперечного сечения потока на отражающей поверхности дефлектора
- d – капиллярный диаметр
- d_c – диаметр гидравлической струи
- d_k – средний диаметр капли
- $d_{отв}$ – диаметр отверстия сопла распылителя
- E_0 – полная энергия жидкости
- $E_{кин}$ – кинетическая энергия жидкости
- $E_{пот}$ – потенциальная энергия жидкости
- $E_{пов}$ – поверхностная энергия жидкости
- f – доля смоченной поверхности
- F – площадь поперечного сечения тока жидкости
- G – объемный расход жидкости распылителем
- g – ускорение свободного падения
- h – расстояние от оси симметрии струи до центра окружности, образующей отражающую поверхность дефлектора
- h_f – суммарные потери напора
- h_δ – высота направляющих буртиков дефлектора
- k – шероховатость смоченной поверхности
- k_0 – поправочный коэффициент, учитывающий работу сил трения и кинетичность потока жидкости
- k_θ – поправочный коэффициент, учитывающий гидрофобность материала

l – горизонтальная проекция расстояния между распылителем и осью колебаний одноопорного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости

l_k – длина соплового канала распылителя

m_1 – коэффициент расхода рабочей жидкости

n – количество распылителей на распределительной штанге

n_c – количество сопел многорежимного распылителя

Q – норма внесения препарата

$q_{жс}$ – количество жидкости, поступающей на отражающую поверхность дефлектора за время Δt

p – базовая (регламентированная техническими требованиями) высота расположения штанги над обрабатываемой поверхностью

$p_1/\gamma, p_2/\gamma$ – пьезометрические напоры

p_a – атмосферное давление

$p_{вх}$ – полное давление на входе в канал распылителя

R – радиус дефлектора

$r_{обр}$ – радиус окружности, образующей отражающую поверхность дефлектора

$r_{отс}$ – радиус сопла

s_1, s_2 – площади живых сечений гидравлического потока

$S_{нов}$ – площадь поверхности круглой струи

t – элементарная толщина слоя жидкости, поступившей на отражатель

U – скорость движения опрыскивателя

V – объем жидкости

z – расстояние от точки пятна контакта на поверхности отражателя до произвольного горизонтального уровня, лежащего на ограничивающей поверхности распылителя

z_1, z_2 – геометрические высоты

α – угол положения опрыскивателя, относительно вертикали

α_1, α_2 – поправочные коэффициенты (коэффициенты Кориолиса)

- β – угол распыла факела во фронтальной проекции
- β_i – текущий угол факела распыла
- β_k – корневой (истинный) угол факела распыла
- γ – угол натекания рабочей жидкости на отражающую поверхность дефлектора
- δ – толщина слоя жидкости, сходящей с кромки дефлектора
- Δl – элементарная длина слоя жидкости, поступившей на отражатель
- Δp – разность абсолютного давления и давления в рассматриваемой точке
- ε – коэффициент заполнения сечения соплового канала
- ζ – коэффициент местного сопротивления (коэффициент потерь)
- η – равномерность распределения препарата по ширине захвата штанги
- Θ – краевой угол смачивания
- Θ_0 – значение равновесного краевого угла на идеальной (гладкой) поверхности
- Θ_m – значение равновесного краевого угла на реальной (шероховатой) поверхности
- λ – длина волны
- μ – коэффициент расхода
- ν – вязкость жидкости
- $\rho_{жс}$ – плотность жидкости
- σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости
- σ_{LG} – поверхностное натяжение на границе раздела твердое тело-газ
- σ_{SG} – поверхностное натяжение на границе раздела жидкость-газ
- σ_{SL} – поверхностное натяжение на границе раздела жидкость-твердое тело
- φ – коэффициент скорости
- ϕ – угол поворота плоскости факела распыла, относительно фронтальной проекции
- ψ – коэффициент потерь на трение (коэффициент Дарси)
- ω – скорость истечения

ω_z – перпендикулярная составляющая скорости горизонтального гидравлического потока

ω_1^2, ω_2^2 - средние скорости движения потока жидкости в сечениях потока

СММ - средства малой механизации

ХСЗР – химические средства защиты растений

ФР – факел распыла

ФАО ООН – (Food and Agriculture Organization, FAO) Продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединенных Наций

КАС – карбидо-аммиачная смесь

Термины и определения

Адаптивная распределяющая система опрыскивателя – система распределения рабочей жидкости, способная изменять углы распыла, в зависимости от положения штанги, относительно обрабатываемой поверхности

Гидрофобная поверхность – поверхность со свойствами молекул химических веществ, заключающимися в отсутствии у них склонности к взаимодействию с водной средой (водоотталкивающая поверхность)

Дефлектор – гидродинамическое устройство, предназначенное для отражения струи жидкости и формирования факела распыла

Дефлекторный (ударно-струйный) распылитель – устройство, предназначенное для крупнокапельного распыливания жидкости за счет динамического взаимодействия с отражателем потока

Контрольный объем жидкости - количество жидкости от выходного сопла до наиболее широкого сечения пятна контакта с поверхностью

Корневой угол распыла – фактический угол факела распыла, при его вершине

Краевой угол смачивания (угол смачивания, угол контакта) - угол, образуемый между касательной, проведённой к поверхности фазы жидкость-газ и твёрдой поверхностью с вершиной, располагающейся в точке контакта трёх фаз, и условно измеряемый всегда внутрь жидкой фазы

Многорежимный распылитель – распыливающее устройство, способное функционировать в нескольких эксплуатационных режимах

Одноопорный опрыскиватель – опрыскиватель тачечного типа, с одной точкой опоры

Проверка концепции – демонстрация практической осуществимости предлагаемых метода, идеи, технологии.

Распределительная система опрыскивателя – система распределения рабочей жидкости по ширине обрабатываемой полосы

Распылитель – устройство для распыливания рабочей жидкости

Сопло – выходное отверстие распылителя

Состояние Венцеля – увеличение площади контакта, вследствие заполнения жидкостью вызванных шероховатостью материала впадин на его поверхности

Состояние Касси - уменьшение площади контакта, из-за отсутствия заполнения жидкостью вызванных шероховатостью материала впадин на его поверхности

Средства малой механизации - машины и вспомогательное оборудование с малой потребляемой мощностью и небольшой массой, предназначенные для сокращения затрат ручного труда и механизации трудоемких операций и отдельных процессов

Тестовый эксперимент – испытания, предназначенные для определения фактических исходных параметров макетного образца одноопорного опрыскивателя, как базового мобильного средства для проведения испытаний адаптивной распределяющей системы

Уравнение de la Cruz – уравнение для определения максимальной ширины слоя жидкости, в месте пятна контакта струи с отражающей поверхностью, полученное de la Cruz RM и Mäkiharju SA. (2020)

Устье дефлектора - площадь отражающей поверхности дефлектора, в области пятна контакта

Факел распыла – геометрическая форма распыла рабочей жидкости распылителем

Фронтальный угол распыла – угол факела распыла во фронтальной проекции опрыскивателя

Список литературы

1. Абрамович, Г.Н., Гиршович, Т.А., Крашенинников С.Ю. [и др.]. Теория турбулентных струй /Под редакцией Г.Н. Абрамовича/ – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук «Издательство «Наука». - 1984. – 716с.
2. Абубикеров, В.А. Совершенствование технологии и технических средств для внесения пестицидов: Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва. – 2005. – 130с.
3. Абубикеров, В.А. Экологически безопасная технология опрыскивания [Текст] / В.А. Абубикеров, Н.В. Никитин, М.С. Раскин, Ю.Я. Спиридонов // Защита и карантин растений. - 1996. - № 3. - С. 34.
4. Альтшуль, А.Д., Кисилев, П.Г. Гидравлика и аэродинамика. - М.: Стройиздат. - 1975.- 126с.
5. Баландин, М.П., Белецкий, И.Н., Иванов, Ю.В., Масалов, А.Т., Мацевский, Т.П., Мельничук, А.Н., Попов Ф.К., Пискозуб, И., Сметнев, С.Д., Фанфарони, Ф.И., Чекунов, И.М. Устройство для двухполосного внесения гербицидов. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №211205 А 01 7/00 опубл. 01.02.1968, Бюл. № 3.
6. Барановский, А. Технологические аспекты высокоэффективного использования пестицидов [Текст] / А. Барановский // Сельскохозяйственная техника Украины. - 1998. - №6. - С. 8-9.
7. Башта, Т.М., Руднев, С.С., Некрасов, Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов. 4-е изд. - М.: Изд. дом «Альянс». - 2010. - 423с.
8. Билык А.И., Масло И.П., Судак, П.Г. Распылитель. - Авторское свидетельство СССР № 650589 А 01 7/00 Украинский НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, опубл. 05.03.1979, Бюл. № 9.

9. Блинов, В.И. О пульсации струи и разрыве ее на капли [Текст] / В.И. Блинов, Е.Л. Фейнберг // Журн. техн. физики. - 1933. - №5. - С. 712-728.
10. Борзенкова, Г.А., Бородин, Д.Б., Гагарина, И.Н., Горькова, И.В., Павловская, Н.Е. Средство для предпосевной обработки семян гороха. – Патент РФ №2463759 А01С 1/06, А01С 1/08 опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29.
11. Борисенко, И.Б. Влияние объемного 3-D эффекта на качественные показатели опрыскивания при внесении пестицидов полосовым методом [Текст] / И.Б. Борисенко, М.В. Мезникова, С.В. Белоусов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2022. - №175. - С. 41-55.
12. Борисенко, И.Б. Исследование качественных показателей опрыскивания с применением полосовой обработки на посадках картофеля [Текст] / И.Б. Борисенко, О.Г. Чамурлиев, М.В. Мезникова, Д.В. Скрипкин, А.А. Габуншина, Д.А. Соколов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2023. - №3(71). - С. 403-413.
13. Борисенко, И.Б. Теоретическое обоснование равномерности нанесения рабочего раствора на объект воздействия при обработке пропашных культур способом полосового опрыскивания [Текст] / И.Б. Борисенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2021. - №4(64). - С. 296-305.
14. Борисенко, И.Б., Чамурлиев, О.Г., Мезникова, М.В., Улыбина, Е.И., Скрипкин, Д.В., Холод, А.А., Сидоров, А.Н. Сорокин, А.В., Овсиенко, Е.В., Власенко, В.В., Лама, П.Ф., Вачугов, С.Ю. Способ полосовой химической обработки пропашных культур. - Патент на изобретение №2769737 А 01 7/00 опубл. 05.04.2022, Бюл. № 10.
15. Буклагин, Д.С. Средства малой механизации сельскохозяйственных работ [Текст] / Д.С. Буклагин, Н.Т. Ершов // Экономика и организация производства. Научно-технический информационный сборник. - 1986. - №9. - С. 34-37.

