

На правах рукописи

Азизов Ирек Раилевич

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИВА
ГРИБОВ В ТЕПЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЗА
СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВКИ
ПОЛИВА, ОБОРУДОВАННОЙ ВЕЕРНОЙ
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ НАСАДКОЙ**

4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Русинов Алексей Владимирович

Официальные оппоненты: **Рембалович Георгий Константинович**
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технологии
металлов и ремонта машин» ФГБОУ ВО
«Рязанский государственный
агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»

Рыжко Николай Федорович
доктор технических наук, главный
научный сотрудник отдела модернизации
технических средств и технологии полива
ФГБНУ «Волжский научно-
исследовательский институт гидротехники
и мелиорации»

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна

Защита состоится «__» _____ 2024 г. в __ на
заседании диссертационного совета 35.2.035.03 на базе ФГБОУ ВО
«Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» по адресу:
410056, г. Саратов, ул. Советская, д. 60, ауд. 325 им. А. В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
Вавиловский университет и на сайте <https://vavilovsar.ru/>.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов,
пр. им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В. В. Чекмарёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Основными задачами сельскохозяйственного производства являются обеспечение населения продукцией растениеводства и выполнение Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, согласно которой развитие грибоводческой отрасли имеет большое значение.

В Российской Федерации ежегодно увеличивается объем производства шампиньонов, что позволило за последние пять лет повысить их производство в пять раз. Однако увеличивающийся объем производства шампиньонов сопровождается рядом трудностей.

Для получения стабильно высоких урожаев шампиньонов следует соблюдать ряд условий, особенно это касается влажности. Поскольку плодовое тело этого гриба содержит от 88 до 94 % воды, то для его роста необходимо, чтобы содержание воды в субстрате и покровном материале составляло 65–85 % предельной полевой влагоемкости (ППВ). В процессе роста мицелий шампиньона потребляет воду как из субстрата, так и из слоя покровного материала. Требуемую влажность субстрата и покровного материала обеспечивают путём проведения регулярных поливов в течение всего периода выращивания грибов.

При культивировании шампиньонов важно определить режим полива, который в значительной мере влияет на выход грибов и их качество. Необходим дифференцированный подход к обеспечению оптимального уровня влагосодержания покровного материала в зависимости от фазы роста и развития шампиньонов.

В настоящее время полив шампиньонов выполняют ручным или автоматизированным способом с использованием дождеобразующих устройств. Однако применяемые в производстве грибов дефлекторные, каскадные и струйные дождевальные насадки не обеспечивают требуемых качественных показателей дождя. Они характеризуются низкой равномерностью полива и создают дождь высокой интенсивности с большим диаметром капель. Это приводит к снижению урожая и ухудшению товарного вида шампиньонов.

В связи с вышеизложенным совершенствование конструкции дождеобразующего устройства, позволяющего повысить качественные показатели дождя, является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы. Вопросами, связанными с повышением качественных показателей дождя, создаваемого дождеобразующими устройствами, занимались такие ученые, как: А. П. Исаев, Б. М. Лебедев, Г. В. Ольгаренко, В. И. Ольгаренко, Н. Ф. Рыжко, А. И. Рязанцев, Ю. Ф. Снопич, Л. А. Журавлева, Абуд Фауз Хаджи, С. С. Авдеев, Е. Г. Александрова, М. И. Дулов, Т. Г. Лазарева, О. С. Крючкова, А. А. Шульгина, М. Е. Аралова, К. В. Порошин, М. Р. Оразбердиева, Э. К. Атаев, Г. А. Гурбанова, О. Б. Дараков, Л. А. Девочкин, Н. Л. Девочкина, Р.

Д. Нурметов, Л. И. Долгих. Анализ их работ позволяет оценить влияние конструктивно-технологических параметров дождеобразующего устройства на качественные показатели дождя. Однако остается ряд нерешенных вопросов, связанных с обоснованием конструктивных параметров дождеобразующих устройств, устанавливаемых в стесненных условиях культивационных камер, в которых выращивают шампиньоны.

Процесс формирования дождя дождевальными насадками, установленными в культивационных камерах, рассматривался как целостный, с круговым покрытием зоны полива. Но вследствие конструктивных особенностей расположения стеллажей в культивационных камерах полив необходимо осуществлять сбоку, что требует разработки новой конструкции дождеобразующего устройства. Проведенные исследования, направленные на совершенствование дождеобразующего устройства, позволили разработать конструкцию веерной дождевальной насадки с переменной формой сопла и обосновать ее конструктивные параметры.

Цель работы – повышение качественных показателей при поливе шампиньонов в культивационной камере путем обоснования рациональных конструктивных параметров веерной дождевальной насадки.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

1. Провести анализ технологий выращивания грибов с применением устройств полива и определить способы и направления развития дождеобразующих устройств, обеспечивающих полив шампиньонов в культивационной камере с требуемыми качественными показателями дождя.

2. Разработать дождевальную насадку, обеспечивающую создание дождя с требуемыми качественными показателями (равномерность полива, интенсивность дождя и диаметр капель), и провести теоретическое обоснование ее конструктивных параметров.

3. Провести экспериментальные исследования, направленные на оценку влияния конструктивных параметров веерной дождевальной насадки на равномерность полива и диаметр капель.

4. Дать производственную оценку и определить экономическую эффективность использования установки полива с разработанной конструкцией веерной дождевальной насадки с переменным сечением сопла при поливе грибов, выращиваемых в культивационной камере.

Объект исследования – технологический процесс полива установкой, оснащенной веерной дождевальной насадкой с переменным сечением сопла.

Предмет исследования – зависимости и взаимосвязь качественных показателей дождя, к которым относятся равномерность полива и диаметр капель дождя, с конструктивными параметрами веерной дождевальной насадки с переменным сечением сопла.

