

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
имени В.М. Кокова»

На правах рукописи



Мишхожев Кантемир Владиславович

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГЕРБИЦИДНОЙ УСТАНОВКИ С
ПНЕВМОАКУСТИЧЕСКИМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ ДЛЯ УХОДА ЗА
ПЛОДОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В ТЕРРАСНОМ САДОВОДСТВЕ**

Специальность: 4.3.1 –
Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса
(технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор Ю.А. Шекихачев

Нальчик – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА УХОДА ЗА ПЛОДОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В ТЕРРАСНОМ САДОВОДСТВЕ.....	11
1.1 Современное состояние и тенденции устойчивого развития садоводства в Российской Федерации и Кабардино-Балкарской республике.	11
1.2 Анализ методов борьбы с сорной растительностью в приствольных полосах плодовых насаждений.....	16
1.3 Структурно-функциональный анализ и классификация машин для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений.....	22
1.3.1 Классификация машин для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений.....	24
1.4 Типы распылителей, используемых на гербицидных установках.....	28
1.5 Обзор научных исследований процессов работы устройств для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений.....	35
1.6 Выводы. Цель и задачи исследования.....	40
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЕРБИЦИДНОЙ УСТАНОВКИ.....	45
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы гербицидной установки	45
2.2 Математическое описание и компьютерное моделирование мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве для его внесения в приствольные полосы плодовых насаждений.	54
2.2.1 Монодисперсное дробление жидкости резонатором пневмоакустического распылителя.....	54
2.2.2 Математическое описание мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве.....	59

2.2.3 Разработка компьютерной модели мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве в ПО Comsol Multiphysics.....	64
2.3 Геометрические и кинематические параметры защитного фартука при обходе штамба дерева.....	80
2.4 Выводы	82
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	84
3.1 Программа, методика экспериментальных исследований, описание экспериментальной установки и измерительная аппаратура.....	84
3.2 Результаты исследований дисперсности распада капель рабочей жидкости пневмоакустического распылителя	100
3.3 Исследование видового состава сорных растений в приштамбовой зоне плодовых насаждений.....	100
3.4 Оптимальные параметры и режимы работы гербицидной установки, обеспечивающие максимальную степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений.....	104
3.5 Результаты производственных испытаний гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений.....	110
3.5 Выводы.....	112
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕРБИЦИДНОЙ УСТАНОВКИ.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	144

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Борьба с сорной растительностью в приствольных полосах плодовых насаждений является одной из основных проблем в террасном садоводстве. Данный технологический процесс осложняется тем, что подход к линии ряда плодовых насаждений имеется только со стороны полотна террасы, другая же сторона ограничивается откосом террасы. В связи с этим применение косилочных устройств позволяет обрабатывать только одну сторону приствольных полос, другую сторону обрабатывают вручную с использованием бензиновых триммеров, что приводит к большим затратам труда и денежных средств.

В настоящее время рынок сельскохозяйственной техники предлагает сельскохозяйственным производителям большой типаж отечественных и зарубежных гербицидных установок, имеющие различные конструктивно-технологические отличия. Однако опыт использования гербицидных установок в равнинном интенсивном садоводстве показал, что эффективность их работы обеспечивается при двух кратном проходе вдоль линии ряда, что невозможно обеспечить в условиях террасного садоводства. Кроме этого современные гербицидные установки имеют ряд недостатков: используемые распылители имеют грубый и неоднородный распыл рабочей жидкости, что приводит к большому расходу дорогостоящего препарата и рабочей жидкости, отсутствует возможность оперативного регулирования высоты установки и ширины захвата рабочего органа из кабины трактора при различных параметрах колеи и ширины междурядий сада, затруднен перевод рабочего органа из транспортного положения в рабочее положение.

В связи с этим возникает необходимость разработки принципиально новой конструктивно-технологической схемы гербицидной установки, позволяющая обрабатывать приствольные полосы плодовых насаждений на террасированных склонах при однократном проходе вдоль линии ряда, обеспечивающая

однородность дисперсности распыла капель рабочей жидкости и их равномерное распределение на листовой поверхности сорных растений.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ «Разработка инновационных технологий и технических средств по уходу за плодовыми насаждениями в горном и предгорном садоводстве», научно-исследовательской работы по теме «Разработка технологии и технических решений по уходу за кроной плодовых насаждений в садах на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики, обеспечивающих получение экологически чистой продукции» (ЕГИСУ НИОКТР № 225032413902-3).

Степень разработанности темы. Изучению опрыскивания растений при их защите от сорняков, вредителей и болезней посвящены труды ученых: В. А. Абубикерова, И. Б. Борисенко, В. Г. Бросалина, И. Н. Велецкого, В. С. Григорьева, А. И. Завражнова, М. В. Данилова, П. А. Догоды, В. Ф. Дунского, И. М. Киреева, З. М. Коваль, К.А. Манаенкова, М.В. Мезниковой, Н. В. Никитина, Э. Ш. Османова, Ю. А. Уткова, В. В. Цыбулевского, А. А. Цымбала и др.

Несмотря на большое количество исследований процесса нанесения гербицида на листовую поверхность сорных растений щелевыми распылителями, недостаточное внимание уделено пневмоакустическому распылителю, обеспечивающему однородность дисперсности распыла капель рабочей жидкости и их равномерное распределение на листовой поверхности сорных растений.

Рабочая гипотеза – обеспечение однородности дисперсности распыла капель рабочей жидкости и их равномерное распределение на листовой поверхности сорных растений может быть достигнуто путем определения оптимальных параметров и режимов работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода за плодовыми насаждениями в террасном садоводстве.

Цель работы – обоснование параметров и режимов работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода плодовыми насаждениями в террасном садоводстве, обеспечивающих однородность дисперсности распыла капель рабочей жидкости и их равномерное распределение

на листовой поверхности сорных растений при однократном проходе установки вдоль линии ряда плодовых насаждений.

Объект исследования – технологический процесс внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений пневмоакустическим распылителем.

Предмет исследования – закономерности, связывающие параметры и режимы работы пневмоакустического распылителя гербицидной установки с показателями дисперсности распыла капель рабочей жидкости и равномерности их распределения на листовой поверхности сорных растений.

Задачи исследования.

1. Разработать новую конструктивно-технологическую схему гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода за плодовыми насаждениями в террасном садоводстве.

2. Разработать математическую модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве, уравнения транспорта дисперсной фазы внутри распылительного устройства, для их реализации в программном комплексе Comsol Multiphysics, позволяющие описать процессы движения газа и капель раствора гербицидов, как единый поток их смеси.

3. Провести компьютерное моделирование процесса распыления рабочей жидкости пневмоакустическим распылителем и установить рациональные конструктивно-технологические параметры и режимы работы установки.

4. Оптимизировать основные параметры и режимы работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем по критериям однородности дисперсности распыла капель рабочей жидкости и равномерности их распределения на листовой поверхности сорных растений.

5. Разработать опытный образец гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем и провести его полевые испытания.

6. Оценить экономическую эффективность использования предлагаемой гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве на базе уравнений Навье-Стокса, $k - \varepsilon$ модели турбулентного потока, а также уравнения транспорта дисперсной фазы внутри распылительного устройства, позволяющая описать процессы движения газа и капель раствора гербицидов, как единый поток их смеси;

- компьютерная модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве в ПО Comsol Multiphysics, которая включает в себя начальные и граничные условия и учитывающая плотность и вязкость смеси газа и капель гербицидного раствора, аналитически рассчитанную его скорость на входе в сопло;

- математические модели в виде уравнений регрессии, позволяющие установить оптимальные параметры и режимы работы гербицидной установки;

- зависимости качественных показателей дисперсности распыла капель рабочей жидкости и равномерности их распределения на листовой поверхности сорных растений от конструктивных параметров и режимов гербицидной установки.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость работы представляют: математические модели, описывающие процесс работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода за плодовыми насаждениями в террасном садоводстве, позволяющие обосновать основные конструктивно-технологические параметры предлагаемой установки.

Практическую значимость работы представляют: конструктивно-технологическая схема гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем жидкости, позволяющая разработать техническое решение конструкции гербицидной установки, обеспечивающей качественную обработку приствольной полосы плодовых насаждений за один проход в интенсивном террасном садоводстве; опытный образец гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем жидкости, позволяющий осуществлять уход за плодовыми насаждениями в интенсивном террасном садоводстве за один

проход вдоль линии ряда при обеспечении однородности дисперсности распыла каплей рабочей жидкости и их равномерном распределении на листовой поверхности сорных растений; соотношение между параметрами и режимами работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем с показателями однородности дисперсности распыла каплей рабочей жидкости и равномерности их распределения на листовой поверхности сорных, обеспечивающее качественную обработку приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах.

Техническая новизна предложенного конструктивного решения подтверждена патентом РФ № 210870 на полезную модель.

Методы исследований. Теоретические исследования проведены с использованием основных положений высшей математики и теоретической механики, метода конечных элементов с использованием современного ПО Comsol Multiphysics. Экспериментальные исследования проведены с использованием теории планирования многофакторного эксперимента. Опыты проведены в лабораторных условиях с использованием апробированных методик. Опытные данные обрабатывались с использованием пакета программ MathCad 7 и Microsoft Excel 2010.

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода плодовыми насаждениями в террасном садоводстве;
- математические модели, описывающие процесс работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода плодовыми насаждениями, позволяющие обосновать основные конструктивно-технологические параметры установки;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров и режимов работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем;

- зависимости качественных показателей дисперсности распыла капель рабочей жидкости и равномерности их распределения на листовой поверхности сорных растений от конструктивных параметров и режимов работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований приняты ООО «Племсовхоз «Кенже» и АНО «Объединение садоводства, огородничества и сельского хозяйства «Агроном» для практического применения.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов научного исследования подтверждается: методами компьютерного моделирования в ПО Comsol Multiphysics 6.1; обработкой экспериментальных данных с помощью ПО STATISTICA, использованием современной измерительной аппаратуры. Полученные результаты согласуются с опубликованными данными по теме диссертаций М.В. Мезниковой, Э.Ш. Османова, В.В. Цыбулевского; идея базируется на обобщении передового опыта Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ). Установлено качественное и количественное совпадение теоретических и экспериментальных данных с результатами, представленными в независимых источниках.

Основные положения работы доложены и обсуждены на: II и III Всероссийских (национальных) научно-практических конференциях (НПК) «Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты» (г. Нальчик, 2022, 2023 гг.); II и III Международных НПК «Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия» (г. Нальчик, 2022, 2023 гг.); Всероссийской (национальной) НПК «Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства» (г. Нальчик, 2022, 2023 гг.); Международной научной конференции молодых ученых и специалистов (г. Москва, 2023 г.); VIII и X Международных НПК «Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность» (г. Нальчик, 2022, 2024 гг.);

III Международной НПК «Энергосбережение и энергоэффективность: актуальные вопросы, достижения и инновации» (г. Нальчик, 2024 г.).

Разработанная гербицидная установка удостоена: диплома и бронзовой медали Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (г. Москва, 2023 г.); диплома Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых аграрных образовательных и научных организации России (г. Уфа, 2024 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы 16 научных работах: 3 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК при Минобрнауки России; 1 патент РФ на полезную модель; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; 11 статей в прочих изданиях. Общий объем опубликованных работ составил 5,68 п.л., из них личный вклад автора 4,55 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит: введение, четыре раздела, заключение, список использованных источников и приложения. Работа изложена на 150 страницах, включая 83 рисунка, 9 таблиц и 6 приложений. Список использованных источников включает 166 наименований, в том числе 6 на иностранном языке.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА УХОДА ЗА ПЛОДОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В ТЕРРАСНОМ САДОВОДСТВЕ

1.1 Современное состояние и тенденции устойчивого развития садоводства в Российской Федерации и Кабардино-Балкарской Республике

Президентом и Правительством Российской Федерации уделяется большое внимание развитию садоводства, которое осуществляется за счет инвестиционной и кредитной поддержки [3, 32, 40, 57, 72, 95, 96, 109, 121, 126, 130, 145].

Основными показателями экономического развития отрасли садоводства являются динамика площадей садов и объемы производства продукции [69, 76, 77, 78] (рисунок 1.1).

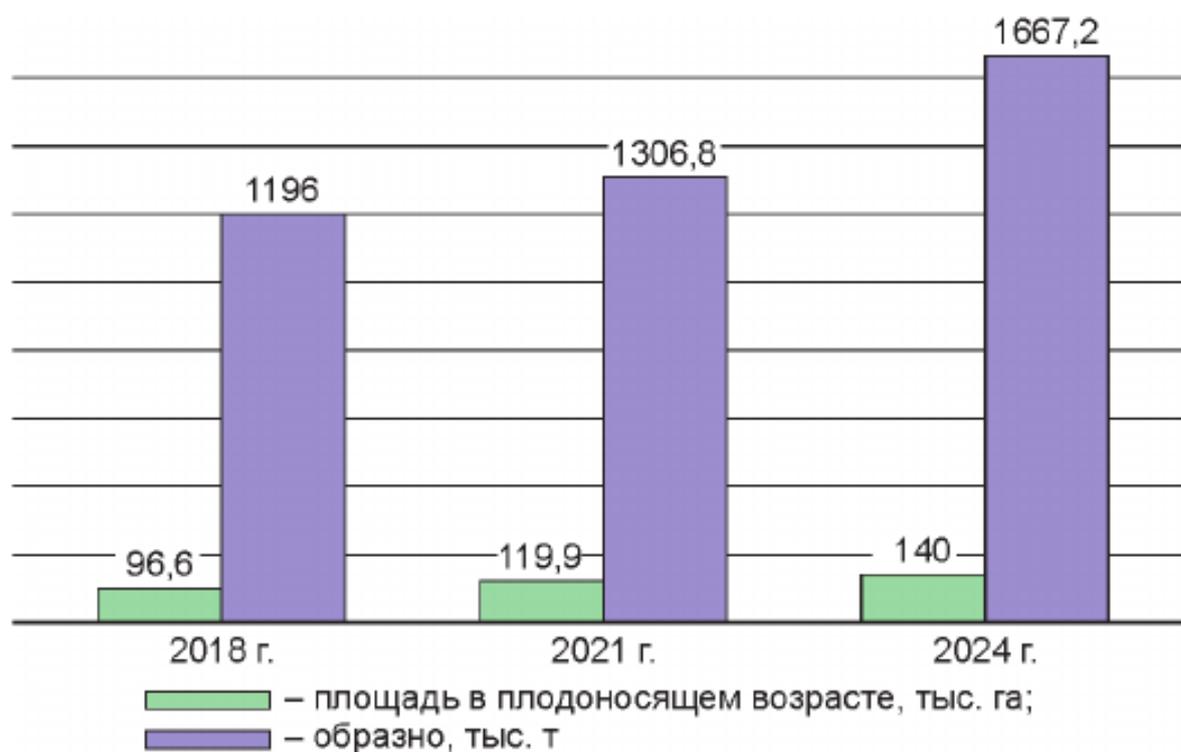


Рисунок 1.1 – Прогноз увеличения площади садов в плодоносящем возрасте и производства плодов и ягод в СХО, К(Ф)Х и ИП до 2024 г. [69]

Наибольший вклад в производство продукции (более 70%) вносят Южный, Северо-Кавказский и Центральный федеральные округа [52].

Инвестиции в современное садоводство всегда были и остаются беспроигрышными вложениями в аграрный сектор экономики. Самообеспеченность Кабардино-Балкарии по плодам и ягодам с учетом урожая 2023 г. составляет 429%. По итогам предыдущего сезона объемы сбора продукции садоводства в Кабардино-Балкарии составила 785,9 тыс. т (рост на 19,5%), что является рекордным для садоводов республики. Вместе с тем, значительно возросла и средняя урожайность с каждого гектара – с 139,3 ц в 2015 г. до 303 ц в 2023 г. Кроме того, доля Кабардино-Балкарии в валовом сборе плодов и ягод в организованном секторе в целом по стране составила 29,4%. Республика входит в первую тройку субъектов России по урожаю плодов [28].

Площади многолетних плодово-ягодных насаждений в республике составляют более 27 тыс. га, из них интенсивные и суперинтенсивные сады занимают 23 тыс. га (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Суперинтенсивные сады Кабардино-Балкарии

Садоводы республики продолжают наращивать площади многолетних насаждений. В Кабардино-Балкарии завершили весенние работы по закладке садов. Посажено порядка 1000 га новых плодово-ягодных плантаций. В том числе питомники заложены на площади свыше 150 га.

В рамках импортозамещения Кабардино-Балкария сможет поставить в субъекты России более 600 тыс. т различных плодов и ягод.

В производстве импортозамещающей продукции аграрии республики со времен продовольственного эмбарго занимают свою нишу и продолжают расширять свое присутствие в этом сегменте.

Весомую роль в этом процессе играет и строительство современных плодохранилищ. В настоящее время мощность плодохранилищ республики составляет почти 298,5 тыс. т. Пока этих объемов недостаточно, но продолжается работа в этом направлении [36].

Плодохранилища вводят с учетом ежегодного увеличения валового сбора плодово-ягодной продукции. К концу нынешнего года в Кабардино-Балкарии планируют запустить пять плодохранилищ мощностью 25,7 тыс. т единовременного хранения продукции.

Импортозамещение проявляется и в других сегментах, обеспечивающих потребности Кабардино-Балкарских садоводов. Успешное развитие садоводства специалисты во многом связывают с ежегодным снижением зависимости республики от импортного посадочного материала. Если раньше саженцы закупали исключительно за рубежом, то теперь республика вышла на уровень не только полного самообеспечения, но и внутреннего экспорта.

В республике функционирует 15 сертифицированных хозяйств по выращиванию посадочного материала. В прошлом году они произвели 4,5 млн. шт саженцев, 1 млн. из которых был отправлен за пределы Кабардино-Балкарии. При этом весь посадочный материал был сертифицирован [28].

В Кабардино-Балкарии налажено собственное производство высококачественного посадочного материала. Благодаря этому, затраты на закладку многолетних насаждений значительно уменьшаются и, что самое

главное в сегодняшних экономических условиях – это снижает зависимость садоводов республики от импортных поставок. Потребность республики в посадочном материале составляет в среднем 3,5 миллиона саженцев, которые полностью перекрывают потребности производителей плодовой продукции за счет собственного производства. Кроме того, саженцы, выращенные в Кабардино-Балкарии, успешно используются в качестве посадочного материала в ряде субъектов России. В 2025 г. производство саженцев планируется довести до пяти миллионов штук [28, 44].

Инновационное садоводство для Кабардино-Балкарской Республики – это экономически и социально оправданный эффективный сегмент аграрного сектора экономики региона. Он ориентирован на обеспечение не только высокой рентабельности инвестиций, но и занятости населения на селе.

Производственный рост и успешное развитие садоводства в Кабардино-Балкарии неизменно связано с весомой государственной поддержкой. Развитие инновационного садоводства в республике финансируется как из федерального, так и регионального бюджетов.

Благодаря мерам господдержки, современное садоводство стало для инвесторов наиболее привлекательным направлением агропромышленного комплекса Кабардино-Балкарии.

При нынешнем ежегодном дефиците в масштабах России порядка в 2 млн. т плодов, Кабардино-Балкария уже занимает значительную часть ниши на отечественном рынке. В отличие от ряда других направлений в сфере агропромышленного производства садоводства в Кабардино-Балкарии стало своего рода драйвером экономического роста и визитной карточкой республики.

Для закрытия проблемы импортозамещения по плодам в России нужно было заложить в общей сложности порядка 60 тысяч гектаров новых садов. На сегодняшний день только в одной Кабардино-Балкарии уже заложено порядка 27 тыс. га. После вступления этих садов в полное плодоношение, республика будет в состоянии поставить на отечественный рынок около миллиона тонн плодов и тем

самым закрывает значительную часть импорта в Россию и обеспечит население страны по-настоящему качественной и здоровой плодовой продукцией [28].

В Кабардино-Балкарии возможности для дальнейшего расширения площадей под садами крайне ограничены [6, 7].

В настоящее время в Кабардино-Балкарии методом террасирования освоено свыше 3 тыс. га склоновых земель.

Изучению террасирования посвящены работы А.П. Драгавцева, П.Г. Лучкова, Е.Г. Раузиан, Ж.Х. Бакуев, Х.Ж. Балкарова, Л.А. Шомахова и др. [10, 11, 12, 14, 51, 81, 82, 83, 84, 129].

На начальном этапе освоения склонов в основном высаживали сады на сильнорослых и среднерослых подвоях (рисунок 1.3) [81, 82, 83, 84, 97].



Рисунок 1.3 – Плодоносящий сад в ООО «Племенной совхоз Кенже»

В настоящее время распространены интенсивные и суперинтенсивные сады [11, 18, 81, 82, 83, 84] (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Интенсивные шпалерно-карликовые сады

Высокоинтенсивных насаждения располагаются в основном на пологих (до $5-6^{\circ}$) и равнинных участках [11, 18]. При крутизне склона $8-12^{\circ}$ высаживаются насаждения на средне- и полукарликовых подвоях [81, 82, 83, 84], в основном, на насыпной части полотна (рисунок 1.5).

Борьба с сорной растительностью является одной из основных проблем в садоводстве на склонах. Она выполняется зачастую вручную (рисунок 1.6, а), что затягивает агротехнические сроки (рисунок 1.6, б).

1.2 Анализ методов борьбы с сорной растительностью в приствольных полосах плодовых насаждений

Основные методы борьбы с сорной растительностью: агротехнические, физические, механические, химические и др. [2, 3, 13, 19, 31, 33, 37, 48, 63, 64, 65, 66, 80, 99, 110, 133, 144, 146, 156] (рисунок 1.7).



Рисунок 1.5 – Размещение деревьев на насыпной части полотна



а)



б)

а) приствольная полоса, обработанная скашиванием вручную; б) необработанная приствольная полоса

Рисунок 1.6 – Общий вид террасы

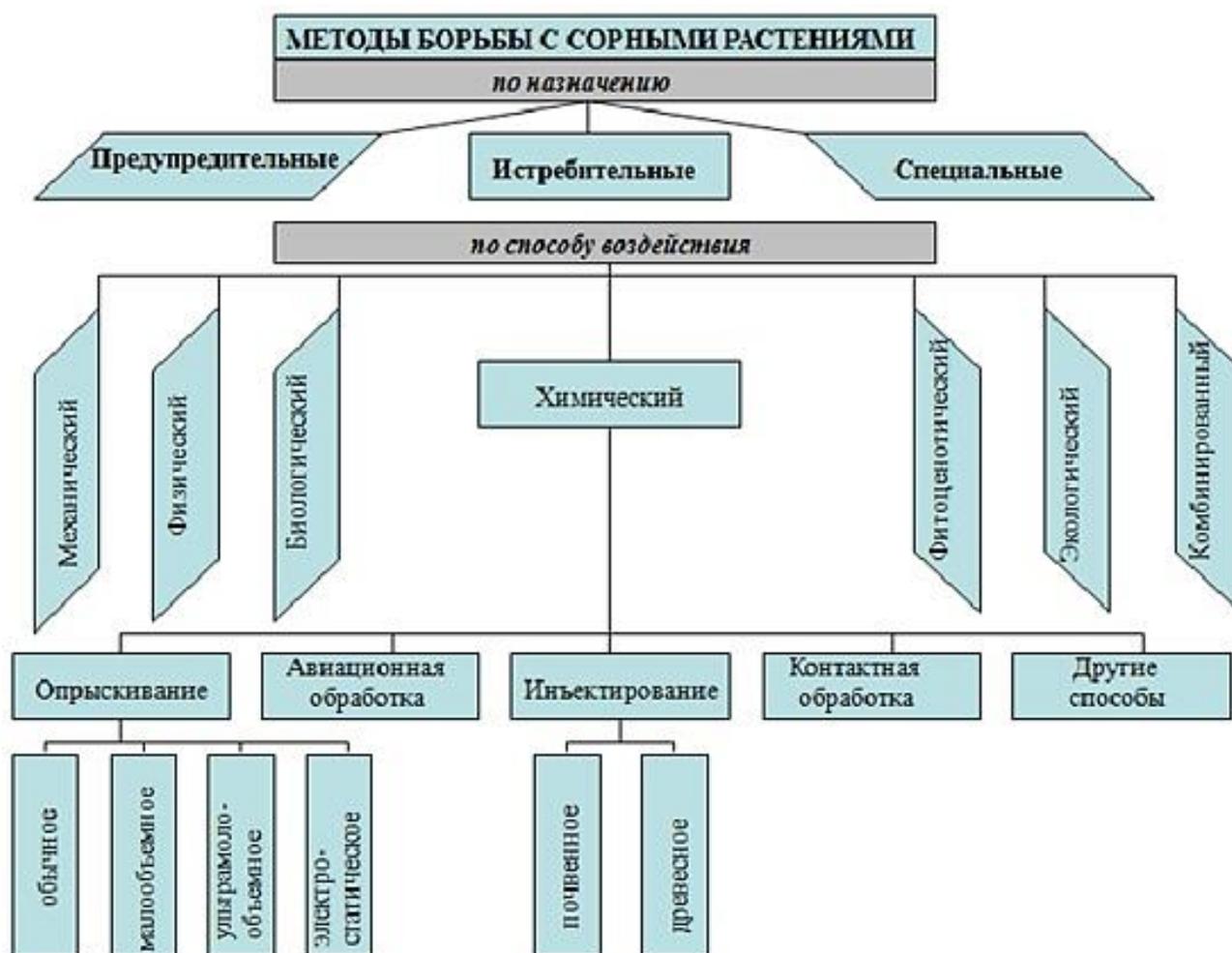


Рисунок 1.7 – Классификация методов борьбы сорной растительностью

Классификация методов борьбы с сорной растительностью приведена на рисунке 1.8 [110, 111, 112].

Механическим способом в равнинном садоводстве предполагает использование почвообрабатывающих машин и орудий (садовые фрезы, дисковые рабочие органы, плоскорезы). Однако их использование на террасированных склонах связано с риском возникновения и развития эрозионных процессов.

Косилки эффективны, когда штамб плодового дерева достиг определенного диаметра и имеет крепкую корневую систему (рисунок 1.9) [127]. В молодых садах использование данной косилки нецелесообразно, так как будет травмировать деревья.

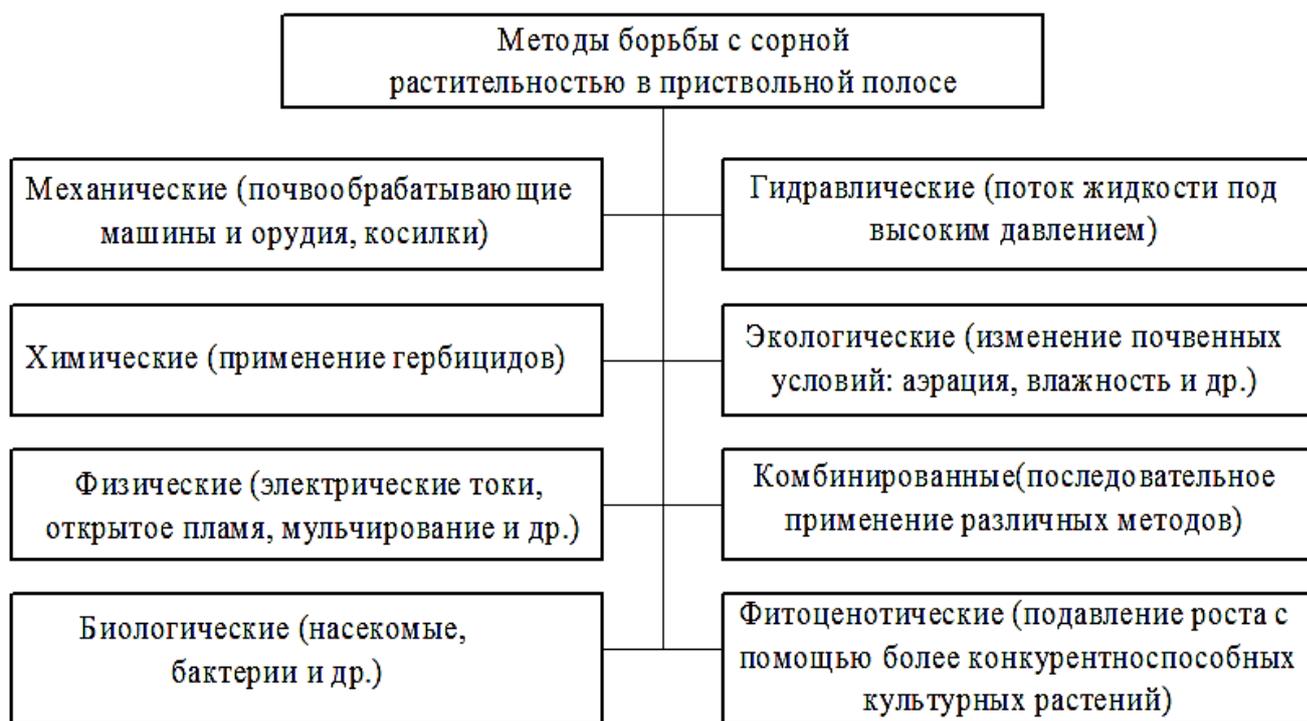


Рисунок 1.8 – Классификация методов борьбы с сорной растительностью в приствольных полосах плодовых насаждений



Рисунок 1.9 – Ротационная косилка конструкции ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ

Для распыления рабочей жидкости в устройстве конструкции ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [154] используются четыре вращающиеся форсунки (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Головка распылителя в работе

Тем не менее, гидравлический метод также нецелесообразно использовать в террасном садоводстве ввиду опасности травмирования штамбов плодовых деревьев.

Использование механического метода в садах интенсивного типа на террасах проблематично (рисунок 1.11).

Таким образом, для борьбы с сорной растительностью целесообразно применять химический метод [24, 27, 30, 31, 37, 48, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 71, 80, 88, 99, 110, 134, 135, 136, 143] ввиду своих неоспоримых преимуществ:

- высокие эффективность и производительность;
- полная механизация процесса;
- универсальность ядохимикатов [48, 63, 64, 89, 155, 160].



Рисунок 1.11 – Молодые сады интенсивного типа на террасированных склонах

1.3 Структурно-функциональный анализ и классификация машин для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений

Структурно-функциональная схема компоновки с учетом некоторых ограничений приведена на рисунке 1.12, таблица 1.1 [24, 25, 26, 30, 48, 60, 61, 86, 102, 103, 104, 105, 106, 110, 111, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 142, 143, 155].

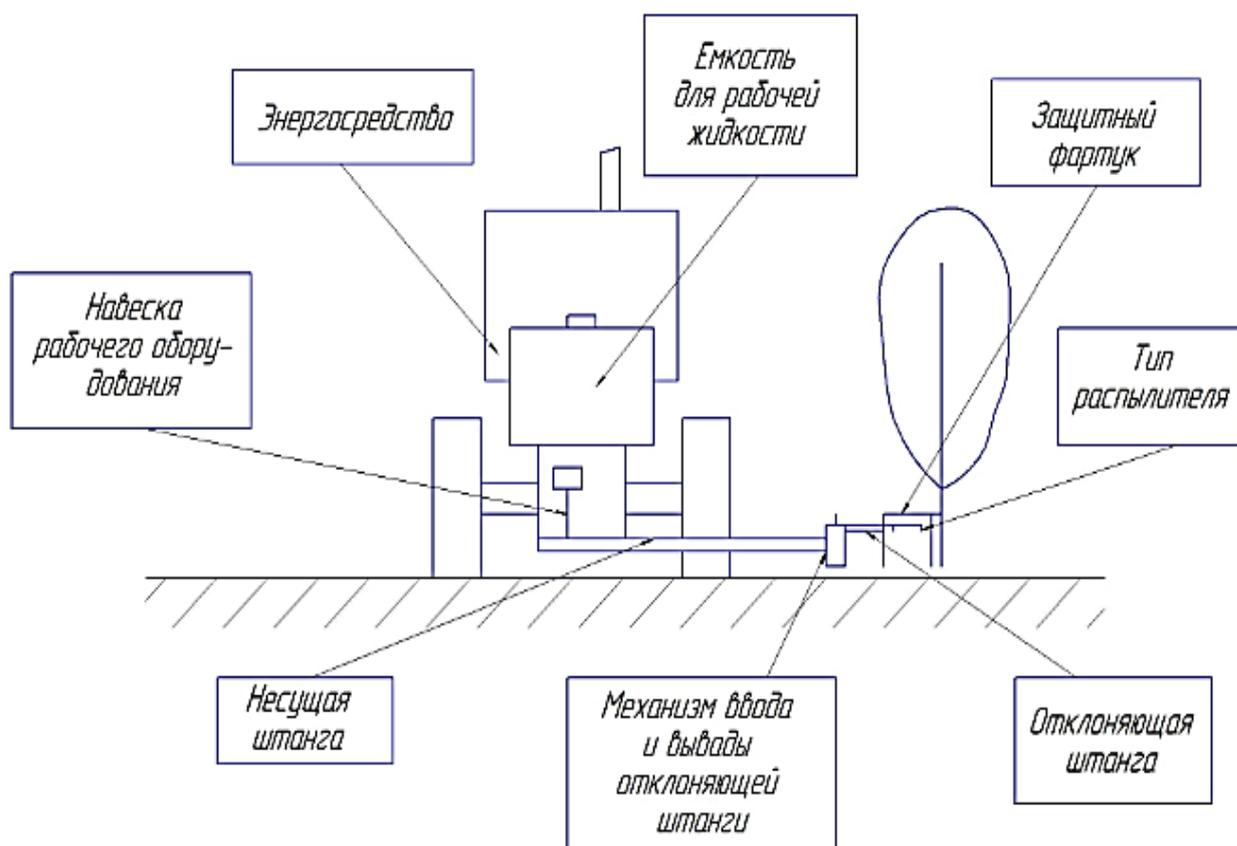


Рисунок 1.12 – Структурно-функциональная схема компоновки

Таблица 1.1 – Классификация машин для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений по конструктивным признакам

D0	Классификационный признак	
	D1	Классификационная группировка первой ступени
1	2	3
1.	Тип машины	

1	2	3
	1.1	Навесные
	1.2	Прицепные
2.	Установка (навешивание) рабочего оборудования	
	2.1	Передняя
	2.2	Задняя
3.	Расположение несущей штанги	
	3.1	Одностороннее
	3.2	Двухстороннее
4.	Расположение отклоняющей штанги	
	4.1	Одностороннее
	4.2	Двухстороннее
5.	Тип механизма ввода и вывода отклоняющей штанги	
	5.1	Параллелограммный
	5.2	Радиальный
6.	Тип защитного фартука	
	6.1	Пластиковый (металлический) кожух
	6.2	Пластиковый (металлический) кожух с плотным материалом
	6.3	Пластиковый (металлический) кожух с щеткой
	6.4	Дисковый металлический кожух с щеткой
7.	Установка (размещение) емкости для рабочей жидкости	
	7.1	Передняя
	7.2	Задняя
	7.3	Прицепная
8.	Типы распылителей	
	8.1	Щелевые
	8.2	Центробежные
	8.3	Инжекторные

1	2	3
	8.4	Дефлекторные
	8.5	Дисковые
	8.6	Дисковые с электроразрядкой капель
	8.7	Комбинированные (гидравлические распылители с транспортировкой капель воздушным потоком)

1.3.1 Классификация машин для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений

Технические средства для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений подразделяются машины с передней и задней навеской рабочего оборудования (рисунки 1.13-1.14) [86].



Рисунок 1.13 – Передняя навеска рабочего оборудования на трактор



Рисунок 1.14 – Задняя навеска рабочего оборудования на трактор

Наиболее перспективной схемой компоновки машин для внесения гербицида является передняя навеска рабочего оборудования на трактор. При такой схеме механизатор осуществляет контроль над технологическим процессом внесения гербицида и повышается производительность машины.

Известны две схемы компоновки машин:

1. Одностороннее расположение отклоняющей штанги (рисунок 1.15).
2. Двухстороннее расположение отклоняющей штанги (рисунок 1.16) [16, 26, 27, 30, 61, 100, 102, 141, 142, 151].



Рисунок 1.15 – Одностороннее расположение отклоняющей штанги (ЗУБР НШ «ГЕРБИ-1»)



Рисунок 1.16 – Двухстороннее расположение отклоняющей штанги («ГЕРБИ/ДС - 2»)

Ввод отклоняющей штанги в ряд и вывод из него осуществляется посредством параллелограммной (рисунки 1.15, 1.16) или радиальной кинематической схем (рисунок 1.17).

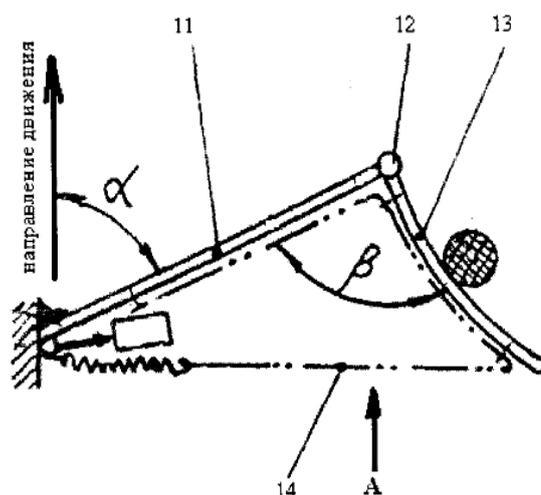
Для повышения эффективности работы машин сверху распылители прикрыты пластиковым (рисунок 1.18) или металлическим кожухом (рисунок 1.19), а снизу крепится плотный материал (рисунок 1.20) или щеточный рабочий орган (рисунок 1.21) [75, 141].