16. Ван Рейн, К.Й.М., Нейдам, В., Баггерман, Я., Ван Эгмонд, Х.Й. Распылитель и корпус распылительной форсунки. - Патент на изобретение РФ №2720787 А 01 7/00 опубл. 13.05.2020, Бюл. № 14.
17. Василькова, Т.М., Маковецкий, В.В., Максимов, М.М. Справочник экономиста-аграрника. - М.: КолосС. - 2006. - 367с;
18. Вивденко, М.И. Исследование условий получения равномерных капель размером 1-0,5 мм. [Текст] / М.И. Вивденко, К.Н. Шабалин // Изв. вузов. Химия и хим. технол. - 1965. - Т.8. - №4. - С. 685-690.
19. Витман, Л.А., Кацнельсон, Б.Д., Палеев, И.И. Распыливание жидкости форсунками. - М.: Государственное энергетическое издательство. - 1962.- 186с.
20. Вишневецкий, С.Л. Физическая энциклопедия /Гл. ред. А.М. Прохоров/. - М.: Советская энциклопедия. - 1988. - Т.1: Ааронова-Боме эффект. Длинные линии. - С. 187. - 704с.
21. Вялых, В.А. От чего зависит качество работы опрыскивателей [Текст] / В.А. Вялых, С.Н. Савушкин // Защита и карантин растений. - 2004. - №11. - С. 48-52.
22. Вялых, В.А. Технология и технические средства безопасного использования пестицидов садовыми опрыскивателями [Текст] / В.А. Вялых, С.Н. Савушкин, Н.А. Балакирев // Плодоводство и ягодоводство России. - 2010. - Т.24. - №2. - С. 386-397.
23. Горохов, В.Д., Дроздов, И.Г., Кретинин А.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей» специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж. - 2015. - 46с.
24. ГОСТ 11.006-74. Правила проверки опытного распределения с теоретическим. Прикладная статистика – Введ. 1975-12-06. – М.: Изд-во стандартов. - 1974. - VI. - 7с.

25. ГОСТ 20915-2011. Методы определения условий испытаний. Сельскохозяйственная техника - М.: Изд-во стандартов. - 1988. - 34с.
26. ГОСТ 21507-2013 Защита растений. Термины и определения. - М.: Стандартиформ. – 2013. – 27с.
27. ГОСТ 23728-79 ГОСТ 23730-79. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - М.: Издательство стандартов. - 1979. - 24с.
28. ГОСТ 34630-2019 Техника сельскохозяйственная. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. - Введ. 2021-15-03. - М.: ФГУП «Стандартиформ». - 2020. - 38с.
29. ГОСТ 8.-207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. - Введ. 1977-02-06. – М.: Изд-во стандартов. - 1976. - IV. - 9с.
30. ГОСТ ISO 5682-1-2004 Оборудование для защиты растений. Методы испытаний распылительных насадок. Часть 1. - М.: Стандартиформ. - 2006. – 25с.
31. ГОСТ Р 53053-2008 Национальный стандарт Российской Федерации. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний – М.: Стандартиформ. – 2009. – 45с.
32. ГОСТ Р 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. Введ. 03.01.2012. - М.: Стандартиформ. - 2012. - 20с.
33. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 14.09.2024).
34. Гулько, А.И. Комбинированная распылительная головка. - Патент на изобретение РФ №2324348 А 01 7/00 опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14.
35. Гусейнов, Ф.Э., Гусейнов, Ф.З. Устройство для опрыскивания междурядий. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №454880 А 01 7/00 опубл. 30.12.1974, Бюл. № 3.

36. Дембовский, И.А. Концепция применения адаптивной штанговой распределительной системы малогабаритного одноопорного опрыскивателя [Текст] / И.А. Дембовский, С.А. Родимцев // Агроинженерия. - 2024. - Т.26. - №3. - С. 27-36.
37. Директор, Л.Б. Усовершенствованный метод лежащей капли для определения поверхностного натяжения жидкостей [Текст] / Л.Б. Директор, В.М. Зайченко, И.Л. Майков // ТВТ. – 2010. – Т.48. - Выпуск 2. – С. 193-197.
38. Дитякин, Ю.Ф., Клячко, Л.А., Новиков, Б.В., Ягодкин, В.Н. Распыливание жидкостей. - М.: Машиностроение. - 1977. – 215с.
39. Додсон, М. Плоскоструйные форсунки для текучей среды с регулируемым размером капель, включающие постоянный или переменный угол распыления. - Патент на изобретение РФ №2515290 А 01 7/00 опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13.
40. Дринча, В.М. Калибрование полевых опрыскивателей и современные приборы для его осуществления [Текст] / В.М. Дринча, Ю.А. Сергеев, А.О. Шарibuра // Тракторы и сельхозмашины. - 2012. - №5. - С. 8-11.
41. Дроздов, А.Н. Средства малой механизации строительства - резервы повышения эффективности строительных технологий [Текст] / А.Н. Дроздов // Строительные и дорожные машины. - 2020. - №9. - С. 8-14.
42. Дунский, В.Ф. Метод определения спектра размеров капель при распылении жидкостей [Текст] / В.Ф. Дунский, Н.В. Никитин // Инженерно-физический журнал. - 1967. - Т.12. - №2. - С. 254.
43. Душкин, А.Л., Жданов, В.И., Карпышев, А.В. Распылитель жидкости. - Патент на полезную модель РФ №54825 А 01 7/00 опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21.
44. Душкин, А.Л., Карпышев, А.В., Рязанцев, Н.Н. Распылитель жидкости. - Патент на изобретение РФ №2278742 А 01 7/00 опубл. 27.06.2006, Бюл. № 18.

45. Душкин, А.Л., Карпышев, А.В., Рязанцев, Н.Н. Распылитель жидкости. - Патент на изобретение РФ №2329873 А 01 7/00 опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21.
46. Душкин, А.Л., Карпышев, А.В., Рязанцев, Н.Н. Распылитель жидкости. - Патент на изобретение РФ №2273527 А 01 7/00 опубл. 10.04.2006, Бюл. № 10.
47. Дэниел, К. Применение статистики в промышленном эксперименте (перевод с англ.). - М.: Мир. - 1979. - 189с.
48. Елизаров, В.П. [и др.] Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. - Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное агентство по сельскому хозяйству. - Москва: Росинформагротех. - 2005. - 270с.
49. Ермаков, Ю.М. Регулируемый винтовой насадок. - Патент на изобретение РФ №2393900 А 01 7/00 опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19.
50. Есин, А.И. Обтекание конического дефлектора потоком вязкой несжимаемой жидкости [Текст] / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, А.А. Акпасов, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. – №4. – С. 14-19.
51. Журавлева, Л.А., Попков, И.А., Магомедов, М.С., Хеирбеик, Бассел. «Дождеватели широкозахватных дождевальных машин»: монография. - Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. - 2022 - 140с.
52. Завражнов, А.И. Технология и комбинированное средство для ухода за посевами сахарной свеклы [Текст] / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков, С.В. Соловьёв, А.Н. Омаров, А.В. Балашов // Наука в центральной России. - 2016. №2(20). - С. 5-11.
53. Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. - 1974. - 416с.
54. Зинченко, В.А. Агроэкотоксикологические основы применения пестицидов. - М.: Изд-во МСХА. - 2000 г. - 180с.
55. Иванов, А.И. Распылитель жидкости. - Авторское свидетельство на изобретение СССР № 621384 А 01 7/00 опубл. 20.05.2008, Бюл. № 4.

56. Иноэ, Я., Камо, М., Ябусита, М., Ватанабэ, К. Распылительная головка для жидкого огнетушащего вещества. - Патент на изобретение Японии №2786611 А 01 7/00 опубл. 22.12.2022, Бюл. № 18.
57. Исаев, А.П. Гидравлика дождевальных машин. - М.: Машиностроение. - 1973. - 215с.
58. Калицун, В.И., Кедров, В.С., Ласков, Ю.М. Гидравлика, водоснабжение и канализация. - М.: Стройиздат. - 2000. – 193с.
59. Киреев, И.М. Распределение капельной жидкости между распылителями для технологии опрыскивания растений [Текст] / И.М. Киреев [и др.] // АгроФорум. – 2019. – №4. - С. 18-20.
60. Киреев, И.М. Результаты моделирования технологического процесса распределения капельной жидкости между распылителями штанговых опрыскивателей [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Техника и оборудование для села. - 2018. - №12. - С. 16-21.
61. Киреев, И.М. Технологический процесс опрыскивания полевых сельскохозяйственных культур щелевыми распылителями [Текст] / И.М. Киреев, М.В. Данилов, З.М. Коваль, Ф.А. Зимин // Тракторы и сельхозмашины. - 2022. - Т.89. - №6. - С. 395-401.
62. Кисляков, В.Е., Шкаруба, Н.А., Калмаков, Н.В. Способ формирования струи гидромонитора и устройство для его осуществления. - Патент на изобретение РФ №2608591 А 01 7/00 опубл. 23.01.2017, Бюл. № 3.
63. Коваленков, И.Г. Резистентность рапсового цветоеда как показатель перестройки генетической структуры популяций вредных видов под влиянием инсектицидов [Текст] / В.Г. Коваленков [и др.] // Агрохимия. – 2018. - №5. - С. 54–62.
64. Козлов, И.Б. Малогабаритный велоопрыскиватель для селекционных участков [Текст] / И.Б. Козлов, Б.Е. Степанов, Т.В. Мочкова, Н.В. Мальцев // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2013. - №2. - С. 49-50.

65. Колесниченко, В.И., Шарифулин А.Н. Введение в механику несжимаемой жидкости : учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - 2019. – 127с.
66. Комаровский, Д.П., Липский, В.К. Механика жидкости и газа. - Новополоцк: ПГУ. - 2008. – 208с.
67. Крук, И.С., Карпович, С.К., Маркевич, А.Е., Болванович, В.В., Чешун, П.В. Проектирование несущих конструкций, схем подвесок и систем стабилизации штанг полевых опрыскивателей: Рекомендации. - Минск: БГАТУ. - 2018. - 172 с.
68. Крук, И.С., Кот, Т.П., Гордиенко, О.В. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей. - Минск: БГАТУ. - 2015. – 284с.
69. Кузнецов, В.В. Подвеска широкозахватной штанги полевого опрыскивателя [Текст] / В.В. Кузнецов, А.В. Кузнецов // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - 2012. - №1(11). - С. 5-9.
70. Лебедев, И.В., Трескунов С.Л., Яковенко, В.С. Элементы струйной автоматики. - М.: «Машиностроение». - 1973. – 106с.
71. Лысов, А.К. Методологические подходы для решения задач по дискретному внесению пестицидов [Текст] / А.К. Лысов // Вестник защиты растений. - 2018. - №3(97). - С. 5-9.
72. Лысов, А.К. Совершенствование технологий применения средств защиты растений методом опрыскивания [Текст] / А.К. Лысов, Т.В. Корнилов // Вестник защиты растений. – 2017. - №2(92). - С. 50-53.
73. Лязин, М.Ю., Махалов, А.Ю., Аничкин, А.С., Кашин, А.М. Инжекционная центробежная форсунка с тангенциальным входом и изменяемым сечением выходного сопла. - Патент на полезную модель РФ №124890 А 01 7/00 опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.
74. Максимов, В.А. Многофакторный эксперимент в биологии. – М.: Изд-во Московского Университета. – 1980. - 280с.