Научная новизна заключается в следующем:

- разработана классификация дождевальных насадок, в которой предложена конструкция веерной дождевальной насадки с переменным сечением сопла, устанавливаемой на поливной установке (патент РФ на полезную модель № 218218);
- аналитические зависимости, определяющие угол раскрытия сопла, ширину и высоту переменным сечением сопла веерной дождевальной насадки, обеспечивающую полив с требуемыми равномерностью и интенсивностью дождя;
- аналитическая зависимость, определяющая диаметр капель дождя, создаваемого веерной дождевальной насадкой с переменным сечением сопла;
- экспериментальные зависимости влияния конструктивных параметров веерной дождевальной насадки с переменным сечением сопла на качественные показатели дождя.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в получении аналитических зависимостей конструктивных параметров веерной дождевальной насадки с переменной формой сопла, диаметра капель и интенсивности создаваемого дождя. Рассмотренный процесс истечения жидкости из сопла веерной дождевальной насадки позволил определить аналитические зависимости, отражающие влияние ширины, высоты и угла раскрытия сопла переменной формы на равномерность полива. Обеспечение постоянства и равномерности полива шампиньонов в культивационной камере дало возможность разработать оптимальный график поливов, а также получить аналитическую зависимость скорости движения поливной установки.

Практическая значимость выполненной работы заключается в том, что была создана, прошла производственные испытания и внедрена в ООО «Саргриб» (г. Саратов) новая конструкция веерной дождевальной насадки с переменной формой сопла, способной обеспечивать требуемые качественные показатели дождя при поливе шампиньонов в культивационной камере автоматизированной установкой. Результаты проведенных исследований рекомендуются для проектно-конструкторских предприятий при разработке и проектировании автоматизированных поливных установок, а также для предприятий, занимающихся выращиванием грибов в культивационных камерах.

Методология и методы исследований. В работе использованы основные методы и положения математического моделирования, статистической обработки данных и системный анализ. Теоретическое описание процессов истечения жидкости из сопла переменной формы дождевальной насадки и формирования дождя базировалось на основных законах и методах классической механики и гидравлики. Экспериментальные исследования основывались на методах лабораторных и полевых опытов, проводимых с учетом требований методик СТО АИСТ 11.1-2010 и РД 70.11.1-89 по определению качественных показателей полива автоматизированной установкой, оснащенной веерными дождевальными насадками с переменной формой сопла.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретические зависимости, описывающие влияние конструктивных параметров веерной дождевальной насадки с переменной формой сопла на равномерность распределения и интенсивность дождя по зоне полива;
- экспериментально-теоретическое обоснование влияния ширины и высоты сопла переменной формы дождевальной насадки на равномерность распределения и интенсивность дождя по зоне полива;
- экспериментально-теоретическое обоснование влияния изменения ширины сопла переменной формы дождевальной насадки на диаметр капель формируемого дождя.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов выполненных экспериментов подтверждена необходимым количеством проведённых исследований и получением достаточного объема эмпирических данных; статистическими методами обработки данных с использованием современных программных продуктов; высокой степенью сходимости теоретических исследований; применением современных методик и государственных стандартов при проведении экспериментов, а также использованием поверенных измерительных приборов.

Основные положения диссертационной работы рассмотрены на ежегодных научно-практических конференциях по итогам научно-исследовательской работы профессорско-преподавательского и аспирантского состава ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (Саратов, 2020–2023 гг.); на VI Международной научно-практической конференции «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» Белорусского государственного аграрного технического университета (Минск, 2023 г.); на X Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратов, 2023 г.); на Международной научно-практической конференции «Вклад аграрных

ученых в реализацию десятилетия науки и технологий в Российской Федерации» (Курган, 2023 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 11 научных работах, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получено 2 патента на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 3,0 печ. л., из них 2,12 печ. л. принадлежат лично автору.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 13 таблиц, 63 рисунка и 7 приложений. Список литературы включает в себя 146 наименований, в том числе 11 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, отражена ее теоретическая и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований»** проведен анализ производства грибов в России и Саратовской области. Проанализированы технологии выращивания шампиньонов. Было выявлено, что наиболее важными параметрами, влияющими на урожайность и товарное качество шампиньонов, являются слой дождя и его качественные показатели – диаметр капель, интенсивность и равномерность полива (см. таблицу).

Качественные показатели дождя

| Показатель | Значение |
|---|--------------|
| Дальность полива, м | 1,0 |
| Средняя интенсивность, мм/мин | 13,2–15,2 |
| Коэффициент равномерности по Кристиансену | Не менее 0,9 |
| Диаметр капель, мм | 0,6 –1,8 |

Выполненный анализ технических устройств полива и конструкций дождевальных насадок показал, что существующие конструкции не обеспечивают требуемых качественных показателей дождя. Из-за особенности бокового расположения дождеобразующего устройства и возможности полива с одной стороны на ограниченной высоте, обусловленной расположением стеллажей, был проведен анализ существующих конструкций насадок и представлена их классификация. Установлено что для заданных условий наибольшей равномерностью полива обладают веерные дождевальные насадки.

Вопросами, связанными с повышением качественных показателей дождя, создаваемого дождеобразующими устройствами, занимались такие ученые, как А. П. Исаев, Б. М. Лебедев, Г. В. Ольгаренко, В. И. Ольгаренко, Н. Ф. Рыжко, А. И. Рязанцев, Ю. Ф. Снопич, Л. А. Журавлева, Абуд Фауаз Хаджи, С. С. Авдеенко, Л. А. Девочкин, Н. Л. Девочкина, Р. Д. Нурметов, Л. И. Долгих и др.