Анализ показывает, что развитие конструкции гербицидных установок идет по пути замены гербицидных штанг на дисковые рабочие органы с защитным фартуком из металлического диска, по диаметру которых прикреплены ворсы, изготовленные из полипропиленовых волок или конского волоса, образуя устройство в виде щетки (рисунок 1.22).

В машинах для внесения гербицида используется переднее размещение емкостей (рисунок 1.13), заднее размещение (рисунок 1.18) и прицепные (рисунок 1.23).



а)



б)

Рисунок 1.17 – Радиальная схема отвода отклоняющей штанги



Рисунок 1.18 – Защитный фартук с пластиковым кожухом (конструкция ВИМ)



Рисунок 1.19 – Защитный фартук с металлическим кожухом

Недостатком переднего размещения емкостей для рабочей жидкости на тракторе является ограниченность использования емкостей с большой вместимостью. Наиболее перспективными являются размещение емкостей с задней навеской и на прицепных тележках.

Одним из ответственных рабочих органов машин для внесения гербицидов, от которых зависит качество выполняемого технологического процесса, являются распылители.



Рисунок 1.20 – Защитный фартук с пластиковым кожухом и плотным материалом



Рисунок 1.21 – Защитный фартук с пластиковым кожухом и ворсами



а



б.

Рисунок 1.22 – Дисковыми защитные фартуки с плотным материалом (а) и ворсами (б)

В зависимости от типа распылителя меняется конструктивная компоновка машин для внесения гербицидов. При использовании щелевых, центробежных, инжекторных и дефлекторных распылителей применяются различные типы насосов и регуляторов давления [24, 29, 43, 47, 67, 88, 89, 117].

При использовании дисковых распылителей применяются электродвигатели с различной мощностью и большими оборотами, с электрорядкой капель

рабочей жидкости применяются различные конструкции электроразрядных устройств [22, 42, 47, 70, 118].



Рисунок 1.23 – Установка рабочего оборудования для внесения гербицида на прицепную тележку опрыскивателя ОПВ-2000

При использовании комбинированных распылителей (гидравлических распылителей с транспортировкой капель воздушным потоком) применяются различные типы насосов, регуляторов давления, вентиляторов с приводом от ВОМ трактора и рукава для воздушного потока [15, 48, 55, 86, 110, 111].

Таким образом, опыт применения гербицидных установок в равнинном садоводстве показал, что использование емкостей вместимостью от 300 до 800 л приводит к частым переездам к местам заправки, что влечет к повышению расхода ТСМ и снижению производительности машин [26, 100, 102, 105, 106, 142].

1.4 Типы распылителей, используемых на гербицидных установках

Различают следующие виды опрыскивания: полнообъемное или крупнокапельное, малообъемное или мелкокапельное, ультромалообъемное [1, 8,

9, 15, 16, 17, 20,21, 22, 24, 25, 27, 29, 30, 43, 47, 48, 55, 64, 66, 67, 68, 88, 89, 110, 111, 117, 118, 128, 135, 143, 155, 160, 161, 162, 163, 164, 165].

При полнообъемном опрыскивании не менее 80 % жидкости разбрызгивается в виде капель размером не менее 150 мкм [38]. Для осуществления данного вида опрыскивания используются гидравлические щелевые, центробежные, дефлекторные и вихревые распылители (рисунки 1.24-1.27).

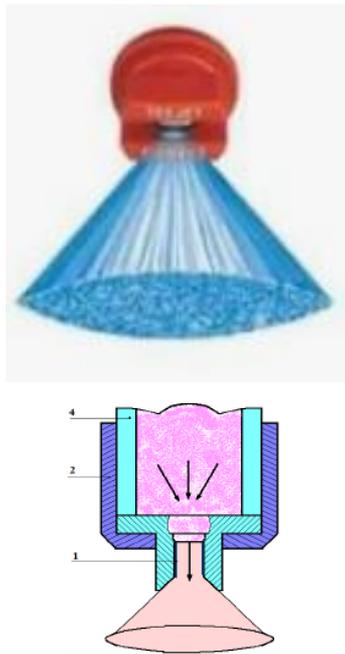


Рисунок 1.24 – Щелевые распылители

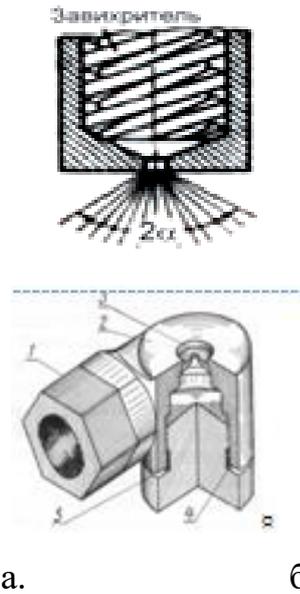


Рисунок 1.25 – Центробежные распылители: с завихрителями (а) и тангенциальные (б)

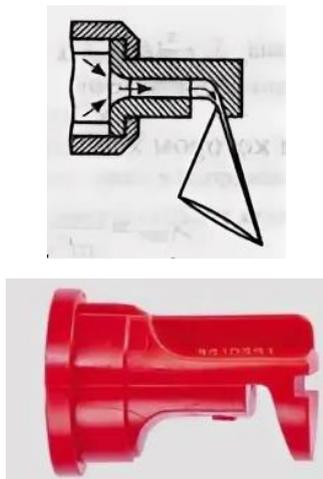


Рисунок 1.26 – Дефлекторные распылители

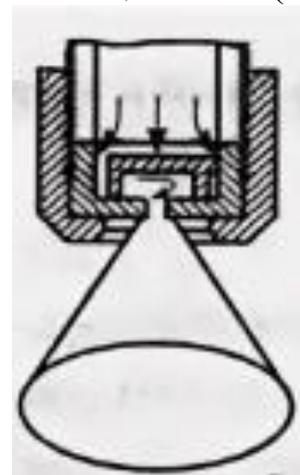


Рисунок 1.27 – Центробежные вихревые распылители

Основными недостатками гидравлических распылителей являются неоднородный и грубый распыл рабочей жидкости, затруднены регулирование расхода для заданного качества дробления, а также распыление высоковязких жидкостей [3, 48, 108].

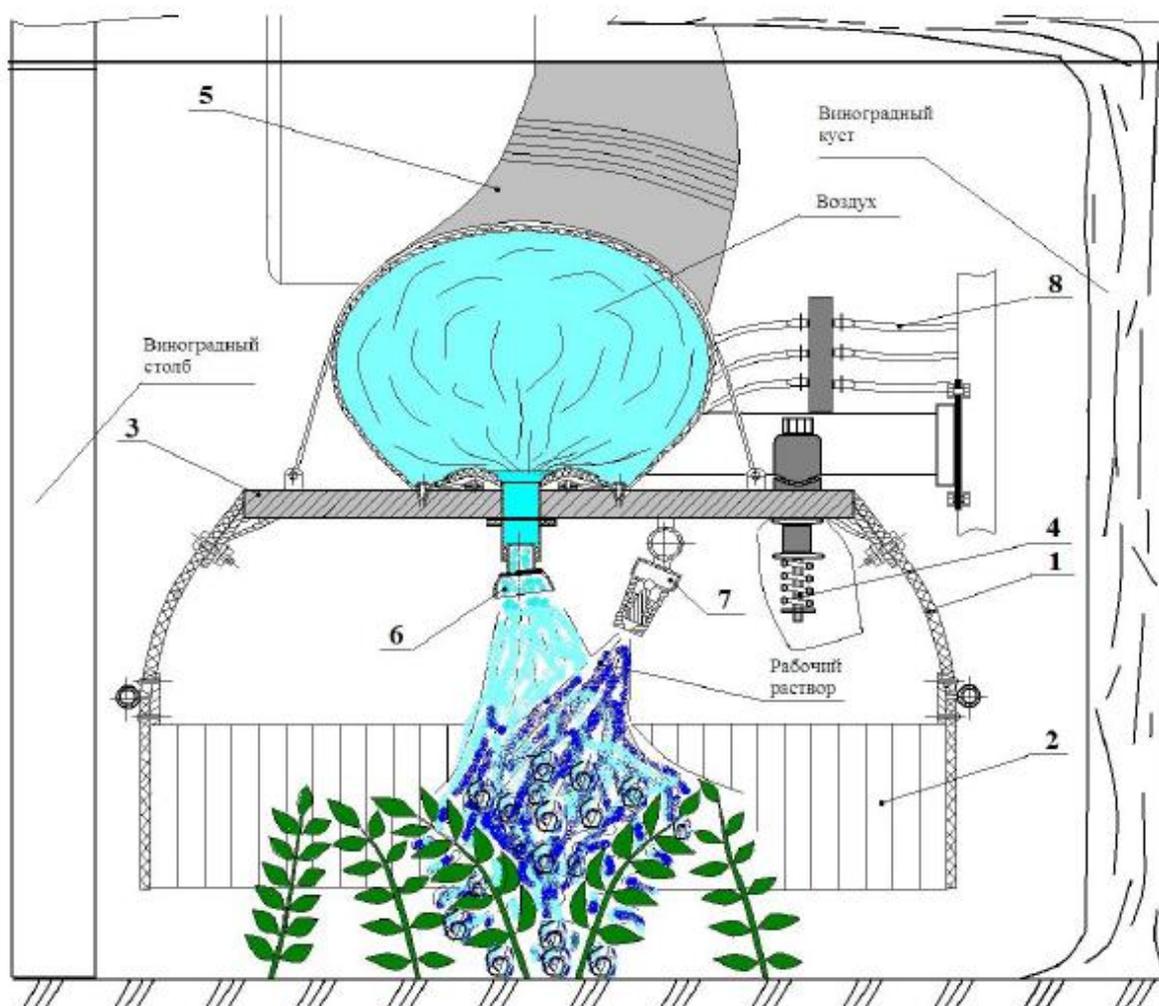
При малообъемном опрыскивании мелкие капли, обладая меньшей массой и инерцией, лучше проникают и более равномерно покрывают поверхность листьев сорных растений [15, 16, 17, 20, 22, 29, 54, 56, 74, 79, 128, 132].

Исследования показали различную удерживаемость капель рабочей жидкости на листьях при традиционном опрыскивании и при МО опрыскивании с более высокой дисперсностью распыла. При этом установлено, что удерживаемость при МО опрыскивании значительно выше, особенно на нижней стороне листа [48, 110]. Для уменьшения диаметра капель рабочей жидкости и лучшей оседаемости их на листовой поверхности сорных растений на современных гербицидных установках применяется газонасыщение рабочей жидкости, дробление струи наконечниками с транспортировкой капель воздухом. При этом используются инжекторные распылители (рисунок 1.28) и гидравлические распылители с транспортировкой капель воздухом (рисунок 1.29).



1 – минералокерамическое сопло; 2 – диффузор; 3 – корпус распылителя; 4 – канал забора воздуха

Рисунок 1.28 – Инжекторный распылитель фирмы «Agrotop» (а) и схема российского распылителя (б)



1 – защитный кожух; 2 – шторы; 3 – боковые штанги; 4 – механизм поворота; 5 – возду�ораспределительный рукав; 6 – воздушная насадка; 7 – распылитель; 8 – гибкие шланги

Рисунок 1.29 – Гидравлический распылитель с транспортировкой капель воздушным потоком [110]

Недостатком инжекторных распылителей состоит в том, что содержание капель с воздушными пузырьками на выходе из распылителя незначительно из-за малой продолжительности контакта рабочего раствора препарата с воздухом, поэтому эффективность таких распылителей низкая.

Кроме этого стоимость инжекторных распылителей в 5-6 раз выше стоимости серийных отечественных распылителей, работающих с одной только жидкостью.

Использование гидравлических распылителей с транспортировкой капель воздушным потоком обеспечивают малообъемное внесение гербицида в

приствольные полосы плодовых насаждений. Однако расход рабочей жидкости при этом способе достигает до 300 л/га и не обеспечивается однородность дисперсности распыла каплей рабочей жидкости.

Принципиально новое направление – монодисперсная ультрамалообъемная технология, при которой образуются капли рабочей жидкости размером 25-125 мкм, расход жидкости 1-75 л/га.

Степень осаждения 80%, а неравномерность распределения 10-15 % [17, 79, 118, 135, 143, 155].

Вращающиеся распылители классифицируются по способу подвода жидкости и конструкции рабочего элемента [20, 83] (рисунки 1.30-1.32).

По способу подвода жидкости распылители делятся на устройства с непосредственной подачей жидкости на рабочий элемент и погружные, по конструкции рабочего элемента – дисковые, чашечные, конусные, звездочные, сопловые, реактивные и др. [15, 16, 17, 20, 47, 55, 79, 85, 117, 135, 136].

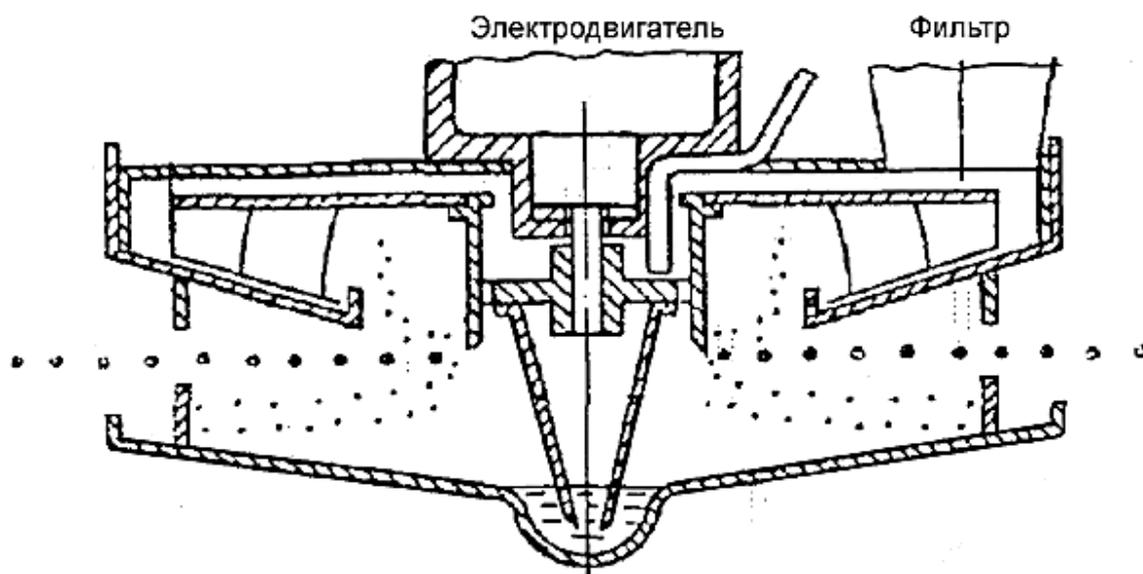
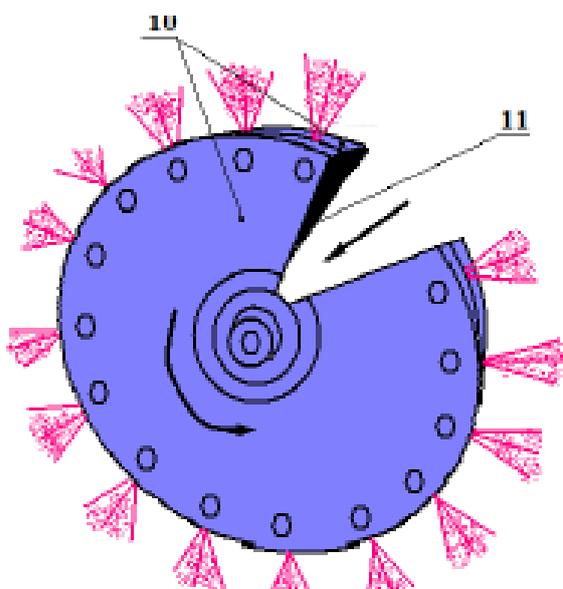
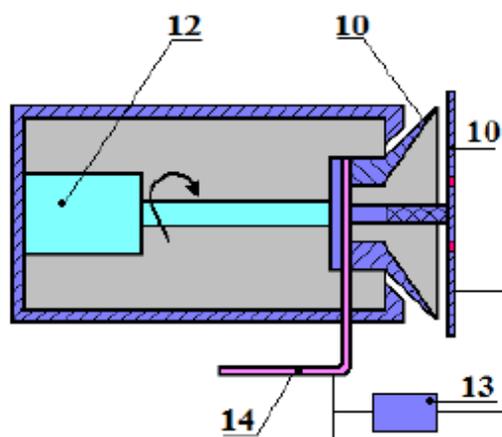


Рисунок 1.30 – Центробежный дисковый распылитель с горизонтальной осью вращения

Основными недостатками УМО с вращающимися дисковыми распылителями являются сложность в дозировании препарата; сложность контроля за работой распылителей и пр. [3].



10 – диски; 11 – крышка (кожух)
Рисунок 1.31 – Центробежный
дисковый распылитель с вертикальной
осью вращения [110]



10 – диски; 12 – двигатель; 13 – источник
высокого напряжения; 14 – трубопровод
Рисунок 1.32 – Центробежный
дисковый распылитель с
электрорядкой капель [110]

Еще одним принципиально новым направлением в повышении эффективности использования гербицидов путем сокращения потерь препаратов, снижения норм расхода рабочей жидкости, увеличения точности нанесения гербицида на обрабатываемый объект, является переход на технологию опрыскивания с акустическим распыливанием рабочей жидкости.

Этот способ распыливания более экономичен и перспективен [4, 5, 23, 99, 101, 117, 150, 152].

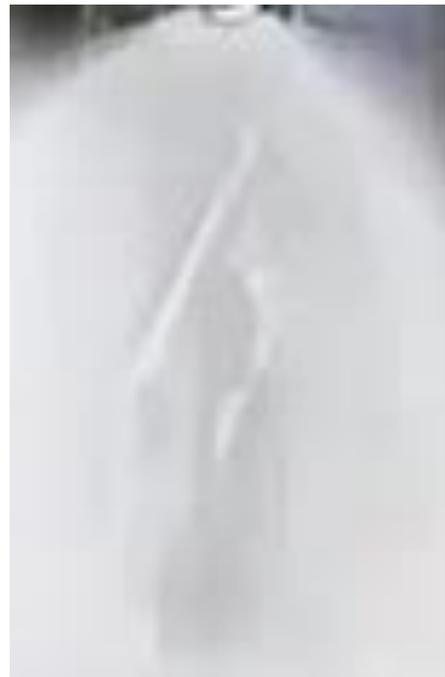
При акустическом распыливании (рисунок 1.33) изменяя давление воздуха можно регулировать амплитуду звуковых колебаний, тем самым получить необходимую дисперсность распыла капель рабочей жидкости.

В опрыскивателе, показанном на рисунке 1.34, дробление жидкости на мельчайшие частицы обеспечивают специальные пневмоакустические распылители жидкости (ПАРЖ) расположенные в защитном фартуке.

При этом обеспечивается малообъемное и ультрамалообъемное опрыскивание с высокой равномерностью и проникаемостью рабочей жидкости в крону [99, 101, 150, 152].



а)



б)

а – пневматическое распыливание; б – акустическое распыливание

Рисунок 1.33 – Процесс разрушения струи жидкости



Рисунок 1.34 – Опрыскиватель для насаждений земляники

Можно сделать вывод, что применение ПАРЖ в технологическом процессе внесения гербицида в приствольные полосы молодых плодовых насаждений в террасном садоводстве является наиболее эффективным, так как обеспечивается однородность дисперсности распыла каплей рабочей жидкости и равномерное распределение каплей на листовой поверхности, как в верхних, так и в нижних частях сорных растений, а снос ветром будет исключен за счет использования дискового защитного фартука с ворсами.

1.5 Обзор научных исследований процессов работы устройств для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений

Теория и практика исследуемых вопросов нашла свое развитие в работах таких ученых, как: А.И. Завражнов, П.А. Догода, И.Н. Велецкий, И.М. Киреев, А.А. Цымбал, И.Г. Смирнов, Д.О. Хорт, В.Г. Бросалин, К.А. Манаенков, М. В. Мезникова, Г.Г. Маслов, В.В. Цыбулевский, Н.Я. Бордугов, Э.Ш. Османов, Г.Ю. Кулиев и др.

Для снижения расхода рабочей жидкости существуют технические средства, снабженные кранами-дозаторами (рисунок 1.35) [9]. Предлагается также поочередная обработка (рисунок 1.36) [10].

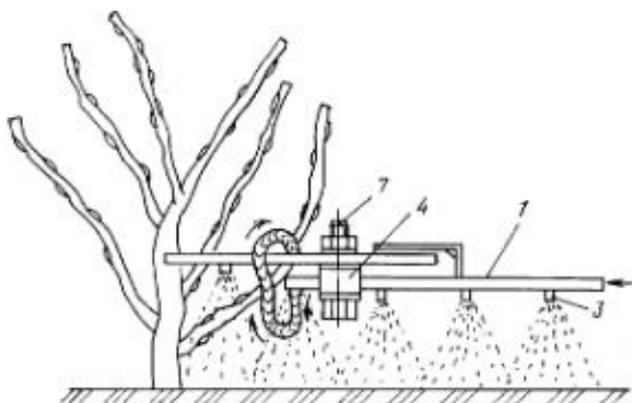


Рисунок 1.35 – Устройство к опрыскивателям для внесения гербицидов на виноградниках (А.С. №1165259 [9])

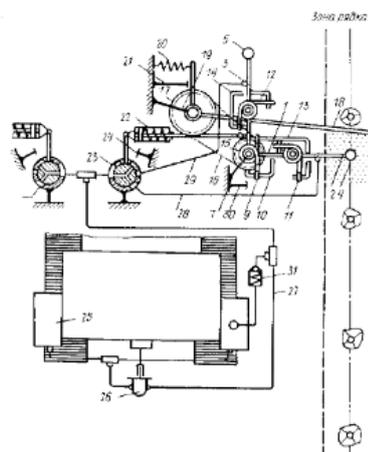


Рисунок 1.36 – Устройство для внесения гербицидов в ряды насаждений сельскохозяйственных культур (А.С. №1470219 [10])

Некоторые ученые предлагают наклонять крайний распылитель в сторону приштамбовой зоны (рисунок 1.37) [8]. Устройство для внесения растворов гербицидов в приствольную полосу сада, предложенное А.И. Завражновым, А.Н. Манаенковым, В.Г. Бросалиным и К.А. Манаенковым, обеспечивает высокое качество обработки (рисунок 1.38) [122].

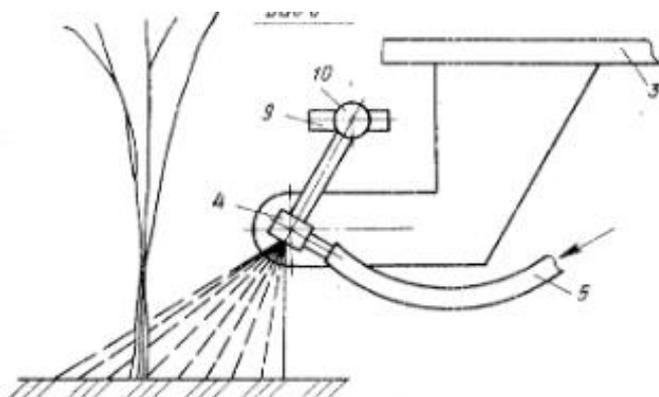


Рисунок 1.37 – Устройство для обработки междустовых пространств ядохимикатами (А.С. №1337021.[8])

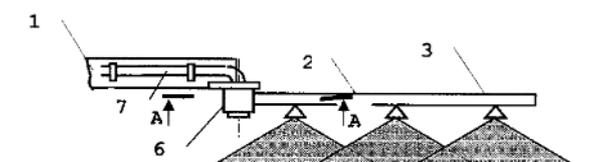


Рисунок 1.38 – Устройство для внесения растворов гербицидов в приствольную полосу сада: (пат. 2218763 РФ [122])

Исследования, проведенные В.Г. Бросалиным и К.А. Манаенковым показали, что крайние распылители должны быть установлены с наклоном в сторону ряда (рисунки 1.39, 1.40) [24, 25].

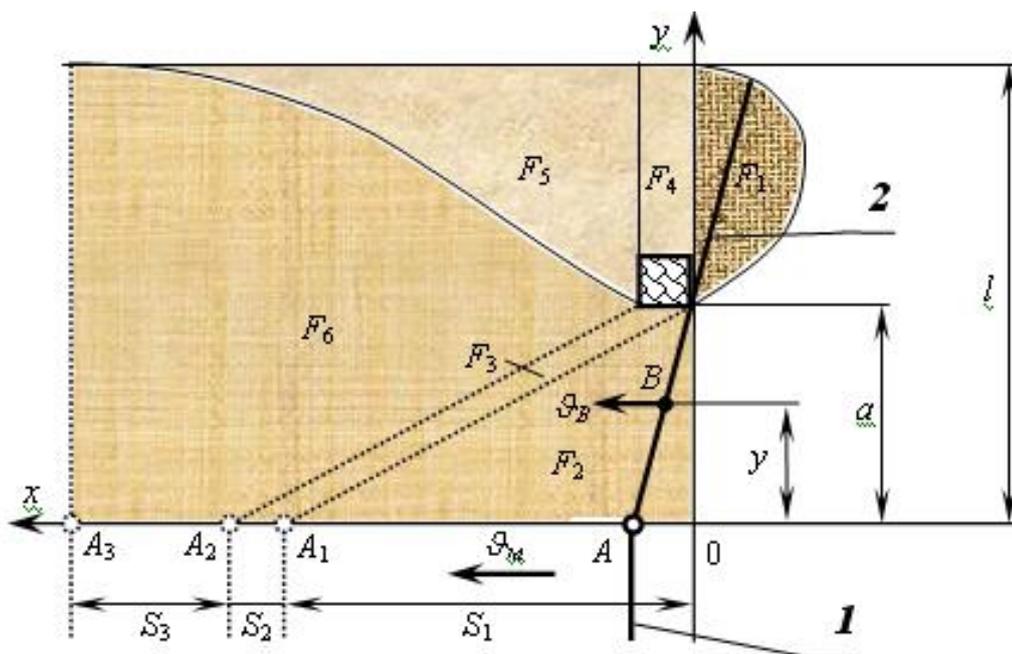


Рисунок 1.39 – Схема обхода отклоняющейся секцией опорного столба

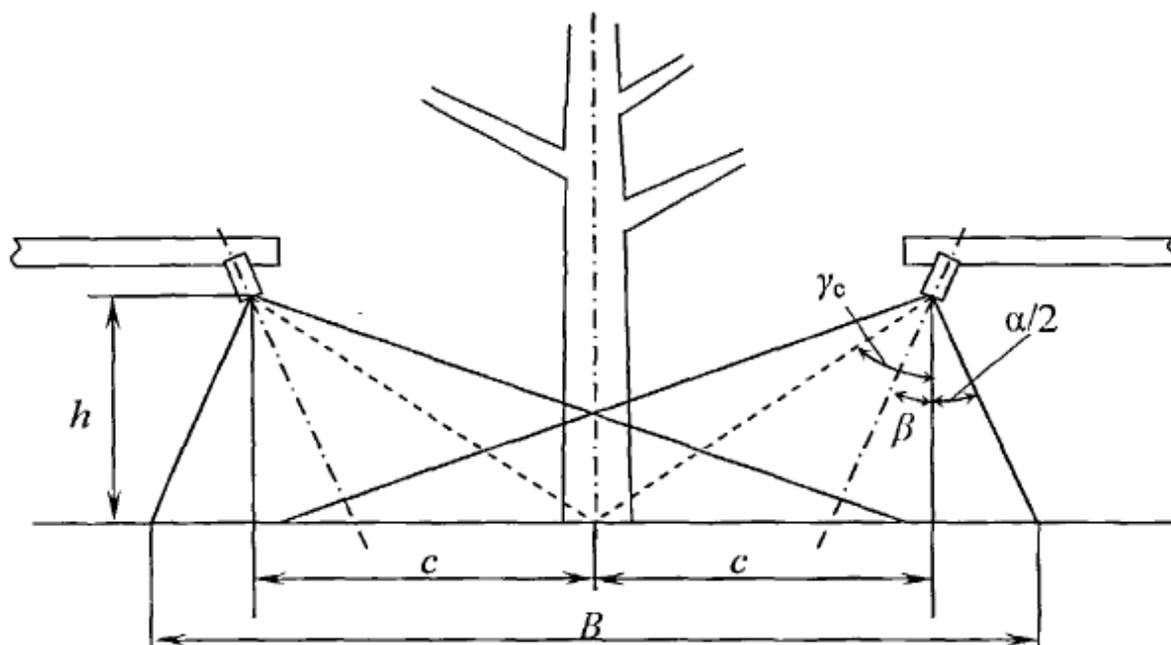


Рисунок 1.40 — Схема обработки приствольной полосы за два смежных прохода

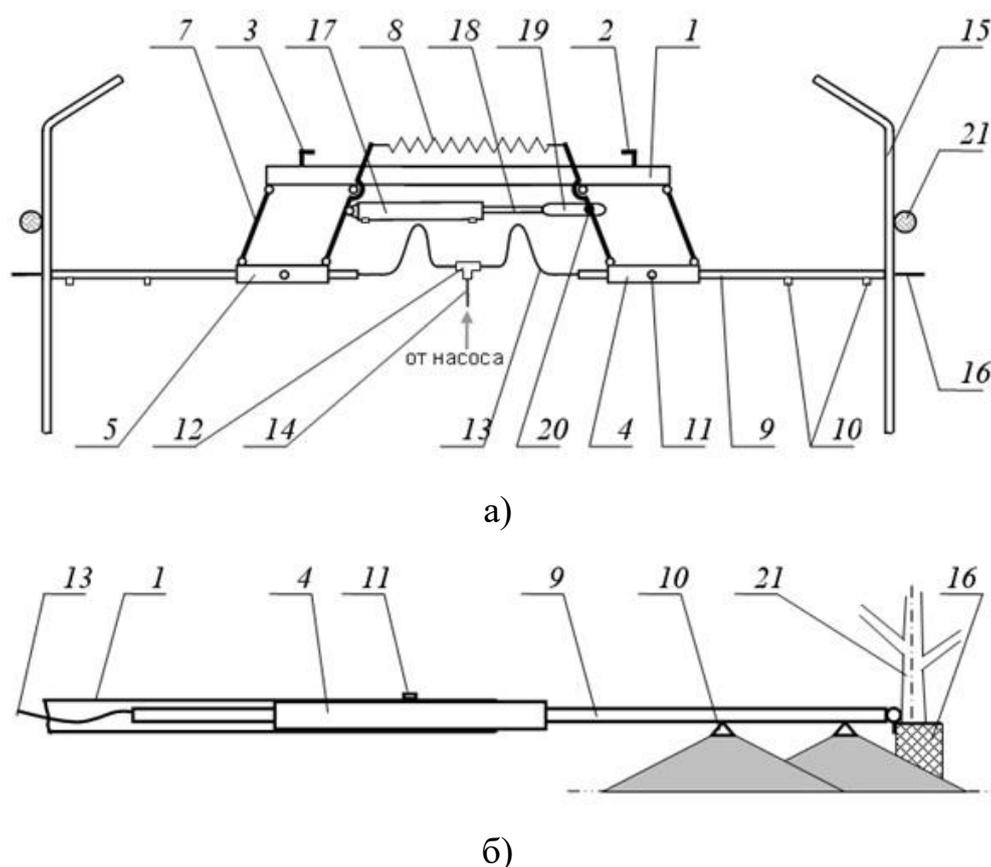
В.Г. Бросалиным установлено, что ширина ленты от одного распылителя должна быть 0,73-0,91 м [24, 25, 26]. Также В.Г. Бросалиным и К.А. Манаенковым предложено оригинальное устройство (рисунок 1.41) [121].

Проведя анализ традиционного способа опрыскивания сорных растений, П.А. Догода и Э.Ш. Османов выявили основные их недостатки (рисунок 1.42) [48, 108, 109]. Например, обрабатываются только верхние ярусы сорных растений [62, 108]. Для решения этой проблемы необходимо распылять рабочую жидкость на капли минимального размера [48, 55, 64, 73, 74, 110, 111].

Исследования, проведенные М.В. Мезниковой, свидетельствуют о том, что при применении способа полосового опрыскивания с боковым распылом распределение вносимого раствора происходит более равномерно.

На верхнем ярусе степень покрытия составила 30%, на среднем ярусе – 23%, на нижнем ярусе – 19%, на оборотной стороне листьев – 13%, на стебле – 15%.

Наличие препарата на оборотной стороне листа и на стебле культурного растения подтверждают эффект обволакивания растения рабочим раствором (эффект объемного 3-D)» [88, 89, 90].



1 – несущая рама; 2, 3 – упоры; 4, 5 – параллелограммные механизмы; 6, 7 – продольные звенья; 8 – пружина; 9 – боковые штанги; 10 – распылители; 11 – фиксаторы; 12 – тройник; 13 – шланг; 14 – магистраль подачи растворов гербицида; 15 – копир; 16 – эластичный фартук; 17 – гидроцилиндр; 18 – шток; 19 – кулиса; 20 – палец; 21 – штамп дерева.

Рисунок 1.41 – Схема устройства для обработки приствольной полосы сада: а – вид сверху; б – вид с боку

П.А. Догода и Э.Ш. Османов разработали опрыскиватель для виноградников (рисунок 1.43) [48, 110, 111, 122].

Большой интерес представляет диаграмма (рисунок 1.44), полученная Э.Ш. Османовым [110]. Из диаграммы на рисунке 1.44 следует, что количество мелких капель от 15 до 100 мкм в факеле распыла рабочей жидкости в предлагаемом опрыскивателе значительно больше, чем в базовом варианте, что и предопределило общее количество капель на абаксиальной поверхности листьев.

В.В. Цыбулевским предложен ультрамалообъемный опрыскиватель эжекционно-щелевым распылителем (рисунок 1.45) [119, 155].

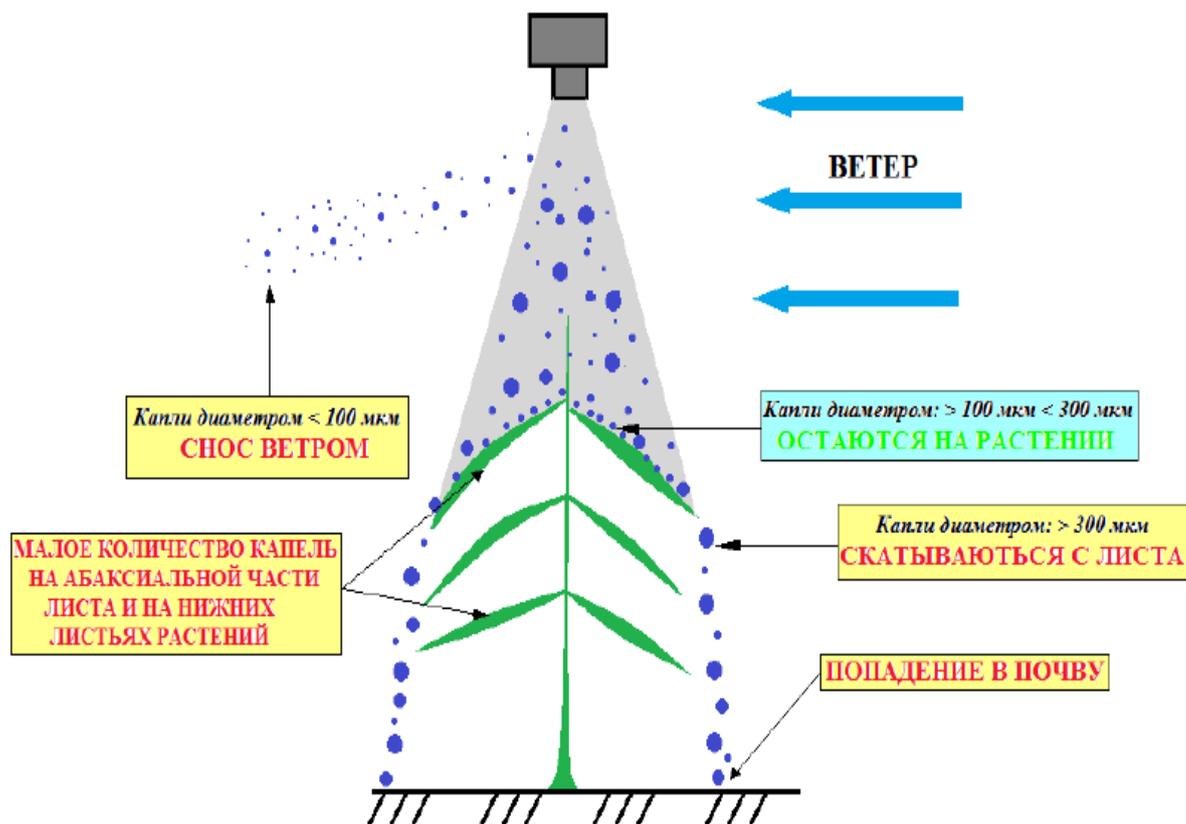


Рисунок 1.42 – Недостатки традиционного опрыскивания

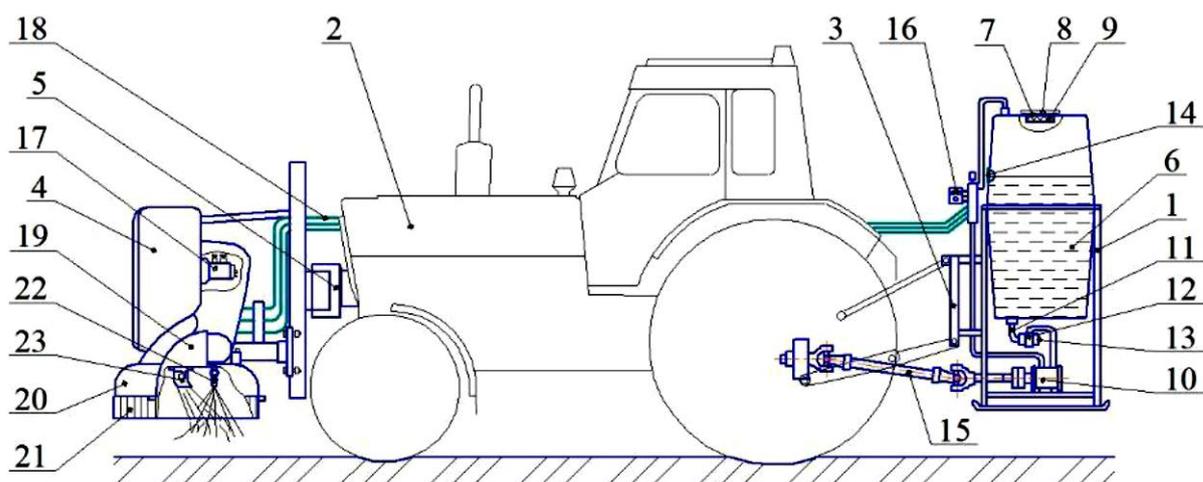


Рисунок 1.43 – Конструктивно-технологическая схема опрыскивателя для внесения гербицидов в приштамбовую зону виноградников

Проведенный обзор научных исследований процессов работы устройств для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений показал, что все они направлены на повышение эффективности внесения гербицида.