75. Маркевич, А.Е., Немировец Ю.Н. Основы эффективного применения пестицидов: Справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве. – Горки: учреждение образования «Могилевский государственный учебный центр подготовки, повышения квалификации, переподготовки кадров, консультирования и аграрной реформы». - 2004. – 60с.
76. Марченко, Л.А., Спиридонов, А.Ю. Дефлекторный распылитель. - Патент на изобретение РФ №2757495 А 01 7/00 опубл. 18.10.2021, Бюл. № 29.
77. Масло, И.П. Влияние степени равномерности опрыскивания полевых культур на норму расхода пестицида [Текст] / И.П. Масло [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки. - 1982. - №3. - С. 44-45.
78. Мезникова, М.В. Исследование проблем защиты растений от химически опасных воздействий в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / М.В. Мезникова // Вестник НЦ БЖД. - 2019. - №2(40). - С. 43-47.
79. Мезникова, М.В. Повышение эффективности химической обработки пропашных культур в рамках полосовой технологии [Текст] / М.В. Мезникова, И.Б. Борисенко, Е.И. Улыбина, О.В. Бояркина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. - 2019. - Т.14. - №4. - С. 453-465.
80. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. - М.: Минсельхоз РФ. - 1998. - 219с.
81. Минаков, И.А. Экономика сельского хозяйства. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС. - 2005. - 400с.
82. Миняйло, А.М., Зиновьев, Е.Г. Форсунка «Зима». - Патент на изобретение РФ №2376072 А 01 7/00 опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35.
83. Назаров, Н.Н. Принудительное осаждение распыленной рабочей жидкости препаратов при защите сельскохозяйственных растений [Текст] / Н.Н. Назаров // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2017. - №47(1). - С. 97-102.

84. Некрасов, А.В. Механика жидкости и газа для архитекторов и строителей. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета. - 2020. – 182с.
85. Никитин, Н.В. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений [Текст] / Н.В. Никитин, Ю.Я. Спиридонов, М.С. Соколов, В.А. Абубикеров, М.С. Раскин // Агрохимия. - 2008. - №11. - С. 51-59.
86. Никитин, Н.В. Противосносная технология внесения гербицидов нового поколения [Текст] / Н.В. Никитин [и др.] // Вестник защиты растений. – 2008. - №3. -С. 47-55.
87. Носников, В.В. Машины и механизмы садово-паркового хозяйства: тексты лекций для студентов специальности 1-75 02 01 «Садово-парковое строительство» [Текст] / В.В. Носников, М.К. Асмоловский // Минск: БГТУ. - 2014. - 156с.
88. Ольгаренко, Г.В., Рязанцев, А.И., Бубенчиков, М.А., Каштанов, В.В., Турапин, С.С., Шлёнов, С.Л. Методические рекомендации по оптимизации параметров и схем расстановок дождеобразующих устройств экологически безопасных и энерговодосберегающих широкозахватных дождевальных машин с поливом в движении по кругу. – Москва. 2008. – 54с.
89. Ольгаренко, Г.В., Турапин, С.С., Липин, В.Д., Шленов, С.Л. Дождеобразующее устройство дождевальной машины. - Патент на изобретение РФ №2417845 А 01 7/00 опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13.
90. Омаров, А.Н. Теоретическое обоснование применения форсунок с щелевым распылением [Текст] / А.Н. Омаров, Е.К. Каиргалиев, А.А. Бакыткалиев // Инновационная техника и технология – 2019. - №1(18). – С. 32-37.
91. Опрыскиватели ОТТ-120 для теплиц. Руководство по эксплуатации. ООО «РЕМКОМ». 16 с. [Электронный ресурс]. URL: https://mct-trade.ru/downloads/pdf/RE_OTT-120_2015.pdf (Дата обращения: 08.02.2025).
92. Павлов, Л.В., Павлов, С.А., Дринча, В.М., Родимцев, С.А. Машины для механизации селекционно-семеноводческих работ в овощеводстве: справочное пособие. - М. - 2005. - С. 95-97.

93. Пажи, Д.Г., Галустов, В.С. Основы техники распыливания жидкостей. - М.: Химия. - 1984. – 205с.
94. Пажи, Д.Г., Галустов, В.С. Распылители жидкостей. - М.: Химия. - 1979. – 253с.
95. Панасюк, В.И. Исследование прогрессивных способов защиты растений для внедрения новейших опрыскивателей [Текст] / В.И. Панасюк // Scientific proceedings II International scientific conference «Conserving soils and water». – 2017. - С. 84-86.
96. Побединская, М.А. Устойчивость возбудителей альтернариоза картофеля и томата к фунгицидам [Текст] / М.А. Побединская [и др.] // Микология и фитопатология. – 2012. - Т.46. - В.6. - С. 401-408.
97. Попов, Ю.В. Защита зерновых культур от болезней должна быть обоснованной [Текст] / Ю.В. Попов // Защита и карантин растений. - 2009. - №7. - С. 42-45.
98. Постановление Правительства от 14 июля 2012 г. № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 13.11.2024 № 1535. Government.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/83508/> (дата обращения: 05.12.2024).
99. ПР 50.1.019-2000. Правила по стандартизации. Основные положения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации в Российской Федерации. ОКС 01.140.30. Дата введения 2001-04-01.
100. Прандтль, Л. Гидро- и аэромеханика: По лекциям проф. Л. Прандтль. Движение жидкостей с трением и технические приложения. 2 т. - Москва; Ленинград: ГТТИ (М.: «Красный пролетарий»). - 1935. – 205с.

101. Ревякин, Е.Л., Краховецкий, Н.Н. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: науч. аналит. обзор. - М.: ФГНУ «Росинформагротех». - 2010. - 124с.
102. Родимцев, С.А. Новые средства малой механизации в сельском хозяйстве [Текст] / С.А. Родимцев, А.А. Шапенкова // В сборнике: Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2017. Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научной конференции. - 2017. - С. 195-202.
103. Родимцев, С.А. Обоснование пределов изменения корневых углов распыла адаптивного распылителя опрыскивателя [Текст] / С.А. Родимцев, И.А. Дембовский // Тракторы и сельхозмашины. - 2024. - Т.91. - №1. - С. 81-90.
104. Родимцев, С.А. Обоснование эргономических характеристик малогабаритного штангового опрыскивателя тачечного типа [Текст] / С.А. Родимцев [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. - 2014. - №12. - С. 17-20.
105. Родимцев, С.А. Оценка и контроль положения тачечного опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости [Текст] / С.А. Родимцев, А.А. Шапенкова // Агротехника и энергообеспечение. - 2015. - №3(7). - С. 233-238.
106. Родимцев, С.А. Разработка организационно-технических мероприятий для улучшения условий труда операторов средств малой механизации селекционно-семеноводческого процесса в растениеводстве [Текст] / С.А. Родимцев, Е.И. Патрин, А.А. Шапенкова // Вестник сельского развития и социальной политики. - 2014. - №1(1). - С. 25-35.
107. Родимцев, С.А., Дембовский, И.А., Родичев, А.Ю., Кулев, А.В., Кулев, М.В., Ломакин Д.О. Регулируемый дефлекторный распылитель. - Патент РФ №224484 МПК А01М7/00 опубл. 27.03.2024, Бюл. № 9.
108. Родимцев, С.А., Дринча, В.М. Механизация химической защиты растений. Полевые опрыскиватели. - Орел: ОрелГАУ.- 2005. - 115с.
109. Родионов, В.П. Гидрокавитационные вибротехнологии в нефтегазовой отрасли. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия. - 2020. – 104с.

110. Ротенберг, Ю.Ю. Высота штанги полевого опрыскивателя [Текст] / Ю.Ю. Ротенберг [и др.] // Защита и карантин растений. - 2011. - №5. - С. 42-43.
111. Рыжко, Н.Ф. Оценка и расчет равномерности полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок [Текст] / Н.Ф. Рыжко, Е.И. Гуркин, Ю.А. Емельянов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - 2009. - №3. - С. 41-45.
112. Рынок зерна [Текст] / Агроновости. - 2024.
113. Рынок химических средств защиты растений в России 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://ag-pl.ru/wp-content/uploads/2021/09/rynok-hszzr-v-rossii-2021.-pokazateli-i-prognozy.-versiya-dlya-sajta.pdf> (дата обращения: 05.12.2024).
114. Савельев, И.В. Курс общей физики. Том 1. Механика, молекулярная физика. - М., Наука. - 1987. – 205с.
115. Савин, И.Ф., Сафонов, П.В. Основы гидравлики и гидропривод. - М.: Высшая школа. - 1978. – 145с.
116. Самсонов, Ю.В., Догода, П.А., Красовский, В.В. Распылитель опрыскивателя. - Патент на полезную модель РФ №156862 А 01 7/00 опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32.
117. Соболев, С.Р., Козлов, И.Б., Романов, Г.В., Степанов, Б.Е., Базегский, Э.П. Форсунка для распыления жидкостей, например удобрений и пестицидов. - Патент на изобретение РФ №2399429 А 01 7/00 опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.
118. Соловьев, Д.А. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» [Текст] / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Аграрный научный журнал. - 2016. - №3. - С. 65-68.
119. СТО АИСТ 6.3-2018 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Показатели назначения и надежности. Общие требования.

120. СТО АИСТ 7.3-2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для транспортирования и внесения жидких удобрений. Методы оценки функциональных показателей (взамен СТО АИСТ 7.3-2004, ОСТ 10 7.3-2001).
121. Сухорученко, Г.И. Методы оценки токсичности пестицидов для членистоногих, применяемых в борьбе с вредителями культур защищенного грунта [Текст] / Г.И. Сухорученко [и др.] // Энтомологическое обозрение. - 2018. - Т.97. - №4. - С. 649-657.
122. Техника для селекции и семеноводства [Электронный ресурс] // URL: <http://www.wintersteiger.ru> (дата обращения: 05.12.2024).
123. Технология внесения средств защиты растений [Электронный ресурс] // URL: <https://ekoniva-tekhnika.com/blog/sredstva-zashchity-rastenij#:~:text=Это%20важно%20для%20экономии%20СЗР,на%20500%20рублей%20с%20гектара> (дата обращения: 10.12.2024).
124. Трибурт, П.М., Пушкарев, Б.В. Распылитель жидкости. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №464338 А 01 7/00 опубл. 25.03.1975, Бюл. № 13.
125. Утков, Ю.А. Мультисистемный универсальный опрыскиватель ОПУ-5А (ОПУ-5У) для промышленных плодовых питомников и ягодных кустарниковых насаждений [Текст] / Ю.А. Утков // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2013. - №2(26). - С. 104-108.
126. Утков, Ю.А. Современный подход к калибровке садовых вентиляторных опрыскивателей [Текст] / Ю.А. Утков, В.В. Бычков, В.М. Дринча // Садоводство и виноградарство. - 2012. - № 4. - С. 40-46.
127. Халанский, В.М., Горбачев, И.В. Сельскохозяйственные машины. – М: КолосС. - 2004. – 186с.
128. Хрусталева, Н.В. Особенности 3D-печати и фотограмметрии: учеб. пособие. - Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ. - 2023. – 200с