В результате выполненных исследований была доказана необходимость совершенствования конструкции дождевальных насадок, обеспечивающих повышение качества дождя и равномерности полива. Наиболее перспективным направлением совершенствования конструкции дождевальной насадки является создание сопла с переменным сечением.

Во **второй главе «Теоретические исследования конструктивных параметров веерной дождевальной насадки»** приведена конструкция поливной установки для полива шампиньонов в культивационной камере (рисунок 1).

Установка представляет собой стеллаж 1, с боковой стороны которого установлены рельсовые направляющие 2, служащие для передвижения каретки 3, опирающейся посредством роликовых опор 4 на направляющие 2. Движение каретки осуществляется шаговым двигателем 5 путем наматывания и сматывания троса 6. На каретке смонтированы гидравлические клапаны с электромагнитным приводом 7, регулирующим подачу воды из резервуара 8 при помощи гидравлического насоса 9 по гибкому трубопроводу 10 к дождевальной насадке 11. Управление установкой осуществляется блоком управления 12 с заранее заложенным алгоритмом, который контролирует скорость и подачу воды исходя из показаний датчиков давления 13 и расхода воды 14.

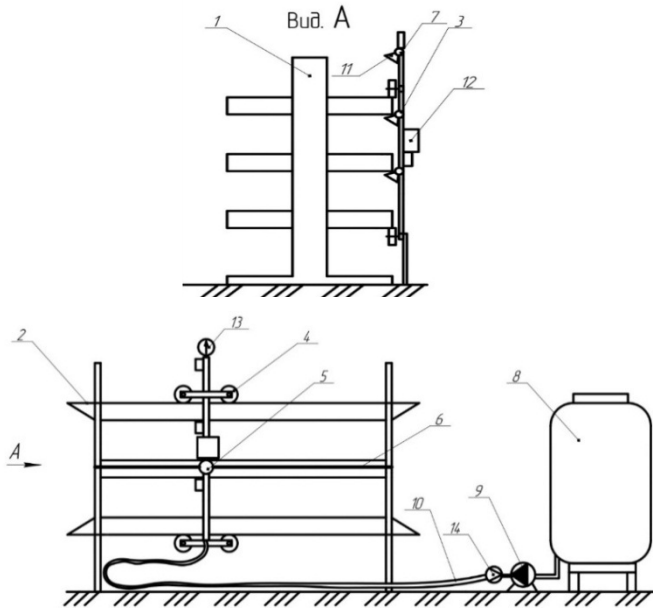


Рисунок 1 – Схема установки полива: 1 – стеллаж; 2 – рельсовые направляющие; 3 – каретка; 4 – роликовые опоры; 5 – шаговый двигатель; 6 – трос; 7 – гидравлические электромагнитные клапаны; 8 – резервуар; 9 – гидравлический насос; 10 – гибкий трубопровод; 11 – дождевальная насадка; 12 – блок управления; 13 – датчик давления воды; 14 – датчик расхода воды

Поливная установка работает следующим образом. На стеллаж 1 закладывают субстрат с мицелием, оператор с помощью ЭВМ программирует алгоритм работы. Блок управления 12, управляя исполнительными механизмами, осуществляет полив. Включается гидравлический насос 9 и вода перекачивается по гибкому трубопроводу 10 из резервуара 8 к гидравлическим клапанам 7, размещенным на каретке 3. Получив данные от датчика давления 13 о достижении рабочих показаний, блок управления 12 передает команды на включение электромагнитного привода гидравлического клапана 7, после чего вода поступает в дождевальную насадку 11 и производится полив.

Согласно алгоритму работы, блок управления 12 реализует заданный режим полива и контролирует скорость перемещения каретки 3 относительно горизонтальной плоскости вдоль стеллажей с помощью шагового двигателя 5, который, наматывая или сматывая трос 6, приводит ее в движение. После окончания рабочего цикла блок

управления 12 подает команду на выключение электромагнитных клапанов 7 и возвращение каретки 3 на стартовую позицию (патент на полезную модель № 214161).

Разработка поливной установки основана на расчете режима полива шампиньонов за один оборот, который показал необходимость проведения 173 поливов с периодичностью на этапе вегетации 7 ч, а в период плодоношения – 5 ч. Учитывая конструкцию культивационной камеры и технологию выращивания шампиньонов, дождевальную насадку расположили сбоку от зоны полива. Тогда для обеспечения полива зоны длиной l_n необходимо устанавливать дождевальную насадку на высоте h с углом раскрытия сопла γ (рисунок 2).

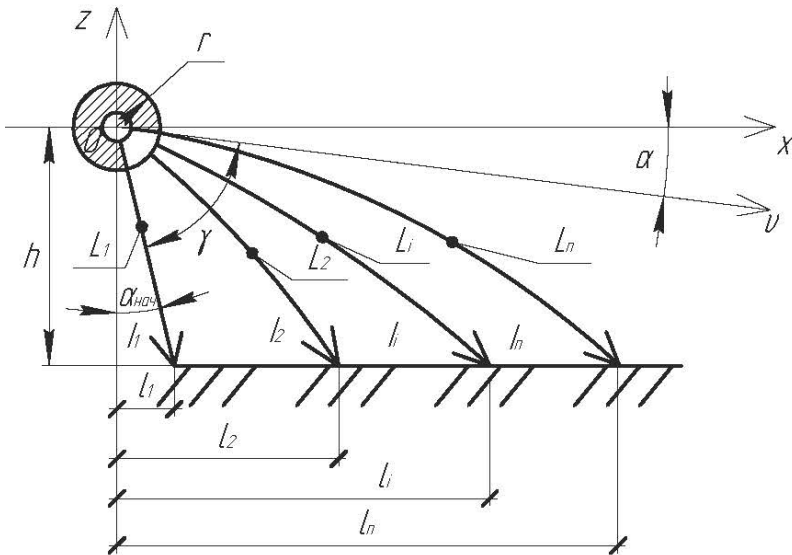


Рисунок 2 – Схема полива предлагаемой дождевальной насадкой

При поливе струя воды, выходящая из сопла насадки, распадается на капли, движущиеся в пространстве, на которые действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сопротивление среды (оцениваемое коэффициентом сопротивления среды k_c), обеспечивая уменьшение зоны полива.