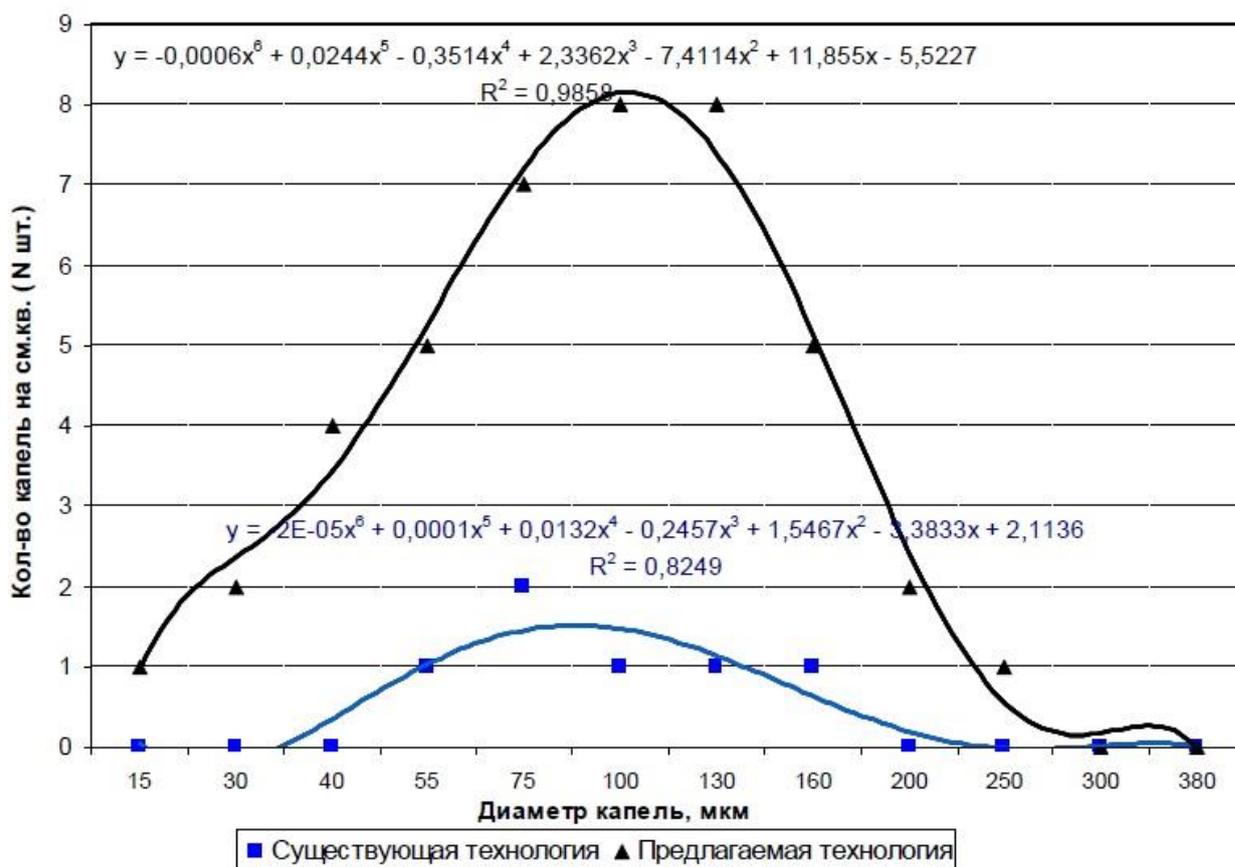


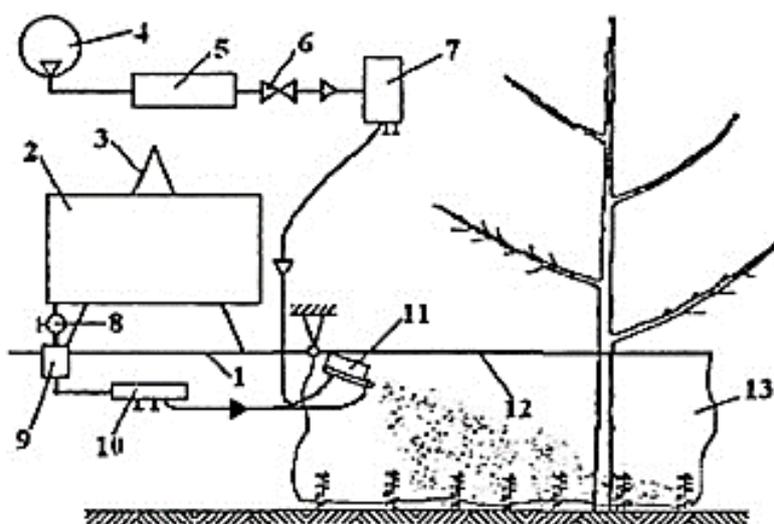
Рисунок 1.44 – Зависимость распределения капель на адаксиальной поверхности листьев сорных растений

Известны технические решения с кранами-дозаторами [9], для поочередной обработки почвы [10], с наклоном крайних распылителей в сторону приштамбовой зоны [8].

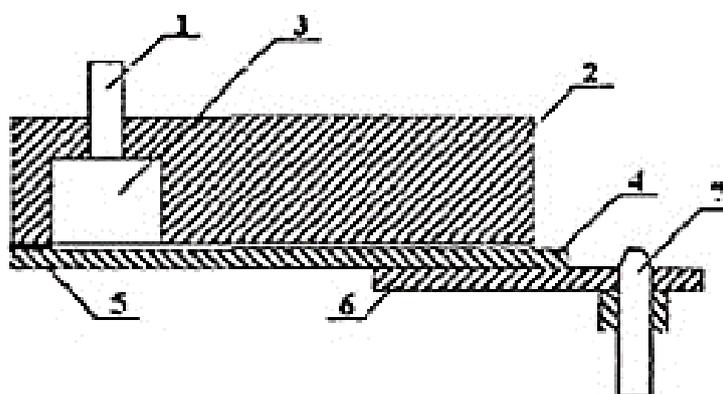
П.А. Догода и Э.Ш. Османов предлагают использовать воздушно-жидкостной поток с завихрениями, в конструкции опрыскивателя используются вентилятор, воздушные рукава с насадками и центробежные распылители рабочей жидкости [48, 110, 111].

1.6 Выводы. Цель и задачи исследования

Наиболее перспективной схемой компоновки машин для внесения гербицида является передняя навеска рабочего оборудования на трактор.



а)



б)

- а) 1 – рама; 2 – бак; 3 – навеска; 4 – компрессор; 5 – ресивер; 6 – кран; 7 – воздушный коллектор; 8 – расходный кран; 9 – уравнивательная емкость; 10 – коллектор; 11 – эжекционно-щелевой распылитель; 12 – поворотное устройство; 13 – фартук;
- б) 1 – воздушная трубка; 2 – корпус; 3 – проточная камера; 4 – пластина для получения полугораниченной воздушной струи; 5 – прокладка; 6 – пластина крепления питательной трубки; 7 – плоская питательная трубка.

Рисунок 1.45 – Технологическая схема устройство для обработки приствольной зоны (а) и схема распылителя (б)

Недостатком переднего размещения емкостей для рабочей жидкости на тракторе является ограниченность использования емкостей с большой вместимостью. Наиболее перспективными являются размещение емкостей с задней навеской и на прицепных тележках.

Одним из ответственных рабочих органов машин для внесения гербицидов, от которых зависит качество выполняемого технологического процесса, являются распылители. В зависимости от типа распылителя меняется конструктивная компоновка машин для внесения гербицидов.

Использование емкостей вместимостью от 300 до 800 л приводит к частым переездам к местам заправки, что влечет к повышению расхода ТСМ и снижению производительности машин.

Основными недостатками гидравлических распылителей являются неоднородный и грубый распыл рабочей жидкости, затруднены регулирование расхода для заданного качества дробления, а также распыление высоковязких жидкостей.

Для уменьшения диаметра капель рабочей жидкости и лучшей оседаемости их на листовой поверхности сорных растений на современных гербицидных установках применяется газонасыщение рабочей жидкости, дробление струи наконечниками с транспортировкой капель воздухом. При этом используются инжекторные распылители и гидравлические распылители с транспортировкой капель воздухом.

Недостатком инжекторных распылителей состоит в том, что содержание капель с воздушными пузырьками на выходе из распылителя незначительно из-за малой продолжительности контакта рабочего раствора биохимического препарата с воздухом, поэтому эффективность таких распылителей низкая.

Использование гидравлических распылителей с транспортировкой капель воздушным потоком обеспечивают малообъемное внесение гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений. Однако расход рабочей жидкости при этом способе достигает до 300 л/га и не обеспечивается однородность дисперсности распыла капель рабочей жидкости.

Принципиально новое направление – монодисперсная ультрамалообъемная технология.

Еще одним принципиально новым направлением в повышении эффективности использования гербицидов путем сокращения потерь препаратов,

снижения норм расхода рабочей жидкости, увеличения точности нанесения гербицида на обрабатываемый объект, является переход на технологию опрыскивания с акустическим распыливанием рабочей жидкости. Этот способ распыливания более экономичен и перспективен.

Проведенный анализ показал, что существующие конструкции обрабатывают приствольные полосы многолетних насаждений за два смежных проходов. Однако к плодовым насаждениям, расположенным на террасах, имеется подъезд только со стороны полотна террасы.

Следовательно, разработка гербицидной установки для террасного садоводства является актуальной проблемой.

Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода за молодыми плодовыми насаждениями в террасном садоводстве, обеспечивающих однородность дисперсности распыла капель рабочей жидкости и их равномерное распределение на листовой поверхности сорных растений при однократном проходе вдоль линии ряда плодовых насаждений.

Задачи исследования.

1. Разработать новую конструктивно-технологическую схему гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода за плодовыми насаждениями в террасном садоводстве.

2. Разработать математическую модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве, уравнения транспорта дисперсной фазы внутри распылительного устройства, для их реализации в программном комплексе Comsol Multiphysics, позволяющие описать процессы движения газа и капель раствора гербицидов, как единый поток их смеси.

3. Провести компьютерное моделирование процесса распыления рабочей жидкости пневмоакустическим распылителем и установить рациональные конструктивно-технологические параметры и режимы работы установки.

4. Оптимизировать основные параметры и режимы работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем по критериям однородности

дисперсности распыла капель рабочей жидкости и равномерности их распределения на листовой поверхности сорных растений.

5. Разработать опытный образец гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем и провести его полевые испытания.

6. Оценить экономическую эффективность использования предлагаемой гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЕРБИЦИДНОЙ УСТАНОВКИ

2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы гербицидной установки

Современные сады закладываются с различными схемами размещения плодовых деревьев, так среднерослые плодовые деревья (нормальный сад) имеют следующую схему размещения – 2-4х5-7 м при высоте штамба деревьев равной 0,5-0,6 м; слаборослые плодовые деревья (интенсивный сад) – 1-1,5х3,5-4,5 м. высота штамба деревьев 0,4-0,6 м. При многократном применении техники для ухода за плодовыми насаждениями в междурядьях сада на больших площадях образуются колеи различной глубины.

Известные конструкции отечественных и зарубежных гербицидных установок имеют возможность обрабатывать приствольные полосы многолетних насаждений за два смежных проходов. В то же время к плодовым насаждениям, расположенным на террасах, имеется подъезд только со стороны полотна террасы.

Кроме этого современные гербицидные установки имеют ряд недостатков: отсутствует возможность оперативного регулирования высоты установки и ширины захвата рабочего органа из кабины трактора; затруднен оперативный перевод рабочего органа из транспортного положения в рабочее положение. Все эти технологические операции проводятся с использованием ручного труда. Кроме этого машины для внесения гербицида оснащены емкостями для рабочей жидкости вместимостью от 300 до 800 л, что приводит к частым переездам к местам заправки, к снижению их производительности и большому расходу топливо-смазочных материалов.

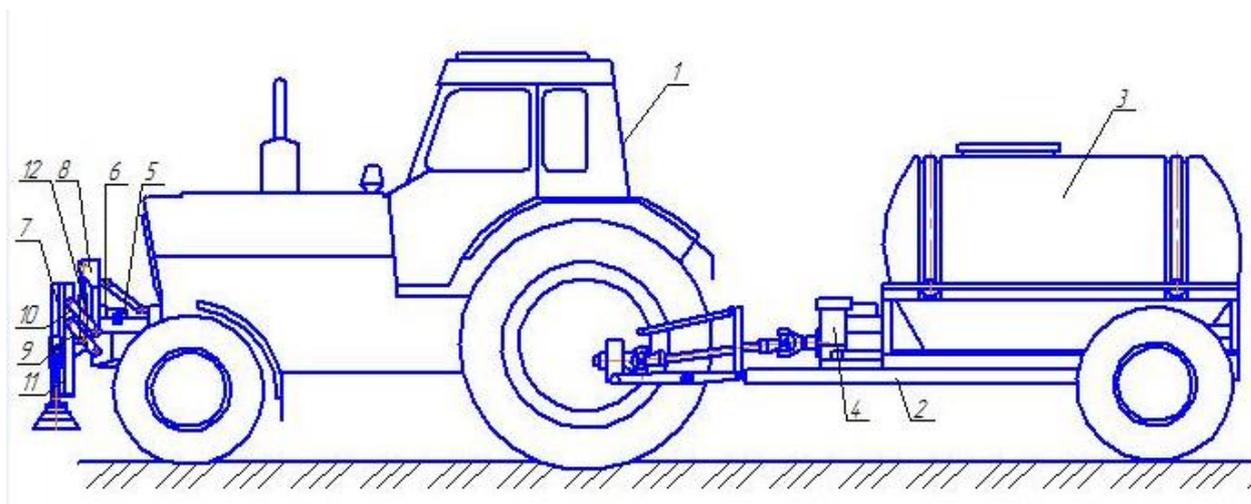
Один из важных путей улучшения технологических процессов в химической промышленности, связанных с тепло- и массообменом (абсорбция, экстракция, ректификация и другие), в которых для диспергирования используют распылители, – получение высокодисперсных распылов со средним диаметром

капель менее 30-40 мкм. Распылители, применяемые сейчас в подобных аппаратах, даже при давлениях жидкости до 104 кПа (около 100 кгс/см²) обеспечить такую дисперсность не могут. Это связано с затратой (в распространенных в настоящее время распылителях) на образование капель жидкости небольшой части подводимой энергии; основная доля энергии расходуется на ускорение движения капель жидкости и на потери при вязкой деформации во время распыливания.

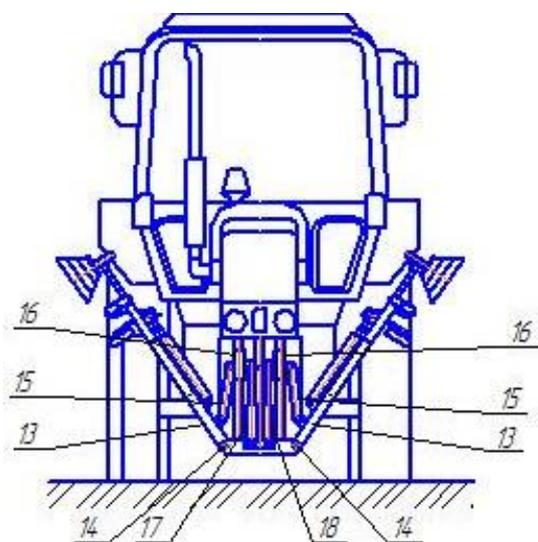
Как известно, при увеличении поверхностной энергии струя или пленка жидкости быстрее теряет устойчивость и распадается на мелкие капли. Увеличить эту энергию можно, например, путем повышения скорости жидкости и газа, что и наблюдается в пневматических распылителях. Однако пневматические распылители требуют достаточно больших удельных расходов распыливающего агента, а пневмомеханические – его высокого напора, что в производственных условиях не всегда возможно и требует значительных затрат энергии. Для механических распылителей необходимы высокие скорости вращения, а также сложное и громоздкое оборудование.

Также актуальна разработка устройства, позволяющего оперативно регулировать положение рабочего органа из кабины трактора в зависимости от глубины колеи, высоты штамба дерева и ширины междурядий и повысить производительность.

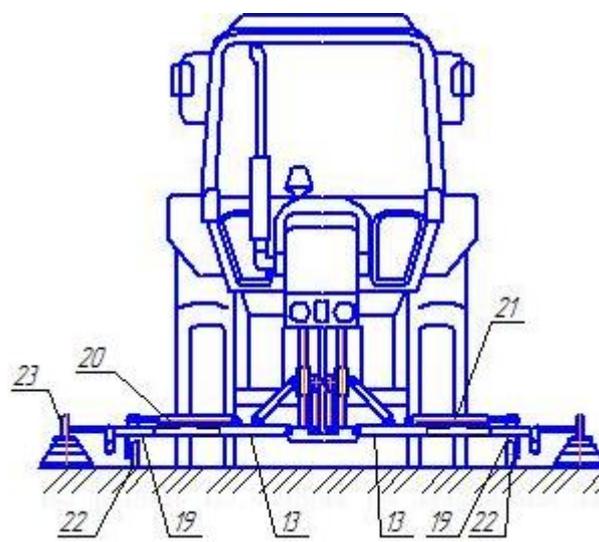
С учетом изложенного, разработана конструктивно-технологическая схема гербицидной установки (рисунок 2.1, а), обеспечивающей обработку приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве за один проход [120, 125]. Установка включает трактор 1, полуприцепную тележку 2, емкости для рабочей жидкости 3, ресивер 4, гидравлическую аппаратуру 5, аппаратуру электроуправления 6 и манипулятор 7, который представляет собой многозвенный механизм, жестко прикрепленный к передней части трактора 1 посредством несущей стойки 8.



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологическая схема гербицидной установки: общий вид (а), в транспортном (б) и рабочем (в) положениях

По бокам несущей стойки 8 прикреплены две пары параллельных рычагов 9 и 10, одни концы которых шарнирно соединены с нижней частью несущей стойки 8, а другие концы с серединой рамы 11 манипулятора 7, образуя параллелограммный рычажный механизм, удерживаемый гидроцилиндром 12, который шарнирно присоединен посредством металлических стержней (на фиг. не показаны) с одной из пар рычагов 9 по бокам несущей стойки в средней их части и проушиной в верхней части несущей стойки 8 с возможностью подъема и опускания рамы 11 манипулятора 7.

Данный механизм манипулятора 7 позволяет оперативно в рабочем режиме регулировать высоту расположения обеих секций рабочих органов относительно поверхности земли и учитывать особенности рельефа дорожной колеи в междурядьях сада.

Несущие штанги 13 (рисунок 2.1, б) секций рабочих органов одними концами шарнирно закреплены с нижней частью рамы 11 манипулятора 7, под собственным весом поворачиваемые относительно точки крепления 14 и удерживаемые ттягами 15, приводимыми в движение от поступательных звеньев 16, соединенных со штоками гидроцилиндров 17, 18 с возможностью перевода секций рабочих органов из транспортного положения в рабочее положение.

Другие концы несущих штанг 13 (рисунок 2.1, в) соединены с выдвигными штангами 19, образующими с несущими штангами 13 поступательный шарнир, с возможностью изменения ширины захвата секций рабочих органов посредством гидроцилиндров 20, 21, установленных сверху несущих штанг 13.

На конце выдвигных штанг 19 установлены свободновращающиеся опорные колеса 22 и распылительные устройства 23.

Распылительное устройство 23 (рисунок 2.2) выполнено в виде вертикально, установленного металлического цилиндра 24, который жестко прикреплен к отклоняющей штанге 26, соединенная с выдвигной штангой 19 через предохранительный механизм 27.

Во внутреннюю полость корпуса металлического цилиндра 26, вертикально установлен пневмоакустический распылитель жидкости 25, верхняя часть которого соединен с электромагнитным клапаном посредством пневматического шланга 28. Распылитель 25 оснащен встроенным фильтром и отсекающим клапаном и соединен через штуцер с гибким шлангом 29.

Перемещение диска 30 вниз ограничено нижней крышкой, прикрепленной к корпусу металлического цилиндра 26 посредством крепежных деталей, а на наружной поверхности диска 30 вставлено резиновое кольцо с натягом, при чем снизу диска 30 вплавлены ворсы 31, изготовленные из полипропилена, при этом к внутренней поверхности ворсов 31 прикреплены три кольца различного диаметра,

уменьшающихся снизу вверх, равноудаленные друг от друга и изготовленные из полипропилена, при этом диаметр нижнего кольца выбирается как $1/3$ от расстояния между деревьями в ряду. Ворсы 31 образуют защитный фартук, предотвращающий попадание рабочей жидкости на плодовые деревья в процессе обработки приствольной полосы.

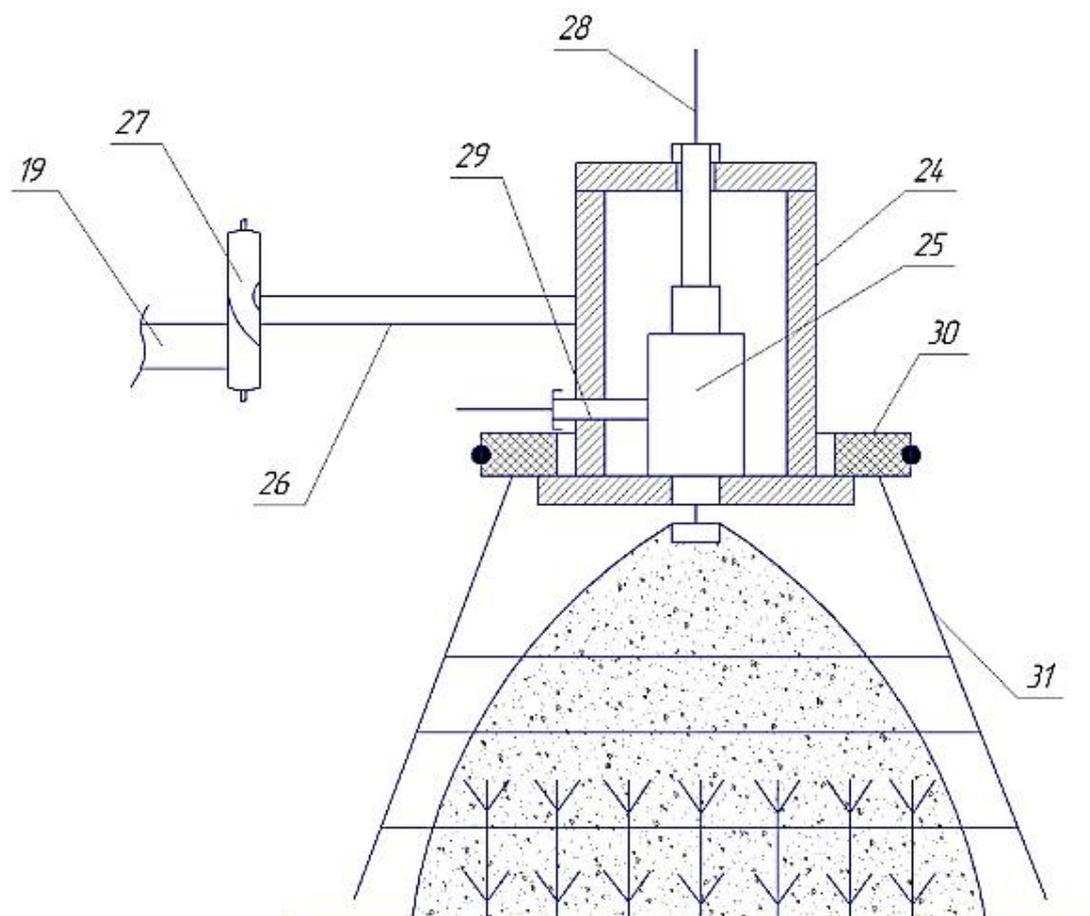


Рисунок 2.2 – Распылительное устройство

Манипулятор 7 используется в двух режимах: транспортном и рабочем. В транспортном режиме (рисунок 2.1, б) секции рабочих органов общим подъемом переводят в верхнее положение и поворачивают на максимальный угол подъема относительно поверхности земли, а в рабочем режиме (рисунок 2.1, в) механизатор оперативно располагает секции рабочих органов в требуемое

положение в зависимости от производственных условий и выполняемых операций.

Управление подачей жидкости от гидросистемы трактора 1 к гидроцилиндрам 12, 17, 18, 20 и 21 манипулятора 7 осуществляется посредством гидравлической аппаратуры 5, состоящая из золотниковых гидрораспределителей с электроуправлением, присоединенных по 6-позиционной гидравлической плите модульного монтажа через модули гидрозамков и регулируемых дросселей, которые позволяют настраивать скорость втягивания и выдвижения штоков гидроцилиндров 12, 17, 18, 20 и 21. Гидравлическая аппаратура 5 смонтирована на несущей стойке 8, на которой также установлена аппаратура электроуправления 6 с кабелем к пульту управления. Подключение к гидросистеме трактора 1 осуществляется с помощью двух рукавов высокого давления посредством стандартных быстросъемных разъемов, подключаемых к боковым выводам трактора 1.

По бокам гидравлической аппаратуры 5 прикреплены две пластины, на которых смонтированы узлы с электромагнитными клапанами. К электромагнитным клапанам посредством штуцеров подключаются пневматические шланги подачи воздуха от регулятора давления. Подача рабочей жидкости осуществляется самотеком от емкости 3 через гибкие шланги подачи рабочей жидкости к секциям рабочих органов.

Блок электрического пульта управления 32 (рисунок 2.3) устанавливается в кабине трактора 1 и представляет собой металлический коробчатый корпус.

На верхней поверхности металлического коробчатого корпуса установлены три рычажка джойстиков 33, 34 и 35 для управления перемещением штоков гидроцилиндров 12, 17, 18, 20 и 21 и три выключателя – один общий 36, два 37 и 38 для управления электромагнитными клапанами подачи воздуха в левую и правую секции рабочих органов.

Сбоку металлического коробчатого корпуса установлено гнездо для подключения управляющего кабеля манипулятора 7 и выходит кабель для подключения к бортовой электросети 12В трактора 1. Металлический коробчатый

корпус блока электрического пульта управления 32 посредством регулируемого поворотного кронштейна крепится к боковой стойке кабины трактора 1.

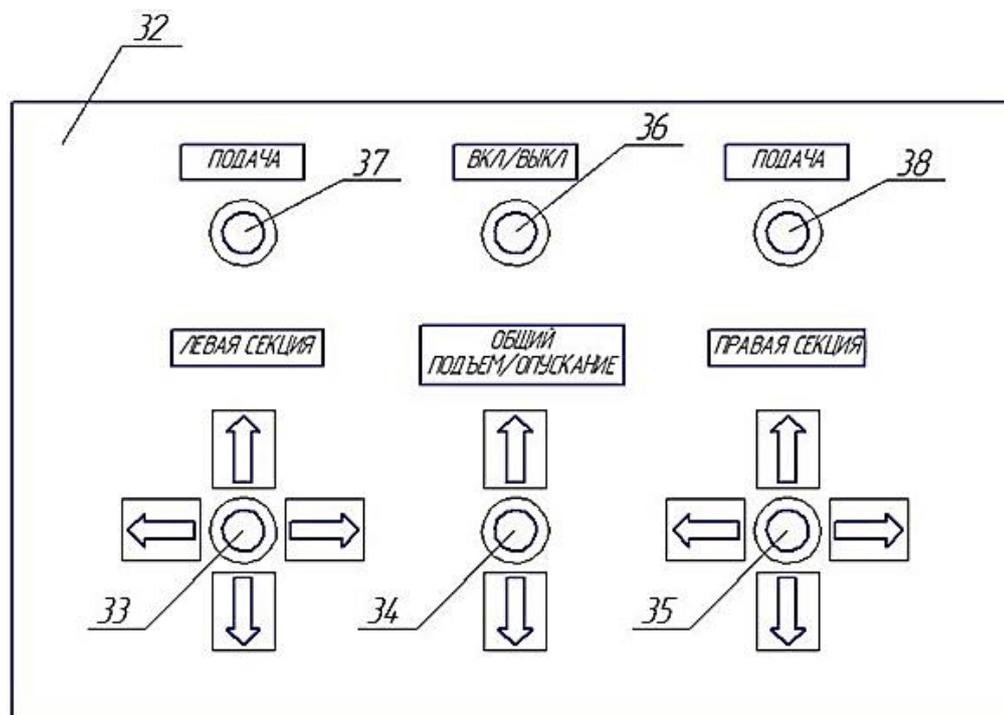


Рисунок 2.3 – Блок электрического пульта управления

Гербицидная установка работает следующим образом.

Механизатор, заехав в террасу сада, проводит следующие подготовительные работы, не выходя из кабины трактора: управляя джойстиком 33 и 35 (рисунок 2.3), в зависимости от расположения плодовых насаждений на террасе, опускает штоки то одного гидроцилиндра 17, то другого гидроцилиндра 18 вниз и переводит секции рабочих органов из транспортного положения в рабочее положение, затем управляя джойстиком 34 выдвигает шток гидроцилиндра 12 вверх и опускает раму 11 манипулятора 7 вниз, при этом свободно вращающиеся опорные колеса 22 опираются на поверхность почвы, перемещая джойстик 33 влево, а джойстик 35 вправо, выдвигает штоки гидроцилиндров 20 и 21 и перемещает выдвижные штанги 19 в сторону приствольных полос плодовых насаждений и устанавливает необходимую ширину захвата в зависимости от ширины террасы и высоты штамба дерева. Включает ВОМ трактора, крутящий момент посредством карданного вала передается компрессору, который нагнетает

воздух в ресивер 4. От ресивера 4 воздух под давлением поступает в регулятор давления. Поток воздуха с заданным давлением из регулятора давления по пневматическому шлангу поступает к электромагнитным клапанам то левой, то правой секции рабочих органов.

В начале процесса обработки ворсы 31 соприкасаются со штаблом дерева 40 (рисунок. 2.4, а). Затем ворсы 31 огибают штабл дерева 40, происходит обработка сорной растительности, расположенной и со стороны полотна, и со стороны откоса террасы (рисунок 2.4, б).

Соприкосновение диска 30 со штаблом дерева 40 приводит к срабатыванию предохранительного механизма 27, штанга 26 отклоняется, тем самым происходит обход штабла (рисунок 2.4, б).

При дальнейшем движении обрабатывается пространство между деревьями (рисунок 2.2, в).

Форма обработанного пространства приведена на рисунке 2.4, г.

При выезде гербицидной установки из одной террасы сада механизатор включает электромагнитный клапан, и подача воздуха к секции рабочего органа прерывается, при этом срабатывают отсекающий клапан, установленный в узле распылителя 25 и рабочая жидкость, находящаяся в гибком шланге не вытекает из распылителя 25, тем самым исключаются производственные потери рабочей жидкости.

Далее механизатор переводит одну из секций рабочего органов из рабочего положения в транспортное положение, другая секция находится в транспортном положении, делает разворот машины, заезжает на следующую террасу и аналогично продолжает процесс обработки сорных растений в приствольной полосе плодовых насаждений другой секцией рабочего органов.

Таким образом, разработанная гербицидная установка обладает следующими преимуществами:

- настройка положения рабочих органов относительно рядов деревьев и полотна междурядья посредством манипулятора с пятью степенями свободы

(подъем/опускание и вынос левой и правой секций, общий подъем/опускание) и управление подачей гербицида к каждой секции рабочих органов;

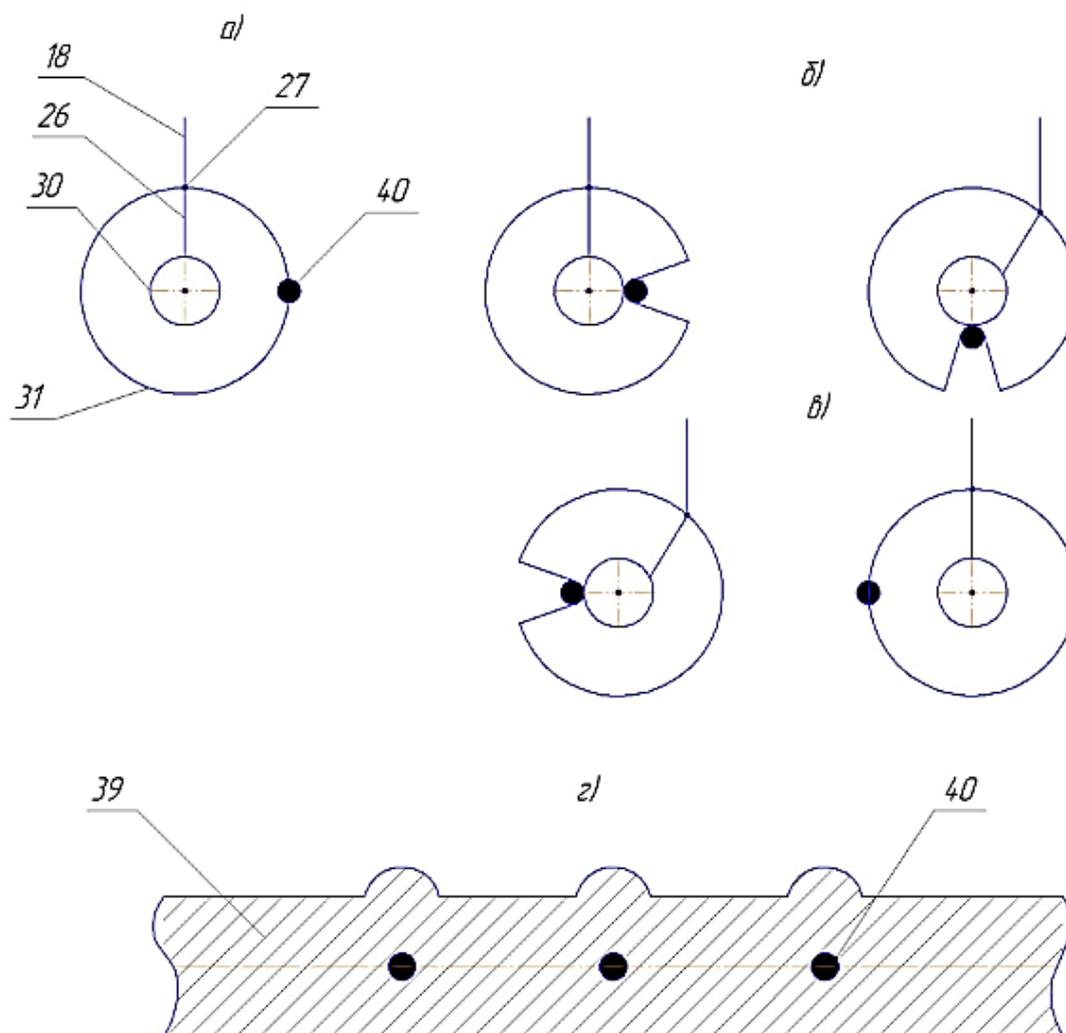


Рисунок 2.4 – Технологическая схема работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем жидкости при обработке сорных растений вдоль приствольной полосы и вокруг штамба дерева

- удобное управление из кабины трактора с помощью электрического пульта управления с джойстиком (от манипулятора в кабину заводится только электрический кабель, а пульт подключается к бортовой электросети трактора);
- возможность установки различных вариантов конструкций рабочих органов для обработки приствольных полос;

- регулировка выноса секций рабочих органов $\pm 0,5$ м во время рабочего процесса и быстрая перенастройка перед обработкой участков при большем изменении ширины междурядья;

- для обслуживания машины достаточно одного механизатора;

- способность повышения производительности.