129. Церуашвили, Г.Е. Распыливающий насадок. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №417178 А 01 7/00 опубл. 11.07.1974, Бюл. № 32.
130. Цымбал, А.А. Оценка качественных показателей опрыскивателя с электростатической подзарядкой капель [Текст] / А.А. Цымбал, Р.П. Яцков, Г.А. Кочедыков, А.А. Козьмин, В.А. Небавский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003. - №2. - С. 25-27.
131. Ченцов, В.В., Фрумович, В.Л., Лагутин, А.В., Сергеев, Я.Ю. Штанговый опрыскиватель. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №1308307 А 01 7/00 опубл. 05.07.1987, Бюл. № 9.
132. Чиннов, Е.А. Режимы двухфазного течения в микро- и миниканалах (обзор) [Текст] / Е.А. Чиннов, Ф.В. Роньшин, О.А. Кабов // Теплофизика и аэромеханика. - 2015. - Том 22. - №3. - С. 275-297.
133. Чугаев, Р.Р. Гидравлика. - Л.: Энергоиздат. - 1982. - 224с.
134. Швецова, В.В. Современный ручной моторный инструмент для садово-паркового и ландшафтного строительства [Текст] / В.В. Швецова // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2020. - (58). - С. 160-163.
135. Шершабов, И.В. Распылитель. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №1498446 А 01 7/00 опубл. 07.08.1989, Бюл. № 29.
136. Шершабов, И.В. Распылитель. - Авторское свидетельство на изобретение СССР №654296 А 01 7/00 опубл. 30.03.1979, Бюл. № 29.
137. Шивков, И.Н. Выполнение авиационно-химических работ при помощи беспилотной авиационной системы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.wintersteiger.ru> (дата обращения: 05.12.2024).
138. Шмонин, В.А. Совершенствование технологии распыливания пестицидов и удобрений [Текст] / В.А. Шмонин, С.Т. Дричик // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2000. - №5. - С. 34.
139. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Колосс. - 2006. - 655с.

140. Шустрова, М.Л. Исследование влияния начальных условий течения на коэффициент расхода сопел [Текст] / М.Л. Шустрова, А.Д. Байтимиров, И.М. Аминев, А.В. Красавин // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т.17. - №3. - С. 221-223.
141. Analysis of nozzle spray distribution for different nozzle height and pressure. March, 2022 AgricEngInt: CIGR Journal Open access at URL: <http://www.cigrjournal.org> Vol. 24, No.1. (Дата обращения: 08.02.2025).
142. Butts, Tr., Hoffmann, Wc., Luck, Jd. and Kruger, Gr. Droplet velocity from broadcast agricultural nozzles as influenced by pulse-widthmodulation, in Pesticide formulations and delivery systems: innovative application, formulation, and adjuvant technologies. /ed. by Fritz Bk. and Butts Tr./ ASTM International, West Conshohocken, PA, PP. 24–52 (2018).
143. de la Cruz, R.M. Jet impingement on the underside of a superhydrophobic surface / de la Cruz, R.M., Mäkiharju, S.A. // Journal of Fluid Mechanics. – 2022. - 938:A4.
144. Esin, A.I. Mathematical modeling of water conducting belt for circular action sprinkler / A.I. Esin, L.A. Zhuravleva, V.M. Boikov, V.A. Mukhin, F.V. Serebrennikov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. - 2018. - Т.10. - №10 Special Issue. - Pp. 2135-2141.
145. FAO launches 2023 as the UN's International Year of Plant Health. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <https://www.fao.org/news/story/ru/item/1253731/icode/> (Дата обращения: 08.02.2025).
146. Farm and garden machinery. CR Willcocks. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.crwilcocks.co.uk/groundcare/pedestrian-boom-sprayers> (Дата обращения: 08.02.2025).
147. Fu, J., Chen, Ch., Zhao, R., Ren, L. Accurate Variable Control System for Boom Sprayer Based on Auxiliary Antidrift System. Hindawi Journal of Sensors Volume 2020, Article ID 8037046, 8 pages.

148. Ghasemzadeh, H.R., Humburg, D.D. Using variable spray angle fan nozzle on long spray booms // *AgricEngInt.* - 2016. - Vol.18. No.1. - PP. 82-90.
149. Giles, Dk. Pulsed sprays from oversized orifices for increased momentum and kinetic energy in depositing agricultural sprays. *Atomization Spray* 11:701–709 (2001).
150. Junchao, Y. Analysis of Dynamic Behavior of Spray Boom under Step Excitation // *Appl. Sci.* 2021. 11. 10129.
151. Kappaun, R., Agenor, D., de Meira, J. Walber, M. Parameters for modeling passive suspensions of spray bars. - *Engenharia Agrícola.* – Jaboticabal. – 2021. - v.41. - n.3. - PP. 368-378. Edited by SBEA.
152. Kurniawan, B. Design And Workload Analysis Bicycle Powered Mobile Sprayer / Bina Kurniawan // *European Journal of Molecular & Clinical Medicine* – 2020. - V.07. - PP. 4549-4556.
153. Luck, Jd., Pitla, Sk., Shearer, Sa., Mueller, Tg., Dillon, Cr., Fulton, Jp., et al. Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles. - *Comput Electron Agric.* - 70:19–26 (2010).
154. MacGregor-Ramiasa, M.N., Vasilev, K. *Adv. Mater. Interfaces*, 4, 1700381 (2017).
155. Malik, R.K., Pundir, A., Dar, S.R., Singh, S.K., Gopal, R., Shankar, P.R., Singh, N., Jat, M.L. - 2012. - *Sprayers and Spraying Techniques - A manual*, CSISA, IRRI and CIMMYT. 20pp.
156. Market volume of agrochemicals worldwide in 2021, with a forecast for 2032. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/statistics/1254514/global-agrochemical-market-size/> (дата обращения: 06.12.2024).
157. Mohamed, M., Hameed, H., Shaltout, R., El-Salmawy, H. Prediction of the Impact of Nozzle Geometry on Spray Characteristics. *ACS Omega.* – 2021. - №6. – PP. 6218-6230.

158. Munshaw, G.A. No-Math Method of Calibrating Backpack Sprayers and Lawn Care Spray Guns. (2016). Agriculture and Natural Resources Publications.
159. Park, S.H., Suh, H.K., Lee, C.S. Effect of Cavitating Flow on the Flow and Fuel Atomization Characteristics of Biodiesel and Diesel Fuels. *Energy Fuels* 2008. - №22. - PP. 605-613.
160. Rizk, N.K., Lefebvre, A.H. Prediction of velocity coefficient and spray cone angle for simplex swirl atomizers. *International Journal of Turbo and Jet Engines* 4. - №1-2. - (1987). – PP. 65-74.
161. Rodimcev, S.A. Improvement of labor conditions as a factor of agro-industrial complex development under the wto conditions [Текст] / S.A. Rodimtsev, O.V. Timokhin, E.I. Patrin, A.A. Shapenkova, E.V. Kulakova // *Vestnik OrelGAU*. - 2014. - №6(51). - С. 87-95.
162. Shafer, M.R, Bovey, H.L. Applications of Dimensional Analysis to Spray-Nozzle Performance Data. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*. - Vol.52. - №.3. - March 1954. Research Paper 2482.
163. Sprayer: Wheelbarrow. Available Models: 50L, 70L, and 120L. WaterTec. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://mmsprayersusa.com/product/mm-120l-wheelbarrow-sprayers-electric/> (Дата обращения: 08.02.2025).
164. Sprayers. Euro-pulve. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.euro-pulve.com/en/> (Дата обращения: 08.12.2024).
165. Strutt, J.W. Lord Rayleigh // *Phil. Mag.* - 1892. - V. 34, serie 5. - P. 145–154.
166. The powerful wheelbarrow sprayers with 75/130 litres tank volume in 3 versions. Birchmeier. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.birchmeier.nl/nl/content/home.php> (Дата обращения: 08.02.2025).
167. Wu, D., Burton, R., Schoenau, G. An empirical discharge coefficient model for orifice flow // *International Journal of Fluid Power* 3 (2022) No.3 pp. 13-18.

168. Xu, J., Jia, L., Dang, C., Ding, Y., Liu, X., Molec, J. Liquids, 393, 12358 (2024).
169. Yan, J., Xue, X., Cui, L., Ding, S., Gu, W., Le, F. Analysis of dynamic behavior of spray boom under step excitation. Applied Sciences. 2021;11:10129.
170. Zhang, T., Dong, B., Chen, X., Qiu, Zh., Jiang, R., Li, W. Spray characteristics of pressure-swirl nozzles at different nozzle diameters. Applied Thermal Engineering. - Vol. 121. - 5 July 2017. - Pp. 984-991.

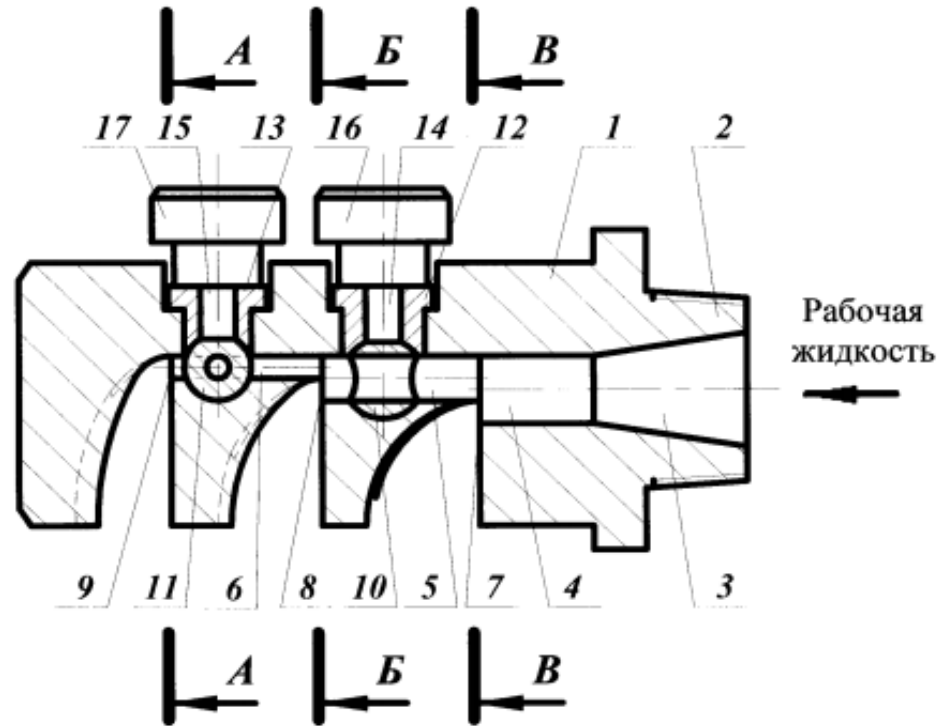
ПРИЛОЖЕНИЯ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ		(19) RU (11) 224 484 (13) U1 (51) МПК A01M 7/00 (2006.01)	RU 224484 U1
(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ (52) СПК A01M 7/00 (2024.01)			
(21)(22) Заявка: 2023134346, 20.12.2023 (24) Дата начала отсчета срока действия патента: 20.12.2023 Дата регистрации: 27.03.2024 Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 20.12.2023 (45) Опубликовано: 27.03.2024 Бюл. № 9 Адрес для переписки: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95, ФГБОУ ВО "ОГУ имени И.С. Тургенева"	(72) Автор(ы): Родимцев Сергей Александрович (RU), Дембовский Илья Андреевич (RU), Родичев Алексей Юрьевич (RU), Кулев Андрей Владимирович (RU), Кулев Максим Владимирович (RU), Ломакин Денис Олегович (RU) (73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева" (ФГБОУ ВО "ОГУ имени И.С. Тургенева") (RU) (56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2757495 C1, 18.10.2021. SU 650589 A1, 05.03.1979. SU 654296 A1, 30.03.1979. CN 206879910 U, 16.01.2018.		
(54) РЕГУЛИРУЕМЫЙ ДЕФЛЕКТОРНЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ (57) Реферат: Полезная модель относится к сельскому хозяйству, в частности к распылителям с регулируемым углом распыла для повышения равномерности внесения жидких средств защиты растений и удобрений при отклонениях от заданного расположения над поверхностью в процессе обработки. Поставленная техническая задача достигается тем, что регулируемый дефлекторный распылитель, содержащий корпус с коническим хвостовиком и входным каналом для подвода рабочей жидкости, переходящим в последовательно выполненные три сопряженные секционные каналы с несовпадающими осями симметрии, каждый из которых имеет проходное сечение меньше преддуглового, и соответствующие выходные отверстия, с одной стороны сопряженные с дефлекторами, а с другой стороны выполненные как входные отверстия секционных каналов, причем распылитель включает поворотные регулирующие клапаны, связанные		поворотными валами с приводами, отличается тем, что дефлекторы оснащены боковыми направляющими буртиками, сходящимися при вершине углом, увеличивающимся для каждого последующего дефлектора, а последующие за первым дефлекторы дополнительно снабжены плавным сходящим к боковой периферии центральным вертикальным ребром с максимальной высотой в зоне нижней части дефлектора и сходом «на ус» в зоне выходного канала, с кривизной продольной линии гребня, повторяющей кривизну образующей дефлектора, и углом в любом поперечном сечении, равном углу схождения направляющих буртиков предшествующего дефлектора, при этом поворотные регулирующие клапаны установлены на последующих за первым секционных выходных каналах, выполнены шаровыми и, соответственно, нормально открытым и нормально закрытым в направлении движения	
Стр. 1			