Зная начальную скорость движения струи воды, была выведена аналитическая зависимость, определяющая угол раскрытия сопла γ дождевальной насадки:

$$\gamma = 90 - \left| \arctg \left(k_c \frac{V_0^2 \pm \sqrt{V_0^4 - g(gl^2 + 2V_0^2h)}}{gl^2} \right) \right| - \left| \arctg \frac{l_i}{h} \right|, \quad (1)$$

где k_c – коэффициент сопротивления среды; V_0 – начальная скорость струи, м/с; l – длина зоны полива, м; l_i – расстояние от поливной установки до зоны полива, м; h – высота дождевальной насадки над поверхностью полива, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Основываясь на зависимости угла раскрытия сопла дождевальной насадки и ее радиуса, была определена высота сопла a :

$$a = \frac{\pi r}{180^\circ} \left\{ 90 - \left| \arctg \left(k_c \frac{V_0^2 \pm \sqrt{V_0^4 - g(gl^2 + 2V_0^2h)}}{gl^2} \right) \right| - \left| \arctg \frac{l_i}{h} \right| \right\}, \quad (2)$$

где r – радиус насадки, м.

Главным качественным показателем полива является его равномерность, которая обеспечивается постоянством интенсивности дождя на i -м участке зоны полива. Равномерность полива оценивали коэффициентом Кристиансена σ :

$$\sigma = 100 \left(\frac{\sum I_i - I_c}{I_c} \right), \quad (3)$$

где $|I_i - I_c|$ – абсолютная величина отклонения i -го замера от средней интенсивности, мм/мин; I_c – средняя интенсивность, мм/мин.

Сохранение постоянства интенсивности дождя в i -м интервале зоны полива по мере удаления от дождевальной насадки l_i и увеличения площади полива возможно за счет повышения расхода воды, который зависит от площади поперечного сечения сопла дождевальной насадки, тогда:

$$I_i = \frac{60(S_i \mu \sqrt{2gH_{\text{вх}}})}{l_i B_i}, \quad (4)$$

где I_i – интенсивность дождя; S_i – площадь поперечного сечения сопла дождевальной насадки на i -м участке, м²; B_i – ширина зоны полива i -го участка, м²; μ – коэффициент расхода жидкости через сопло насадки.

Ширина зоны полива по мере удаления от дождевальной насадки увеличивается за счет расширения струи воды. Зная величину корневого угла β , ширину зоны полива на i -м участке определили по формуле:

$$B_i = b_i + 2l \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (5)$$

Анализ зависимости (5) показал, что на величину i -го участка ширины зоны полива оказывают влияние его длина и ширина сопла дождевальной насадки. Форму сопла дождевальной насадки в i -й зоне, соответствующей i -му участку зоны полива, представили в виде прямоугольника и получили формулу для определения изменения ширины сопла в i -й зоне (рисунок 3):

$$b_i = \frac{I_i l_i B_i}{60(a_i \mu \sqrt{2gH_{\text{вх}}})}. \quad (6)$$

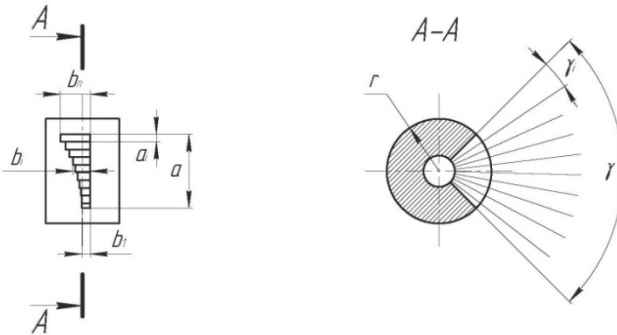


Рисунок 3 – Схема дождевальной насадки с соплом, разделенным на i -е участки

С помощью формулы (6) были выполнены исследования, результат которых представлен на рисунках 4 и 5.

Зная зависимость изменения ширины сопла насадки, определили его площадь S по формуле:

$$S = 41,562 \frac{b_i^{0,088}}{0,088}. \quad (7)$$

Тогда формула для расчета интенсивности дождя, формируемого предлагаемой дождевальной насадкой:

$$I_i = \frac{60 \left(\left[41,562 \frac{b_i^{0,088}}{0,088} \right] \mu \sqrt{2gH_{\text{вх}}} \right)}{l_i B_i}. \quad (8)$$

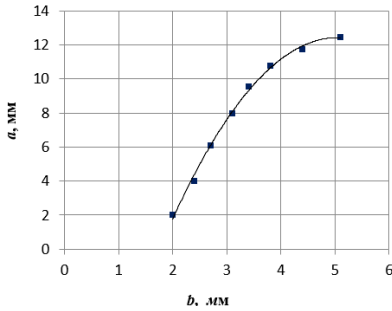


Рисунок 4 – Зависимость изменения высоты a сопла дождевальной насадки от его ширины b