2.2 Математическое описание и компьютерное моделирование мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве для его внесения в приствольные полосы плодовых насаждений

2.2.1 Монодисперсное дробление жидкости резонатором пневмоакустического распылителя

Конструктивная схема пневмоакустического распылителя жидкости приведена на рисунке 2.5.

В процессе распыливания жидкости сила поверхностного натяжения равна [62, 87, 139, 148, 149]:

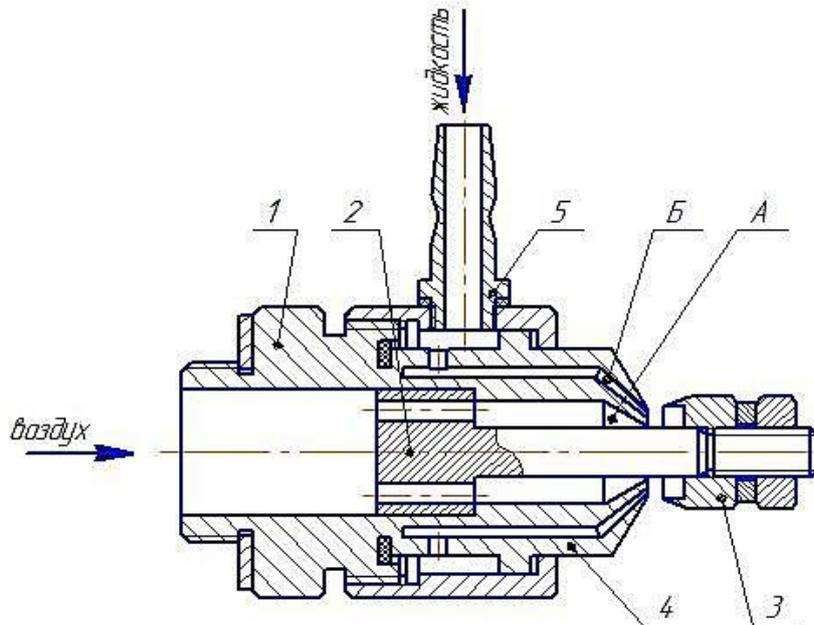
$$F_H = \pi d_K \sigma_{ж}, \quad (2.1)$$

где d_K – диаметр капли, м; $\sigma_{ж}$ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м.

Сила динамического давления:

$$F_D = \frac{\pi d_K^2}{6} \rho_{ж} V_{ж}^2, \quad (2.2)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; $V_{ж}$ – скорость жидкости, м/с.



1 – штуцер для подачи воздуха; 2 – распределитель воздуха; 3 – резонатор; 4 – полость; 5 – штуцер для подачи жидкости; 6 – коническое сопло

Рисунок 2.5 – Конструктивная схема пневмоакустического распылителя жидкости

Коэффициент обжатия λ струи:

$$\lambda = \frac{d_c}{D_0 - d_c}, \quad (2.3)$$

где D_0 – диаметр полости сопла, м;

Размер основных капель определяется из условия:

$$F_d = F_H. \quad (2.4)$$

Тогда:

$$d_K = \frac{6\sigma_{ж}}{\rho_{ж}V_{ж}^2}. \quad (2.5)$$

Аэродинамическая сила F_A :

$$F_A = C_f \frac{\pi d_K^2}{6} \rho_B V_B^2, \quad (2.6)$$

где C_f – коэффициент аэродинамического сопротивления капли; ρ_B – плотность воздуха, кг/м³; V_B – скорость воздушного потока, м/с.

Коэффициент аэродинамического сопротивления капли [131]:

$$C_f = \frac{A}{\text{Re}^m}, \quad (2.7)$$

где A – постоянный коэффициент для определенного режима движения капли; m – показатель режима движения капли воды; Re – число Рейнольдса равно:

$$\text{Re} = \frac{V_B d_K \rho_B}{\mu_B}, \quad (2.8)$$

где μ_B – коэффициент динамической вязкости воздуха, кг·с/м².

Указанные коэффициенты в формуле (2.8) принимают следующие значения [131]:

- ламинарный режим движения капли (применяется формула Стокса), если $\text{Re} \leq 2$: $A = 24$; $m = 1$;

- переходный режим движения капли (применяется формула Аллена) если $2 < \text{Re} \leq 500$: $A = 18,5$; $m = 0,6$;

- турбулентный режим движения капли при условии $\text{Re} > 500$: $A = 0,44$; $m = 0$

Скорость воздушного потока [107]:

$$V_B = \sqrt{\frac{2P_B}{\rho_B}}, \quad (2.9)$$

где P_B – давление воздуха, МПа.

Расход воздуха:

$$Q_B = 3,5Q_{Ж}, \quad (2.10)$$

где Q_B – расход воздуха, м³/ч; $Q_{Ж}$ – расход жидкости, л/мин.

Согласно [159]:

$$\vec{F}_D + \vec{F}_A = \vec{F}_H. \quad (2.11)$$

Расход жидкости можно рассчитать по выражению:

$$Q_{Ж} = \frac{Q_E}{2\pi r_p}, \quad (2.12)$$

где Q_E – единичный расход жидкости, м³/ч.

Отрыв капли от торца резонатора происходит при условии:

$$\vec{F}_D + \vec{F}_A \succ \vec{F}_H. \quad (2.13)$$

Отсюда:

$$F_H = \sqrt{F_D^2 + F_A^2}. \quad (2.14)$$

Окончательно получим:

$$d_k = 6 \frac{\sigma_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}}^2} \sqrt{\frac{1}{1 + 4C_f^2 \left(\frac{\rho_B}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2 \left(\frac{P_B}{\rho_B V_{\text{ж}}^2}\right)^2}}. \quad (2.15)$$

Зависимость диаметра жидкости капли от основных параметров струи приведена на рисунке 2.6.

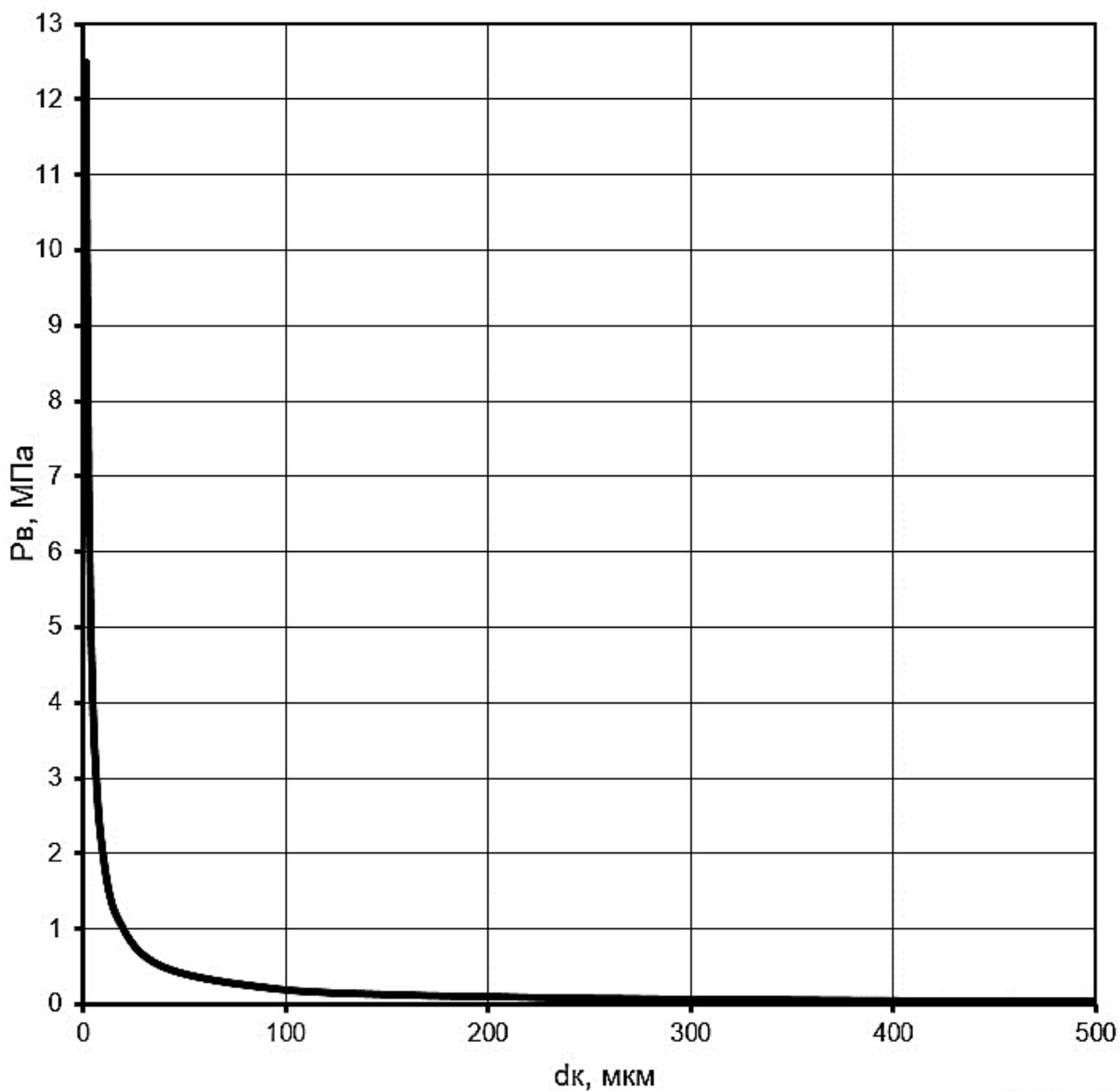
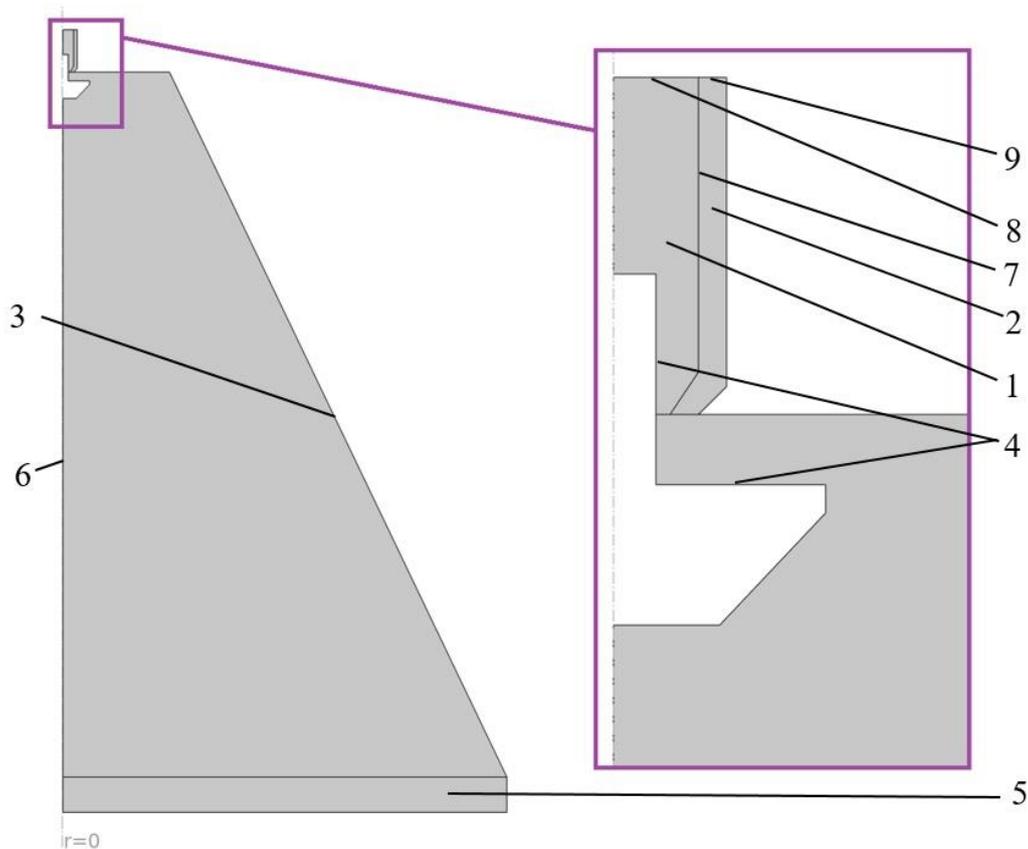


Рисунок 2.6 – Зависимость диаметра жидкости капли от основных параметров струи

2.2.2 Математическое описание мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве

Геометрическая модель рассматриваемого распылительного устройства, выполненная в ПО Comsol Multiphysics представлена на рисунке 2.7.

Так как рассматриваемое распылительное устройство имеет ось симметрии, то представленная геометрическая модель представляет собой половину устройства в двумерном пространстве.



1 – воздушная область сопла, 2 – область сопла, через которую подается рабочий раствор гербицида, 3 – кожух, 4 – стенки головки распылителя (резонатор), 5 – воздушная область между кожухом и землей, 6 – ось симметрии, 7 – «тонкая стенка» между воздушной и растворной областями сопла, 8 – вход для воздуха, 9 – вход для гербицидного раствора

Рисунок 2.7 – Геометрическая модель распылителя в ПО Comsol Multiphysics

Получение трехмерной модели в дальнейшем возможно путем прокрутки геометрической модели по оси симметрии. Распылитель состоит из 3-х частей:

1) резонатор, который в модели представлен только стенками, соприкасающимися с воздухом и гербицидным раствором, диаметр его стержня, который помещен внутрь сопла составляет 6 мм, а наибольший диаметр его поверхности, о которую ударяются потоки воздуха и гербицидного раствора составляет 30 мм. При этом зазор между соплом и этой поверхностью составляет 5 мм;

2) часть сопла распылителя, через которую подается воздух, имеет диаметр 12 мм сверху, который по мере движения воздуха сужается, так что снизу на выходе воздуха диаметр данной части сопла составляет 8 мм;

3) часть сопла распылителя через которую подается гербицидный раствор, имеет кольцевой вид с внутренним диаметром 12 мм и внешним 16 мм, который также сужается к низу сопла, так что его внутренний диаметр составляет 8 мм, а внешний 12 мм.

Гербицидный раствор распыляется внутри кожуха, который предотвращает снос капель дальше обрабатываемого участка. Он представляет собой усеченный конус в верхнее сечение которого вставляется конец сопла распылителя. Верхнее сечение кожуха имеет диаметр 120 мм, а нижнее 500 мм. Высота кожуха составляет 400 мм. Воздушная область между кожухом распылителя и землей имитирует неизбежный зазор, который возникает при обработке и через который распыляемый раствор гербицида покидает геометрическую модель. Высота данной воздушной области в геометрической модели принята равной 20 мм.

Задача сводится к рассмотрению двухфазного потока внутри кожуха распылительного устройства. Данный поток состоит из воздуха – основная фаза и рабочего раствора гербицида в виде макроскопических капель – дисперсная фаза. При разработке математической модели принимаем следующие допущения:

- 1) свойства раствора гербицида тождественны свойствам воды, т.к. она составляет подавляющую часть раствора;
- 2) плотности каждой из фаз постоянны;
- 3) обе фазы имеют общее поле давления;

4) капли раствора успевают «подстраиваться» под поток воздуха настолько быстро, что их поведение можно описывать как часть единой смеси, а не как отдельные элементы с собственной динамикой;

5) режим течения турбулентный.

Плотность смеси ρ определяется как:

$$\rho = \phi_v \cdot \rho_v + \phi_{жс} \cdot \rho_{жс}, \quad (2.16)$$

где ρ – плотность смеси воздуха и жидкости, кг/м³; $\phi_v, \phi_{жс}$ – соответственно, объемные доли воздуха и жидкости, о.е.; $\rho_v, \rho_{жс}$ – соответственно, плотности воздуха и жидкости, кг/м³.

Динамическая вязкость смеси:

$$\mu = \phi_v \cdot \mu_v + \phi_{жс} \cdot \mu_{жс}, \quad (2.17)$$

где μ – динамическая вязкость смеси воздуха и жидкости, Па·с; $\mu_v, \mu_{жс}$ – соответственно, динамические вязкости воздуха и жидкости, Па·с.

Потоки объема для каждой из фаз, а также суммарный поток всей смеси определяются как:

$$j_{жс} = \phi_{жс} \cdot u_{жс}; \quad j_v = \phi_v \cdot u_v; \quad j = j_{жс} + j_v, \quad (2.18)$$

где $j_{жс}, j_v, j$ – векторы объемных потоков жидкой и воздушной фаз, а также вектор объемного потока всей смеси соответственно, м/с; $u_{жс}, u_v$ – соответственно, вектора скоростей жидкой и воздушной фаз, м/с.

Вектор объемного потока всей смеси можно найти, используя уравнения Навье-Стокса для турбулентного режима течения. Так как было принято допущение о том, что плотности обеих фаз постоянны, то уравнение неразрывности потока можно записать в виде [49]:

$$\nabla \cdot j = m \cdot \left(\frac{1}{\rho_{\text{в}}} - \frac{1}{\rho_{\text{жс}}} \right), \quad (2.19)$$

где m – скорость массопереноса из дисперсной в основную фазу, кг/(м³·с).

Так как в рассматриваемой задаче не рассматриваются никаких химических реакций между фазами, а также не рассматривается испарение жидкой фазы в воздушную, то скоростью массопереноса m можно пренебречь и тогда уравнение неразрывности (2.19) значительно упрощается:

$$\nabla \cdot j = 0. \quad (2.20)$$

Уравнение движения для потока смеси [49]:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial j}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)j + (\rho_{\text{жс}} - \rho_{\text{в}})(j \cdot \nabla)j = \nabla \cdot [p \cdot I + (\mu + \mu_T)(\nabla \cdot j + (\nabla \cdot j)^T)] - \\ - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot j)I - \frac{2}{3}\rho k I] + \nabla \cdot [(\rho_{\text{жс}} + \rho_{\text{в}} - \rho) \cdot u_{\text{нр}} j_{\text{нр}}^T] + \rho g, \end{aligned} \quad (2.21)$$

где $j_{\text{нр}}$ – вектор объемного потока «проскальзывания», зависящий от $u_{\text{нр}}$ и равен $j_{\text{нр}} = \phi_{\text{в}} \cdot \phi_{\text{жс}} \cdot u_{\text{нр}}$, м/с; $u_{\text{нр}}$ – вектор скорости «проскальзывания», которая описывает относительное движение между фазами, м/с; μ_T – турбулентная вязкость, Па·с; k – кинетическая энергия турбулентности, м²/с²; I – единичный тензор; g – ускорение свободного падения, м/с².

Т.к. размер капель гербицидного раствора очень мал, а за счет турбулентности присутствует их интенсивное перемешивание, то, на наш взгляд, можно не учитывать $u_{\text{нр}}$ и упростить уравнение (2.21):

$$\rho \frac{\partial j}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)j = \nabla \cdot [p \cdot I + (\mu + \mu_T)(\nabla \cdot j + (\nabla \cdot j)^T)] - \quad (2.22)$$

$$-\frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot j)I - \frac{2}{3}\rho k I \Big] + \rho g.$$

При этом также упростятся формулы представленные в (2.18), т.к. рассматриваемые фазы можно рассматривать как единый поток, то их скорости $u_{ж}$ и $u_{г}$ одинаковы и равны общей скорости смеси u . Так как сумма $\phi_{ж}$ и $\phi_{г}$ равна 1, то в соответствии с (2.18): $j_{ж} = \phi_{ж} \cdot u$ и $j_{г} = (1 - \phi_{ж}) \cdot u$.

Для определения турбулентной вязкости μ_T и кинетической энергии турбулентности k уравнения Навье-Стокса (2.20) и (2.22) необходимо дополнить одной из моделей турбулентности. На сегодняшний день наиболее известные и часто используемыми являются модели: $k - \varepsilon$, $k - \omega$ и SST , которая объединяет в себе преимущества двух предыдущих. Выберем $k - \varepsilon$ модель, как наименее требовательную к вычислительным ресурсам и обладающую большей вероятностью сходимости по сравнению с другими двумя.

Таким образом, уравнения неразрывности и движения будут дополнены уравнениями для определения μ_T и k , а также скорости турбулентной диссипации ε [58]:

$$\mu_T = \rho C_\mu \cdot \frac{k^2}{\varepsilon}; \quad (2.23)$$

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \nabla k \right) + P_k - \rho \varepsilon; \quad (2.24)$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)\varepsilon = \nabla \cdot \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + C_{\varepsilon_1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon_2} \frac{\varepsilon^2}{k}; \quad (2.25)$$

$$P_{ki} = \mu_T \left[\frac{\nabla \cdot j}{\nabla \cdot j + (\nabla \cdot j)^T} - \frac{2}{3}(\nabla \cdot j)^2 \right] - \frac{2}{3}\rho k \nabla j, \quad (2.26)$$

где $C_\mu, C_{\varepsilon_1}, C_{\varepsilon_2}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ – константы принятой модели турбулентного потока $k - \varepsilon$, которые равны, соответственно, 0,09, 1,44, 1,92, 1,0 и 1,3; ε – скорость турбулентной диссипации, m^2/c^3 .

Уравнение транспорта для объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ [49]:

$$\frac{\partial \phi_{жс}}{\partial t} + j \cdot \nabla \phi_{жс} = \nabla \cdot (D \nabla \phi_{жс}), \quad (2.27)$$

где D – коэффициент турбулентной дисперсии $D = \frac{\mu_T}{\rho \cdot \sigma_T}$, м²/с; σ_T – турбулентное число Шмидта, обычно принимается равным 0,35.

Уравнения (2.20), (2.22), (2.24), (2.25) и (2.27) математически описывают рассматриваемый процесс распределения мелкодисперсного объема водных растворов гербицидов в распылительном устройстве. Но для того, чтобы решить эти уравнения необходимо задать начальные (НУ) и граничные (ГУ) условия на границах геометрической модели. Для этого разработаем компьютерную модель рассматриваемого случая в ПО Comsol Multiphysics и проведем ее обработку.

2.2 Разработка компьютерной модели мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве в ПО Comsol Multiphysics

На основании разработанной геометрической модели и математического описания рассматриваемого процесса, проведенного в п. 2.2.2, разработаем компьютерную модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве. Для этого зададим НУ и ГУ.

В качестве НУ примем следующие:

1. начальная объемная скорость потока внутри распылителя $j_0 = 0$ м/с;
2. давление внутри распылителя p равно атмосферному;

3. объемная доля дисперсной фазы $\phi_{жс} = 0$.

В качестве ГУ необходимо задать условия на входах и выходе из распылителя, а также на его внутренних и внешних стенках.

На входной границе, соответствующей входу воздуха в сопло (см. рисунок 2.7) зададим постоянный входящий поток воздушной фазы j_e направленный по нормали внутрь сопла, а также на этой же границе зададим отсутствие дисперсной фазы $\phi_{жс}$:

$$j_e = -j_{e0} \cdot n; \quad \phi_{жс} = 0, \quad (2.28)$$

где j_{e0} – скорость воздуха на входе в сопло, м/с; n – нормальный вектор.

В качестве j_{e0} при компьютерном моделировании будем задавать различные скорости начиная с 15 м/с и смотреть как будет изменяться скорость на выходе из сопла и расход гербицида в нижней части кожуха распылителя.

На входной границе, соответствующей входу гербицидного раствора в сопло (см. рисунок 2.7) зададим постоянный входящий поток дисперсной фазы $j_{жс}$ и отсутствие воздушной фазы ϕ_e по аналогии с (2.28):

$$j_{жс} = -j_{жс0} \cdot n; \quad \phi_e = 0, \quad (2.29)$$

где $j_{жс0}$ – скорость гербицидного раствора на входе в сопло, м/с.

Скорость $j_{жс0}$ необходимо определить аналитически. Примем следующие условия для расчета. Имеем бак с раствором гербицида к которому подключен резиновый шланг длиной 10 м и внутренним диаметром 6 мм. Он связывает бак с соплом распылителя через переходник с внутренним диаметром 4 мм. Шланг имеет два изгиба по 90°. Сопло расположено вертикально и представляет из себя кольцо с внутренним диаметром 12 мм и наружным 16 мм. Переходник расположен горизонтально и подключается к соплу с боку. Принимаем напор воды 1 м. Местные сопротивления: на входе в шланг: $\zeta_1 = 0,5$; сужение (шланг-переходник):

$\zeta_2 = 0,22$; 2 изгиба шланга 90° $\zeta_3 = 1,1$ (каждый); выход из переходника в сопло: $\zeta_4 = 1,978$ [166]. Таким образом, площади поперечных сечений:

для шланга:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{4} = 2,827 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

для переходника:

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,004^2}{4} = 1,256 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

для сопла:

$$S_3 = \frac{\pi \cdot (D_3^2 - D_4^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,016^2 - 0,012^2)}{4} = 8,796 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Скорости в шланге v_1 , переходнике v_2 и в сопле v_3 связаны через площади сечений:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 = v_3 S_3.$$

Таким образом:

$$v_1 = v_2 \frac{S_2}{S_1} = v_2 \frac{1,256 \cdot 10^{-5}}{2,827 \cdot 10^{-5}} = 0,444 v_2; \quad (2.30)$$

$$v_3 = v_2 \frac{S_2}{S_3} = v_2 \frac{1,256 \cdot 10^{-5}}{8,796 \cdot 10^{-5}} = 0,143 v_2. \quad (2.31)$$

Уравнение Бернулли с учетом потерь:

$$H = \frac{v_2^2}{2g} + h_{mp} + h_{мест}, \quad (2.32)$$

где H – напор, м; h_{mp} – потери на трение в шланге; $h_{мест}$ – местные потери.

Потери на трение в шланге по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{mp} = \lambda \cdot \frac{L}{D_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,04 \cdot \frac{10}{0,006} \cdot \frac{0,444 v_2^2}{2g} = 13,14 \cdot \frac{v_2^2}{2g}, \quad (2.33)$$

где λ – коэффициент трения для резинового шланга принят равным 0,04; L – длина шланга равная 10 м.

Местные потери:

ВХОД В ШЛАНГ:

$$h_{\text{вх}} = \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \cdot \frac{0,444v_2^2}{2g} = 0,1 \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

сужение шланг-переходник:

$$h_{\text{суж}} = \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,22 \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

два изгиба по 90°:

$$h_{\text{изг}} = 2 \cdot \zeta_3 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 2 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,444v_2^2}{2g} = 0,44 \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

ВЫХОД ИЗ ПЕРЕХОДНИКА В СОПЛО:

$$h_{\text{вых}} = \zeta_4 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 1,978 \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

Суммарные местные потери:

$$h_{\text{мест}} = (0,1 + 0,22 + 0,44 + 1,978) \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 2,738 \cdot \frac{v_2^2}{2g}.$$

Подставляя найденные потери и напор в (2.17):

$$1 = \frac{v_2^2}{2g} + 13,14 \cdot \frac{v_2^2}{2g} + 2,738 \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

$$1 = (1 + 13,14 + 2,738) \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

$$1 = 16,878 \cdot \frac{v_2^2}{19,62};$$

$$v_2^2 = \frac{19,62}{16,878};$$

$v_2 = 1,08$ м/с – скорость в переходнике.

Из (2.16) скорость в сопле

$$v_3 = 0,143 \cdot 1,08 = 0,15 \text{ м/с.}$$

Примем данную скорость за $j_{жс0}$ на входе в сопло.

Изображение геометрической модели с заданными НУ и ГУ представлено на рисунке 2.8.

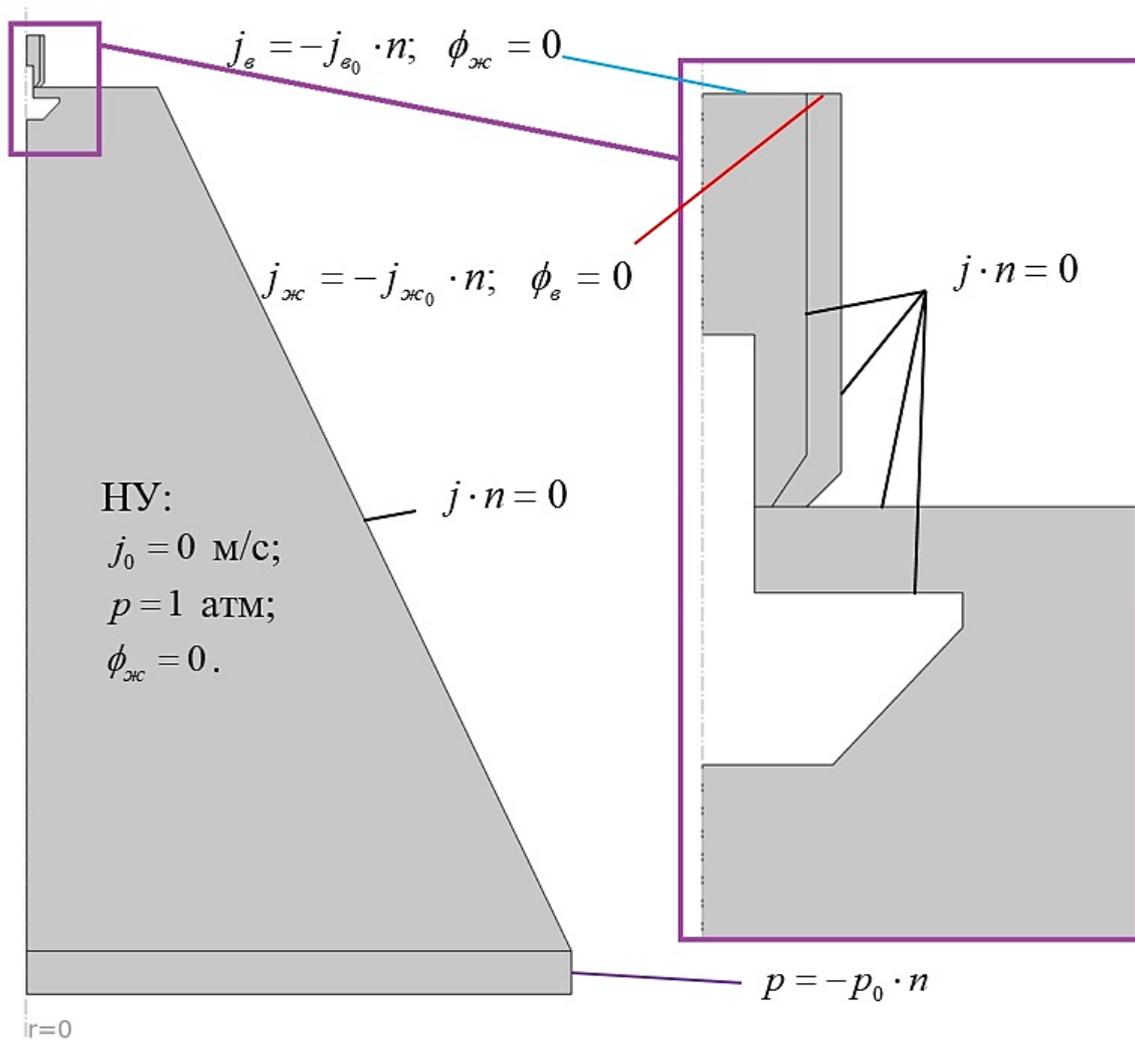


Рисунок 2.8 – Изображение геометрической модели с заданными НУ и ГУ

На границе, через которую поток покидает распылитель, а именно на правой вертикальной стенке воздушной области между кожухом и землей (см. рисунок 2.7) зададим постоянное атмосферное давление p_0 .

На остальных стенках модели, в том числе на «тонкой стенке» которая разделяет воздушную и жидкостную области сопла (см. рисунок 2.7) зададим условие отсутствия скольжения, т.е. искомая скорость объемного потока j направленная по нормали n к этим стенкам равна нулю: $j \cdot n = 0$.

Таким образом, разработанная компьютерная модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве может быть представлена системой уравнений (2.34).

Решение системы уравнений (2.34) осуществлялось в ПО Comsol Multiphysics. Для этого использовался физический интерфейс «Mixture Model». Для решения задачи методом конечных элементов была построена сетка, состоящая в основном из треугольных элементов. Общее количество элементов сетки составило 8150. Среднее их качество равно 0,8116 что достаточно для проведения дальнейшего моделирования. В пристеночных областях для улучшения сходимости задачи при расчете потока смеси газа и жидкости была построена так называемая погранслойная сетка, состоящая из прямоугольных элементов (рисунок 2.9).

Задача решалась в два шага. На первом шаге в стационарной постановке рассчитывалась скорость потока j и давление p на основе уравнений (2.20) и (2.22)-(2.26). На втором шаге использовалось полученное на предыдущем шаге поле скоростей для расчета объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ на основании уравнения (2.27) в постановке, зависящей от времени. Это позволило сократить количество вычислительных и временных затрат. Значение $j_{в0}$ на входе в воздушную часть сопла было задано равным 15 м/с. В результате расчета было получено поле скорости потока смеси j , представленное на рисунках 2.10, 2.11. Т.к. основные скорости сосредоточены в распылителе, то было сделано изображение этого же поля скоростей до 100 м/с в диапазоне от 0 м/с до 5 м/с.

$$\left\{ \begin{array}{l}
\text{уравнение движения: } \rho \frac{\partial j}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)j = \\
= \nabla \cdot \left[p \cdot I + (\mu + \mu_T)(\nabla j + (\nabla j)^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot j)I - \frac{2}{3}\rho k I \right] + \rho g; \\
\text{уравнение неразрывности: } \nabla \cdot j = 0; \\
\text{определение турбулентности вязкости: } \mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}; \\
\text{определение кинетической энергии турбулентности:} \\
\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \nabla k \right) + P_k - \rho \varepsilon; \\
\text{определение скорости турбулентной диссипации:} \\
\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho(j \cdot \nabla)\varepsilon = \nabla \cdot \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + C_{\varepsilon_1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon_2} \frac{\varepsilon^2}{k}; \\
\text{член в уравнениях } k-\varepsilon \text{ модели: } P_k = \mu_T \left[\frac{\nabla j}{\nabla j + (\nabla j)^T} - \frac{2}{3}(\nabla \cdot j)^2 \right]; \\
\text{плотность смеси: } \rho = \phi_g \cdot \rho_g + \phi_{жс} \cdot \rho_{жс}; \\
\text{уравнение транспорта для объемной доли дисперсной фазы } \phi_{жс}: \\
\frac{\partial \phi_{жс}}{\partial t} + j \cdot \nabla \phi_{жс} = \nabla \cdot (D \nabla \phi_{жс}); D = \frac{\mu_T}{\rho \sigma_T}; \\
\text{НУ: } j = 0; p = 1 \text{ атм, } \phi_{жс} = 0; \\
\text{ГУ на входной границе воздуха в модель: } j_g = -j_{g_0} \cdot n; \phi_{жс} = 0; \\
\text{ГУ на входной границе раствора в модель: } j_{жс} = -j_{жс_0} \cdot n; \phi_g = 0; \\
\text{ГУ на выходе: } p = -p_0 \cdot n; p_0 = 1 \text{ атм,} \\
\text{ГУ на стенках модели: } j \cdot n = 0,
\end{array} \right. \quad (2.34)$$

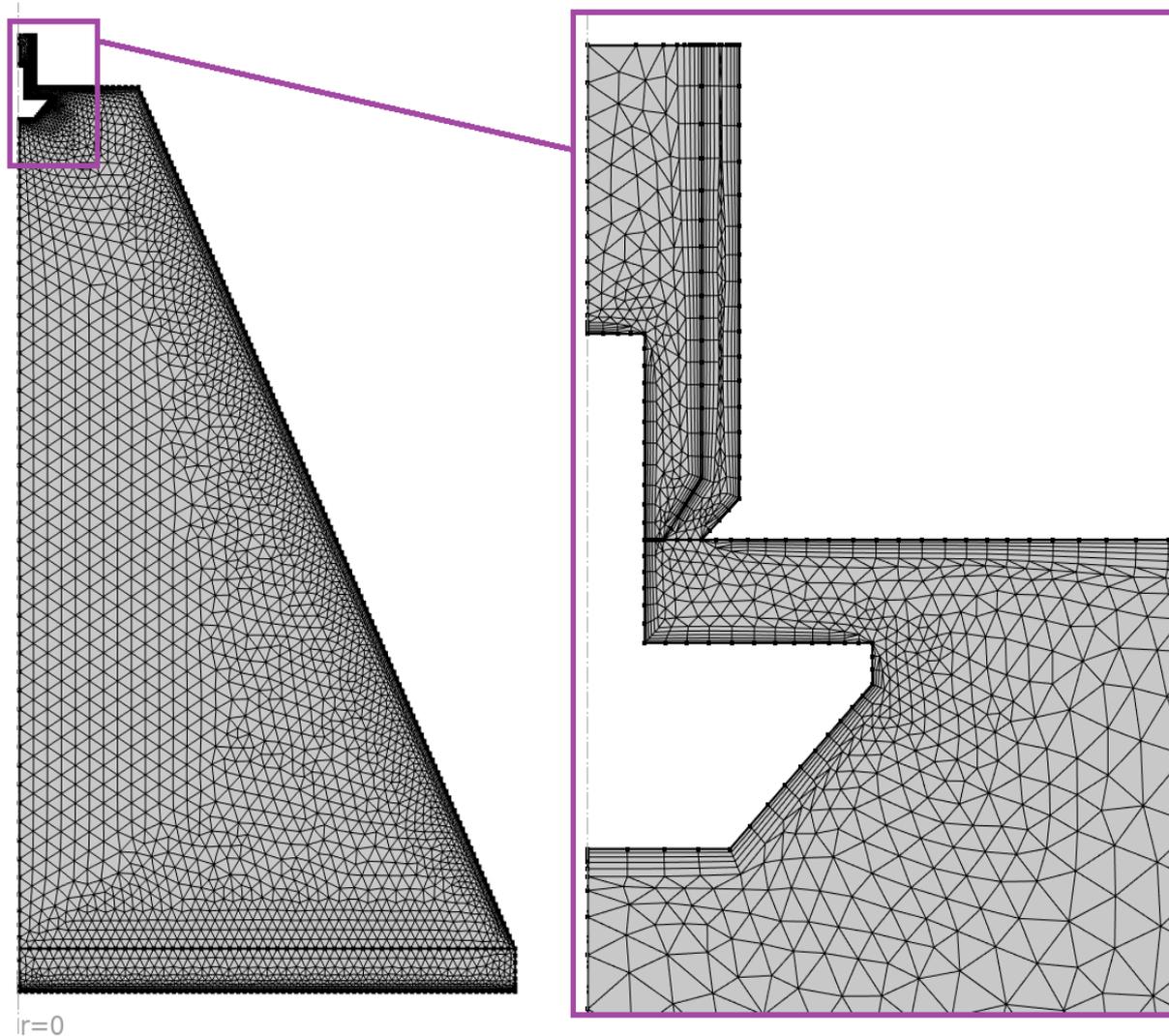


Рисунок 2.9 – Изображение построенной сетки для решения поставленной задачи в Comsol Multiphysics

Из рисунков 2.10 и 2.11 видно, что при скорости $j_{e_0} = 15$ м/с на входе в распылитель скорости смеси внутри него достигают 101 м/с. Максимальные скорости сосредоточены на выходе из сопла, а также на верхних стенках кожуха. Полученное максимальное значение скорости совпадает со значениями скоростей для пневматических распылителей, применяемых в сельском хозяйстве, скорости на выходе из сопла у которых лежат в диапазоне от 80 м/с до 200 м/с [113].