рабочей жидкости, а приводы выполнены электромагнитными. Технический результат заключается в обеспечении равномерности распределения жидких средств защиты растений

и удобрений на каждом элементарном участке поля, при снижении расхода рабочей жидкости и уменьшении вредного воздействия на окружающую среду.



Фиг. 1

RU 224484 U1

RU 224484 U1

RU 224 484 U1

Полезная модель относится к сельскому хозяйству, в частности к распылителям с регулируемым углом распыла для повышения равномерности внесения жидких средств защиты растений и удобрений при отклонениях от заданного расположения над поверхностью в процессе обработки.

5 Известен распылитель, содержащий корпус с выходным каналом и дефлектор, выполненный в виде набора подвижных пластин с отверстиями и ограничительными буртиками для регулирования угла факела распыла (Авторское свидетельство СССР №650589, МПК A01M 7/00, опубликовано 05.03.1979 г.).

Недостатком данного устройства является необходимость ручной перестановки
10 пластин дефлектора, что не позволяет использовать известный распылитель для автоматического управления геометрией факела распыла.

Наиболее близким к заявленному является дефлекторный распылитель, с регулируемым расходом рабочей жидкости, состоящий из корпуса, входных и выходных каналов, дефлекторов, регулирующих клапанов и электрических шаговых приводов
15 (Патент RU №2757495, МПК A01M 7/00, опубликовано 18.10.2021 г.).

Недостатком такого распылителя является отсутствие монтажной технологичности сборки и низкая эффективность функционирования дисковых поворотных регулирующих клапанов малого диаметра. Кроме того, данное устройство не предназначено для регулирования ширины распыла.

20 Технической задачей полезной модели является повышение равномерности внесения жидких средств защиты растений и удобрений, повышение эффективности технологической операции и уменьшение рисков загрязнения окружающей среды.

Поставленная техническая задача достигается тем, что в регулируемом дефлекторном распылителе, содержащем корпус с коническим хвостовиком и входным каналом для
25 подвода рабочей жидкости, переходящим в последовательно выполненные три сопряженные секционные каналы с несовпадающими осями симметрии, каждый из которых имеет проходное сечение меньше предыдущего, и соответствующие выходные отверстия, с одной стороны сопряженные с дефлекторами, а с другой стороны выполненные как входные отверстия секционных каналов, причем распылитель
30 включает поворотные регулирующие клапаны, связанные поворотными валами с приводами, согласно изобретению, дефлекторы оснащены боковыми направляющими буртиками, сходящимися при вершине углом, увеличивающимся для каждого последующего дефлектора, а последующие за первым дефлекторы дополнительно снабжены плавно сходящим к боковой периферии центральным вертикальным ребром
35 с максимальной высотой в зоне нижней части дефлектора и сходом «на ус» в зоне выходного канала, с кривизной продольной линии гребня, повторяющей кривизну образующей дефлектора, и углом в любом поперечном сечении, равном углу схождения направляющих буртиков предшествующего дефлектора, при этом поворотные регулирующие клапаны установлены на последующих за первым секционных выходных
40 каналах, выполнены шаровыми и, соответственно, нормально открытым и нормально закрытым в направлении движения рабочей жидкости, а приводы выполнены электромагнитными.

Технический результат заключается в обеспечении равномерности распределения жидких средств защиты растений и удобрений на каждом элементарном участке поля,
45 при снижении расхода рабочей жидкости и уменьшении вредного воздействия на окружающую среду.

Полезная модель поясняется чертежами, где на фиг. 1 изображен распылитель в продольном разрезе; на фиг. 2 – то же, сечение А-А на фиг. 1, в зоне отражающего

RU 224 484 U1

дефлектора с максимальным углом секторного распыла (а); сечение Б-Б на фиг. 1, в зоне отражающего дефлектора с номинальным углом секторного распыла (б); сечение В-В, на фиг. 1, в зоне отражающего дефлектора с минимальным углом распыла (в); на фиг. 3 – вид А, на фиг. 2 (а); вид Б, на фиг. 2 (б); вид В, на фиг. 2 (в).

5 Регулируемый дефлекторный распылитель (фиг. 1) содержит корпус 1 с коническим хвостовиком 2 и входным каналом 3 для подвода рабочей жидкости, переходящим в последовательно выполненные сопряженные секционные каналы 4, 5, 6, каждый из которых имеет проходное сечение меньше предыдущего и соответствующие выходные отверстия 7, 8, 9. При этом секционные каналы 5 и 6 снабжены нормально открытым
10 и нормально закрытым 11 шаровыми регулирующими клапанами соответственно уплотненными гайками 12, 13, соединенными поворотными валами 14 и 15 с электромагнитными приводами 16 и 17 соответственно. Дефлекторы 18, 19 и 20 (фиг. 2), оснащены боковыми направляющими буртиками 21, 22 и 23, сходящимися при
15 вершине углом, увеличивающимся для каждого последующего дефлектора, а секторные дефлекторы 19 и 20, кроме того, плавно сходящимися к боковой периферии центральными вертикальными ребрами 24 и 25 (фиг. 3), с максимальной высотой в зоне нижней части дефлектора и сходом «на ус» в зоне выходного канала, с кривизной продольной линии гребня, повторяющей кривизну образующей дефлектора и углом в любом поперечном сечении, равным углу схождения направляющих буртиков предыдущего дефлектора.

20 Регулируемый дефлекторный распылитель работает следующим образом.
В исходном положении распылителя шаровой регулирующей клапан 11 закрыт, а шаровой регулирующей клапан 10 открыт для прохода рабочей жидкости. При этом рабочая жидкость поступает во входной канал 3 и далее – в секционный канал 4 и, выходя через отверстие 7, часть потока поступает на дефлектор 18 и посредством его
25 боковых направляющих буртиков 21 приобретает при диспергировании угол $\alpha_{\min}$ распыла, например, на 1/3 меньший угла $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, установленного картой-заданием на внесение средства защиты или удобрения. Другая часть потока рабочей жидкости поступает в секционный канал 5, откуда через отверстие 8 распределяется на секторный дефлектор 19, где, благодаря направляющим буртикам 22 и центральному ребру 24
30 формируется в секторный факел распыла с внешним углом $\alpha_{\text{ном}}$ при вершине, установленным картой-заданием на обработку и внутренним углом $\gamma_{\min}$ симметричного оси распыла незаполненного сектора, равным углу $\alpha_{\min}$ распыла, сформированного предыдущим дефлектором 18, то есть, например, на 1/3 меньшего угла $\alpha_{\text{ном}}$ распыла,
35 установленного картой-заданием на внесение средства защиты или удобрения.

При уменьшении расстояния от распылителя до обрабатываемой поверхности, фиксируемого установленными на штанге опрыскивателя датчиками расположения (не показано), бортовой компьютер опрыскивателя (не показано) подает управляющий
40 электрический сигнал на электромагнитный привод 17, в результате чего происходит поворот вала 15 на угол 90° , открывая нормально закрытый шаровой клапан 11. При этом часть рабочей жидкости из секционного канала 5 поступает в секционный канал 6, откуда, минуя выходное отверстие 9, распределяется на секторный дефлектор 20, благодаря направляющим буртикам 23 и центральному ребру 25, диспергируется секторным факелом распыла с внешним углом $\alpha_{\text{мах}}$ при вершине, например, на 1/3
45 большим угла $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, установленного картой-заданием на внесение средства защиты или удобрения, и внутренним углом $\gamma_{\text{ном}}$ симметричного оси распыла незаполненного сектора, равным внешнему углу $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, сформированного

RU 224 484 U1

предыдущим дефлектором 19, то есть, углу распыла, установленного картой-заданием на внесение средства защиты или удобрения. Таким образом, ширина полосы внесения средства защиты или удобрения увеличивается, компенсируя уменьшение высоты расположения распылителя над обрабатываемой поверхностью.