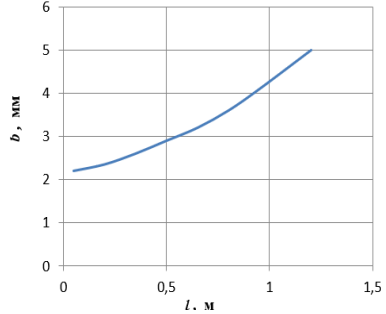
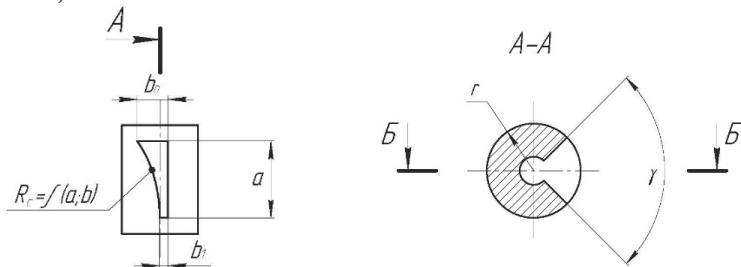


Рисунок 5 – Зависимость изменения ширины b сопла дождевальной насадки от длины поля l

Учитывая, что интенсивность дождя зависит от геометрических параметров сопла насадки, из формулы (8) вывели формулу для определения требуемой ширины сопла $b'_i = f(l_i; H; B_i; l_i; g; \mu; a_i; a_i)$:

$$b'_i = \sqrt[44]{\left(\frac{I_i l_i B_i}{2493,72 \mu \sqrt{2gH_{\text{вх}}}} \right)^{125}}. \quad (9)$$

С помощью полученных аналитических зависимостей (1), (2), (6), (9) были определены рациональные геометрические параметры сопла веерной дождевальной насадки, обеспечивающие равномерное распределение дождя по всей ширине зоны полива: угол раскрытия сопла $\gamma = 72^\circ$, корневой угол $\beta = 5^\circ$, высота сопла $a = 2 \div 12$ мм, его ширина $b' = 2 \div 5$ мм, радиус $r = 10$ мм (рисунок 6).



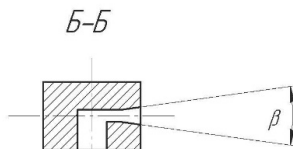


Рисунок 6 – Схема сопла веерной дождевальной насадки с переменным сечением

Поскольку одной из важнейших характеристик дождя, влияющих на урожайность шампиньонов, является диаметр капель, то, согласно условию $d_k \approx \varepsilon b = b_{пл}$, диаметр капли по модернизированной формуле:

$$d_k = \frac{3\pi F_{нат} t_{кап}}{\rho_v \varphi \varepsilon b'_i \sqrt{\frac{2(P_d - P_0)}{\rho_v}}}, \quad (10)$$

или

$$d_k = \frac{3\pi F_{нат} t_{кап}}{\rho_v \varphi \varepsilon^{44} \sqrt{\left(\frac{2493,72 \mu \sqrt{2gH_{вх}}}{I_i l_i B_i} \right)^{125} \sqrt{\frac{2(P_d - P_0)}{\rho_v}}}}, \quad (11)$$

где $F_{нат}$ – сила поверхностного натяжения, Н/м; $t_{кап}$ – время образования капли, с; ρ – плотность воды; φ – коэффициент скорости истечения; ε – коэффициент сжатия сечения струи.

Предлагаемая конструкция дождевальной насадки с переменным сечением сопла обеспечивает требуемые качественные показатели дождя (диаметр капель, интенсивность и равномерность полива).

Установка осуществляет полив в процессе движения, поэтому равномерность полива по всей площади будет обеспечиваться равномерностью передвижения установки.

Скорость $v_{пол}$ передвижения установки, оснащенной веерной дождевальной насадкой с переменным сечением сопла, которая обеспечит требуемое значение слоя дождя $h_{тр}$:

$$v_{пол} = \frac{60 \left(\left[41,562 \frac{b_i^{0,088}}{0,088} \right] \mu \sqrt{2gH_{вх}} \right)}{l_n h_{тр}}, \quad (12)$$

Скорость перемещения поливной установки, обеспечивающая требуемое значение слоя дождя, составила 0,54 м/мин.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований и производственных испытаний» представлены

программа и методика проведения лабораторных и производственных исследований.

Лабораторные и полевые исследования проводили в специализированных лабораториях ФГБОУ ВО Вавилковский университет и в культивационной камере ООО «Саргриб» в соответствии с методикой СТО АИСТ 11.1-2010 «Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей». Были изготовлены лабораторная установка (рисунок 7) и веерная дождевальная насадка с переменным сечением сопла (рисунок 8).

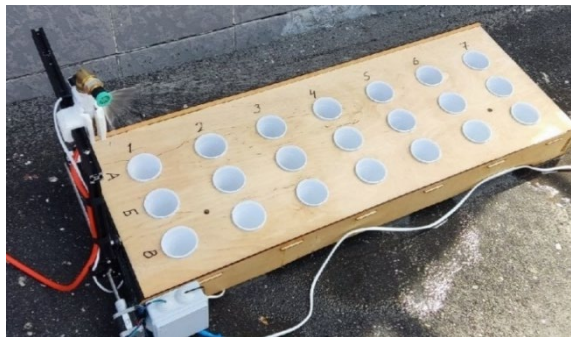


Рисунок 7 – Лабораторная поливная установка



Рисунок 8 – Веерная дождевальная насадка с переменным сечением сопла

В ходе исследований определяли качественные показатели дождя: равномерность полива и интенсивность дождя с помощью дождемеров; диаметр капель с помощью обезоленных бумажных фильтров, натертых чернильным порошком. Достоверность экспериментальных исследований подтверждали многократностью проведения опытов с применением методов математической статистики и современного программного обеспечения Microsoft Office Excel и Statistica.