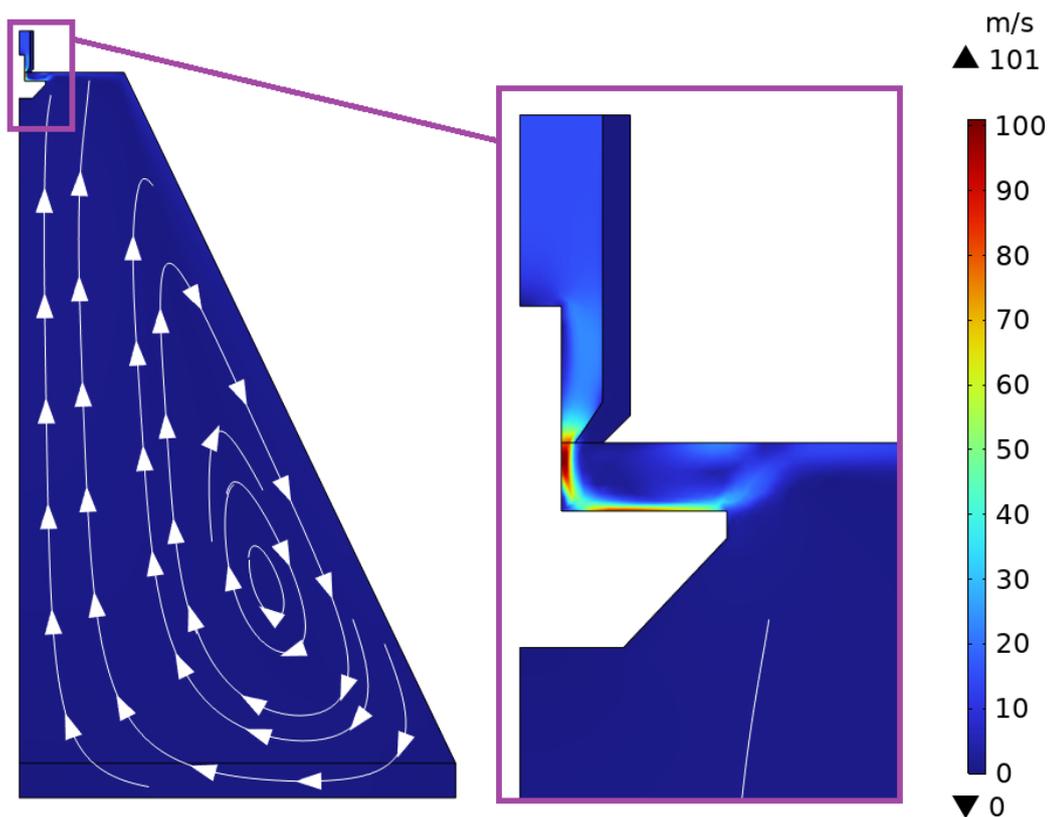


Рисунок 2.10 – Изображение поля скоростей потока смеси j при $j_{e_0} = 15$ м/с

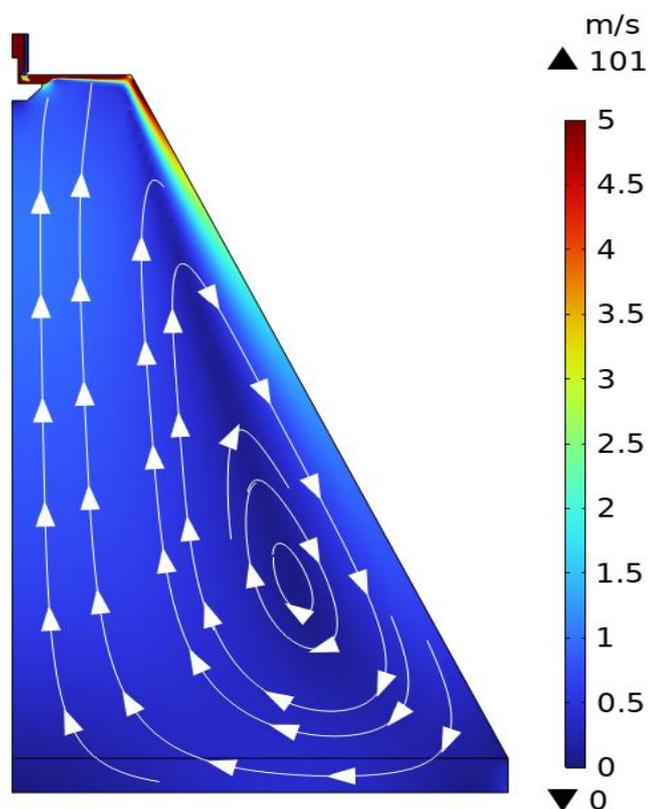


Рисунок 2.11 – Изображение поля скоростей потока смеси j в диапазоне от 0 м/с до 5 м/с при $j_{e_0} = 15$ м/с

Этот диапазон скоростей предполагает рациональный размер капель и энергозатраты на обработку гербицидом. В таблице 2.1 сведены результаты расчета при других скоростях воздуха на входе в сопло распылителя.

Таблица 2.1 – Данные расчета скоростей воздуха на выходе из сопла в зависимости от скоростей на входе в него

Скорость воздуха на входе в сопло, м/с	5	10	12	15	25
Скорость воздуха на выходе из сопла, м/с	35	69,7	82,6	101	162

Как видно из таблицы 2.1, скорости на входе и выходе из сопла связаны линейно. Минимально возможная скорость воздуха на входе в сопло должна составлять 12 м/с, т.к. если эта скорость будет ниже, то скорость воздуха на выходе из сопла будет менее 80 м/с, что повлечет за собой слишком большой размер капель, неравномерное покрытие, перерасход химикатов и т.п. При скоростях близких к 200 м/с на выходе из сопла увеличиваются энергозатраты, поэтому мы рекомендуем ограничиться диапазоном скоростей на входе в сопло 12-25 м/с или 82,6-162 м/с на выходе из сопла.

Для того чтобы дать рекомендации по скорости трактора и равномерности распределения раствора гербицидов внутри распылителя при данном диапазоне скоростей следует рассмотреть поле распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$, а также узнать расход раствора q .

На рисунке 2.12 показано поле распределения $\phi_{жс}$ при скорости воздуха на входе в сопло 15 м/с в разное время распыления.

Как видно из рисунка 2.12 поле распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ повторяет поле распределения скоростей потока смеси j , которое было представлено ранее. Основная доля раствора сосредоточена в верхней части кожуха распылителя. На создание полностью развитого потока уходит не более 3 секунд.

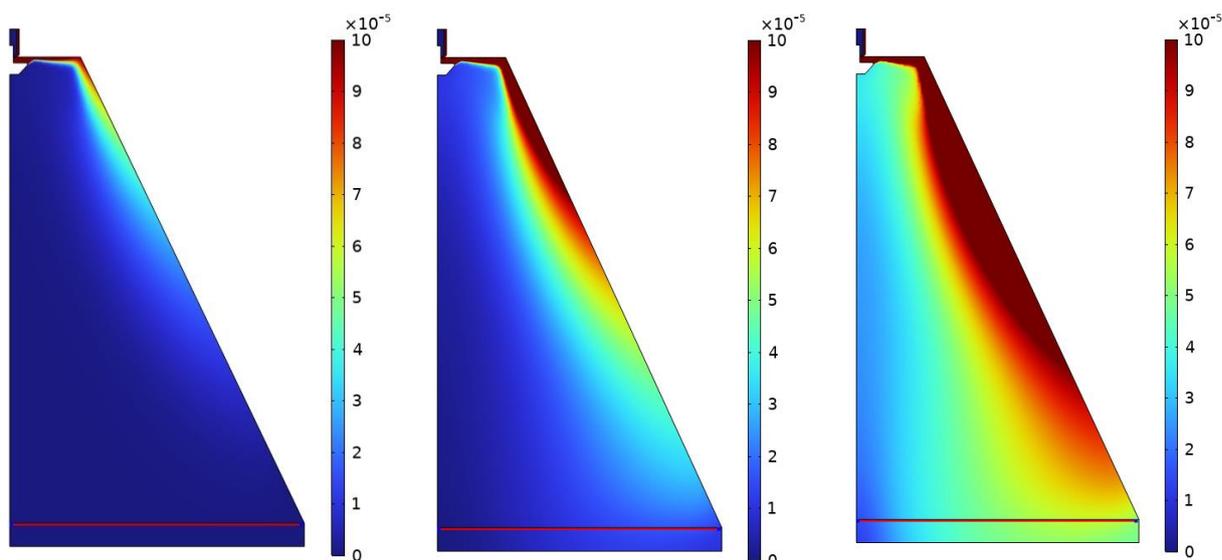
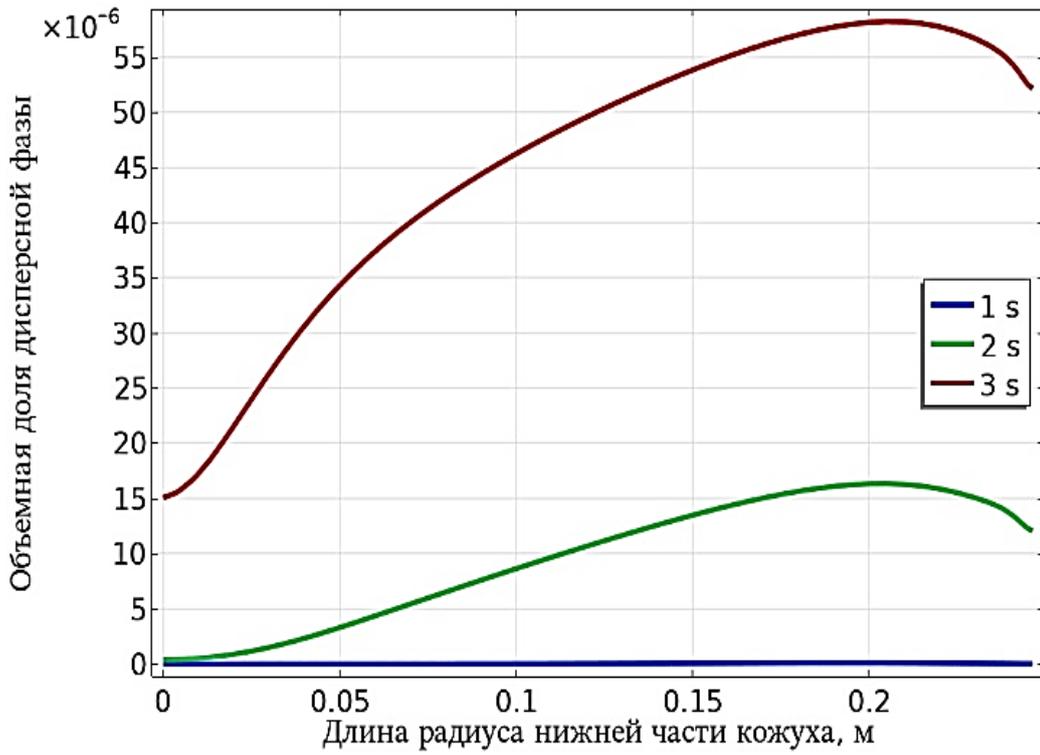


Рисунок 2.12 – Изображение поля распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ при $j_{\epsilon_0} = 15$ м/с, слева на право: через 1, 2 и 3 с

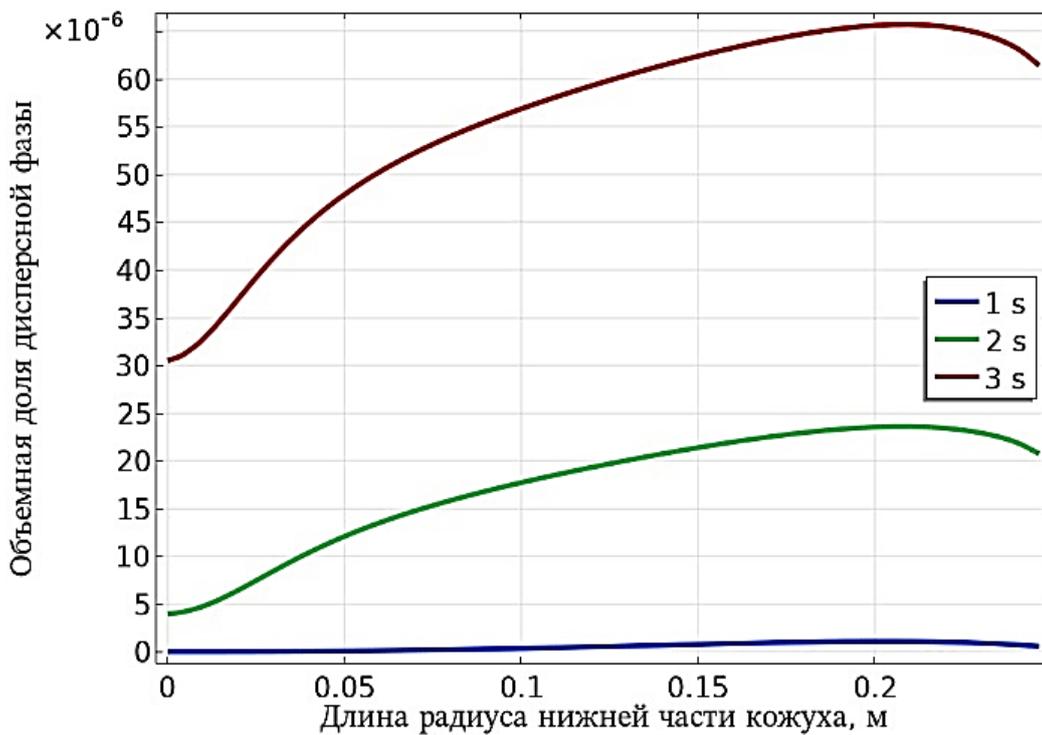
На рисунке 2.13 показаны графики распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ вдоль нижней горизонтальной границы кожуха (радиуса нижней его части длиной 250 мм, который показан на рисунке 2.12 красной линией), где по оси x ноль соответствует оси симметрии.

Между $\phi_{жс}$ в середине кожуха и его краем через 3 секунды при скорости $j_{\epsilon_0} = 15$ м/с наблюдается разница более чем в 3 раза. При $j_{\epsilon_0} = 25$ м/с разница в 2 раза. Такая неравномерность требует изменения геометрической модели.

Для того чтобы найти расход раствора q , ввиду двухмерной осесимметричной геометрической модели, был рассчитан интеграл от произведения скорости потока смеси j на $\phi_{жс}$ в рассматриваемом сечении. Расчеты скорости трактора по расходу раствора при разной j_{ϵ_0} на входе с привязкой к норме полива представлены в таблице 2.2. Расчет скорости трактора производился по следующему алгоритму. Зная площадь основания кожуха, которая равна $S = \pi \cdot 0,25^2 = 0,1963$ м² вычисляли сколько необходимо раствора на данную площадь. При норме 50 л/га: $(0,1963 \text{ м}^2 \cdot 50 \text{ л}) / 10000 \text{ м}^2 = 0,00098175$ л или $0,982 \cdot 10^{-6}$ м³.



а)



б)

Рисунок 2.13 – Графики распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ вдоль нижней горизонтальной границы кожуха при $j_{e_0} = 15$ м/с (а) и $j_{e_0} = 25$ м/с (б)

Таблица 2.2 – Данные по расчету скорости трактора для рассматриваемой геометрической модели распылителя

Норма внесения гербицида	50 л/га			100 л/га		
	12	15	25	12	15	25
Скорость на входе, м/с	12	15	25	12	15	25
Расход, м ³ /с	1,6190 ·10 ⁻⁶	2,0095 ·10 ⁻⁶	3,3587 ·10 ⁻⁶	1,6190 ·10 ⁻⁶	2,0095 ·10 ⁻⁶	3,3587 ·10 ⁻⁶
Скорость трактора при диаметре нижней части кожуха 500 мм, км/ч	3	3,6	6,16	1,5	1,8	3,08

Зная расход раствора q , определяли сколько времени t требуется на обработку площади S : $t = q / 0,982 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Зная это время скорость трактора v в [м/с] можно определить по формуле: $v = 0,5/t$, где 0,5 – это диаметр основания кожуха в [м].

Для того чтобы увеличить равномерность распределения $\phi_{жс}$ внизу кожуха изменим геометрию резонатора.

На рисунке 2.14 показаны исследуемые варианты. В обоих случаях наибольший диаметр резонатора такой же, как и диаметр в предыдущей версии геометрии, а именно 30 мм. Зазор между соплом и плоскостью резонатора, об которую ударяется поток воздуха остался прежним – 5 мм.

Результаты моделирования для вариант «конус» представлены на рисунке 2.15.

Как видно из рисунка 2.15 конусообразная геометрия резонатора почти не влияет на распределение $\phi_{жс}$. Разница в 3 раза между $\phi_{жс}$ в середине кожуха и его краем сохраняется.

На рисунке 2.16 представлены результаты моделирования для резонатора, выполненного в виде полусферы.

Как видно из рисунка 2.16 при использовании резонатора в виде полусферы удалось уменьшить разницу между $\phi_{жс}$ до 1,5 раз, что позволяет рекомендовать такой вид резонатора.

В таблице 2.3 приведены данные по расчету скорости трактора для данного варианта.

Таблица 2.3 - – Данные по расчету скорости трактора для геометрической модели распылителя в виде полусферы

Норма внесения гербицида	50 л/га			100 л/га		
	12	15	25	12	15	25
Скорость на входе, м/с	12	15	25	12	15	25
Расход, м ³ /с	1,3611 ·10 ⁻⁶	1,6893 ·10 ⁻⁶	2,5613 ·10 ⁻⁶	1,3611 ·10 ⁻⁶	1,6893 ·10 ⁻⁶	2,5613 ·10 ⁻⁶
Скорость трактора при диаметре нижней части кожуха 500 мм, км/ч	2,51	3,1	4,7	1,26	1,55	2,35

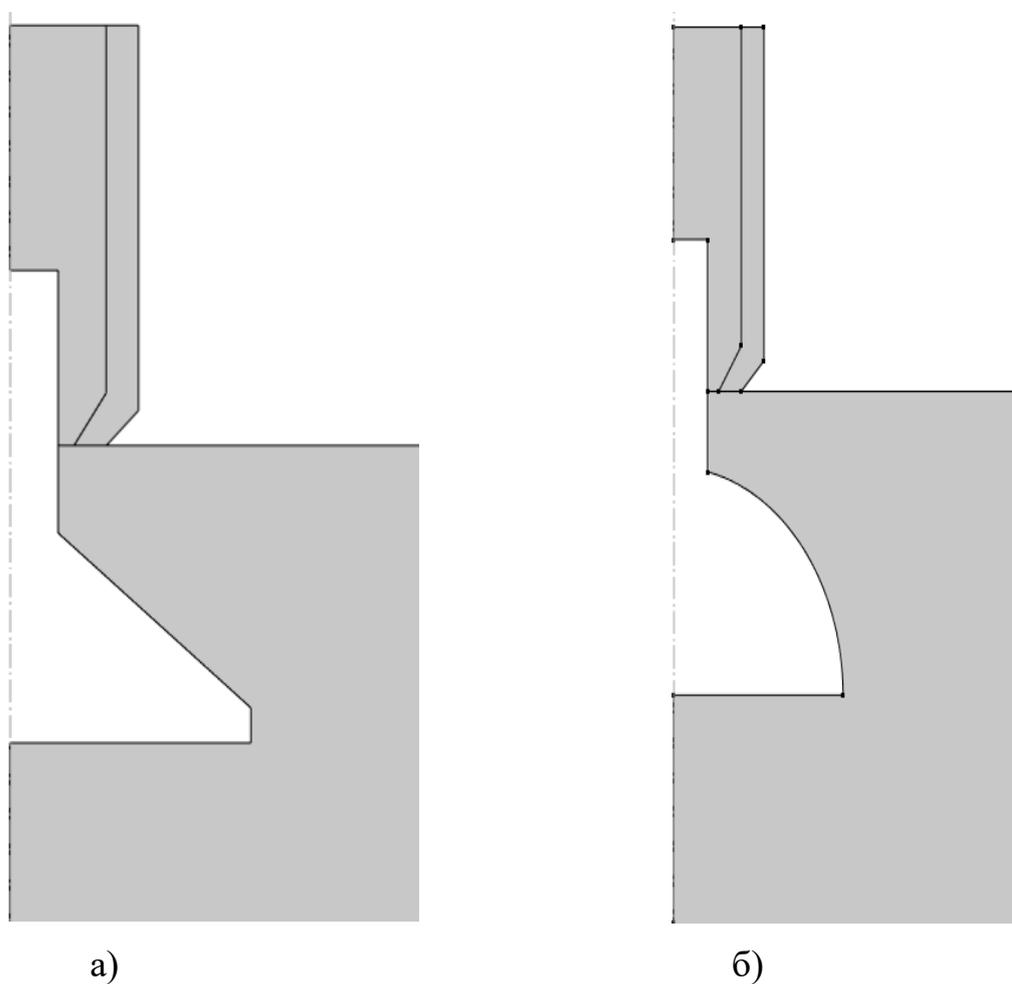
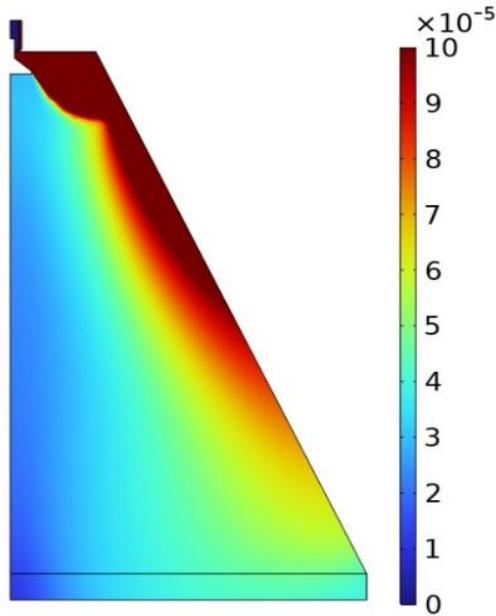
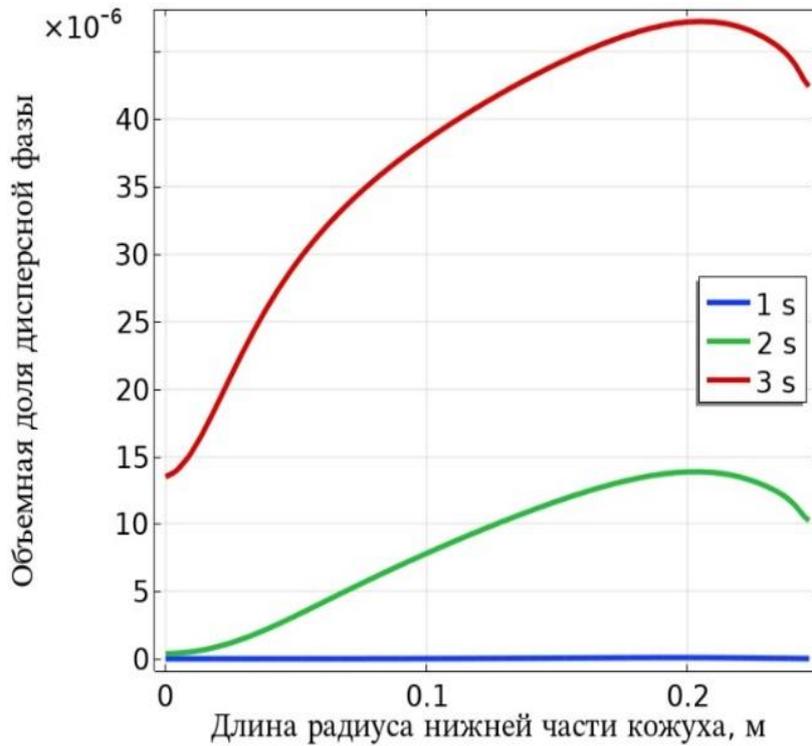


Рисунок 2.14 – Изображение вариантов резонатора для дальнейшего моделирования с целью увеличения равномерности распределения $\phi_{жс}$: «конус» (а) и «полусфера» (б)



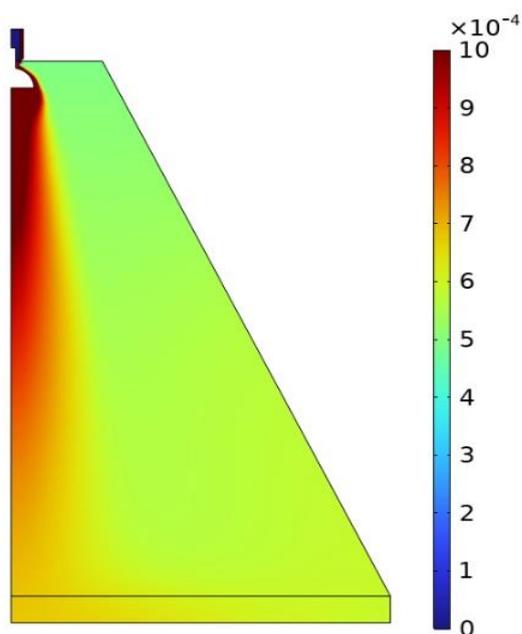
а)



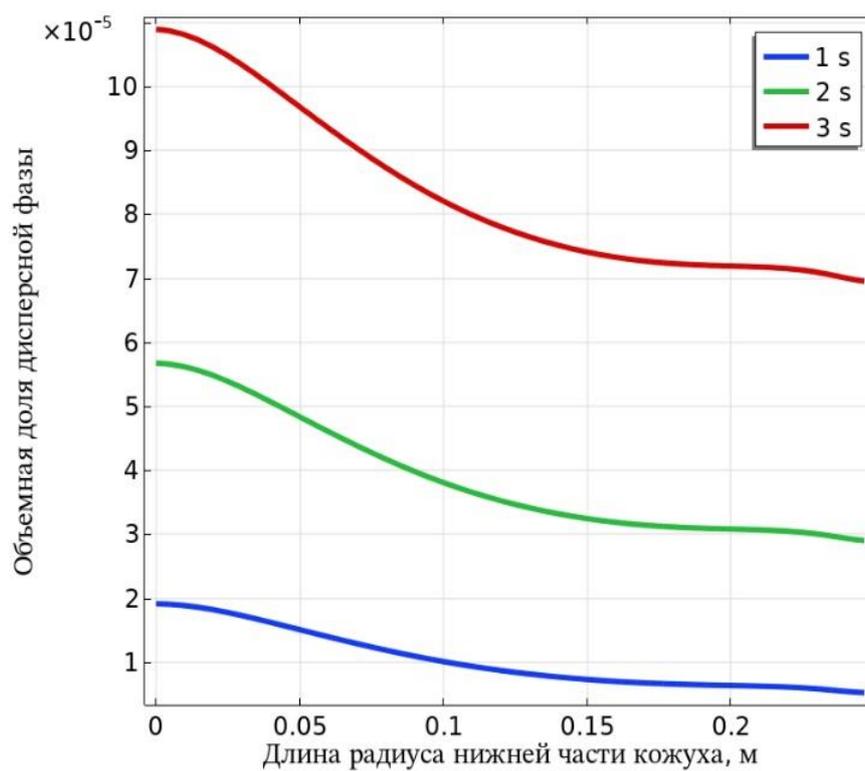
б)

а) поле распределения $\phi_{жс}$ через 3 секунды; б) графики распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ вдоль нижней горизонтальной границы кожуха

Рисунок 2.15 – Изображение результатов моделирования для варианта резонатора типа «конус» при $j_{e0} = 15$ м/с:



а)



б)

а) поле распределения $\phi_{жс}$ через 3 с; б) графики распределения объемной доли дисперсной фазы $\phi_{жс}$ вдоль нижней горизонтальной границы кожуха

Рисунок 2.16 - Изображение результатов моделирования для варианта резонатора типа «полусфера» при $j_{e_0} = 15$ м/с

2.3 Геометрические и кинематические параметры защитного фартука при обходе штамба плодового дерева

Защитный фартук (рисунок 2.17), выполнен из ворсов 1, изготовленный из полипропилена, образуя форму усеченного конуса.

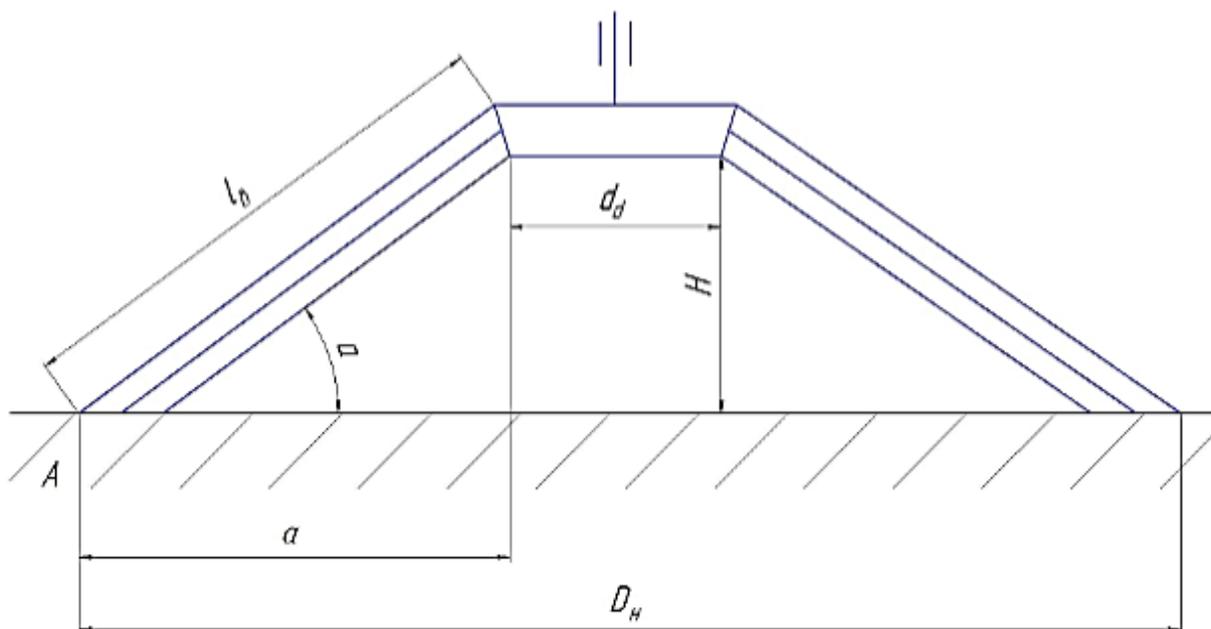


Рисунок 2.17 – Геометрические параметры защитного фартука

Верхние концы ворсов прикреплены к наружной поверхности диска 2 с возможностью вращения в горизонтальной плоскости вместе с диском относительно корпуса 3. К внутренней поверхности ворсов 1 прикреплены три кольца различного диаметра, уменьшающихся снизу вверх, равноудаленные друг от друга и изготовленные из полипропилена, при этом диаметр нижнего кольца выбирается как $1/3$ от расстояния между деревьями l_0 для исключения заклинивания защитного фартука:

$$D_n = \frac{l_0}{3}, \quad (2.35)$$

где $l_0 = 1,0-1,5$ м.

$$D_n = \frac{1,0...1,5}{3} = 0,33...0,50 \text{ м}$$

Тогда диаметр нижней части защитного фартука будет равен 0,33-0,5 м.

Кроме данного условия диаметр нижней части защитного фартука определяется по формуле:

$$D_n = d_\partial + 2a, \quad (2.36)$$

где d_∂ – диаметр диска принят равным 0,1 м; a – сторона АС прямоугольного треугольника АВС, м.

Из выражения (2.35) определим, чему равна сторона АС прямоугольного треугольника АВС.

$$a = \frac{D_n - d_\partial}{2} = \frac{(0,33...0,50) - 0,1}{2} = 0,12...0,20 \text{ м}. \quad (2.37)$$

Высота установки распылителя над поверхностью земли рекомендуется принимать 0,23-0,28 м [24, 73].

Для определения длины ворса рассмотрим равнобедренный треугольник АВС

Длина ворса l_∂ определяется в зависимости от высоты установки распылителя H и диаметра нижней части защитного фартука D_n по формуле

$$l_\partial = \sqrt{H^2 + a^2} = \sqrt{0,28^2 + (0,12...0,2)^2} = 0,30...0,34 \text{ м}. \quad (2.38)$$

С учетом крепления ворсов к диску 2, длину ворсов принимаем равной $l_\partial = (0,30...0,34) + 0,02 = 0,32...0,36$ м. Принимаем $l_\partial = 0,35$ м.

Угол наклона α ворса 1 должен быть таким, чтобы при соприкосновении со штаблом дерева защитный фартук мог бы огибать штабл дерева.

Угол наклона ворса 1 определяем из соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{a} = \frac{0,26 \dots 0,28}{0,35} = 0,74 \dots 0,8. \quad (2.39)$$

Тогда $\alpha = \operatorname{arctg}(0,74 \dots 0,8) = 36^{\circ}30' \dots 38^{\circ}42'$

Принимаем угол наклона ворса $\alpha = 37^{\circ}$.

Площадь обработки определяем по формуле:

$$S = \pi \cdot \left(\frac{D_n}{2} \right)^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{0,5}{2} \right)^2 = 0,196 \approx 0,20 \text{ м}^2. \quad (2.40)$$

2.3 Выводы

1. Разработана конструкция и геометрическая модель распылительного устройства для внесения раствора гербицидов в приствольные области плодовых насаждений (патент РФ № 210870), включающая в себя: резонатор с диаметром рабочей поверхности 30 мм и зазором между соплом и этой поверхностью 5 мм; сопло, состоящее из двух частей: воздушной с выходным диаметром 8 мм и жидкостной в виде кольца с внутренним диаметром 12 мм и наружным 16 мм; кожух в виде усечённого конуса, верхнее сечение $\varnothing 120$ мм, нижнее $\varnothing 500$ мм, высота 400 мм.

2. Разработана математическая модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве на базе уравнений Навье-Стокса, $k-\varepsilon$ модели турбулентного потока, а также уравнения транспорта дисперсной фазы внутри распылительного устройства, позволяющая описать процессы движения газа и капель раствора гербицидов, как единый поток их смеси.

3. На основании разработанной математической модели была получена компьютерная модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве в ПО Comsol Multiphysics, которая включает в себя

начальные и граничные условия и учитывающая плотность и вязкость смеси газа и капель гербицидного раствора, аналитически рассчитанную его скорость на входе в сопло.

4. В результате проведённой компьютерной обработки полученной модели определено, что рациональные скорости воздуха на входе в сопло составляют 12-25 м/с. При этом скорости трактора при норме внесения раствора гербицидов 50 л/га составляют от 3 до 6 км/ч, а при 100 л/га от 1,5 до 3 км/ч.

5. Определена неравномерность распределения объемной доли мелкодисперсного раствора гербицидов в нижней части кожуха, которая может отличаться в 3 раза.

6. Обоснован способ уменьшения неравномерности распределения объемной доли мелкодисперсного раствора гербицидов в нижней части кожуха в 1,5 раза путем изменения формы рабочей зоны резонатора с плоской на полусферическую с тем же диаметром - 30 мм. При этом скорости трактора при норме внесения раствора гербицидов 50 л/га составляют от 2,5 до 4,7 км/ч, а при 100 л/га от 1,3 до 2,4 км/ч.

7. Разработана методика инженерного расчета геометрических параметров защитного фартука и пределы их изменения: высота установки над поверхностью земли – 0,23-0,28 м, диаметр нижней части защитного фартука – 0,3-0,5 м, длина ворса – 0,26-0,28 м, угол наклона ворса – $27^{\circ}30'$ - 43° .