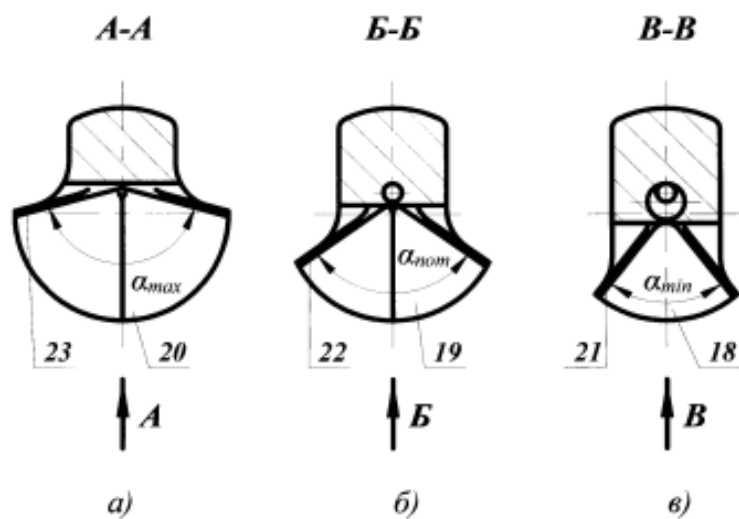
5 При увеличении расстояния от распылителя до обрабатываемой поверхности, фиксируемого датчиками расположения, бортовой компьютер опрыскивателя подает управляющий электрический сигнал на электромагнитный привод 16, в результате чего происходит поворот вала 14 на угол 90° , закрывая нормально открытый шаровой клапан 10. При этом прекращается доступ потока к секторным дефлекторам 19 и 20, а диспергирование рабочей жидкости факелом распыла с углом $\alpha_{\min}$ при вершине, например, на $1/3$ меньшим угла $\alpha_{\text{ном}}$ распыла, установленного картой-заданием на внесение средства защиты или удобрения, реализуется лишь дефлектором 18, оснащённым боковыми направляющими буртиками 21. В этом случае ширина полосы внесения средства защиты или удобрения уменьшается, компенсируя увеличение высоты расположения распылителя над обрабатываемой поверхностью.

15 Применение данного регулируемого дефлекторного распылителя обеспечивает равномерность распределения жидких средств защиты растений и удобрений при отклонениях от заданного расположения над поверхностью в процессе обработки на каждом элементарном участке поля, снижает потери и расход рабочей жидкости, уменьшает вредное воздействие на окружающую среду.

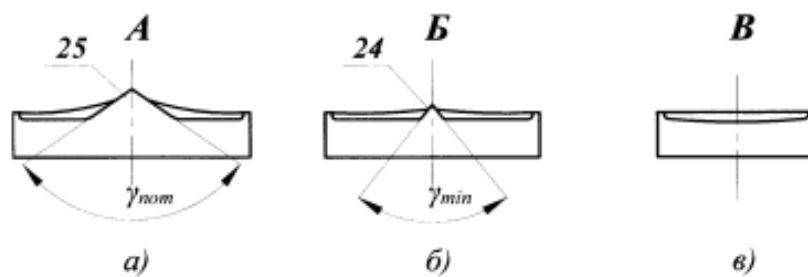
(57) Формула полезной модели

Регулируемый дефлекторный распылитель, содержащий корпус с коническим хвостовиком и входным каналом для подвода рабочей жидкости, переходящим в последовательно выполненные три сопряженных секционных канала с несовпадающими осями симметрии, каждый из которых имеет проходное сечение меньше предыдущего, и соответствующие выходные отверстия, с одной стороны сопряженные с дефлекторами, а с другой стороны выполненные как входные отверстия секционных каналов, причем распылитель включает поворотные регулирующие клапаны, связанные поворотными валами с приводами, отличающийся тем, что дефлекторы оснащены боковыми направляющими буртиками, сходящимися при вершине углом, увеличивающимся для каждого последующего дефлектора, а последующие за первым дефлекторы дополнительно снабжены плавной сходящим к боковой периферии центральным вертикальным ребром с максимальной высотой в зоне нижней части дефлектора и сходом «на ус» в зоне выходного канала, с кривизной продольной линии гребня, повторяющей кривизну образующей дефлектора, и углом в любом поперечном сечении, равном углу схождения направляющих буртиков предшествующего дефлектора, при этом поворотные регулирующие клапаны установлены на последующих за первым секционных выходных каналах, выполнены шаровыми и, соответственно, нормально открытым и нормально закрытым в направлении движения рабочей жидкости, а приводы выполнены электромагнитными.

RU 224 484 U1



Фиг. 2



Фиг. 3

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 224 484 (13) U1
(51) МПК
A01M 7/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК
A01M 7/00 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023134346, 20.12.2023
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.12.2023
Дата регистрации:
27.03.2024
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 20.12.2023
(45) Опубликовано: 27.03.2024 Бюл. № 9
Адрес для переписки:
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95, ФГБОУ
ВО *ОГУ имени И.С. Тургенева*

(72) Автор(ы):
Родимцев Сергей Александрович (RU),
Дембовский Илья Андреевич (RU),
Родичев Алексей Юрьевич (RU),
Кулев Андрей Владимирович (RU),
Кулев Максим Владимирович (RU),
Ломакин Денис Олегович (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования *Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева* (ФГБОУ
ВО *ОГУ имени И.С. Тургенева*) (RU)
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2757495 C1, 18.10.2021. SU 650589
A1, 05.03.1979. SU 654296 A1, 30.03.1979. CN
206879910 U, 16.01.2018.

(54) РЕГУЛИРУЕМЫЙ ДЕФЛЕКТОРНЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ

(57) Формула полезной модели

Регулируемый дефлекторный распылитель, содержащий корпус с коническим хвостовиком и входным каналом для подвода рабочей жидкости, переходящим в последовательно выполненные три сопряженных секционных канала с несовпадающими осями симметрии, каждый из которых имеет проходное сечение меньше предыдущего, и соответствующие выходные отверстия, с одной стороны сопряженные с дефлекторами, а с другой стороны выполненные как входные отверстия секционных каналов, причем распылитель включает поворотные регулирующие клапаны, связанные поворотными валами с приводами, отличающийся тем, что дефлекторы оснащены боковыми направляющими буртиками, сходящимися при вершине углом, увеличивающимся для каждого последующего дефлектора, а последующие за первым дефлекторы дополнительно снабжены плавно сходящим к боковой периферии центральным вертикальным ребром с максимальной высотой в зоне нижней части дефлектора и сходом «на ус» в зоне выходного канала, с кривизной продольной линии гребня, повторяющей кривизну образующей дефлектора, и углом в любом поперечном сечении, равном углу схождения направляющих буртиков предыдущего дефлектора, при

этом поворотные регулирующие клапаны установлены на последующих за первым секционных выходных каналах, выполнены шаровыми и, соответственно, нормально открытым и нормально закрытым в направлении движения рабочей жидкости, а приводы выполнены электромагнитными.

R U 2 2 4 4 8 4 U 1

R U 2 2 4 4 8 4 U 1

Таблица 1. Управляемые факторы и значения их варьирования

Значения	Управляемые факторы					
	Натуральные единицы			Кодированные единицы		
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3
max	0,15	8	3	2	2	2
центр	0,1	0	2	1	1	1
min	0,05	-8	1	0	0	0
Интервалы варьирования	0,05	8	1	-	-	-

Таблица 2. Исходный план факторного эксперимента 3^3 , в кодированных переменных

№ варианта опыта, п/п	Факторы в кодированном виде			Код варианта плана
	x_1	x_2	x_3	
1	2	3	4	5
1	0	0	0	000
2	1	0	0	100
3	2	0	0	200
4	0	1	0	010
5	1	1	0	110
6	2	1	0	210
7	0	2	0	020
8	1	2	0	120
9	2	2	0	220
10	0	0	1	001
11	1	0	1	101
12	2	0	1	201
13	0	1	1	011
14	1	1	1	111

Приложение 2

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
15	2	1	1	211
16	0	2	1	021
17	1	2	1	121
18	2	2	1	221
19	0	0	2	002
20	1	0	2	102
21	2	0	2	202
22	0	1	2	012
23	1	1	2	112
24	2	1	2	212
25	0	2	2	022
26	1	2	2	122
27	2	2	2	222

Таблица 3. Рендомизированный план проведения факторного эксперимента 3³

№ опыта п/п	Код варианта плана	Уровни управляемых факторов в натуральных единицах		
		Давление в гидромагистралах, МПа	Угол установки штанги, град	Тип распыляющего устройства
1	2	3	4	5
1	122	0,1	8	3
2	011	0,05	0	2
3	021	0,05	8	2
4	220	0,15	8	1
5	111	0,1	0	2
6	022	0,05	8	3
7	112	0,1	0	3
8	010	0,05	0	1
9	211	0,15	0	2

1	2	3	4	5
10	202	0,15	-8	3
11	210	0,15	0	1
12	120	0,1	8	1
13	110	0,1	0	1
14	200	0,15	-8	1
15	221	0,15	8	2
16	020	0,05	8	1
17	121	0,1	8	2
18	100	0,1	-8	1
19	101	0,1	-8	2
20	201	0,15	-8	2
21	212	0,15	0	3
22	222	0,15	8	3
23	002	0,05	-8	3
24	102	0,1	-8	3
25	000	0,05	-8	1
26	001	0,05	-8	2
27	012	0,05	0	3

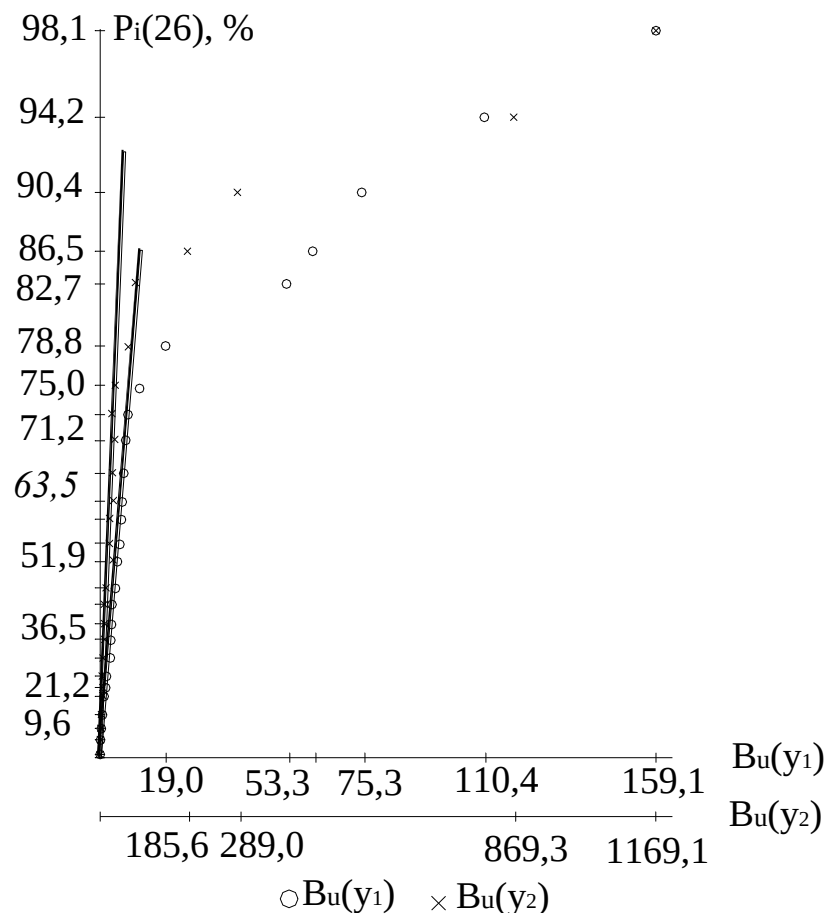


Рисунок 1 – $\frac{1}{2}$ -нормальный график к нахождению значимых эффектов критериев оптимизации y_1 и y_2