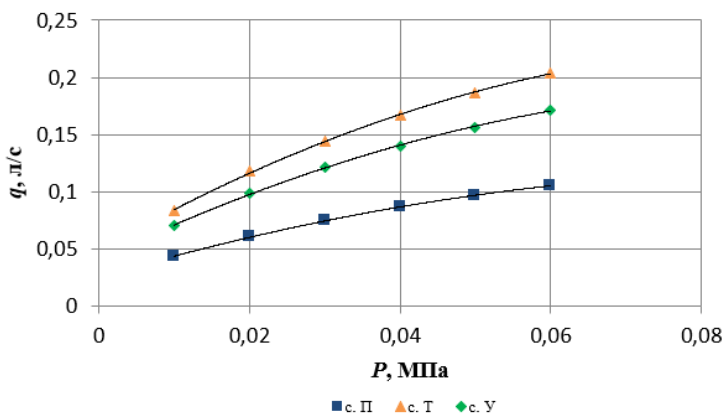
В четвертой главе *«Результаты лабораторных и производственных исследований установки полива, оборудованной веерными дождевальными насадками»* представлены результаты лабораторных и полевых исследований серийной дождевальной насадки и предлагаемой с переменной формой сопла.

Для определения влияния поливной нормы на изменение влажности субстрата был подготовлен субстрат в объеме 1 м³.

Внесение поливной нормы производили лабораторной дождевальной установкой равномерно по всей площади исследуемого субстрата.

Установлено, что влажность субстрата изменяется по глубине в зависимости от нормы полива. Определено, что полное впитывание влаги в субстрате происходит при разных нормах полива в наибольшей степени в первые часы. Также установлено, что при норме полива 1 л/м² увеличение влажности с 20 до 58 % идет более интенсивно в первые 65 с, при дальнейшем насыщении субстрата рост влажности сокращается и она достигает своего максимального значения 70 % примерно через 140 с. Аналогичная картина наблюдается при нормах полива 1,5 и 2 л/м², граничные значения достигаются через 110 и 90 с соответственно.

При исследовании характера влияния давления воды на входе в насадку на расход воды определили, что при увеличении давления воды в подающем трубопроводе с 0,01 до 0,06 МПа расход воды повышается (рисунок 9).



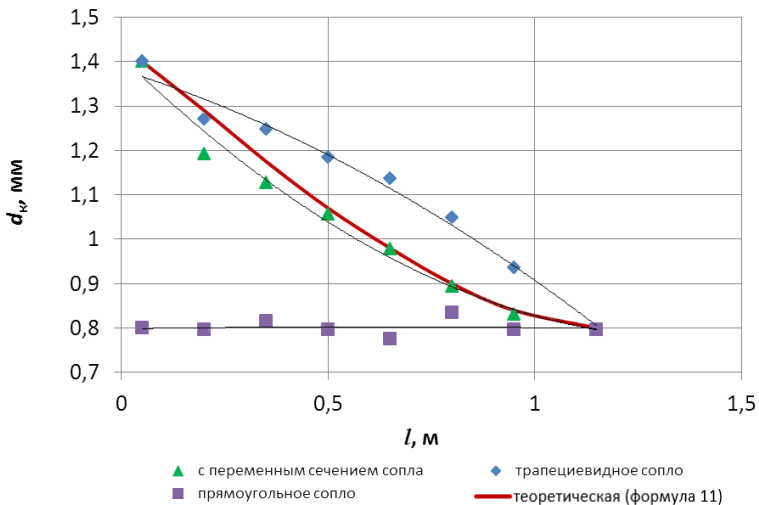
| Форма сопла всерной дождевальной насадки | Уравнение регрессии | R^2 |
|--|-------------------------------------|----------------|
| Прямоугольная (с. П) | $q = -10,252P^2 + 1,9476P + 0,0252$ | $R^2 = 0,9997$ |
| Трапециевидная (с. Т) | $q = -19,812P^2 + 3,7638P + 0,0488$ | $R^2 = 0,9996$ |
| С переменным сечением (с. У) | $q = -16,638P^2 + 3,1609P + 0,04$ | $R^2 = 0,9998$ |

Рисунок 9 – Влияние изменения давления воды на расход всерной дождевальной насадки с различными формами сопла

Были проведены исследования по определению дальности полета капли дождя, поскольку этот показатель зависит от расхода и, следовательно, от площади поперечного сечения сопла насадки, давления воды перед насадкой и от высоты ее расположения над поверхностью субстрата.

Экспериментально определено, что для насадки с соплом прямоугольной формы максимальная дальность полета капли дождя составляет 0,92 м при давлении 0,02 МПа. Для насадки с соплом трапецевидной формы при этом же давлении максимальная дальность полета струи возрастает с 0,92 до 1,32 м с увеличением ширины сопла. У насадки с соплом переменного сечения граничные значения максимальной дальности полета струи аналогичны с предыдущей насадкой, но изменение дальности полета струи имеет плавный характер. Таким образом, предлагаемая насадка обеспечивает перекрытие зоны полива при давлении 0,02 МПа.

Диаметр капель дождя, попадающих на плодовые тела шампиньонов, влияет на качественные показатели продукции, поэтому исследовали соответствие диаметров капель требуемым характеристикам дождя, а также оценили, насколько результаты экспериментальных исследований согласуются с результатами теоретических расчетов (рисунок 10).