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

3.1 Программа, методика экспериментальных исследований, описание экспериментальной установки и измерительная аппаратура

Программой экспериментальных исследований предусматривалось:

- изготовление экспериментальной установки;
- исследование дисперсности распада капель рабочей жидкости;
- исследование степени покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений;
- поиск оптимальных конструктивно-режимных параметров работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем.

Лабораторная установка показана на рисунке 3.1 [150, 152].

Давления воздуха варьировали в пределах 0,08-0,25 МПа.

Пробы капель брали поточной ловушкой (рисунок 3.2, таблица 3.1).

Для подсчета количества и замера диаметра капель использован микроскоп МБН-1 (рисунок 3.3).

Для измерения значений скоростей ветра и воздушного потока применялся анемометр марки Skywatch Atmos (рисунок 3.4).

Опытный образец гербицидной установки показан на рисунках 3.5-3.7. Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель (№218767).

Принципы работ предлагаемого опытного образца гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем и рабочих блоков приведены в п. 2.1.

Дисперсность (крупность) осевших капель на пластинках определяют только по режимам, рекомендуемым техническим заданием.



а)



б)

1 – компрессор; 2 – пневмогидроаккумулятор; 3 – пневмошланг; 4 – гидравлический шланг; 5 – образцовые манометры; 6 – ресивер; 7 – пневмоакустический распылитель жидкости; 8 – вентиль для подачи воздуха; 9 – вентиль для подачи воды

Рисунок 3.1 – Общие виды лабораторной установки (а) и пневмоакустического распылителя

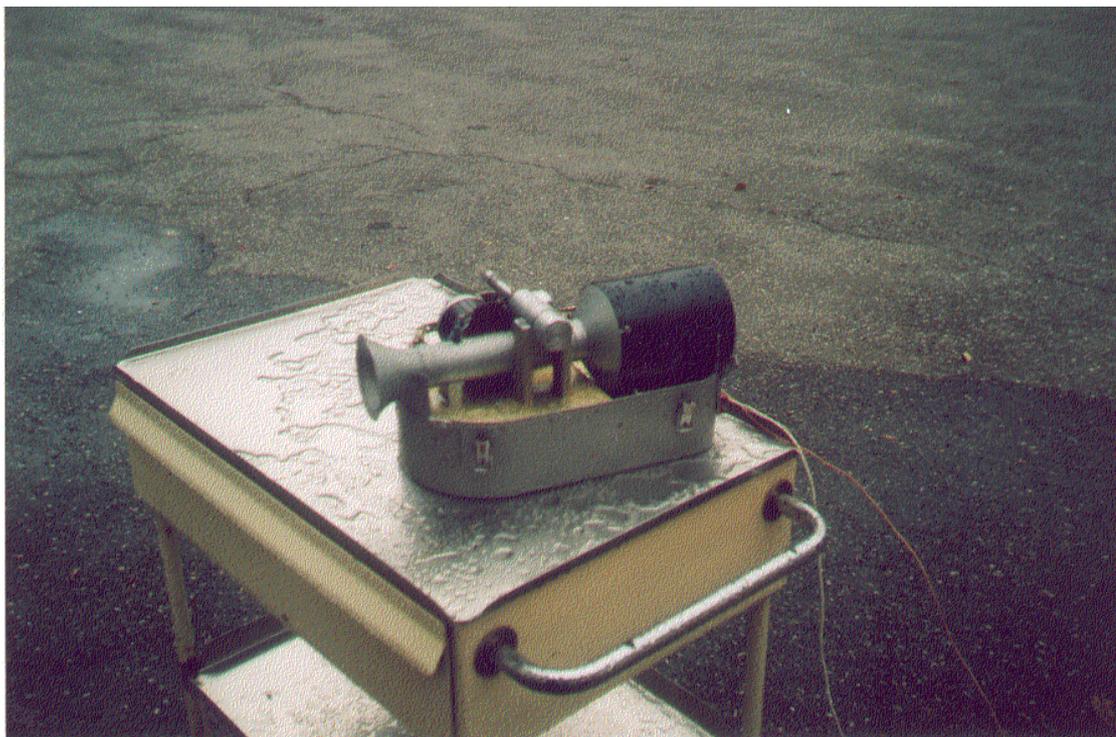


Рисунок 3.2 – Поточная ловушка для отбора капель аэрозоля

Таблица 3.1 - Значение коэффициента захвата капель

Диаметр капель, мкм	Коэффициент захвата
1-4	0,09
4-8	0,46
8-12	0,67
12-16	0,77
16-20	0,82
20-24	0,86
24-28	0,87
28-32	0,89
32-36	0,92
36-40	0,93
40-44	0,95
44-48	0,97
48-52	0,99
52-56	1,0



Рисунок 3.3 – Микроскоп МНБ-1



Рисунок 3.4 – Анемометр Skywatch Atmos



Рисунок 3.5 – Общий вид опытного образца гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем



а)



б)

Рисунок 3.6 – Блоки с гидравлической аппаратурой и электрораспределительной коробкой (а), электромагнитными клапанами (б)



Рисунок 3.7 – Блок электрического пульта управления, установленного в кабине трактора

Пластинки всех повторности, визуально (с помощью эталонов) распределяют в процентном отношении на три группы: условно мелкие – до 150 мкм; средние – 150-300 мкм; крупные – свыше 300 мкм.

Определяли средневзвешенное значение, согласно которому испытуемый распылитель относили к определенной группе по дисперсности распыла в соответствии с ОСТ 10 6.1 -2000 [114].

При микроскопировании пластин формируется капельная выборка, состоящая из определенного количества измеренных капель, распределенных по классам размеров.

Ширину просматриваемой полосы определяют количеством делений окулярной сетки в поле зрения микроскопа при выбранном увеличении.

При просмотре фиксируют:

- количество капель N_i в каждом классе размеров капель;
- количество просматриваемых полос для каждого класса размеров капель.

Обязательным является просмотр четырех полос.

Обработку результатов микрофотографирования проводят в следующей последовательности [53, 157]:

а) для каждого класса размеров капель рассчитывается общая просмотренная площадь S_i (см²), по формуле:

$$S_i = L \cdot b \cdot Z_i, \quad (3.1)$$

где L – длина просматриваемой полосы, см; b – ширина просматриваемой полосы, см; Z_i – количество просматриваемых полос для каждого размера капель;

б) для каждого класса размера капель определяется приведенное количество капель n_i по формуле:

$$n_i = \frac{N_i}{S_i}, \quad (3.2)$$

где N_i – количество капель, зафиксированное в каждом классе размеров при микрофотографировании;

в) для каждого класса размеров капель определяют величину $n_i \cdot K_i^3$, характеризующую массу жидкости, заключенной в каплях этого класса;

г) затем определяют суммы значений величины $n_i \cdot K_i^3$, то есть суммы по вертикали;

д) определяют долю массы жидкости P_i , %, содержащейся в каждом классе по формуле:

$$P_i = \frac{n_i \cdot K_i^3}{\sum_1^i n_i \cdot K_i^3}. \quad (3.3)$$

е) определяют накопленные значения доли массы жидкости P_j , %, для каждого последующего класса, то есть

$$P_i = \sum_{j=1}^m P_j, \quad (3.4)$$

где $\sum_{j=1}^i P_j = 1, 2, \dots, T$, m – число классовых промежутков.

Проверка. Сумма накопленных значений долей массы жидкости для всех классов должна составлять 100%. По оси абсцисс откладывают верхние пределы каждого класса размеров капель в микрометрах. По оси ординат откладывают накопленные значения доли массы жидкости P_j , соответствующие каждому классу размеров капель.

По полученным данным строят главную кривую. Значение диаметров капель d_i , мкм, рассчитывают по формуле:

$$d_i = \frac{K_i \cdot \beta}{d}, \quad (3.5)$$

где K_i - размер капель, выраженный в числе делений окулярной сетки; β - цена одного деления окулярной сетки, мкм; d - коэффициент растекания на карточках из мелованной бумаги, покрытый парафином;

ж) массовый медианный диаметр капель определяют из графика интегрального распределения, где он соответствует доле массы жидкости в 50%, или (рисунок 3.8).

Для этого из точки оси ординат, соответствующей значению 50%, проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой и из точки пересечения – линию, параллельную оси ординат, до пересечения с осью абсцисс.

Точка пересечения с осью абсцисс и определяет величину массового медианного диаметра капель.

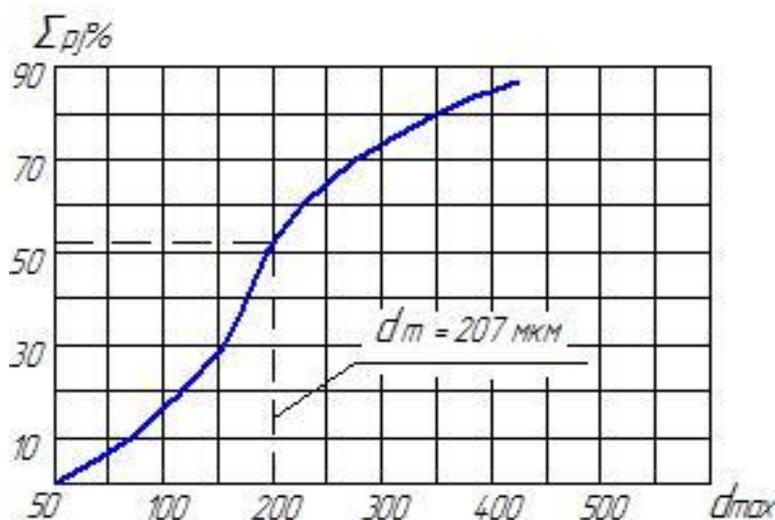


Рисунок 3.8 – График интегрального распределения капель

Одним из требований агротехники для работы шланговых опрыскивателей является равномерное покрытие обрабатываемой поверхности с коэффициентом вариации при неравномерности не более $\pm 12\%$. Поэтому исследовать влияния основных параметров гербицидной установки на равномерность распределения рабочей жидкости.

Работа гербицидной установки при нанесении рабочей жидкости на листовую поверхность сорных растений носит чрезвычайно сложный характер, и не всегда прогнозируется. С учетом реальности протекания процесса важным критерием оценки работы установки является степень покрытия поверхности каплями, которые можно определить по уравнению:

$$k = \frac{25\pi}{S_0} \sum_{i=1}^n d_i^2 n_i, \% \quad (3.6)$$

где d_1, d_2, \dots, d_n - диаметры капель, мкм; n_1, n_2, \dots, n_n - число капель каждого размера; S_0 - исследуемая площадь обрабатываемой поверхности, мкм³.

Степень покрытия поверхности рабочей жидкости согласно ГОСТ 5731 должна составлять от 60 до 80%.

В качестве улавливающей поверхности использовали карточки из мелованной бумаги размером 50×70 мм, обработанных 3-5% раствором парафина в толуоле. Карточки, которые крепились при помощи канцелярских скрепок, располагались следующим образом: было выбрано два яруса «верхний» и «нижний», в каждом ярусе на одном из листьев сорного растения крепили по две поверхности с соответствующими обозначениями на оборотной стороне карточки «ВВ» – верхняя сторона листа верхнего яруса и «ВН» – нижняя сторона листа верхнего яруса, а также «НВ», «НН» – соответственно, верхняя и нижняя сторона листа сорного растения нижнего яруса [112] (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Схема расстановки улавливающих поверхностей листьев на сорных растениях

Для исследования количества сорных растений и видового состава на 1 м², на делянке по диагонали в приштамбовой зоне накладывалась рамка (не менее 10 раз) размером 1×1 м на поверхность почвы, покрытую сорняками, фотографировалось, затем сорняки в рамке подсчитывались, путем удаления механическим путем и определялся их вид [112] (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Определение видового количества и видового состава сорных растений

Для обеспечения необходимой достоверности полученных результатов использованы математические методы планирования эксперимента [35, 45, 89, 91, 143].

Планирование эксперимента может применяться как для однофакторного эксперимента, так и для многофакторного [89, 91].

Планирование однофакторного эксперимента предполагает варьирование только одного фактора на нескольких уровнях. При всем этом все остальные причины остаются постоянными. То есть предоставляется возможность изучить зависимость параметров устройства только от одного фактора. Это в дальнейшем может привести к принятию ложных рекомендаций и решений.

При применении планирования в многофакторном эксперименте предполагается варьирование одновременно несколькими параметрами. В этом

случае планирование дает возможность всесторонне проанализировать эксперимент, определить: величины задействованных факторов и их качественное влияние на характеристики и т.п. То есть, планирование многофакторного эксперимента представляет собой расширенный и более рациональный подход к проведению экспериментальных исследований сложных процессов

При планировании необходимого количества экспериментов для функции отклика – минимальный диаметр капли жидкости с помощью планирования многофакторного эксперимента вида 2^3 методом Бокса-Уилсона необходимо составить уравнение регрессии [50, 89, 93, 147]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j>1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.7)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты регрессии; n – количество факторов; i – порядковый номер фактора.

При выборе диапазонов варьирования факторов, предусмотренных планом эксперимента, необходимо проследить, чтобы любая их совокупность могла быть реализована и не приводила к противоречиям. Для достижения этих условий были проведены поисковые эксперименты, чтобы определить область, в которой необходимы нам сообщения уровней факторов были бы реализованы.

Поскольку все выбранные факторы являются величинами с разными размерностями, и, соответственно, их значения имеют разные порядки, была проведена операция кодирования факторов, чтобы получить поверхность отклика этой функции, представляющая собой линейное преобразование факторного пространства [91] по формуле:

$$x_j = \frac{X_j - X_{j0}}{I_j}. \quad (3.8)$$

После проведения поисковых экспериментов как результат были установлены следующие значения для каждого фактора: X_{j0} – основной уровень фактора; $X_{j\max}, X_{j\min}$ – верхний и нижний уровни фактора; I_j – интервал варьирования.

Был также установлен условный масштаб для следующих значений уровней факторов: минимальный -1 , средний 0 , максимальный $+1$.

Критерием оценки эффективности работы гербицидной установки принята степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений.

Теоретические исследования работы гербицидной установки показали, что на степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений оказывают влияние следующие основные факторы: скорость движения установки V_G ; расход рабочей жидкости $Q_{Ж}$; скорость воздуха на входе в сопло V_B ; (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Факторы и уровни их варьирования

Шаг и уровни варьирования факторов	Кодированное (безразмерное) значение факторов	Натуральное значение факторов		
		X_1 (V_G , км/ч)	X_2 ($Q_{Ж}$, л/мин)	X_3 (V_B , м/с)
Шаг	-	1,5	1	12
Верхний	+1	6	4,0	24
Нулевой	0	4,5	2,5	18
Нижний	-1	3	1,0	12

Количество опытов для многофакторного эксперимента для квадратичной регрессии определялось по формуле:

$$N = 2^k + 2k, \quad (3.9)$$

где k – количество факторов; 2 – количество уровней варьирования.

Конкретно для рассматриваемого случая $N = 2^3 + 2 \cdot 3 = 15$ опытов.

Для проведения ротатабельного центрального композиционного планирования (РЦКП) второго порядка основе полнофакторного эксперимента разработана матрица планирования эксперимента (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Матрица планирования эксперимента

i	X_0	X_1	X_2	X_3	X^2_1	X^2_2	X^2_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	Y_i
1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	Y_1
2	1	1	-1	0	1	1	0	-1	0	0	Y_2
3	1	-1	1	0	1	1	0	-1	0	0	Y_3
4	1	-1	-1	0	1	1	0	1	0	0	Y_4
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Y_5
6	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	Y_6
7	1	1	0	-1	1	0	1	0	-1	0	Y_7
8	1	-1	0	1	1	0	1	0	-1	0	Y_8
9	1	-1	0	-1	1	0	1	0	1	0	Y_9
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Y_{10}
11	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	Y_{11}
12	1	0	1	-1	0	1	1	0	0	-1	Y_{12}
13	1	0	-1	1	0	1	1	0	0	-1	Y_{13}
14	1	0	-1	-1	0	1	1	0	0	1	Y_{14}
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Y_{15}

Планировалось получить следующую квадратическую регрессионную модель с эффектами взаимодействия 1-го порядка:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_{11}^2 + \dots + b_{33}x_3^2, \quad (3.10)$$

где Y – целевая функция (минимальный диаметр капли жидкости);
 $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{23}, b_{11}, \dots, b_{33}$ – коэффициенты регрессии.

Для определения коэффициентов регрессии $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{23}, b_{11}, \dots, b_{33}$ был применен метод наименьших квадратов [89]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (3.11)$$

где $B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix}$ – матрица, содержащая коэффициенты регрессии;

$\Phi = F^T F$ – информационная матрица Фишера;

$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}$ – матрица, содержащая результаты экспериментов по матрице

планирования (табл. 3.3);

$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{N,1} & \dots & x_{N,k} \end{bmatrix}$ – матрица, содержащая значение факторов x_{ij} .

Здесь: i – номер опыта по матрице планирования, j – номер фактора; k – количество факторов; N – количество опытов по матрице планирования (табл. 3.3).

Проверка адекватности модели по критерию Фишера [89]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{воспр}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (3.12)$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности; $S_{воспр}^2$ – дисперсия воспроизводимости; $[F(f_1, f_2)]$ – критическое значение критерия Фишера; $f_1 = N - d$ – количество степеней свободы дисперсии адекватности; $f_2 = N(k - 1)$ – количество степеней свободы дисперсии воспроизводимости; d – количество значимых коэффициентов регрессии.

При $F > [F(f_1, f_2)]$ модель считается неадекватной.

Дисперсия адекватности [91]:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (3.13)$$

где y_i – результат i -го опыта, проведённой по матрице планирования; \tilde{y}_i – результат i -го значения опыта, предусмотренного с помощью регрессионной модели.

Оценка значимости коэффициентов регрессии [91]:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{воспр} \sqrt{c_{i,i}}} \geq [t(f_2)], \quad (3.14)$$

где $[t(f_2)]$ – допустимое значение t -критерия; $C_{i,i}$ – соответствующий элемент матрицы Φ^{-1} .

Сравнивалось расчетное значение критерия t_i с критическим и при $|t_i| \leq [t(f_2)]$ коэффициент регрессии считается незначимым.

Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием методов статистической обработки [35, 45, 46, 94, 140].

3.2 Результаты исследования дисперсности распада капель рабочей жидкости пневмоакустического распылителя

Полученные интегральные кривые распределения капель рабочей жидкости приведены на рисунке 3.11 [150, 152]. В результате экспериментальных исследований установлено, что при увеличении давления воздуха от 0,08 до 0,25 МПа средние медианные диаметры капли жидкости уменьшаются (рисунок 3.12). Так при давлении воздуха $P_{возд}=0,08$ МПа средний медианный диаметр капли равен 265 мкм, $P_{возд}=0,1$ МПа – 163 мкм, $P_{возд}=0,2$ МПа – 56 мкм, $P_{возд}=0,25$ МПа – 42 мкм.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что основная масса жидкости содержится в каплях с диаметрами 40-60 мкм при давлении воздуха 0,2 МПа, что позволяет равномерно распределить рабочую жидкость на листовой поверхности сорной растительности.

3.3 Исследование видового состава сорных растений в приштамбовой зоне плодовых насаждений

Для установления видового состава и количества сорной растительности в плодовых насаждениях сорта Голден проведено соответствующее обследование.

Результаты обследования свидетельствуют о том, что в плодовом саду произрастают в основном виды, приведенные на рисунке 3.13.

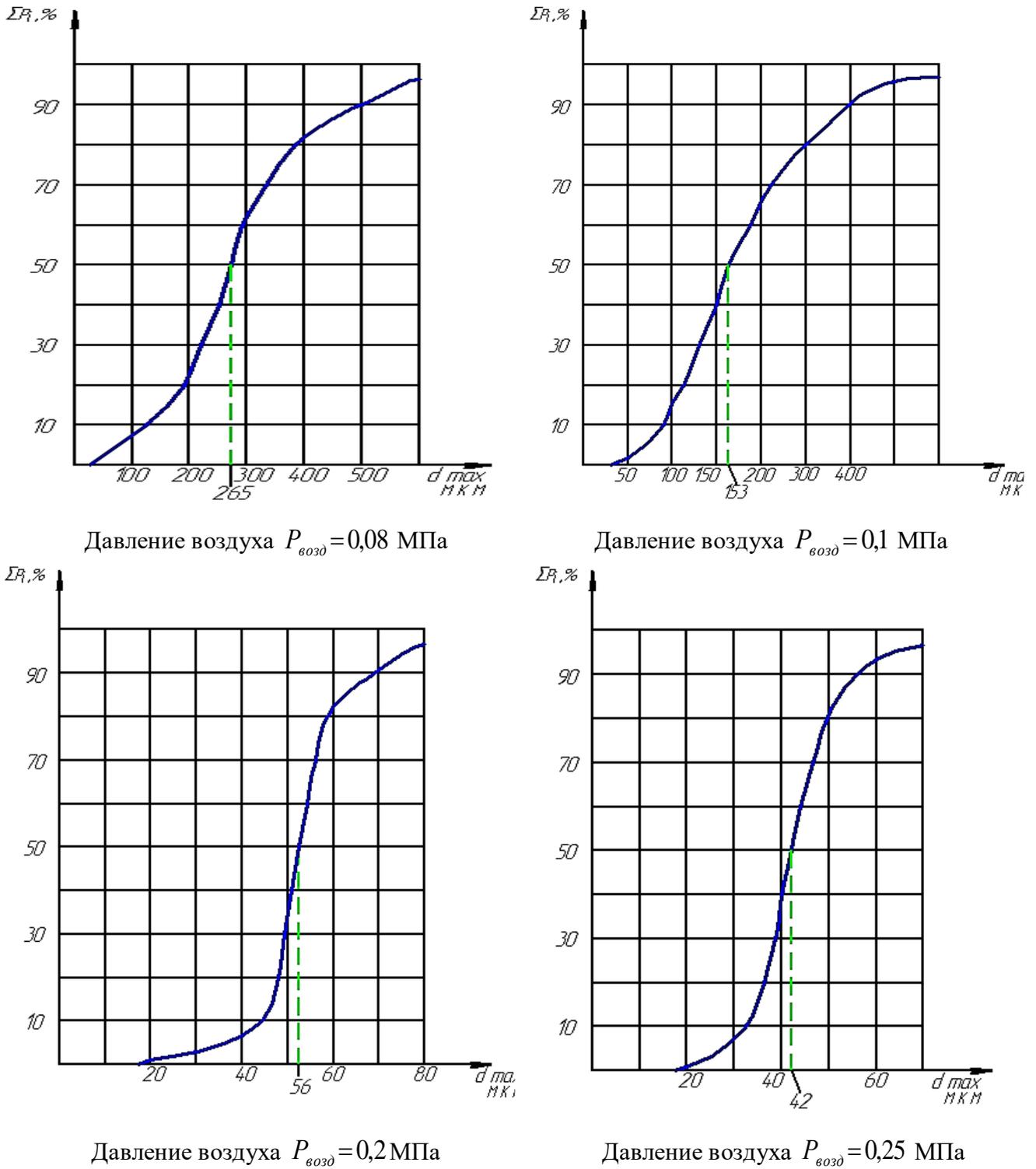
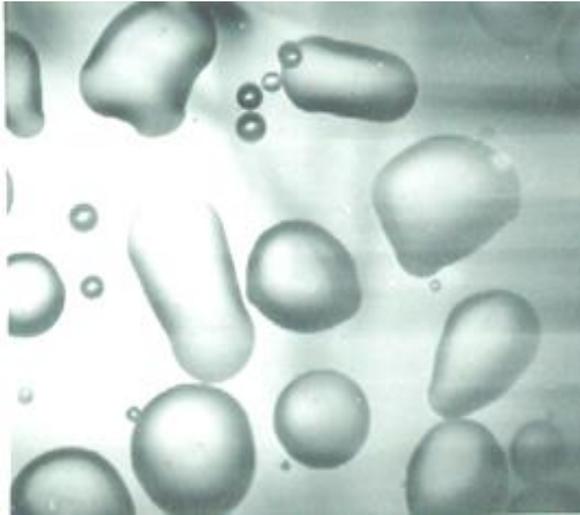
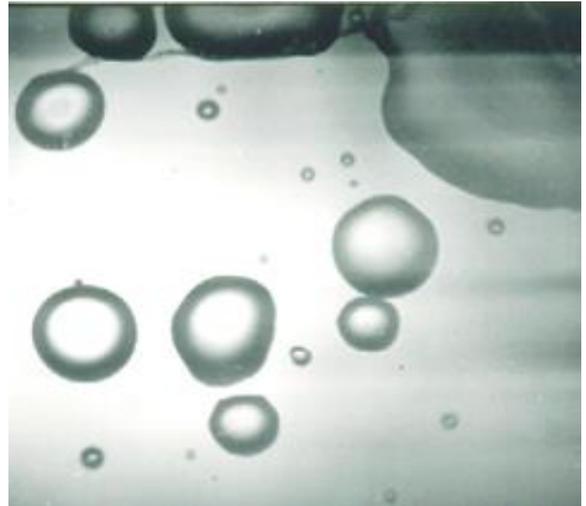


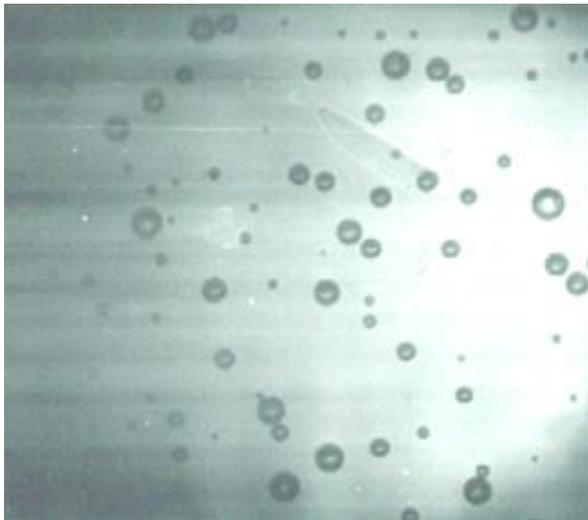
Рисунок 3.11 – Интегральные кривые распределения капель рабочей жидкости



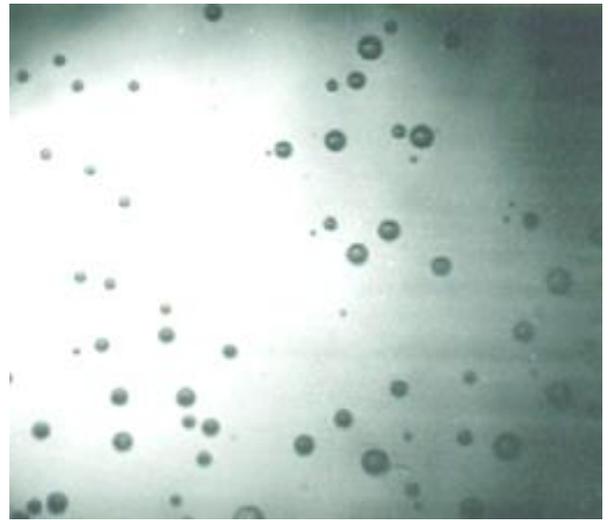
Давление воздуха $P_{возд} = 0,08$ МПа



Давление воздуха $P_{возд} = 0,1$ МПа



Давление воздуха $P_{возд} = 0,2$ МПа



Давление воздуха $P_{возд} = 0,25$ МПа

Рисунок 3.12 – Микрофотографирование капель распыленной жидкости

В результате обработки полученных данных установлено, что доля пырея ползучего составила 28%, щиряцы запрокинутой 22%, осота полевого 16% и лебеды (мари белой) 14%. (рисунок 3.14).

Высота сорного покрова варьировалась по длине ряда от 5 до 30 см. Засоренность посадок 100%. Покров сорной растительностью многоярусный.



Щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.)



Осот полевой (*Sonchus arvensis*)



Лебеда (марь белая) (*Chenopodium album*)



Пырей ползучий (*Elytrigia repens*)

Рисунок 3.13 – Основные виды сорных растений, произрастающих в плодовом саду сорта Голден

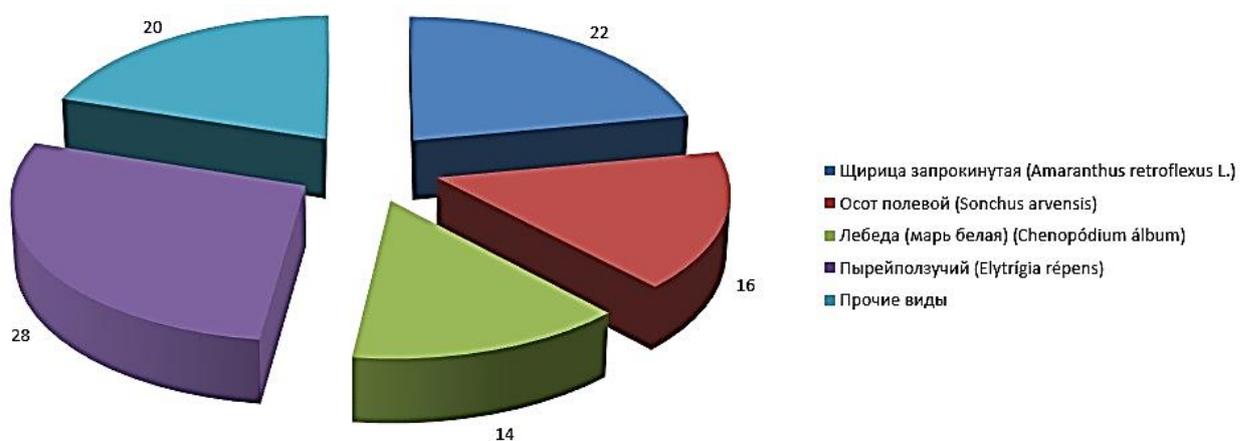


Рисунок 3.14 – Видовой состав сорных растений в плодовом саду сорта Голден, %

3.4 Оптимальные параметры и режимы работы гербицидной установки, обеспечивающие максимальную степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений

Уравнение регрессии для критерия оптимизации «степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений $k, \%$ », согласно проведенному многофакторному эксперименту для кодированных значений имеет вид (для верхней стороны листьев сорных растений верхнего яруса):

- в кодированном виде:

$$Y_{k_{BB}} = 86,1333 - 2,6175X_1 + 0,3463X_2 + 5,3888X_3 + 0,6025X_1X_2 - 0,568X_1X_3 - 8,4716X_1^2 - 5,2291X_2^2 - 8,0791X_3^2; \quad (3.15)$$

- в натуральном виде:

$$k_{BB} = -88,3343 + 32,607V_{\Gamma} + 10,6461Q_{\text{Ж}} + 9,261V_B + 0,2678V_{\Gamma}Q_{\text{Ж}} - 0,0631V_{\Gamma}V_B - 3,7652V_{\Gamma}^2 - 2,324Q_{\text{Ж}}^2 - 0,2244V_B^2. \quad (3.16)$$

Установлено, что полученное уравнение регрессии адекватно описывает исследуемый процесс ($F_{\text{расч}} = 2,1927 < F_{\text{расч}} = 2,3593$).

Определяем частные производные по всем факторам:

$$\begin{cases} \frac{dY_{k_B}}{dX_1} = -2,6175 - 16,9432X_1 + 0,6025X_2 - 0,568X_3 = 0 \\ \frac{dY_{k_B}}{dX_2} = 0,3463 + 0,6025X_1 - 10,4582X_2 = 0 \\ \frac{dY_{k_B}}{dX_3} = 5,3888 - 0,568X_1 - 16,1582X_3 = 0 \end{cases} \quad (3.17)$$

Из (4.4) получаем оптимальные значения факторов в кодированном виде: $X_1 = -0,165$; $X_2 = 0,024$; $X_3 = 0,3393$. Натуральные значения факторов: скорость гербицидной установки $V_{\Gamma} = 4,25$ км/ч; расход рабочей жидкости $Q_{ж} = 2,54$ л/мин; скорость воздуха на входе в сопло $V_B = 20,04$ м/с.

Значение критерия оптимизации (степень покрытия каплями рабочей жидкости верхней стороны листьев сорных растений верхнего яруса) максимально и составляет 87,3%. При $f_1 = 2, f_2 = 15$ $G_{табл} = 0,335$. Так как расчетное значение критерия Кохрена ($G_{расч} = S^2(y_i)_{MAX} / \sum_{i=1}^N S^2(y_i) = 0,221$) меньше табличного, то гипотеза об однородности дисперсий подтверждается.