Таблица 4. Обработка результатов ПФЭ 3³ алгоритмом Иейтса (коэффициент вариации распределения жидкости (Y_{kv}))

N опы- та	Исход- ные дан- ные y_u	Матрица планиро- вания в кодиро- ванных перемен- ных			Обозначения уровней в плане			Обозначе- ния эффек- тов $x_1^{a1}, x_2^{a2}, x_3^{a3}$	1й шаг расчетов	2й шаг расчетов	3й шаг рас- четов (кон- трасты C_u эффектов взаимодей- ствия)	Делите- ли d_u	Величи- на $V_u = C_u/d_u$	Вели- чина F- критере- рия	$F_{(0,05)}(1;27)$
		x_1	x_2	x_3	a_1	a_2	a_3								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	46,10	-	-	-	0	0	0	1	124,900	340,500	1080,000	27	40,000	17654,00	4,20
2	40,20	0	-	-	1	0	0	x_1	104,800	352,500	-81,500	18	-4,528	150,80	4,20
3	38,60	+	-	-	2	0	0	x_1^2	110,800	387,000	47,100	54	0,872	16,79	4,20
4	40,10	-	0	-	0	1	0	x_2	164,500	-28,000	-180,400	18	-10,022	738,86	4,20
5	34,10	0	0	-	1	1	0	$x_1 x_2$	100,600	-26,100	-4,000	12	-0,333	0,54	4,20
6	30,60	+	0	-	2	1	0	$x_1^2 x_2$	87,400	-27,400	0,200	36	0,006	0,00	4,20
7	43,10	-	+	-	0	2	0	x_2^2	184,800	10,800	144,000	54	2,667	156,92	4,20
8	35,60	0	+	-	1	2	0	$x_1 x_2^2$	106,600	18,900	-0,200	36	-0,006	0,00	4,20
9	32,10	+	+	-	2	2	0	$x_1^2 x_2^2$	95,600	17,400	4,800	108	0,044	0,09	4,20
10	61,90	-	-	0	0	0	1	x_3	-7,500	-14,100	46,500	18	2,583	49,09	4,20
11	51,80	0	-	0	1	0	1	$x_1 x_3$	-9,500	-77,100	0,600	12	0,050	0,01	4,20

Приложение 2

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	50,80	+	-	0	2	0	1	$x_1^2 x_3$	-11,000	-89,200	6,600	36	0,183	0,49	4,20
13	38,00	-	0	0	0	1	1	$x_2 x_3$	-11,100	-3,500	-75,100	12	-6,258	192,07	4,20
14	31,80	0	0	0	1	1	1	$x_1 x_2 x_3$	-7,200	3,300	-0,300	8	-0,037	0,00	4,20
15	30,80	+	0	0	2	1	1	$x_1^2 x_2 x_3$	-7,800	-3,800	5,300	24	0,221	0,48	4,20
16	33,80	-	+	0	0	2	1	$x_2^2 x_3$	-6,600	-0,300	41,100	36	1,142	19,18	4,20
17	27,60	0	+	0	1	2	1	$x_1 x_2^2 x_3$	-10,400	-4,500	3,300	24	0,138	0,19	4,20
18	26,00	+	+	0	2	2	1	$x_1^2 x_2^2 x_3$	-10,400	5,000	-5,100	72	-0,071	0,15	4,20
19	65,40	-	-	+	0	0	2	x_3^2	4,300	26,100	22,500	54	0,417	3,83	4,20
20	60,60	0	-	+	1	0	2	$x_1 x_3^2$	2,500	50,700	-3,200	36	-0,089	0,12	4,20
21	58,80	+	-	+	2	0	2	$x_1^2 x_3^2$	4,000	67,200	-9,600	108	-0,089	0,35	4,20
22	41,80	-	0	+	0	1	2	$x_2 x_3^2$	9,100	0,500	50,900	36	1,414	29,41	4,20
23	33,40	0	0	+	1	1	2	$x_1 x_2 x_3^2$	5,200	-4,500	-13,900	24	-0,579	3,29	4,20
24	31,40	+	0	+	2	1	2	$x_1^2 x_2 x_3^2$	4,600	3,800	13,700	72	0,190	1,07	4,20
25	38,40	-	+	+	0	2	2	$x_2^2 x_3^2$	3,000	3,300	-8,100	108	-0,075	0,25	4,20
26	29,20	0	+	+	1	2	2	$x_1 x_2^2 x_3^2$	6,400	3,300	13,300	72	0,185	1,00	4,20
27	28,00	+	+	+	2	2	2	$x_1^2 x_2^2 x_3^2$	8,000	-1,800	-5,100	216	-0,024	0,05	4,20

Таблица 5. Обработка результатов ПФЭ 3^3 алгоритмом Иейтса (дисперсность распыла (Y_d))

N опы- та	Исход- ные дан- ные y_u	Матрица планиро- вания в кодиро- ванных перемен- ных			Обозначения уровней в плане			Обозначе- ния эффек- тов $x_1^{a1}, x_2^{a2}, x_3^{a3}$	1й шаг расчетов	2й шаг расчетов	3й шаг рас- четов (кон- трасты C_u эффектов взаимодей- ствия)	Делители d_u	Вели- чина $B_u = C_u/d_u$	Вели- чина F- критерия	$F_{(0,05)}(1;27)$
		x_1	x_2	x_3	a_1	a_2	a_3								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,53	-	-	-	0	0	0	1	1,420	3,610	9,630	27	0,357	14490,14	4,20
2	0,49	0	-	-	1	0	0	x_1	1,160	2,690	-0,830	18	-0,046	161,46	4,20
3	0,40	+	-	-	2	0	0	x_1^2	1,030	3,330	0,030	54	0,001	0,07	4,20
4	0,44	-	0	-	0	1	0	x_2	1,060	-0,320	-1,040	18	-0,058	253,50	4,20
5	0,38	0	0	-	1	1	0	$x_1 x_2$	0,850	-0,240	0,050	12	0,004	0,88	4,20
6	0,34	+	0	-	2	1	0	$x_1^2 x_2$	0,780	-0,270	0,190	36	0,005	4,23	4,20
7	0,39	-	+	-	0	2	0	x_2^2	1,310	-0,020	0,360	54	0,007	10,13	4,20
8	0,34	0	+	-	1	2	0	$x_1 x_2^2$	1,080	0,020	-0,050	36	-0,001	0,29	4,20
9	0,30	+	+	-	2	2	0	$x_1^2 x_2^2$	0,940	0,030	-0,150	108	-0,001	0,88	4,20
10	0,39	-	-	0	0	0	1	x_3	-0,130	-0,390	-0,280	18	-0,016	18,38	4,20
11	0,36	0	-	0	1	0	1	$x_1 x_3$	-0,100	-0,280	0,050	12	0,004	0,88	4,20

Приложение 2

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	0,31	+	-	0	2	0	1	$x_1^2 x_3$	-0,090	-0,370	0,050	36	0,001	0,29	4,20
13	0,33	-	0	0	0	1	1	$x_2 x_3$	-0,080	0,040	0,020	12	0,002	0,14	4,20
14	0,27	0	0	0	1	1	1	$x_1 x_2 x_3$	-0,080	0,000	-0,030	8	-0,004	0,47	4,20
15	0,25	+	0	0	2	1	1	$x_1^2 x_2 x_3$	-0,080	0,010	0,050	24	0,002	0,44	4,20
16	0,30	-	+	0	0	2	1	$x_2^2 x_3$	-0,100	0,060	-0,040	36	-0,001	0,19	4,20
17	0,26	0	+	0	1	2	1	$x_1 x_2^2 x_3$	-0,080	0,020	-0,010	24	0,000	0,02	4,20
18	0,22	+	+	0	2	2	1	$x_1^2 x_2^2 x_3$	-0,090	0,110	0,110	72	0,002	0,71	4,20
19	0,48	-	-	+	0	0	2	x_3^2	-0,050	0,130	1,560	54	0,029	190,13	4,20
20	0,45	0	-	+	1	0	2	$x_1 x_3^2$	0,020	0,140	-0,110	36	-0,003	1,42	4,20
21	0,38	+	-	+	2	0	2	$x_1^2 x_3^2$	0,010	0,090	-0,030	108	0,000	0,04	4,20
22	0,40	-	0	+	0	1	2	$x_2 x_3^2$	-0,020	-0,020	-0,200	36	-0,006	4,69	4,20
23	0,36	0	0	+	1	1	2	$x_1 x_2 x_3^2$	0,040	0,000	0,050	24	0,002	0,44	4,20
24	0,32	+	0	+	2	1	2	$x_1^2 x_2 x_3^2$	0,000	-0,030	0,130	72	0,002	0,99	4,20
25	0,37	-	+	+	0	2	2	$x_2^2 x_3^2$	-0,040	-0,080	-0,060	108	-0,001	0,14	4,20
26	0,29	0	+	+	1	2	2	$x_1 x_2^2 x_3^2$	0,000	-0,100	-0,050	72	-0,001	0,15	4,20
27	0,28	+	+	+	2	2	2	$x_1^2 x_2^2 x_3^2$	0,070	0,030	0,150	216	0,001	0,44	4,20

Таблица 6. Натуральные и кодированные величины управляемых факторов x_1 и x_2 ПФЭ 3^3

x_1	Натуральные значения	0,05	0,066	0,085	0,1	0,115	0,134	0,15
	Кодированные значения	-1	-0,67	-0,3	0	0,3	0,67	1
x_2	Натуральные значения	-8	-5,4	-2,6	0	2,6	5,4	8
	Кодированные значения	-1	-0,67	-0,3	0	0,3	0,67	1

Таблица 7. Расчет дисперсии воспроизводимости Y_{kv}

N опыта	Результаты опытов			s_u	K_v	Значимые эффекты.	
	1 повт.	2 повт.	Ср.				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	46,40	45,80	46,10	0,1800	0,9%	1	111,626
2	40,80	39,60	40,20	0,7200	2,1%	x_1	124,688
3	39,80	37,40	38,60	2,8800	4,4%	x_1^2	119,632
4	38,10	42,10	40,10	8,0000	7,1%	x_2	-
5	32,60	35,60	34,10	4,5000	6,2%	x_1x_2	-
6	28,40	32,80	30,60	9,6800	10,2%	$x_1^2x_2$	-
7	43,30	42,90	43,10	0,0800	0,7%	x_2^2	-
8	35,90	35,30	35,60	0,1800	1,2%	$x_1x_2^2$	-
9	33,40	30,80	32,10	3,3800	5,7%	$x_1^2x_2^2$	-
10	63,60	60,20	61,90	5,7800	3,9%	x_3	576,5
11	51,20	52,40	51,80	0,7200	1,6%	x_1x_3	-
12	48,30	53,30	50,80	12,5000	7,0%	$x_1^2x_3$	0,424
13	36,20	39,80	38,00	6,4800	6,7%	x_2x_3	-
14	34,50	29,10	31,80	14,5800	12,0%	$x_1x_2x_3$	-
15	32,00	29,60	30,80	2,8800	5,5%	$x_1^2x_2x_3$	-
16	33,40	34,20	33,80	0,3200	1,7%	$x_2^2x_3$	-
17	27,90	27,30	27,60	0,1800	1,5%	$x_1x_2^2x_3$	-