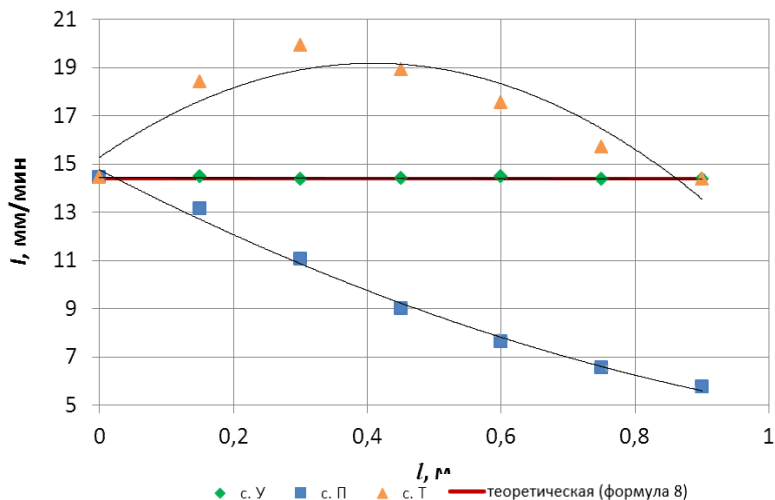
| Форма сопла всерной дождевальной насадки | Уравнение регрессии | R^2 |
|--|--|--------|
| Прямоугольная | $d_{cp} = 0,0004l + 0,801$ | 0,8965 |
| Трапецевидная | $d_{cp} = -0,6606l^2 + 0,1571l + 1,4172$ | 0,9951 |
| С переменным сечением | $d_{cp} = 0,1106l^2 - 0,6676l + 1,4799$ | 0,9946 |

Рисунок 10 – Изменение диаметров капель дождя при поливе всерными дождевальными насадками в зависимости от формы сопла и дальности зоны полива

Диаметр капель дождя, создаваемого всерными дождевальными насадками с трапецевидной и переменной формами сопла,

уменьшается относительно дальности зоны полива l с увеличением ширины сопла. В то же время у насадки с прямоугольной формой сопла диаметр каплей относительно дальности зоны полива l остается постоянным.

Для повышения урожая шампиньонов необходимо, чтобы их полив автоматизированной установкой осуществлялся с высокой равномерностью, которая оценивается по коэффициенту Кристиансена σ . Для этого необходимо, чтобы интенсивность дождя была одинаковой по всей площади полива (рисунок 11).



| Форма сопла всерной дождевальной насадки | Уравнение регрессии | R^2 |
|--|-------------------------------------|--------|
| Прямоугольная (с. П) | $I = 2,7568l^2 - 9,4891l + 10,271$ | 0,9932 |
| Трапециевидная (с. Т) | $I = -16,878l^2 + 14,068l + 10,653$ | 0,8722 |
| С переменным сечением (с. У) | $I = 0,0714l + 10,182$ | 0,9169 |

Рисунок 11 – Изменение интенсивности дождя при поливе всерными дождевальными насадками при давлении воды 0,02 МПа

Анализируя полученные графики (см. рисунок 11), можно сделать вывод о том, что изменение ширины сечения сопла влияет на равномерность распределения дождя по площади полива. При поливе всерной дождевальной насадкой с соплом прямоугольной формы наблюдается снижение интенсивности дождя по мере удаления от места установки насадки. При поливе насадкой с соплом трапециевидной формы отмечается значительное повышение интенсивности дождя на расстоянии 0,3л с ее дальнейшим плавным уменьшением. Насадка с переменной формой сопла обеспечивает равномерную интенсивность дождя по всей

длине зоны полива. Резких увеличений и снижений этого показателя не наблюдается, он составляет 14,1...14,7 мм/мин при давлении $P = 0,02$ МПа до расстояния 1 м. Таким образом, коэффициент равномерности полива – 94 %.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что веерная дождевальная насадка с переменной формой сопла создает оптимальный дождь с диаметром капель 0,8–1,4 мм, с интенсивностью дождя в 14,4 мм/мин и обеспечивает высокий коэффициент равномерности полива 94 %.

В пятой главе *«Экономическая эффективность использования установки полива шампиньонов»* обоснована экономическая эффективность применения установки полива с веерной дождевальной насадкой с переменным сечением сопла, которая доказана производственными испытаниями (рисунок 12).



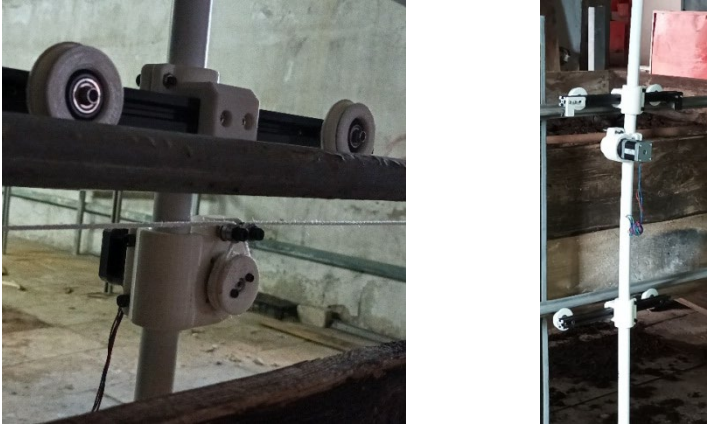


Рисунок 12 – Производственные испытания установки полива, оборудованной веерной насадкой с переменной формой сопла

Расчеты показали, что внедрение установки полива, оборудованной веерной дождевальной насадкой с переменной формой сопла, позволяет сократить общие затраты, а также снизить себестоимость производства 1 кг продукции с 253 до 211 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Проведенный анализ существующих способов полива и дождеобразующих устройств на поливных установках, используемых в культивационных камерах, показал, что данные устройства формируют дождь с большим диаметром капель, низкими интенсивностью и равномерностью полива. Была разработана конструкция поливной установки, оснащенной веерной дождевальной насадкой (патент РФ на полезную модель № 218218), позволяющая повысить качественные показатели дождя за счет применения сопла переменного сечения.