Получены зависимости критерия оптимизации от каждого исследуемого параметра (рисунки 3.15-3.17):

$$Y(V_{\Gamma}) = 19,1843 + 32,0227V_{\Gamma} - 3,7652V_{\Gamma}^2;$$

$$Y(Q_{ж}) = 72,3334 + 11,7842Q_{ж} - 2,324Q_{ж}^2;$$

$$Y(V_B) = -2,8249 + 8,9933V_B - 0,2244V_B^2.$$

Уравнение регрессии при оптимальном значении $V_B = 20,04$ м/с (рисунок 3.18):

$$k_{BB} = 7,1591 + 31,3425V_{\Gamma} + 10,6461Q_{ж} + 0,2678V_{\Gamma}Q_{ж} - 3,7652V_{\Gamma}^2 - 2,324Q_{ж}^2. \quad (3.18)$$

Уравнение регрессии при оптимальном значении $Q_{ж} = 2,54$ л/мин (рисунок 3.19):

$$k_{BB} = -76,2867 + 33,607V_{\Gamma} + 9,261V_B - 0,0631V_{\Gamma}V_B - 3,7652V_{\Gamma}^2 - 0,2244V_B^2. \quad (3.19)$$

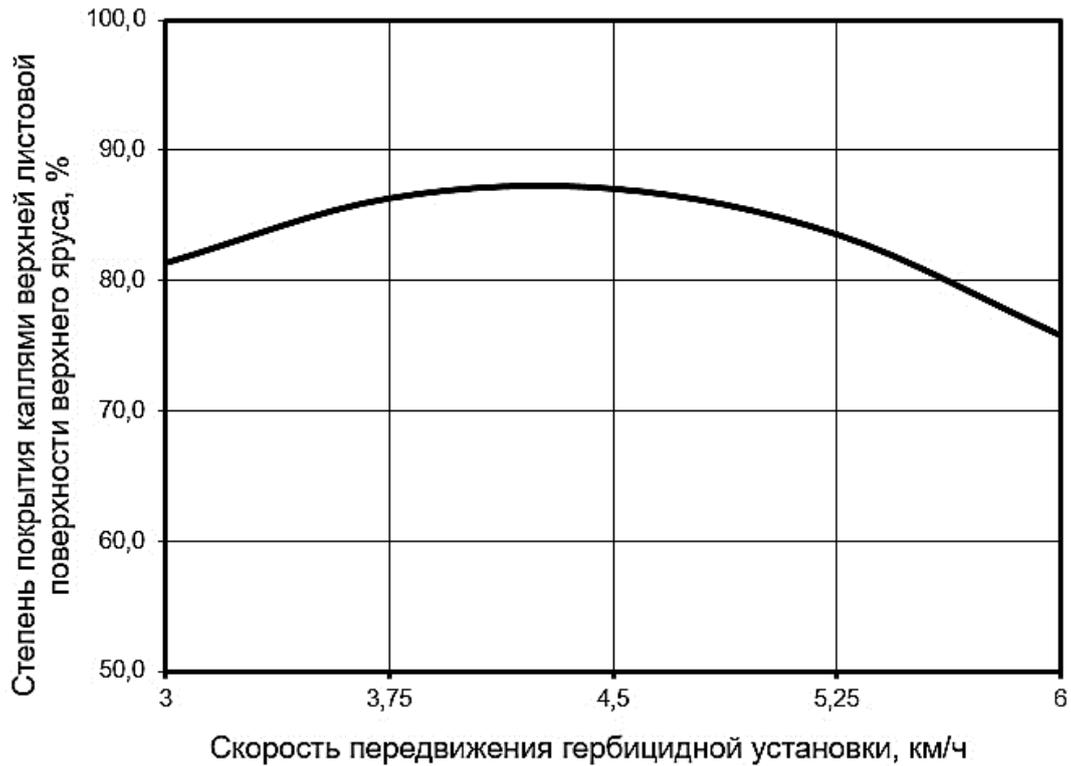


Рисунок 3.15 – График зависимости степени покрытия каплями рабочей жидкостью листовой поверхности верхнего яруса сорных растений от скорости передвижения гербицидной установки

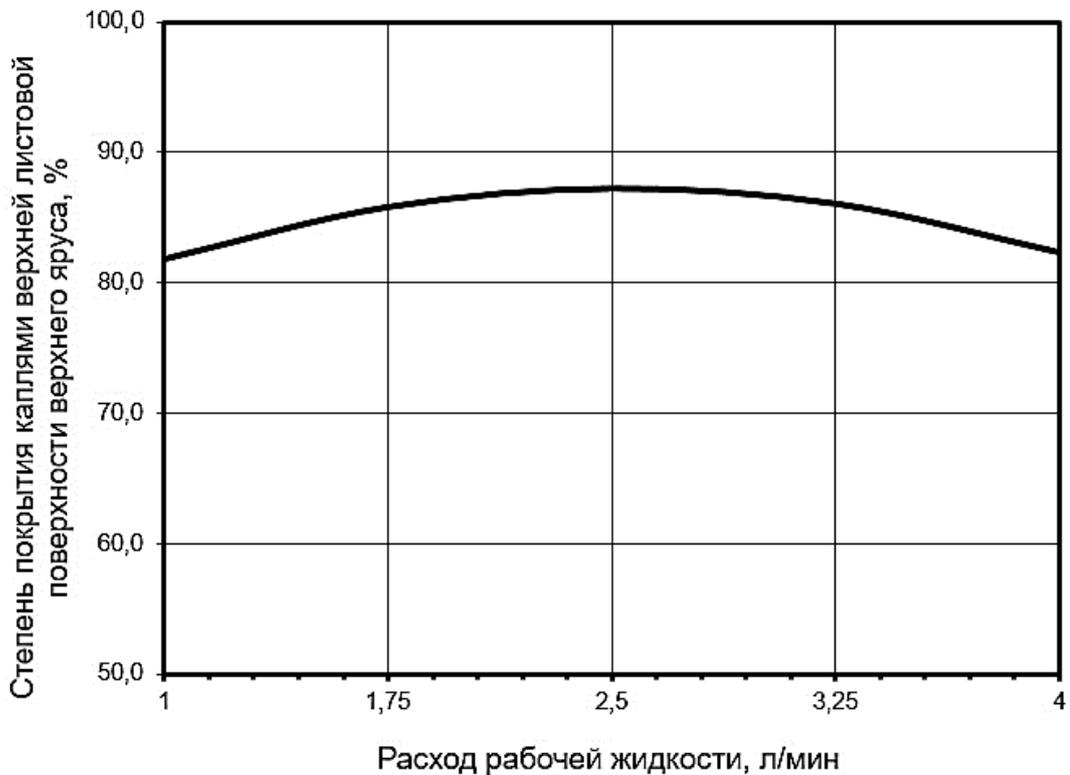


Рисунок 3.16 – График зависимости степени покрытия каплями рабочей жидкостью листовой поверхности верхнего яруса сорных растений от расхода рабочей жидкости

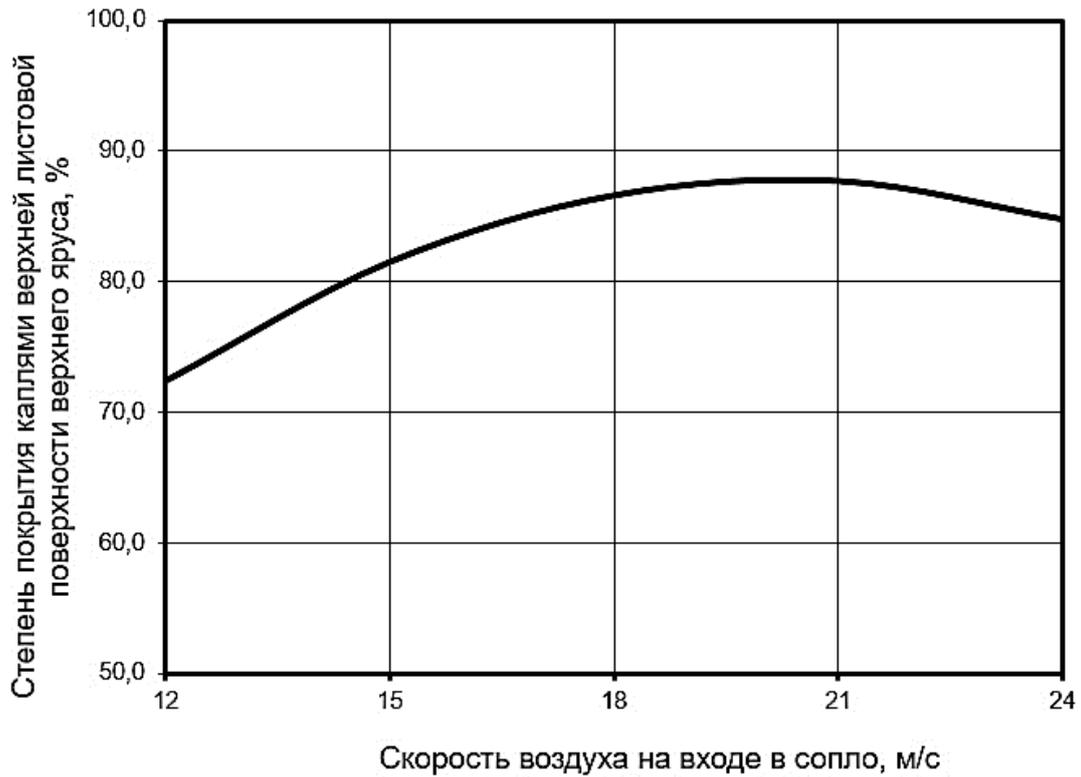


Рисунок 3.17 – График зависимости степени покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности верхнего яруса сорных растений от скорости воздуха на входе в сопло

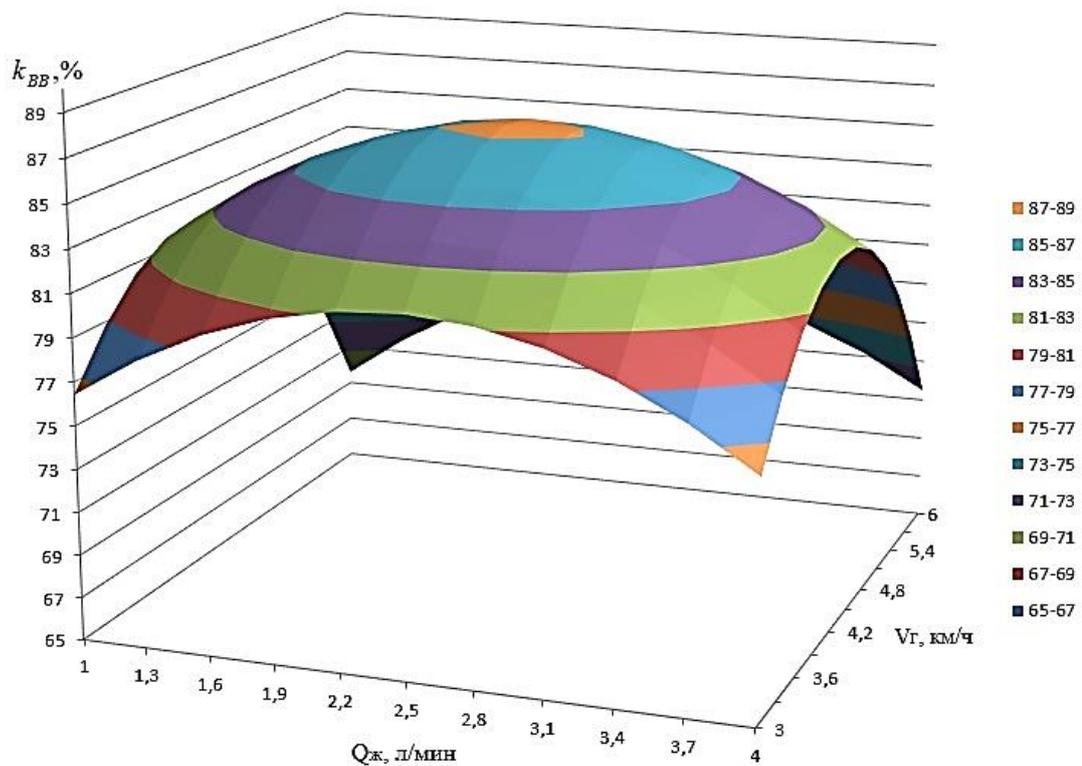


Рисунок 3.18 – Поверхность отклика $f(V_G, Q_B)$ при оптимальной скорости воздуха на входе в сопло

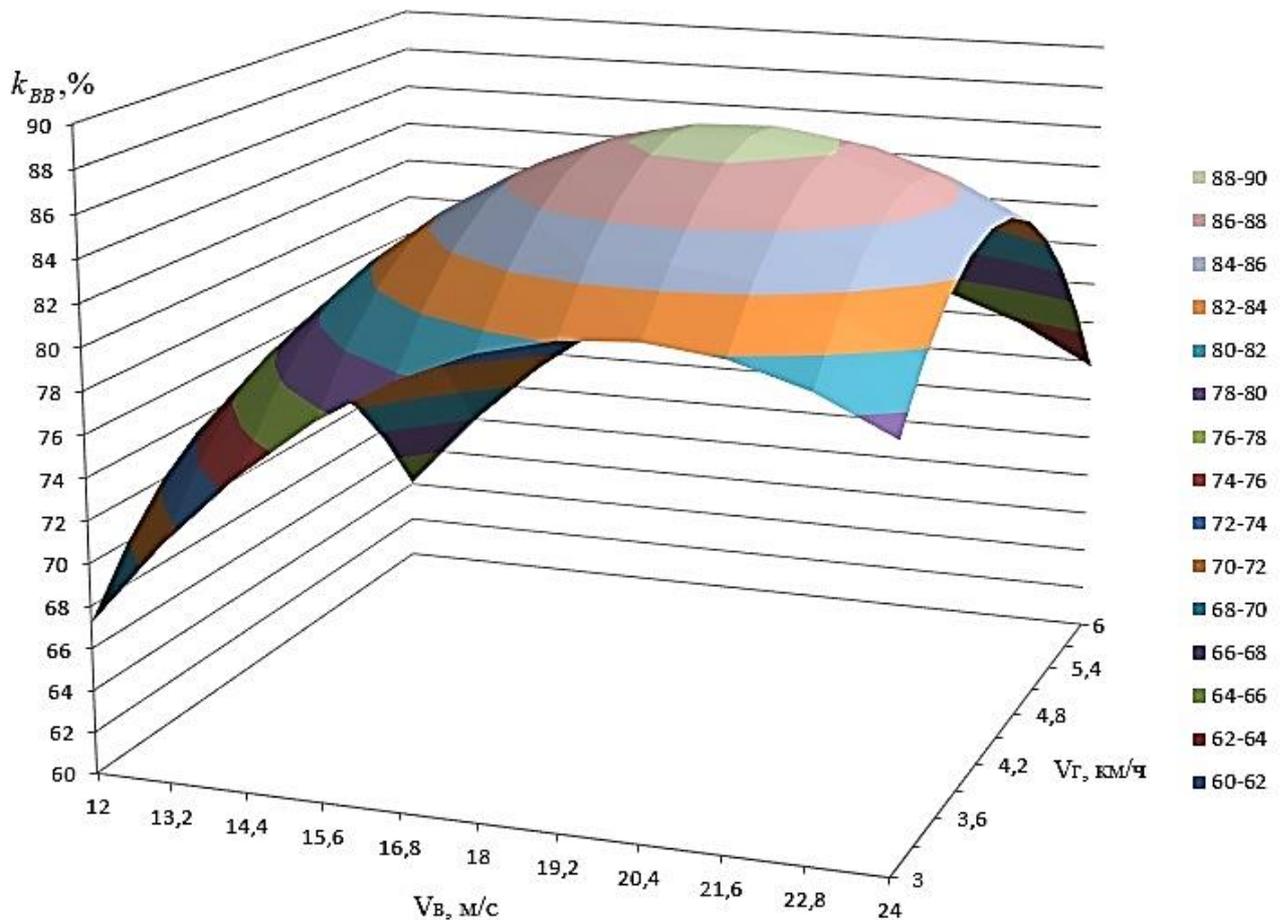


Рисунок 3.19 – Поверхность отклика $f(V_G, V_B)$ при оптимальном расходе рабочей жидкости

Уравнение регрессии при оптимальном значении $V_G = 4,25 \text{ км/ч}$ (рисунок 3.20):

$$k_{BB} = -17,7635 + 11,7842Q_{Ж} + 8,9928V_B - 2,324Q_{Ж}^2 - 0,2244V_B^2. \quad (3.20)$$

Таким образом, максимальная степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности верхней стороны листьев сорных растений верхнего яруса (87,3%) обеспечивается при: скорости гербицидной установки $V_G = 4,25 \text{ км/ч}$; расходе рабочей жидкости $Q_{Ж} = 2,54 \text{ мл/мин}$; скорости воздуха на входе в сопло $V_B = 20,04 \text{ м/с}$.

При установленных оптимальных параметрах и режимах работы гербицидной установки степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности остальных частей сорных растений составила: нижняя сторона листьев сорных растений верхнего яруса 62,8%; верхняя сторона листьев сорных растений нижнего яруса 76,7%; нижняя сторона листьев сорных растений нижнего яруса 60,4%.

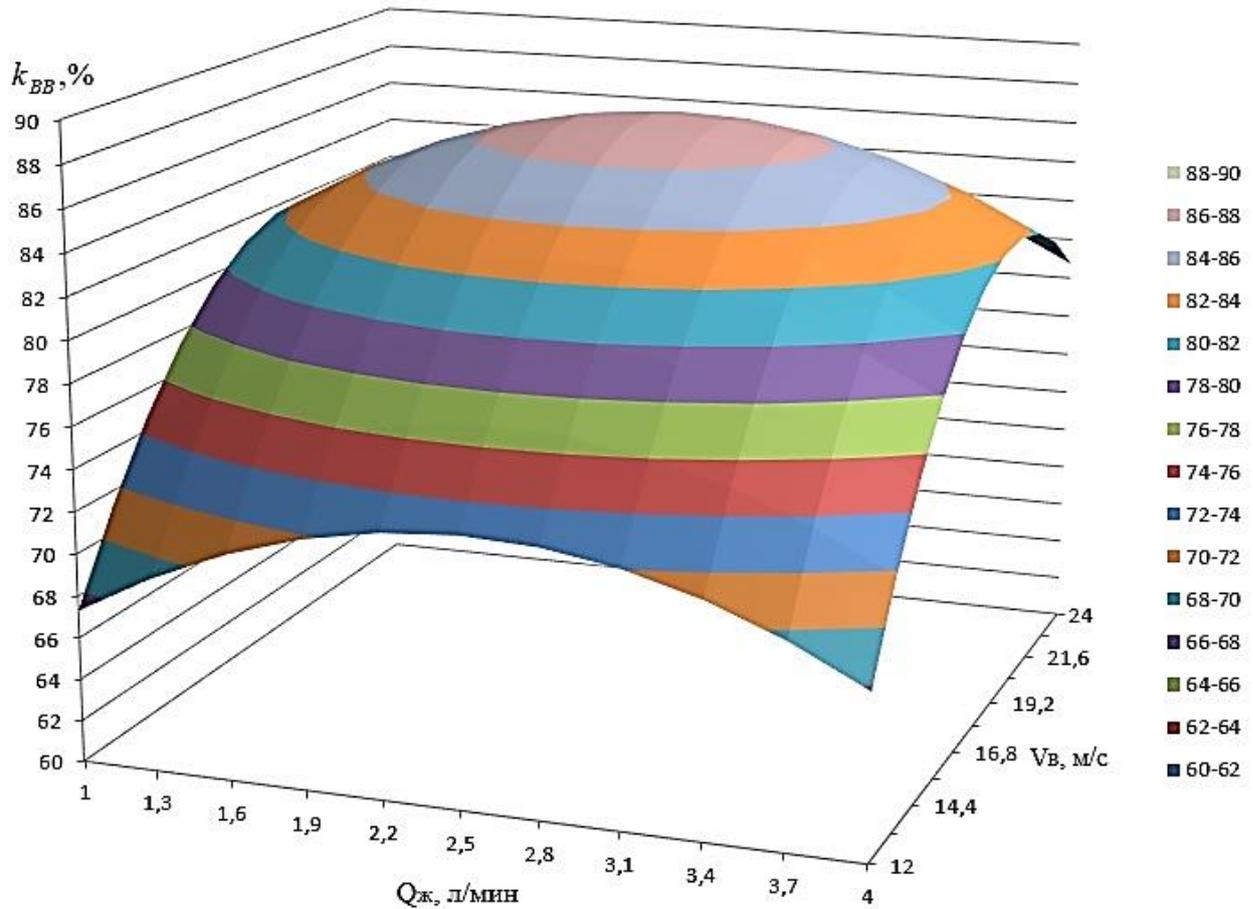


Рисунок 3.20 – Поверхность отклика $f(Q_{ж}, V_{в})$ при оптимальной скорости передвижения гербицидной установки

Степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности сорных растений, обеспечиваемая при использовании предлагаемой гербицидной установки, соответствует агротехническим требованиям.

3.5 Результаты производственных испытаний гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений

В результате производственных испытаний опытного образца гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем (рисунок 3.21) [115, 116, 137, 138] установлена ее высокая работоспособность и определены основные ее технические характеристики (таблица 3.4).



Рисунок 3.21 – Производственные испытания гербицидной установки

Таблица 3.4 – Техническая характеристика гербицидной установки для обработки приствольных полос плодовых насаждений

1. Агрегатирование	трактор тягового класса не ниже 14кН (МТЗ-80/82), оснащенный ВОМ и гидросистемой
2. Состав гербицидной установки	- навесной гидравлический манипулятор рабочих органов; - полуприцеп для транспортировки и подачи рабочей жидкости; - рабочие органы для обработки приствольных полос (2шт.); - пульт управления с джойстиком; - адаптер передней навески к трактору.
3. Количество обслуживающего персонала:	1 человек
4. Схема обработки	одновременная обработка двух полурядов за один проход междурядья
5. Ширина междурядья, м	3-5
6. Норма внесения рабочей жидкости, л/га	50
7. Рабочая скорость, км/ч	3-6
8. Чистая производительность обработки, га/ч	3
9. Объем емкости для рабочей жидкости, л	2000
10. Количество рабочих органов	2
11. Ширина захвата рабочего органа, м	± 0,3 м
12. Масса манипулятора с рабочими органами, кг	185
13. Масса полуприцепа (сухая), кг	285
14. Габаритные размеры в установке с МТЗ-80, мм:	
- в транспортном положении	7300x1970x2780
- в рабочем положении	7300x4950x2780

3.5 Выводы

1. Разработаны лабораторная установка и методики исследования дисперсности распада капель рабочей жидкости, определения количественного и качественного состава капель рабочей жидкости на листовой поверхности сорных растений, оптимизации параметров и режимов работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем жидкости.

2. Установлено, что при увеличении давления воздуха с 0,08 до 0,25 МПа средние медианные диаметры капли жидкости уменьшаются. Так, при давлении воздуха $P_{возд}=0,08$ МПа средний медианный диаметр капли равен 265 мкм, $P_{возд}=0,1$ МПа – 163 мкм, $P_{возд}=0,2$ МПа – 56 мкм, $P_{возд}=0,25$ МПа – 42 мкм.

3. Основная масса жидкости при давлении воздуха 0,2 МПа содержится в каплях с диаметрами 40-60 мкм, что позволяет равномерно распределить рабочую жидкость на листовой поверхности сорных растений.

4. Установлено, что максимальная степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности верхней стороны листьев сорных растений верхнего яруса (77,3%) обеспечивается при: скорости гербицидной установки $V_r = 4,25$ км/ч; расходе рабочей жидкости $Q_{жс} = 3,05$ мл/мин; скорости воздуха на входе в сопло $V_B = 20,04$ м/с. При установленных оптимальных параметрах и режимах работы гербицидной установки степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности остальных частей сорных растений составила: нижняя сторона листьев сорных растений верхнего яруса 70,8%; верхняя сторона листьев сорных растений нижнего яруса 76,7%; нижняя сторона листьев сорных растений нижнего яруса 62,4%.

5. В результате производственных испытаний гербицидной установки установлена ее высокая работоспособность определены основные её технические характеристики.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕРБИЦИДНОЙ УСТАНОВКИ

Предлагаемая технология с использованием гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений (площадь участка 24 га) (МТЗ-82+ГУПР) (**Вариант А**) сравнивается с существующей технологией с использованием гербицидной установки с щелевыми распылителями для обработки приствольных полос плодовых насаждений (МТЗ-82+ГУШР) (**Вариант Б**) [41, 76, 77, 79, 92, 98, 99, 106, 108, 153, 158].

Капитальные вложения:

$$K = K_{II} + K_C, \quad (4.1)$$

где K_{II} – прямые капитальные вложения, тыс. руб.; K_C – сопутствующие капитальные вложения, тыс. руб.

Вариант А

$$K = 2055,0 + 700,0 = 2755,0 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$K = 2055,0 + 750,0 = 2805,0 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные затраты:

$$Z_{ЭКС} = Z_{ПЛ} + Z_{ТО} + Z_{ТСМ} + Z_{сер.} + Z_v, \quad (4.2)$$

где $Z_{ПЛ}$ – заработная плата обслуживающего персонала, тыс. руб.; $Z_{ТО}$ – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт (ТО и Р), тыс. руб.; $Z_{ТСМ}$ – затраты

на топливо-смазочные материалы, тыс. руб.; $Z_{зеп.}$ – затраты на приобретение гербицида, тыс. руб.; $Z_в$ – затраты на воду, руб.

Заработная плата обслуживающего персонала:

$$Z_{ПЛ} = N_P t_O T_{TP} \eta_D \left(1 + \frac{\eta_0}{100} \right) n, \quad (4.3)$$

где N_P – численность обслуживающего персонала; t_O – время, затрачиваемое на обслуживание устройства, ч.; T_{TP} – тарифная ставка оплаты обслуживающего персонала, руб./ч; η_D – коэффициент дополнительной заработной платы, ($\eta_D = 1,1 \dots 1,2$); $\eta_в$ – процент начисления за вредные условия труда, $\eta_в = 4\%$ η_0 – процент отчислений на социальное страхование ($\eta_0 = 35,6\%$); n – количество обработок.

Вариант А

$$Z_{ПЛ} = 1 \cdot 8 \cdot 300 \cdot 1,2 \cdot 1,04 \cdot \left(1 + \frac{35,6}{100} \right) = 4,06 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$Z_{ПЛ} = 1 \cdot 11,4 \cdot 300 \cdot 1,2 \cdot 1,04 \cdot \left(1 + \frac{35,6}{100} \right) \cdot 2 = 11,58 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт:

$$Z_{ТО} = \left(\sum \frac{C_i H_i}{T_{zi} \cdot W_q \cdot 100} \right) \cdot S. \quad (4.4)$$

где $Z_{ТО}$ – затраты на ТО и Р, тыс. руб.; B_i – балансовая стоимость технических

средств, тыс. руб.; H_i – норматив отчислений на ТО и Р, % от их балансовой стоимости; T_{zi} – годовая загрузка, ч; W_q – часовая производительность, га/ч; S – площадь обслуживания, га.

Вариант А

$$Z_{ТО} = \left(\frac{2055 \cdot 25,5}{1350 \cdot 3,0 \cdot 100} + \frac{700 \cdot 11,0}{600 \cdot 3,0 \cdot 100} \right) \cdot 24 = 4,08 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$Z_{ТО} = \left(\frac{2055 \cdot 25,5}{1350 \cdot 2,1 \cdot 100} + \frac{750 \cdot 11,0}{300 \cdot 2,1 \cdot 100} \right) \cdot 24 = 7,68 \text{ тыс. руб.}$$

Удельный расход топлива:

$$q_T = \frac{N_{дв} \cdot q_{дв} \cdot \alpha_{дв} \cdot \alpha}{W_{см}} \quad (4.5)$$

где $N_{дв}$ – мощность двигателя трактора, л/с.; $q_{дв}$ – удельный расход топлива двигателем; $\alpha_{дв}$ – коэффициент использования мощности двигателя; α – коэффициент использования двигателя по времени.

Вариант А

$$q_T = \frac{81 \cdot 0,185 \cdot 0,85 \cdot 0,85}{3} = 3,4 \text{ л / га}$$

Вариант Б

$$q_T = \frac{81 \cdot 0,185 \cdot 0,76 \cdot 0,85}{2,1} = 4,61 \text{ л / га}$$

Затраты на топливо-смазочные материалы:

$$Z_{TSM} = q_T \cdot C_T \cdot S, \quad (4.6)$$

где q_T – удельный расход топлива, л/га; C_T – цена топлива, руб./л; S – площадь обработки, га.

Вариант А

$$Z_{TSM} = 3,4 \cdot 60 \cdot 24 = 4,89 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$Z_{TSM} = 4,61 \cdot 60 \cdot 24 = 6,64 \text{ тыс. руб.}$$

Количество гербицида на 1 га [111]:

$$Q_{гер.} = \frac{100 \cdot D \cdot B_p}{k_o \cdot B_T \cdot k_{эф.}} \quad (4.7)$$

где D – доза внесения по действующему веществу, кг/га, $D = 2,25$ кг/га; B_p – рабочая ширина захвата, $B_p = 0,5$ м; k_o – заводская концентрация гербицида, %; B_T – ширина приствольной полосы, м; $k_{эф.}$ – коэффициент эффективности.

Вариант А

$$Q_{гер.} = \frac{100 \cdot 2,25 \cdot 0,5}{36 \cdot 0,5 \cdot 1} = 6,25 \text{ кг / га}$$

Вариант Б

$$Q_{гер.} = \frac{100 \cdot 2,25 \cdot 0,5}{36 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 12,5 \text{ кг / га}$$

Затраты на приобретение гербицида (Раундап):

$$Z_{гер.} = C_{гер.} \cdot Q_{гер.} \cdot S, \quad (4.8)$$

где $C_{гер.}$ – цена 1 кг Раундап, руб./кг; $C_{гер.} = 1500$ руб./га; $Q_{гер.}$ – количество гербицида на 1 га, кг/га; S – площадь обработки приствольной полосы, $S = 5$ га.

Вариант А

$$Z_{гер.} = 1500 \cdot 6,25 \cdot 5 = 46,9 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$Z_{гер.} = 1500 \cdot 12,5 \cdot 5 = 93,8 \text{ тыс. руб.}$$

З

атраты на рабочую жидкость:

$$Z_6 = C_6 \cdot Q_6, \quad (4.9)$$

где C_6 – цена за 1 м³ воды, руб./м³; Q_6 – общий расход воды, м³.

Вариант А

$$Z_6 = 13,43 \cdot 2,0 = 26,86 \text{ руб.}$$

Вариант Б

$$Z_6 = 13,43 \cdot 4,0 = 53,72 \text{ руб.}$$

Тогда согласно (4.2):

Вариант А

$$Z_{ЭКС} = 4,06 + 4,08 + 4,89 + 46,9 + 26,86 = 86,79 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$Z_{ЭКС} = 11,58 + 7,68 + 6,64 + 93,8 + 53,7 = 173,42 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие прямые затраты:

$$Z_{\text{ПР}} = Z_{\text{ЭКС}} \cdot (0,05 \dots 0,1), \quad (4.10)$$

Вариант А

$$Z_{\text{ЭКС}} = 86,79 \cdot 0,05 = 4,34 \text{ тыс.руб.}$$

Вариант Б

$$Z_{\text{ЭКС}} = 173,42 \cdot 0,05 = 8,67 \text{ тыс.руб.}$$

Общий расчет себестоимости работ приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет себестоимости работ по обработке междурядий и приствольных полос плодовых насаждений

Статьи затрат	Вариант А	Вариант Б
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды, тыс. руб.	4,06	11,58
Расходы на содержание оборудования, в том числе:		
техническое обслуживание, тыс. руб.	4,08	7,68
топливо, тыс. руб.	4,89	6,64
Расходы на приобретение гербицида Раундап	46,9	93,8
Прочие затраты, тыс. руб.	4,34	8,67
Полная себестоимость, тыс. руб.	64,27	128,37
Себестоимость работ на 1 га, тыс. руб.	2,68	5,35

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$Z = C + E_H \cdot K, \quad (4.11)$$

где C – себестоимость работ на 1 га, тыс. руб.; E_H – нормативный коэффициент

капитальных вложений, $E_H = 0,15$; K – удельные капитальные вложения, тыс. руб.

Вариант А

$$Z_1 = 2,68 + 0,15 \cdot 2755 = 415,93 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант Б

$$Z_2 = 5,35 + 0,15 \cdot 2805 = 426,1 \text{ тыс. руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения новой техники рассчитывают согласно выражению:

$$\mathcal{E}_T = (Z_2 - Z_1), \quad (4.12)$$

где Z_1, Z_2 – приведенные затраты на единицу продукции до внедрения и после внедрения новой техники;

$$\mathcal{E}_T = (426,1 - 415,93) = 10,17 \text{ тыс. руб./га.}$$

Результаты расчета представлены в таблице 4.2.

На основании проведенной технико-экономической оценки эффективности использования гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений сформулированы нижеследующие выводы:

- применение предлагаемой гербицидной установки в технологическом процессе по уходу за приствольными полосами плодовых насаждений позволяет получить годовой экономический эффект в размере 10,17 тыс. руб./га;
- себестоимость работ на 1 га снизилась в 2 раза.

Таблица 4.2 – Показатели экономической эффективности

№	Показатели	Единица измерения	Варианты	
			Базовый МТЗ-82 +ГУЩР	Предлагаемый МТЗ-82 + ГУПР
1.	Площадь обработки	га	24	24
2.	Капитальные вложения	тыс. руб.	2805,0	2755,0
3.	Себестоимость работ, в том числе расходы на:	тыс. руб.	128,37	64,27
	- оплату труда;		11,58	4,06
	- техническое обслуживание		7,68	4,08
	- ТСМ		6,64	4,89
	- гербицид		93,8	46,9
	- воду		53,72	26,86
	- прочие затраты		8,67	4,34
4.	Приведенные затраты на единицу работ	тыс. руб.	426,1	415,93
5.	Годовой экономический эффект на 1 га	тыс. руб.	-	10,17

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

(итоги выполненного исследования)

1. Разработаны конструктивно-технологическая схема и геометрическая модель распылительного устройства для внесения раствора гербицидов в приствольные области плодовых насаждений (патент РФ № 210870), включающая в себя: резонатор с диаметром рабочей поверхности 30 мм и зазором между соплом и этой поверхностью 5 мм; сопло состоящее из двух частей: воздушной с выходным диаметром 8 мм и жидкостной в виде кольца с внутренним диаметром 12 мм и наружным 16 мм; кожух в виде усечённого конуса верхнее сечение которого имеет диаметр 120 мм, нижнее 500 мм, а высота его составляет 400 мм.

2. Разработана математическая модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве на базе уравнений Навье-Стокса, $k-\varepsilon$ модели турбулентного потока, а также уравнения транспорта дисперсной фазы внутри распылительного устройства, позволяющие описать процессы движения газа и капель раствора гербицидов, как единый поток их смеси. На их базе получена компьютерная модель мелкодисперсного потока водных растворов гербицидов в распылительном устройстве в ПО Comsol Multiphysics, которая включает в себя начальные и граничные условия и учитывающая плотность и вязкость смеси газа и капель гербицидного раствора, аналитически рассчитанную его скорость на входе в сопло.

3. В результате проведённой компьютерной обработки полученной модели определено, что рациональные скорости воздуха на входе в сопло составляют 12-25 м/с. При этом скорости трактора при норме внесения раствора гербицидов 50 л/га составляют от 3 до 6 км/ч, а при 100 л/га от 1,5 до 3 км/ч. Обоснован способ уменьшения неравномерности распределения объемной доли мелкодисперсного раствора гербицидов в нижней части кожуха в 1,5 раза путем изменения формы рабочей зоны резонатора с плоской на полусферическую с тем же диаметром - 30 мм. При этом скорости трактора при норме внесения раствора гербицидов 50 л/га составляют от 2,5 до 4,7 км/ч, а при 100 л/га от 1,3 до 2,4 км/ч.

4. Проведены экспериментальные исследования влияния параметров пневмоакустического распылителя жидкости на качественные показатели распыления, в результате которых установлено следующее: при увеличении давления воздуха средние медианные диаметры капли жидкости уменьшаются; основная масса жидкости при давлении воздуха 0,2 МПа содержится в каплях с диаметрами от 40 до 60 мкм, что позволяет равномерно распределить рабочую жидкость на листовой поверхности сорных растений; максимальная степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности верхней стороны листьев сорных растений верхнего яруса (87,3%) обеспечивается при: скорости гербицидной установки 4,25 км/ч; расходе рабочей жидкости 2,54 л/мин; скорости воздуха на входе в сопло 20,04 м/с. При установленных оптимальных параметрах и режимах работы гербицидной установки степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности остальных частей сорных растений составила: нижняя сторона листьев сорных растений верхнего яруса 62,8%; верхняя сторона листьев сорных растений нижнего яруса 76,7%; нижняя сторона листьев сорных растений нижнего яруса 60,4%.

5. В результате производственных испытаний гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве установлена ее высокая работоспособность, определены основные ее технические характеристики. Производительность установки составила 3 га/ч при норме расхода рабочей жидкости 50 л/га.

6. Расчеты показали, что использование предлагаемой гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве позволяет получить годовой экономический эффект в размере 10,17 тыс. руб. / га.

Рекомендации производству

Предлагается гербицидная установка, состоящая из полуприцепа для транспортировки и подачи рабочей жидкости, навесного гидравлического манипулятора рабочих органов, двух рабочих органов для обработки

приствольных полос, адаптера передней навески к трактору и пульта управления с джойстиком, обеспечивающий оперативное управление технологическим процессом из кабины трактора со следующими характеристиками: емкость бака – 2000 л; расход рабочей жидкости – 50 л/га; ширина обработки – 0,3 м; производительность – 24 га/смену.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Теоретический и экспериментальный материал, полученный на основе проведенных исследований, может быть использован для разработки роботизированной техники с целью контроля количества и качества внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений в зависимости от диаметра штамба дерева и количества сорных растений на 1 м².

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абубикеров, В. А. Совершенствование технологии и технических средств для внесения пестицидов / автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. А. Абубикеров. – М., 2005. – 27 с.
2. Алексеева, С. А. Биологически и экологически обоснованная система защиты садов / С. А. Алексеева, Г. В. Быстрая // Садоводство и виноградарство. – 1996. – № 1. – С. 11-12.
3. Алиев, Т Г-Г. Агробиологическое обоснование применения гербицида в плодовых и ягодных насаждениях / автореф. дис. ... д.с/х.н.: 06.01.07 плодоводство и виноградарство; 06.01.11 защита растений / Г-Г Алиев. – Мичуринск: наукоград, 2007. – 47с.
4. Антонинова, А. А. Осаждение аэрозолей с помощью акустического излучения и дополнительной дисперсной фазы / Автореф диссер...к.ф-м.н. 01.02.05. Механика жидкости, газа и плазмы // Антонинова Александра Александровна. – Бийск, 2014. – 27с.
5. Антонов, А. А. Пульсации давления при струйных и отрывных течениях / А. А. Антонов, В. М. Купцов, В. В. Комаров. – М.: Машиностроение, 1990. – 272с.
6. Апажев, А. К. Технологические решения по проведению комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий с целью повышения плодородия и вовлечения в оборот деградированных мелиорируемых земель на оросительных системах / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.]. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2016. – 296 с.
7. Апажев, А. К. Программа оптимизации параметров и режимов работы технических средств / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов, К. В. Мишхожев, Р. А. Апажев // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024689855, 11.12.2024. Заявка № 2024688532 от 27.11.2024.

8. А. с. 1337021 СССР, МПК А01М 7/00 . Устройство для обработки межкустовых пространств ядохимикатами: 3989102, 12.09.1985: опубл. 15.09.87 / Бордугов Н.Я. (СССР). – № 34. 4 с.

9. А.с. 1165259 СССР, А01М7/00. Устройство к опрыскивателям для внесения гербицидов на виноградниках: 3573416, 04.04. 1983: опубл. 07.07.85 / Кулиев Г.Ю., Котельников В. Я. Гаджиев Г. Г. (СССР). Бюл. № 25. 5 с. –

10. А.с. 1470219 СССР, А0 1С 23/00, А01М 7/00 Устройство для внесения гербицидов в рядах насаждений сельскохозяйственных культур: 4294999, 08.11. 1987.: опубл. 07.04.89 / Гегелидзе Г.И. [и др.] (СССР). Бюл. № 13. 4 с.

11. Бакуев, Ж. Х. Интенсификация садоводства КБР путем создания оптимальных типов и конструкций плодовых насаждений короткого цикла эксплуатации / Ж. Х. Бакуев // Сборник завершенных научных работ в области АПК, рекомендуемых для внедрения в производство. – Нальчик, 2006. – С.38-40.

12. Бакуев, Ж. Х. Интенсификация садоводства в предгорьях Северного Кавказа / Ж. Х. Бакуев. – Нальчик , 2012. – 369с.

13. Бакуев, Ж.Х. Основные направления экологизации интенсивной технологии выращивания яблони в горных садовых агроценозах Кабардино-Балкарии / Ж. Х. Бакуев, Г. В. Быстрая, Л. М. Хажметов // Реализация приоритетных программ развития АПК: материалы X Международная научно-практическая конференция, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ и КБР, профессора Б.Х. Жерукова. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022 . – С. 55-64.

14. Балкаров, Х. Ж. Новая технология террасирования склонов под сады / Х. Ж. Балкаров // Сб. научных трудов СКНИИГПС, вып. 11. – Нальчик, 1990. – С.58-69.

15. Барановский, А. С. Исследование пневмо-механического распылителя жидкости / А. С. Барановский, В. Н. Стельмах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1992. – №9. – С. 13-15.