1	2	3	4	5	6	7	8
18	23,60	28,40	26,00	11,5200	13,1%	$x_1^2 x_2^2 x_3$	-
19	65,70	65,10	65,40	0,1800	0,6%	x_3^2	0,354
20	58,00	63,20	60,60	13,5200	6,1%	$x_1 x_3^2$	-
21	57,80	59,80	58,80	2,0000	2,4%	$x_1^2 x_3^2$	-
22	43,00	40,60	41,80	2,8800	4,1%	$x_2 x_3^2$	-
23	35,70	31,10	33,40	10,5800	9,7%	$x_1 x_2 x_3^2$	-
24	33,10	29,70	31,40	5,7800	7,7%	$x_1^2 x_2 x_3^2$	-
25	40,40	36,40	38,40	8,0000	7,4%	$x_2^2 x_3^2$	-
26	30,60	27,80	29,20	3,9200	6,8%	$x_1 x_2^2 x_3^2$	-
27	28,60	27,40	28,00	0,7200	3,0%	$x_1^2 x_2^2 x_3^2$	-

Сумма:

132,1400

Таблица 8. Расчет дисперсии воспроизводимости Y_d

N опыта	Результаты опытов			s_u	K_v	Значимые эффекты	
	1 повт.	2 повт.	Ср.				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,55	0,51	0,53	0,0008	5,3%	1	1341,626
2	0,48	0,50	0,49	0,0002	2,9%	x_1	5786,7
3	0,38	0,42	0,40	0,0008	7,1%	x_1^2	278,2
4	0,47	0,41	0,44	0,0018	9,6%	x_2	-
5	0,40	0,36	0,38	0,0008	7,4%	$x_1 x_2$	-
6	0,33	0,35	0,34	0,0002	4,2%	$x_1^2 x_2$	-
7	0,37	0,41	0,39	0,0008	7,3%	x_2^2	-
8	0,36	0,32	0,34	0,0008	8,3%	$x_1 x_2^2$	-
9	0,31	0,29	0,30	0,0002	4,7%	$x_1^2 x_2^2$	-
10	0,40	0,38	0,39	0,0002	3,6%	x_3	13,133
11	0,37	0,35	0,36	0,0002	3,9%	$x_1 x_3$	-
12	0,31	0,31	0,31	0,0000	0,0%	$x_1^2 x_3$	0,391
13	0,34	0,32	0,33	0,0002	4,3%	$x_2 x_3$	-

Приложение 2

Продолжение табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8
14	0,25	0,29	0,27	0,0008	10,5%	$x_1x_2x_3$	-
15	0,24	0,26	0,25	0,0002	5,7%	$x_1^2x_2x_3$	-
16	0,31	0,29	0,30	0,0002	4,7%	$x_2^2x_3$	-
17	0,27	0,25	0,26	0,0002	5,4%	$x_1x_2^2x_3$	-
18	0,23	0,21	0,22	0,0002	6,4%	$x_1^2x_2^2x_3$	-
19	0,50	0,46	0,48	0,0008	5,9%	x_3^2	0,354
20	0,46	0,44	0,45	0,0002	3,1%	$x_1x_3^2$	-
21	0,37	0,39	0,38	0,0002	3,7%	$x_1^2x_3^2$	-
22	0,38	0,42	0,40	0,0008	7,1%	$x_2x_3^2$	-
23	0,34	0,38	0,36	0,0008	7,9%	$x_1x_2x_3^2$	-
24	0,31	0,33	0,32	0,0002	4,4%	$x_1^2x_2x_3^2$	-
25	0,39	0,35	0,37	0,0008	7,6%	$x_2^2x_3^2$	-
26	0,30	0,28	0,29	0,0002	4,9%	$x_1x_2^2x_3^2$	-
27	0,29	0,27	0,28	0,0002	5,1%	$x_1^2x_2^2x_3^2$	-

Сумма:

0,0128



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный исследова-
тельский центр «Немчиновка»
(ФИЦ «Немчиновка»)
ИНН 5032026138 ОГРН 1025004063061
ул. Агрохимиков, 6, рп. Новонивановское,
г. Одинцово, Московская обл., 143026
(495) 280-65-00
E-mail: mosniish@yandex.ru,
ficnemchinovka@yandex.ru
www.ficnemchinovka.ru



№ _____

АКТ

о рекомендации к внедрению полезной модели
по Патенту РФ №224484 RU МПК А01М7/00
“РЕГУЛИРУЕМЫЙ ДЕФЛЕКТОРНЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ”

Комиссия в составе председателя – заместителя директора по научной работе ФГБНУ “Федеральный исследовательский центр “Немчиновка” Лаптиной Ю.А. и членов комиссии – руководителя центра по земледелию Штырхунова В.Д., ученого секретаря Морозовой Н.В. составила настоящий акт в том, что одноопорный штанговый опрыскиватель, оборудованный комплектом регулируемых дефлекторных распылителей по Патенту РФ № 224484, после соответствующей доработки, может быть рекомендован к внедрению для использования на опытных участках ФГБНУ “Федеральный исследовательский центр “Немчиновка”.

Адаптивная распределяющая система опрыскивателя, основанная на применении регулируемых дефлекторных распылителей позволит улучшить качество работы опрыскивателя, повысить эффективность технологического процесса внесения средств защиты растений и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Годовой экономический эффект от внедрения в опытное производство одноопорного опрыскивателя, оборудованного регулируемыми дефлекторными распылителями может составить до 21380 рублей в ценах 2024 года.

Председатель комиссии:

Ю.А. Лаптина

Члены комиссии:

В.Д. Штырхунов

Н.В. Морозова



Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации

федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Всероссийский
научно-исследовательский
институт защиты растений»
(ФГБНУ «ВНИИЗР»)

396030 Воронежская обл.,
Раменский р-н, п. ВНИИСС, 92
тел. (47340) 5-32-95, факс (47340) 5-33-03
e-mail: vniizr_direktor@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБНУ «ВНИИЗР»



В.А. Гулевский

05.05.2025 г.

АКТ

об использовании в производстве результатов диссертационной работы
И.А. Дембовского «Разработка и оптимизация адаптивной распределяющей
системы одноопорного штангового опрыскивателя»

Экспертная комиссия ФГБНУ «ВНИИЗР» в составе:
председателя - Колесниковой М.В., и. о. заместителя директора по научной
работе ФГБНУ «ВНИИЗР»;
членов комиссии –
Савушкина С.Н., к.т.н., ведущего научного сотрудника лаборатории
механизации защиты растений,
Тарабрина Д.С., к.т.н., старшего научного сотрудника лаборатории
механизации защиты растений

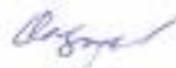
рассмотрела практические результаты, полученные в рамках выполнения
диссертационного исследования Дембовского И.А. «Разработка и
оптимизация адаптивной распределяющей системы одноопорного штангового
опрыскивателя» и установила следующее:

1. Оснащенная управляемыми распылителями система распределения
рабочей жидкости штангового опрыскивателя, позволяющая компенсировать
равномерность распыла, при рабочих колебаниях штанги в поперечно-
вертикальной плоскости, способна повысить эффективность технологической
операции, сократить непроизводительные затраты и снизить экологическую
нагрузку.

2. Экономический эффект достигается за счет повышения урожайности
культур и сокращения потерь препарата.

3. При соответствующей доработке предлагаемая адаптивная распределяющая система штангового опрыскивателя может быть рекомендована для использования, как в опытной работе, так и в основном производстве АПК.

Председатель комиссии:  М.В. Колесникова

Член комиссии:  С.Н. Савушкин

Член комиссии:  Д.С. Тарабрин

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)



федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования

«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.В. ПАРАХИНА»
(ФГБОУ ВО Орловский ГАУ)

ул. Генерала Редина, 69, г. Орел.

Орловская область, 300019

тел. (4862) 76-15-17, 76-41-01, 76-34-64

факс: 76-41-01

E-mail: rector@orlovskiygau.ru; office@orlovskiygau.ru

ОКПО-05013607 ОГРН 1025700824698

ИНН/КПП 5753000457/575301001

22.04.2025 № 01-1465

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Ректор В.Н. Масалов
« » _____ 2025 г.

АКТ

об использовании полезной модели по Патенту РФ №224484 RU

МПК A01M7/00

“РЕГУЛИРУЕМЫЙ ДЕФЛЕКТОРНЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ”

Комиссия в составе председателя – проректора по цифровизации, научной и инновационной деятельности ФГБОУ ВО Орловский ГАУ Березиной Н.А. и членов комиссии – декана факультета Агротехники и энергообеспечения ФГБОУ ВО Орловский ГАУ Головина С.И., и.о. директора Института прикладной экспериментальной ветеринарии и агробиотехнологий Химичевой С.Н., профессора кафедры Биотехнологии и химии имени профессора Н.Е. Павловской Горьковой И.В., составила настоящий акт в том, что в период с 2021 по 2023гг. на опытном поле ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, при обработке опытных посевов в рамках выполняемых по заказу Минсельхоза России НИОКТР регистрационных №№ АААА-А20-120021190096-3, от 11.02.2020 г.; 121091400023-3 от 14.09.2021 г. исполь-

зовался одноопорный штанговый опрыскиватель, оборудованный комплектом регулируемых дефлекторных распылителей по Патенту РФ № 224484.

Использование адаптивной распределяющей системы опрыскивателя, основанной на применении регулируемых дефлекторных распылителей позволяет улучшить качество работы опрыскивателя, повысить эффективность технологического процесса и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Годовой экономический эффект от внедрения в опытное производство одноопорного опрыскивателя, оборудованного регулируемыми дефлекторными распылителями может составить до 21380 рублей в ценах 2024 года.

Председатель комиссии:

Н.А. Березина

Члены комиссии:

С.И. Головин

С.Н. Химичева

И.В. Горькова

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»**

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА

21 февраля 2025 г.

г. Орел

№ 2

Председатель – О.В. Ефдокимова Секретарь - О.В. Сидоренко

Присутствовали: 14 членов методического совета: Ефдокимова О.В., Сидоренко О.В., Верховен И.А., Грибанова Н.Л., Головин С.И., Гришасева О.Ю., Ишханова Е.В., Лебедев П.Г., Мысешин И.С., Самонаева Е.П., Сергеева Н.Н., Паршуткина И.Г., Прудникова Е.Г., Химичева С.Н.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

5.1. Утверждение учебных и учебно-методических пособий.

СЛУШАЛИ: представление на рассмотрение и утверждение Методическое пособие «Одноопорный штанговый мотоопрыскиватель для объектов садово-паркового и ландшафтного строительства» для учащихся специальности 35.02.12 Садово-парковое и ландшафтное строительство, подготовленное Дембовским И.А.

ПОСТАНОВИЛИ: Утвердить Методическое пособие «Одноопорный штанговый мотоопрыскиватель для объектов садово-паркового и ландшафтного строительства» для учащихся специальности 35.02.12 Садово-парковое и ландшафтное строительство, подготовленное Дембовским И.А.

Председатель
методического совета

Секретарь
методического совета

Верно
Секретарь
методического совета

Дата