2. Теоретические исследования позволили получить математические зависимости для определения рациональных конструктивно-технологических параметров веерной дождевальной насадки с переменным сечением сопла, способной обеспечивать равномерный полив с требуемыми качественными показателями дождя:

- угол раскрытия сопла – формула (1);
- высота сопла – формула (2);
- ширина сопла – формула (9);

- равномерность полива, обеспечиваемая постоянством интенсивности дождя, – формула (8);

Рациональные конструктивные параметры веерной дождевальной насадки с переменным сечением сопла:

- диаметр насадки $D = 20$ мм;
- угол раскрытия сопла $\gamma = 72^\circ$;
- ширина сопла насадки $b = 2 \dots 5$ мм;
- высота сопла насадки $a = 2 \dots 12$ мм;

3. Экспериментальные исследования показали, что применение на поливной установке веерной дождевальной насадки позволит стабильно работать при низком напоре воды (0,02...0,04 МПа) и создавать дождь с наибольшим содержанием капель диаметром 0,8...1,4 мм, в отличие от серийных дождеобразующих устройств. Изменение ширины сопла насадки с 2 до 5 мм обеспечивает выдачу поливной нормы 1,5 л/м² с интенсивностью дождя 14,1 – 14,7 мм/мин и наиболее высоким коэффициентом равномерности полива ($\sigma = 94$ %).

4. Применение в культивационной камере поливной установки, оборудованной веерной дождевальной насадкой с переменной формой сопла, позволяет сократить общие затраты, а также снизить себестоимость производства 1 кг продукции с 253 до 211 руб.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Организациям, занимающимся производством грибной продукции, для обеспечения эффективного полива грибов в культивационных камерах рекомендуется применять на поливной установке веерную дождевальную насадку с переменной формой сопла шириной 2...5 мм, длиной 2...12 мм. Рабочее давление воды – 0,02...0,04 МПа.

2. Полученные математические зависимости конструктивно-технологических параметров веерной дождевальной насадки рекомендуется использовать проектным организациям, научно-исследовательским учреждениям, учебным заведениям и производителям дождеобразующих устройств.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективным направлением дальнейшей разработки темы представляется внедрение автоматизации для повышения эффективности полива поливной установки и совершенствование конструкции веерной дождевальной насадки для улучшения качественных показателей дождя или использование аналитических зависимостей и результатов данной диссертационной работы для

создания дождевальных устройств с программируемой равномерностью распределения дождя по зоне полива.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных
ВАК Минобрнауки РФ*

1. **Азизов, И. Р.** Результаты исследований агротехнических показателей равномерности распределения дождя струйной всерной дождевальной насадкой при поливе грибов / **И. Р. Азизов**, А. В. Русинов, С. А. Анисимов, О. В. Карпова // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 3. – С. 111–115.

2. **Азизов, И. Р.** Теоретическое обоснование оптимальных геометрических параметров сопла струйной всерной дождеобразующей насадки для полива шампиньонов / **И. Р. Азизов**, А. В. Русинов, С. В. Чумакова, С. А. Анисимов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 10. – С. 140–146.

3. **Азизов, И. Р.** Результаты исследований агротехнических показателей субстрата для выращивания шампиньонов / **И. Р. Азизов**, А. В. Русинов, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2023. – № 2(28). – С. 75–83.

Патенты

4. Патент на полезную модель № 214161 U1 Российская Федерация, МПК А 01 G 9/00. Устройство для автоматизированного выращивания сельскохозяйственных культур и точного земледелия / **И. Р. Азизов**, А. В. Русинов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова». – № 2022110787 ; заявл. 21.04.2022 ; опубл. 13.10.2022.

5. Патент на полезную модель № 218218 Российская Федерация, МПК А 01 G 2/00. Устройство для автоматизированного выращивания шампиньонов / **И. Р. Азизов**, А. В. Русинов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова». – № 2022131486 ; заявл. 01.12.2022 ; опубл. 16.05.2023, Бюл. № 14.

Статьи в научных сборниках и журналах

6. **Азизов, И. Р.** Современные роботизированные комплексы, задействованные в АПК / **И. Р. Азизов**, А. В. Русинов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 21–22 апреля 2021 г. – Саратов : ООО «Амирит», 2021. – С. 333–336.

7. **Азизов, И. Р.** Ресурсосберегающая климатическая установка для выращивания грибов в защищенном грунте / **И. Р. Азизов** [и др.] // Органическое сельское хозяйство – перспективы развития : матер. всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. Махачкала, 28–29 октября

2021 г. – Махачкала : Дагестанский гос. аграрный ун-т им. М. М. Джамбулатова, 2021. – С. 141–146.

8. **Азизов, И. Р.** Система автоматического контроля и управления процессом выращивания грибов в защищенном грунте / **И. Р. Азизов** [и др.] // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 27–28 апреля 2022 г. – Саратов : ООО «Амирит», 2022. – С. 438–443.

9. **Азизов, И. Р.** Результаты лабораторных испытаний струйной веерной дождеобразующей насадки / **И. Р. Азизов** // Молодой исследователь : от идеи к проекту : матер. VII студенческой науч.-практ. конф. Йошкар-Ола, 24–28 апреля 2023 г. / отв. ред. Д. А. Михеева. – Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2023. – С. 77–79.

10. **Азизов, И. Р.** Результаты лабораторных исследований дальности полета капель дождя, формируемой струйной веерной дождевальной насадкой / **И. Р. Азизов**, С. А. Анисимов, А. А. Гурьянова // Вклад аграрных ученых в реализацию десятилетия науки и технологий в Российской Федерации : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Курган : Курганский гос. ун-т, 2023. – С. 276–279.

11. **Azizov, I. R.** The System of Automatic Control and Management of the Process of Growing Mushrooms in the Closed Ground / **I. R. Azizov** [et al.] // Наука и образование в XXI веке : современные векторы развития и перспективы : сб. статей II Всероссийской (Национальной) науч.-практ. конф. Саратов, 20 января 2022 г. – Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2022. – С. 122–126.