16. Безуглов, В. Техника и технология внесения пестицидов // Международный сельскохозяйственный журнал / В. Безуглов. – 2003. – №1. – С.55-59.
17. Беляев, Е. А. Некоторые особенности развития конструкций ультрамалообъемных опрыскивателей / Г. А. Беляев, В. В. Ченцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1983. – №3 – С. 15-18.
18. 20. Бербеков, В. Н. Стратегия и тактика выращивания яблони в природных зонах предгорий Центральной части Северного Кавказа / В. Н. Бербеков, Г. В. Быстрая. – Нальчик, 2006. – 157 с.
19. Блохин, В. Д. Видовой состав, распространенность и вредоносность сорных растений на юге Дальнего Востока / В. Д. Блохин, М. М. Баранова, В. А. Волынкин, З. А. Колесникова // Актуальные вопросы борьбы с сорными растениями. – М.: Колос, 1980. – С. 117-120.
20. Богданов, А. В. Обоснование оптимальных параметров опрыскивателя с вращающимися распылителями: автореф. дис. . . канд. техн. наук: 05.20.01 / А. В. Богданов. М., – 1991. – 27 с.
21. Бородин, В. А. Распыливание жидкости / В. А. Бородин. – М.: Машиностроение, 1967. – 263 с.
22. Бородин, И. Ф. Исследования электростатических распылителей для обработки растений / И. Ф. Бородин, Г. С. Беженарь // Тезисы докладов Всесоюзного научно-техн. семинара. «Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села». – М. – 1991. – с. 21-22.
23. Бочкарев, О. В. Акустический эффект Гартамана: 110 лет исследований и текущее состояние вопроса / О. В. Бочкарев, М. Г. Лебедев // Инженерный журнал: наука и инновации. – М., 2018. – С. 1-25.
24. Бросалин, В. Г. Исследование садовой гербицидной штанги и определение вылива рабочего раствора по площади приствольной полосы / В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков // Научные основы эффективного садоводства: Труды ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Воронеж: Кварта, 2006. – С. 519-532.

25. Бросалин, В. Г. Совершенствование технологии, конструирование и расчет гербицидной штанги для обработки приствольных полос в саду / В. Г. Бросалин // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им. И.В. Мичурина (1931-2001 гг.): Сб. науч. тр. ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Тамбов, 2001. – Т. 2. – С. 148-159.

26. Бросалин, В. Г. Исследование процесса движения отклоняющейся секции гербицидной штанги при обходе штамба и определение площади образующегося огреха / В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков // Научные основы эффективного садоводства: Труды ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Воронеж: Кварта, 2006. – С. 509-518.

27. Буклагин, Д. С. Современная зарубежная техника для внесения удобрений и защиты растений / Д. С. Буклагин, Н. Ф. Соловьева // Техника и оборудование для села. – 2000. – № 4. – С. 24-26.

28. В КБР вырастили более 700 тыс. тонн плодов и ягод за год [Электронный ресурс]. // <https://tass.ru/ekonomika/19498513> (дата обращения 25.11.2024 г.).

29. Вальдберг, А. Ю. Изучение дисперсного состава факела распыла жидкости центробежно-струйной форсунки / А. Ю. Вальдберг, К. П. Макеева, Н. Е. Николайкина // Известия МГТУ. – 2012. – №2. – С. 7-11.

30. Велецкий, И. Н. Технология применения гербицидов / И. Н. Велецкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат: Ленингр. отд-ние, 1989. – 175 с.

31. Велецкий, И. Н. Химическая прополка с сокращенным расходом гербицидов / И. Н. Велецкий, Н. С. Лепехин, В. И. Стрембелев // Защита растений. – 1981. № 11, С. 12.

32. Велибекова Л. А. Новые тенденции в развитии промышленного садоводства Дагестана / Л. А. Велибекова // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 2. – С. 72-78.

33. Велецкий, И. Н. Механизация защиты растений: справочник / И. Н. Велецкий, А. К. Лысов, Н. С. Лепехин, А. А. Цырин, Я. К. Омелюх. - М.: Агропромиздат, 1992. – 223 с.

34. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский, Н. А. Чернова. – М.: Статистика, 1974 – 192 с.
35. Вучков, И. С. Прикладной регрессионный анализ / И. С. Вучков, Л. Д. Бояджиева, Е. Н. Солаков. – М.: Финансы и статистика, 1987 – 239 с.
36. Вулис, Л. А. Теория струй вязкой жидкости / Л. А. Вулис, В. П. Кашкаров. – М.: Наука, 1965. – 431 с.
37. Гербициды и почва (Экологические аспекты применения гербицидов) / под ред. Е. А. Дмитриева. – М.,: Изд-во Моск. ун.-та, 1990. – 205 с.
38. ГОСТ 16265-89 Земледелие. Термины и определения. – Стандартиформ, 1990. – 21 с.
39. ГОСТ 34630-2019. Техника сельскохозяйственная: машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2020. – 42с.
40. Григорьева, Л. В. Факторы повышения продуктивности яблоневых насаждений / Л. В. Григорьева // Садоводство и виноградарство. – 2002. – № 4. – С. 3–5.
41. Григорьев, М. Н. Экономика научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ: учебное пособие / М. Н. Григорьев, А. С. Карасев, П. А. Карасев [и др.]. – Санкт-Петербург: Из-во Санкт-Петербургского гос. экономического ун-та, 2016. – 117с.
42. Гронский, А. И. Обзор устройств, обеспечивающих электрорядку рабочих жидкостей / А. И. Гронский, И. М. Кучер, Я. К. Омелюх // Защита растений. – 1987. – №6. – С.56-60.
43. Данилов, М. В. Параметры машин для опрыскивания пропашных культур: Автореф. дисс...канд. техн. наук / М. В. Данилов //– Нальчик. – 2005. – 17с.
44. Джек-Пот садоводов Кабардино-Балкарии. [Электронный ресурс]. // <https://elgkbr.ru/node/15097>(дата обращения: 05.02.2024 г.).

45. Джашеев, К. А.–М. Номограммный метод анализа результатов многофакторного эксперимента / К. А.–М. Джашеев, З. А.–М. Джашеева // Успехи современного естествознания. – 2008 – № 8 – С. 19–28.
46. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980 – 610 с.
47. Дитяткин, Ю. Ф. Распыливание жидкостей / Ю. Ф. Дитяткин. – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
48. Догода, П. А. Механизация химической защиты растений / П. А. Догода, С. С. Воложанинов, Н. П. Догода . – Симферополь: Таврия, 2000. – 140 с.
49. Документация на модуль CFD программы Comsol Multiphysics. Comsol.Inc. – 1014 с.
50. Дондоков, Д. Д. Моделирование осаждения аэрозолей на основе теории планирования эксперимента / Д. Д. Дондоков, Л. И. Эрдынеева // Вестник БГСХА. – 2010. – №4 (21) – С. 68-72.
51. Драгавцев, А. П. Горное садоводство / А. П. Драгавцев. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 430 с.
52. Дубовицкий А. А. Анализ современного состояния отрасли садоводства в России и перспективы развития на основе реализации рыночного потенциала / А. А. Дубовицкий, Э. А. Климентова, Л В Григорьева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 15, – №4(75). – С.124-138.
53. Дунский, В. Ф. Метод определения спектра размеров капель при распылении жидкостей / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин // Инж.-физ. журнал. – 1967. – Т. 12. – № 2. – С. 254-262.
54. Дунский, В. Ф. Пестицидные аэрозоли / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин, М. С. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
55. Дунский, В. Ф. Об опрыскивании растений воздушно-капельной струей / В. Ф. Дунский, Л. М. Мондрус // Тракторы и сельхозмашины. – 1973. – №2. – С.28-30.

56. Дунский В. Ф. Монодисперсные аэрозоли / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин, М. С. Соколов. – М.: Наука. – 1975. – 191 с.

57. Ефремов И. А. Тенденции развития отрасли садоводства в России / И. А. Ефремов, Е. В. Иванова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 4(67). С. 276–286. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.276.

58. Жлуктов, С. В. Моделирование байпасного ламинарно-турбулентного перехода в рамках k-epsilon подхода / С. В. Жлуктов, А. А. Аксенов, П. И. Карасев // Компьютерные исследования и моделирование. – 2014. – Т. 6, № 6. – С. 879-888.

59. Завражнов, А. И. Проблемы и пути механизации обработки почвы в интенсивных садах / А. И. Завражнов, К. А. Манаенков // Интенсивное садоводство: Матер, науч.-практ. конф. – Мичуринск, 2000. – Ч. 2. – С.8-13.

60. Завражнов, А. И. Энергосберегающая технология и комплекс машин для обработки почвы в интенсивных слаборослых садах: Учебное пособие / А. И. Завражнов, К. А. Манаенков. – Мичуринск, 2002. – 105 с.

61. Завражнов, А. И. Совершенствование конструкции гербицидной штанги для обработки приствольных полос в саду / А. И. Завражнов, К.А. Манаенков, В. Г. Бросалин // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2008. – № 52. – С. 66–70.

62. Ильин, М. М. Теория колебаний: учеб. для вузов / М. М. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов; под общ. ред. К. С. Колесникова. 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 272 с.

63. Исаева Л. И. Влияние гербицидов на вредителей, возбудителей болезней сельскохозяйственных культур и полезных членистоногих / Л. И. Исаева. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1984. – 61 с.

64. Исаева, Л. И. Применение гербицидов путем селективного нанесения на вегетирующие сорные растения / Л. И. Исаева // Сельскохозяйственная наука и производство.– М.: ВАСХНИЛ, 1986. – Вып. 4. – С. 56-64.

65. Киреев, И. М. Защита сельскохозяйственных культур от сорняков и вредителей в краевой области поля / И. М. Киреев, М. В. Данилов, З. М. Коваль // Вестник аграрной науки Дона. – 2024. – Т. 17. – №1(65). – С. 65-74.
66. Киреев, И. М. Обоснование параметров технического средства для краевой обработки поля от сорняков и вредителей полевых культур / И. М. Киреев, З. М. Коваль, М. В. Данилов // Наука в центральной России. – 2024. – № 5(71). – С. 42-50.
67. Киреев, И. М. Щелевой распылитель жидкости в технологии опрыскивания растений / И. М. Киреев, З. М. Коваль, Ф. А. Зимин, М. В. Данилов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 9 (303). – С. 12-14.
68. Киреев, И. М. Аэрозольная технология обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей / И. М. Киреев, З. М. Коваль, Ф. А. Зимин, М. В. Данилов // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2022. – № 31(194). – С. 52-65.
69. Кирьянова А. Плодоводство в России: результаты, перспективы и технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agbz.ru/articles/plodovodstvo-v-rossi--rezultaty--perspektivy-i-tehnologii> (дата обращения: 05.02.2024 г.).
70. Китаев, А. В. О системе параметров для электроаэрозольного метода защиты растений / А. В. Китаев // Труды МИИСП. – М. – 1972. – вып.3.4.1. – Т.IX. – С.124-132.
71. Кобриц, Г. А. Меры безопасности при работе с пестицидами: Справочник / Г. А. Кобриц. – М.: Агропромиздат, 1992. – 127 с.
72. Коваленко, Н. Я. Производство и эффективность плодово-ягодной продукции в регионе / Н. Я. Коваленко, Г. З. Ибиев // Экономика сельского хозяйства России. – 2019. – № 3. – С. 67–70.
73. Коваль, З. М. Обоснование высоты штанги опрыскивателя с пневмогидравлическими распылителями растворов рабочей жидкости / И. М. Киреев, З. М. Коваль // Техника и оборудование для села. – М. – 2016. – №. 9. – С.19 -23.
74. Коротких, Г. И. Аэрозоли в сельском хозяйстве / Г. И. Коротких. – М. –

1960. – 107 с.

75. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.

76. Кузичева, Н. Ю. Производственный потенциал садоводства России: проблемы формирования и пути их решения / Н. Ю. Кузичева // Теория и практика мировой науки. – 2018. – № 5. – С. 39-44 [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=35691230> (дата обращения: 18.03.2019 г.).

77. Куликов, И. М. Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы / И. М. Куликов, И. А. Минаков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 1 (56). – С. 9-15.

78. Куликов, И. М. Проблемы и перспективы развития садоводства в России / И. М. Куликов, И. А. Минаков // Садоводство и виноградарство. – 2018. – № 6. – С. 40-46.

79. Курдюков, В. В. Ультрамалообъемное опрыскивание. // Защита растений. – 1989. – № 12, – С. 34-36.

80. Либерштейн, И. И Интегрированная система борьбы с сорняками / И. И. Либерштейн // Земледелие. – 1986. – №9. – С. 10-11.

81. Лучков, П. Г. Освоение склонов под промышленную культуру яблони / П. Г. Лучков. – Нальчик: Эльбрус, 1976. – 186 с.

82. Лучков, П. Г. Агротехника садов на склонах Северного Кавказа / П. Г. Лучков. – Нальчик: Эльбрус, 1981. – 94 с.

83. Лучков, П. Г. Садоводство на склонах / П. Г. Лучков, Л. А. Шомахов Л.А. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 150 с.

84. Лучков, П. Г. Плодоводство на мелиорированных землях: Учебное пособие / П. Г. Лучков, Р. Х. Кудаев, Ж. Х. Бакуев. – Нальчик 2004. – 185с.

85. Лысов, А. К. Каким должен быть опрыскиватель с вращающимися дисковыми распылителями / А. К. Лысов // Защита и карантин растений. – 2003. – №5. – С. 38-39.

86. Машины для механизации работ в садоводстве: Каталог техники / Под общей ред. И. М. Куликова. – М., 2005. – 120 с.

87. Медников, Е. П. Акустическое коагуляция и осуждений аэрозолей / Е. П. Медников. – М.: Академия наук СССР, 1963. – 268с.

88. Мезникова, М. В. Технологическое обоснование зоны покрытия рабочим раствором при полосовом опрыскивании пропашных овощных культур / М. В. Мезникова, И. Б. Борисенко, Д. В. Скрипкин, Д. А. Соколов // Вестник аграрной науки Дона. – 2024. – Т. 17. – №1(65). – С. 56-64.

89. Мезникова, М. В. Влияние технологических параметров вертикального опрыскивания на обеспечение экологической безопасности при возделывании пропашных культур / М. В. Мезникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 4(68). – С. 502-514.

90. Мезникова, М. В. Методика оценки качественных показателей опрыскивания на основе анализа тонового изображения объекта в цветовом пространстве файла / М. В. Мезникова // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15. – №3(59). – С. 61-71.

91. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

92. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. – М., 1998. – Ч. 1. – 217 с.

93. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов (РДМУ 109–77). – М.: Изд. стандартов, 1978 – 38с.

94. Методические указания по статистической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении / Э. А. Бишоф и др. – Л.: СКНИИГиМ, 1977 – 275 с.

95. Минако, И. А. Стратегия пространственного развития садоводства России / И. А. Минаков, М. В. Азжеурова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019. – № 4(59). – С. 135-140.

96. Минсельхоз России прорабатывает дополнительные меры поддержки отрасли садоводства. Информация пресс-службы Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. 16 марта 2022 [Электронный источник]. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/minselkhoz-rossii-prorabatyvaet-dopolnitelnye-mery-podderzhki-otrasli-sadovodstva/> (дата обращения: 02.04.2024 г.).

97. Мирзаев, М. М. Горное садоводство Узбекистана [Текст] / М.М. Мирзаев. – Ташкент, 1982. – 200 с.

98. Мишхожев, К. В. Анализ методов борьбы с сорной растительностью в приствольных полосах плодовых насаждений на террасированных склонах / К. В. Мишхожев, А. Л. Хажметова, Л. М. Хажметов / В сборнике: Разработка и применение наукоемких технологий в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства. Международная научно-практическая конференция. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. – С. 165-168.

99. Мишхожев, К. В. Обоснование типа распылителя для гербицидной установки / К. В. Мишхожев, К. Л. Хажметов, Л. М. Хажметов // Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия: материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти первого Президента Кабардино-Балкарской Республики Валерия Мухамедовича Кокова. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2023. – С. 460-464.

100. Мишхожев, К. В. Тенденция развития установок для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений в террасном садоводстве / К. В. Мишхожев, Л. М. Хажметов, К. Л. Хажметов // «Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты»: материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик, 2023. – С. 141-146.

101. Мишхожев, К. В. Распылители, используемые для обработки сорной растительности в приствольных полосах плодовых насаждений: достоинства и недостатки / К. В. Мишхожев, К. Л. Хажметов // Актуальные проблемы

современного строительства, природообустройства и механизации сельскохозяйственного производства. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2023. – С. 144-148.

102. Мишхожев, К. В. Совершенствование конструкции гербицидных установок для обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве / К. В. Мишхожев, А. Л. Хажметова // Сб. статей Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященная 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. – М.: РГАУ МСХА, 2023. – Т.2. – С. 521-525.

103. Мишхожев, К. В. Актуальные проблемы и пути решения экологизации ухода за плодовыми насаждениями в интенсивном горном и предгорном садоводстве Кабардино-Балкарской республике / К. В. Мишхожев, К. Л. Хажметов, Л. М. Хажметов // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Б.Х. Фиапшева. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2024. – Ч. 2. – С. 154-157.

104. Мишхожев, К. В. Стратегия развития средств механизации по уходу за кроной плодовых насаждений в интенсивном горном и предгорном садоводстве / К. В. Мишхожев, С. И. Темиржанов, Б. Л. Узденова, Л. М. Хажметов // Энергосбережение и энергоэффективность: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы III Международной научно-практической конференции, посвященная 85-летию д.т.н., профессора Шомахова Л.А. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2024. – С. 153-157.

105. Мишхожев, К. В. Обоснование конструктивно-технологической схемы гербицидной установки для обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве / К. В. Мишхожев, Л. М. Хажметов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2025. – № 1 (47). – DOI: 10.55196/2411-3492-2025-1-47-72-82.

106. Мишхожев, К. В. Гербицидная установка с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений в интенсивном террасном садоводстве / К. В. Мишхожев // Сборник научных статей победителей Всероссийского конкурса «Машины и оборудования для АПК». – М., 2025. – С. 219-226.

107. Новые разработки машин Института плодководства НАН Беларуси [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belpromcomp.nsknet.ru/opryskivateli/> (дата обращения 17.03.2024 г.).

108. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве: Сборник. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 316 с.

109. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 [Электронный источник]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 18.05.2024 г.).

110. Османов, Э.Ш. Теоретическое обоснование взаимодействия воздушно-жидкостного потока на опрыскивателе для борьбы с сорной растительностью на многолетних насаждениях: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Э. Ш. Османов. – Симферополь. – 2021. – 24с.

111. Османов, Э. Ш. Обоснование параметров и режимов работы опрыскивателя для борьбы с сорной растительностью на многолетних насаждениях / П. А. Догода, А. П. Догода, Э. Ш. Османов // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2018. – № 15(178). – С. 114-122.

112. Османов Э. Ш. Результаты использования воздушно-жидкостного потока на навесном гербицидниковом опрыскивателе. Научно-теоретический и практический журнал «Оралдын гылым жаршысы». Технические науки. – Уральск, 2013. – № 18 (66). – С. 4-14.

113. Особенности использования различных типов распылителей в конструкциях полевых опрыскивателей для внесения рабочего раствора пестицидов / О. В. Гордеенко [и др.] // Энергосберегающие технологии и

технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Международной научно-практической конференции, Минск, 12-13 июня 2008 г.: в 2 ч. Ч. 1. - Минск: БГАТУ, 2008. - С. 203-209.

114. ОСТ 10 6.1-2000. Испытание сельскохозяйственной техники. Опрыскиватели и машины для приготовления рабочей жидкости. Методы оценки функциональных показателей. – Взамен РД 10 6.1-89. Введен 15.06.2000. – М.: Минсельхозпрод России, 2000. – 53 с.

115. ОСТ 10 2.18-2001. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. – М.: Минсельхоз России, 2001. – 36 с.

116. ОСТ 56-45-80. Машины и аппараты для химической защиты: Номенклатура показателей качества. – М.: 1982. – 33 с.

117. Пажи, Д. Г. Распылители жидкостей / Д. Г. Пажи, В. С.Галустов. – М.: Химия, 1979. – 216 с.

118. Палапин, А. В. Оптимизация параметров и режимов работы ультрамалообъемного вентиляторного опрыскивателя: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. / А. В. Палапин. – Краснодар, 2005. – 165 с.

119. Пат 2275022 Российская Федерация, МПК7 С1 А01М 7/00 Опрыскиватель ультрамалообъемный / Е. И. Трубилин, С. М. Борисова, В. В. Цыбулевский и др.; заявитель и патентообладатель Кубанский ГАУ – № 2004124318/12; заявл 09. 08. 2004, опубл 27. 04. 2006, Бюл №12.

120. Пат. 2263549 Российская Федерация, МПК В05В17/94. Пневмоакустический распылитель жидкости / Л. М. Хажметов, А. А. Цымбал, Ю. А. Шекихачев [и др.]; заявитель и патентообладатель Кабардино–Балкарская гос. сельхоз. акад.– 2003135811/12; заявл. 09.12.03; опубл. 10.11.05, Бюл. № 31.

121. Пат. 2350065 Российская Федерация, МПК7 А01М 21/04. Устройство для внесения гербицида в приствольную полосу сада / В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков; заявитель и патентообладатель Мичуринский гос. агр. унив. и ООО "Научно-производственный центр "ТехноСад". – №2007121251/12; заявл. 06.06.2007; опубл. 23.03.2009, Бюл. №24. – 3с. : ил.

122. Пат. 2218763 Российская Федерация: МПК7 А01М 7/00. Устройство для внесения растворов гербицидов в приствольную полосу сада / А. И. Завражнов, А. Н. Манаенков, В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков; заявитель и патентообладатель Мичуринский государственный аграрный университет: № 2001132267/13; заявл. 28.11.2001; опубл. 20.12.2003, Бюл. № 35. - 7 с: ил.

123. Пат. 2350065 Российская Федерация: МПК АО 1С 23/02. Устройство для внесения растворов гербицидов в приствольную полосу сада / В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков; заявители и патентообладатели ФГОУ ВПО «МичГАУ», ООО «НПЦ «ТехноСад». - № 2007121251/12; заявл. 06.06.2007; опубл. 27.03.2009, -Бюл. №9.-7 с: ил.

124. Пат. 200666 Российская Федерация МПК А01М 21/04. Опрыскиватель навесной гербицидный виноградниковый / Э. Ш. Османов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского". – 2020119834; заявл. 08.06. 2020: опубл. 05. 11.2020.

125. Пат. 218767 РФ МПК А01М 7/00. Устройство для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений на террасированных склонах / А. К. Апажев, Л. М. Хажметов, Ю. А. Шекихачев, А. Л. Хажметова, К. В. Мишхожев [и др.]; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2022129135, заявл. 08.11.2022, опубл. 09.06.2023., Бюл. №16.

126. Полищук, Е. А. Системы содержания почвы в садах / Е. А. Полищук // В сборнике: Современные проблемы, перспективы и инновационные тенденции развития аграрной науки. международная научно-практическая конференция посвященная 85-летию со дня рождения члена-корреспондента РАСХН, д.в.н., профессора М.М. Джамбулатова. –Махачкала: Дагестанский ГАУ, 2010. – С. 380-382.

127. ПР 50.1.019-2000. Основные положения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации в российской федерации. Приняты и введены в действие Постановлением Госстандарта России от 25 декабря 2000 г. № 409-ст. Взамен пр 50-733-93. –М.: Госстандарт России, 2001. –19с.

128. Прокопенко, С. Ф. Малообъемное опрыскивание сельскохозяйственных культур / С. Ф. Прокопенко, В. В. Ченцов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 61с.

129. Раузин, Е. Г. Сады на террасах / Е. Г. Раузин. – Алма-Ата: Кайнар, 1983. –147 с.

130. Садоводство России (сост. Попов В.Н.). – М.: Агентство «Дайджест», 1994. – 281с.

131. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов; 3-е изд., перераб. и доп. / А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. – М.: ООО «НедраБизнесцентр», 2000. – 677 с.

132. Скурный, К. Аэрозоли / К. Скурный. –М.: Атомиздат. – 1968. – 526 с.

133. Совершенствование технологии и технических средств опрыскивания полевых культур в условиях юга России / С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, В. В. Колесник [и др.] // Наука в центральной России. – 2016. – № 6(24). – С. 25-30.

134. Соколов А. И. Исследование газодинамических колебаний в дисковом генераторе Гартмана / А. И. Соколов // Математическое моделирование. – 1996, – Т 8 №6. – С. 109-114.

135. Соколов, М. С. Критерии эффективности ультрамалообъемного опрыскивания гербицидами и требования к аппаратуре / М. С. Соколов, Б. П. Стрекозов // VIII Междунар. конгресс по защите растений. – М.: МСХ СССР. – 1975. – Т.2. – С. 144-150.

136. Соколов, М. С. Мало- и микрообъемное опрыскивание гербицидами / М. С. Соколов, В. С. Родкин, Н. В. Никитин // Защита растений. – 1970. – № 9. – С. 17-19.

137. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. – М.: «Издательство Агрорус» 2005. – 326 с.

138. Стандарт отрасли. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. – М., 2002. – 36 с.

139. Судит, Ж. М. О пневматическом распылении жидкости в рабочих органах опрыскивателей / Ж. М. Судит. – В кн.: Аэрозоли в сельском хозяйстве // Под ред. Ю. Н. Фадеева и др. – М.: Колос, 1973. – С. 62-70.

140. Судит, Ж. М. Применение методов математической статистики при исследовании распыливающих органов опрыскивателей / Ж. М. Судит, М. И. Штеренталь, Ю. Л. Нагорный // Механизация технологических процессов защиты растений. МСХ СССР – ВАСХНИЛ. – Л, 1970. – 408 с.

141. Тхагапсова, А. Р. Особенности конструкции защитного фартука гербицидной штанги при обработке приствольных полос плодовых насаждений / А. Р. Тхагапсова, К. В. Мишхожев, Л. М. Хажметов Л.М. // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты. Сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. – С. 158-162.

142. Тхагапсова, А. Р. Совершенствование технических средств для обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве / А. Р. Тхагапсова, К. В. Мишхожев, Л. М. Хажметов // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства. Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. – С. 133-136.

143. Трубилин, Е. И. Оптимизация параметров эжекционно-щелевого распылителя ультрамалообъемного опрыскивателя / Е. И. Трубилин, С. М. Борисова, В. В. Цыбулевский // Совершенствование технологий и машин для агропромышленного комплекса. – М. – 2002. – С. 58-63.120.

144. Туликов, А. М. К теоретическому обоснованию классификации способов борьбы с сорняками / А. М. Туликов // Биология, земледелие и растениеводство: сб. докл. ТСХА. – М.: ТСХА, 1980. – Вып. 264. – С. 68-71.

145. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) // Официальный сайт. Статистика [Электронный источник]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 12.02.2024 г.).

146. Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 № 280-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: <https://fzrf.su/zakon/2018-08-03-n-280-fz/> (дата обращения: 04.03.2024 г.).

147. Финни, Д. Введение в теорию планирования экспериментов / Д. Финни. – М.: Наука, 1970 – 287 с.

148. Фридман, В. М. Ультразвуковая химическая аппаратура / В. М. Фридман. – М.: Машиностроение. – 1967. – 212 с.

149. Фукс, М. А. Механика аэрозолей / М. А. Фукс. – М.: Изд-во АН СССР. – 1955. – 351с.

150. Хажметов, Л. М. Акустическое распыливание жидкости: особенности конструкции распылителей и установок для обработки сельскохозяйственных культур / Л. М. Хажметов, А. Л. Хажметова, К. В. Мишхожев // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – 2022. – №4. – С. 136-144.

151. Хажметов, Л. М. Особенности обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве / Л. М. Хажметов, К. В. Мишхожев // В сборнике: Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти первого Президента Кабардино-Балкарской Республики Валерия Мухамедовича Кокова. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. – С. 299-303.

152. Хажметов, Л. М. Пневмоакустический распылитель для внесения гербицида в приствольные полосы многолетних насаждений / Л. М. Хажметов, Ю. А. Шекихачев, К. В. Мишхожев [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2022. – №2(50).

153. Хорольский, В. Я. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, Д. В. Петров. – Ростов-на-Дону: Терра. – 2004. –167с.

154. Хорт, Д. О. Цифровые технологические и технические решения для интенсивного садоводства: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Д. О. Хорт. – М., 2022. – 44с.

155. Цыбулевский, В. В. Параметры процесса обработки приствольной зоны плодовых деревьев гербицидами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. В. Цыбулевский. – Краснодар, 2007. – 24 с.

156. Шекихачев, Ю. А. Совершенствование технологии и технических средств применения биопрепаратов при обработке посевов сельскохозяйственных культур / Ю.А. Шекихачев, В. Б. Дзуганов, Л. М. Хажметов, К. В. Мишхожев [и др.] // АгроЭкоИнфо. –2022. – № 3(51).

157. Шершабов, И. В. Некоторые элементы методики определения дисперсности распыливания жидких препаратов / И. В. Шершабов // Защита растений. – 1982. – № 2. – С. 3-36.

158. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование: учебное пособие для студентов специальности «Статистика» / И. В. Орлова, В. А. Половников. – М.: Вузовский учебник, 2012 – 389 с.

159. Яблонский А. А. Курс теоретической механики – М.: Высшая школа, 1984. – 372с.: ил.

160. Bals, E. J. The importance of controlled droplet application (CDA) in pesticide applications / E. J. Bals // Jn. Proc. 8th Brit. Insect. Fung. Conf. – L., 1979 b, – P. 153-160.

161. Ford, R. E. The formation of drops viscous Newtonian liquids sprayed through fan-jet nozzles / R. E. Ford, C. G. Furnidge // British Journal of Applied Physics. – 1967. – Vol. 18. – № 3. – P. 335-349.

162. Koch, H. Wind einplanen und Abtrieb vermeiden / H. Koch // Agrar. – 1989. – Jg. 40, N12. – P. 15 -17.

163. Koval', Z. M. Dynamic aerosol chamber with photometric principle of operation / I. M. Kireev, Z. M. Koval', // «Measurement Techniques ». – Springer. New York Consultants Bureau. – Vol. 58, No12. – 2016 p.

164. Tsybulevsky, V. Optimization of the design parameters of the sprayer rotary device for the chemical treatment of the near-stem zone of fruit trees / V. Tsybulevsky, B. Tarasenko, I. Troyanovskaya, S. Voinash, R. Zagidullin, I. Kiyamov, L. Sabitov // В

сборнике: E3s Web of Conferences.VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023). – EDP Sciences. – 2023. – p. 06002.

165. Tsybulevskiy, V. V. Graph-analytical method for determining the untreated and treated with the herbicide area around the stem with over-lapping when the working body is made in the form of a probe // V. V. Tsybulevsky, B. F. Tarasenko, S. V. Oskin // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference «Earth Science - Chapter 2».– 2021. – p. 032090.

166. https://tem-sv.ru/base_knowledge/proect/calc_plavniy_povorot.php

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 218767

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДА В
ПРИСТВОЛЬНЫЕ ПОЛОСЫ ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА ТЕРРАСИРОВАННЫХ СКЛОНАХ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокоев" (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Апажев Аслан Каральбиевич (RU), Хажметов Луан Мухажиевич (RU), Шекихачев Юрий Ахметханович (RU), Фианшиев Амур Григорьевич (RU), Хажметова Алина Луановна (RU), Мишхожев Каптемир Владиславович (RU), Хажметов Каптемир Луанович (RU), Темиржанов Солтан Ильясович (RU)*

Заявка № 2022129135

Приоритет полезной модели **08 ноября 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **09 июня 2023 г.**

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает **08 ноября 2032 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ЭЛЕКТРОННО-ЦИФРОВОЙ ДОКУМЕНТ
документ подписан электронной подписью
Сертификат 429655097367304008207304007
Коллеги: Зуев Юрий Сергеевич
Действителен с 15.08.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зуев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11)

218 767⁽¹³⁾ U1(51) МПК
A01M 7/00 (2006.01)
A01M 2/00 (2006.01)(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ(52) СПК
A01M 7/00 (2023.01); A01M 2/00 (2023.01)

(21)(22) Заявка: 2022129135, 08.11.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.11.2022Дата регистрации:
09.06.2023Приоритет(ы):
(21) Дата подачи заявки: 08.11.2022

(43) Опубликовано: 09.06.2023 Бюл. № 16

Адрес для переписки:
380030, г. Нальчик, пр. Ленина, 1а, ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ, ИИС, патентный
отдел, Дударовой Ф.Т.

(72) Автор(ы):

Аллаев Аслам Каральбиевич (RU),
Хажиев Луи Мухамедович (RU),
Шкаляев Юрий Ахметович (RU),
Филиппов Амур Григорьевич (RU),
Хажиева Алина Луановна (RU),
Минхожаев Кантонир Владиславович (RU),
Хажиев Кантонир Луанович (RU),
Темирханов Солтан Ильясович (RU)

(73) Патентообладатель(я):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Кабардино-Балкарский
государственный аграрный университет им.
В.М. Кожина" (ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2275032 C1, 27.04.2006. CN
205409305 U, 03.08.2016. RU 2894569 C1,
16.07.2019. FR 2841438 A1, 02.01.2004. FR
2894306 A1, 28.10.1993.(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДА В ПРИСТВОЛЬНЫЕ ПОЛОСЫ ПЛОДОВЫХ
НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРАСИРОВАННЫХ СКЛОНАХ

(57) Формула полезной модели

Устройство для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений на террасированных склонах, содержащее телескопическую штангу, поворотное устройство, поворотную штангу и исполнительный механизм, корпус которого выполнен в виде вертикально установленного металлического цилиндра, прикрепленного к поворотной штанге шарнирно с возможностью регулирования угла наклона в вертикальной плоскости посредством гидроцилиндра, во внутреннюю полость корпуса исполнительного механизма вертикально установлен пневмоакустический распылитель, а в нижней части корпуса исполнительного механизма установлен диск, изготовленный из полимерного материала, с возможностью вращения в горизонтальной плоскости, при этом перемещение диска вниз ограничено нижней крышкой, прикрепленной к корпусу посредством крепежных деталей, а на наружной поверхности диска вставлено

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024689855

**Программа оптимизации параметров и режимов работы
технических средств**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кабардино-Балкарский государственный аграрный
университет имени В.М. Кокова» (RU)*

Авторы: *Апажев Аслан Каральбиевич (RU), Шекихачев Юрий
Ахметханович (RU), Хажметов Луан Мухажевич (RU),
Мишхожев Кантемир Владиславович (RU), Апажев Расул
Алимович (RU)*

Заявка № 2024688532

Дата поступления 27 ноября 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 декабря 2024 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов
Заместитель руководителя
Федеральной службы по интеллектуальной собственности
подпись: Ю.С. Зубов

Ю.С. Зубов



ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2023

XXV РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ
БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ имени В. М. Кокова,
г. Нальчик

*За разработку пневмоакустической установки
для обработки приствольных полос в садоводстве*

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ



СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

Международная научная конференция
молодых учёных и специалистов, посвящённая
180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева

Выдан

Мишхожев Кантемир Вячеславович

за доклад на тему:

Совершенствование конструкции гербицидных установок для обработки приствольных
полос плодовых насаждений в террасном садоводстве

на секции

Инновационная техника и технологии в АПК



В.И. Трухачев
Ректор,
Академик РАН,
профессор



СМЭ
РГАУ-МСХА
имени К.А.Тимирязева

Москва, 5-7 июня 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Племенной совхоз «Кенже»,

г. Нальчик, КБР

А.Ш. Кештов

2025 г.

АКТ

**использования результатов научно-исследовательских,
опытно- конструкторских и технологических работ**

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» д.т.н., профессор Шекихачев Ю.А. и аспирант кафедры «Техническая механика и физика» Мишхожев К.В, с одной стороны, и представитель ООО «Племсовхоз «Кенже» КБР гл. инженер Эрганоков А.Б., с другой стороны, составили настоящий акт в том, что ООО «Племенной совхоз «Кенже» принял к использованию результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, полученные по теме «Параметры и режимы работы гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для ухода за плодовыми насаждениями в террасном садоводстве».

В результате производственных испытаний гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений, расположенных на террасах в ООО «Племенной совхоз «Кенже», установлена ее высокая работоспособность, определены ее основные технические характеристики. Производительность установки составила 3 га/ч при норме расхода рабочей жидкости 50 л/га.

Представители ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ

Представитель
ООО «Племсовхоз «Кенже»,
гл.инженер


Ю.А. Шекихачев

К.В. Мишхожев


А.Б. Эрганоков

УТВЕРЖДАЮ
 Директор АНО «Агроном»,
 г. Нальчик, КБР
 М.Х. Озроков
 « 18 » _____ 2025 г.



АКТ

**производственных испытаний гербицидной установки с
 пневмоакустическим распылителем для ухода за плодовыми
 насаждениями**

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» д.т.н., профессор Шекихачев Ю.А. и аспирант кафедры «Техническая механика и физика» Мишхожев К.В., с одной стороны, и представитель Автономной некоммерческой организации «Объединение садоводства, огородничества и сельского хозяйства «Агроном» (АНО «Агроном») инженер Коков Ч.М. с другой стороны, составили настоящий акт в том, что в период с 2024 по 2025 гг. проведены производственные испытания гербицидной установки с пневмоакустическим распылителем для обработки приствольных полос плодовых насаждений с целью уничтожения сорной растительности.

В ходе производственных испытаний были установлено, что рациональные скорости трактора при норме внесения раствора гербицидов 50 л/га составляют от 3 до 6 км/ч, а при 100 л/га от 1,5 до 3 км/ч.

Степень покрытия каплями рабочей жидкости листовой поверхности верхней стороны листьев сорных растений составила 80-90%, нижней – 60-70%.

Представители ФГБОУ ВО
 Кабардино-Балкарский ГАУ

 Ю.А. Шекихачев

 К.В. Мишхожев

Представитель
 АНО «Агроном», инженер

 Ч.М. Коков