

На правах рукописи

Надежкина Галина Петровна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО
ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «ФРЕГАТ»**

06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов - 2014

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

Научный руководитель – **Слюсаренко Владимир Васильевич**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Рязанцев Анатолий Иванович**
доктор технических наук, профессор ГАОУ
ВПО «Московский государственный областной
социально-гуманитарный институт», профессор
кафедры машиноведения

Слабунов Владимир Викторович
кандидат технических наук, ФГБНУ «Россий-
ский научно-исследовательский институт про-
блем и мелиорации», начальник отдела научного
обоснования разработки нормативно-
методического обеспечения мелиорации

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет».

Защита состоится 12 декабря 2014 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325 им. А.В. Дружкина

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» и на сайте: www.sgau.ru

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл.1., E-mail: dissovet01@sgau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Маштаков Дмитрий Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Орошение является важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства. Наиболее распространенным способом механизированного полива является дождевание. ДМ «Фрегат» является наиболее распространенной в Саратовской области. На ее долю в стране и в Саратовской области приходится соответственно более 42 и 76 % от всего количества дождевальных машин. Преимущества ДМ «Фрегат» очевидны: автоматический полив в круглосуточном режиме; высокая производительность, значительный срок службы базовых деталей; простота конструкции и дешевизна по сравнению с зарубежными дождевальными машинами и др.

Анализ информационно-аналитических материалов выявил следующие недостатки полива дождевальной машиной «Фрегат»: непроизводительные потери воды на испарение и снос, обычно они составляют 10–15 %, в жаркие дневные часы могут достигать 20–30% и более; недостаточная равномерность полива при ветре, коэффициент эффективного полива уменьшается до 0,5...0,6; значительное энергетическое воздействие струйного дождя на почву, что приводит к неконтролируемому стоку и перераспределению воды по полю, прибиванию молодых растений и покрытию их мелкоземом при поливе дождем большой мощности.

Важнейшим направлением в решении выше изложенных проблем является научное обоснование и разработка новой техники полива с учетом мировых тенденций развития мелиорации. Задачи исследований, направленные на минимизацию или устранение недостатков, обеспечат значительную экономию водных ресурсов и будут способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

В связи с этим улучшение агротехнических показателей полива ДМ «Фрегат» является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. В Российской Федерации дождевальные машины предусматривают полив различных культур на различных режимах, различными нормами. В исследованиях особое внимание уделено поливам рассады овощных и бахчевых культур.

Процесс испарения воды в окружающую среду при поливе дождеванием хорошо описан в работах В.Ф. Дунского, И.Д. Федоренко, Д.В. Сивухина и др. Однако при этом не учитывались метеорологические факторы, а технологические параметры дождя исследовались как фактические для конкретных машин без учета конструктивных параметров дождеобразующих устройств и их местоположения над поверхностью земли.

Таким образом, требуются исследования и разработка новых конструкций и технологических приемов подачи воды к растениям с меньшими потерями на испарение и снос, с минимальным воздействием на почву и растения.

Цель исследований – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» путем совершенствования технологии и конструкции устройств приповерхностного дождевания.

Задачи исследований:

1. Провести анализ эффективности использования ДМ «Фрегат» и определить перспективный способ и устройства, обеспечивающие агротехнические требования полива.
2. Теоретически обосновать снижение потерь воды на испарение и снос, а также повышение равномерности полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.

3. Разработать конструкцию устройства приповерхностного дождевания, удовлетворяющую агротехническим требованиям полива.

4. Экспериментально исследовать агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.

5. Оценить экономическую эффективность применения на ДМ «Фрегат» устройств приповерхностного дождевания.

Научная новизна работы:

– обоснованы и уточнены математические зависимости, описывающие процессы испарения и сноса дождя при поливе дождеванием, полета и сноса струй при ветре;

– установлено влияние конструктивных параметров насадок и устройств приповерхностного полива на агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат»;

– предложены новые математические зависимости, описывающие потери воды при поливе ДМ «Фрегат» с учетом технологических параметров и метеорологических условий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в обосновании и уточнении математических зависимостей, описывающих процессы испарения и сноса дождя при поливе дождеванием, полета и сноса струй при ветре.

Разработаны и обоснованы новая конструкция устройства приповерхностного дождевания и дефлекторной насадки и технологические схемы их расстановки на пролетах ДМ «Фрегат», обеспечивающие формирование качества и снижение интенсивности дождя.

Предложены новые математические зависимости, описывающие процесс дождевания при поливе ДМ «Фрегат» в зависимости от технологических параметров и метеорологических условий.

Практическая значимость работы заключается в том, что проведение исследований завершено внедрением в орошаемых хозяйствах ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания (УПД) и усовершенствованными дефлекторными насадками (ДН) из полимерного материала, установленными на трубопроводе машины по учащенной схеме в шахматном порядке, что обеспечивает: повышение равномерности полива при ветре на 16–45 %, снижение потерь воды на испарение и снос на 14–20 %, уменьшение энергетического воздействия дождя на почву и повышение нормы полива до стока на 18–43 %, повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 5–18 % и производительности машин на 8–15 %.

Методология и методы исследований. В работе использовались теоретические методы исследований – математическое моделирование, системный анализ, описания технологических процессов на основе известных законов и методов классической механики и математического анализа. Экспериментальные методы включали полевые и лабораторные исследования по изучению агротехнических и энергетических характеристик полива ДМ «Фрегат» с устройством приповерхностного дождевания, водных свойств почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Данные исследования выполняли в соответствии с требованиями РД 70.11.1–89 «Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний».

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретическое обоснование снижения потерь воды на испарение, снос и повышение равномерности полива ДМ «Фрегат», модель расчета испарения воды при дождевании с учетом технологических параметров ДМ и метеорологических условий.

2. Конструктивно-технологическая схема приповерхностного дождевания и размещения УПД на ДМ «Фрегат».

3. Результаты аналитических и экспериментальных исследований устройств приповерхностного дождевания, величин потерь воды на испарение и снос в зависимости от конструктивно-технологических параметров и метеорологических условий.

4. Результаты исследований, подтверждающие эффективность использования ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, применением современных государственных стандартов при организации и проведении полевых экспериментов, подтвержденных актами внедрения. Степень достоверности обеспечена статистическими методами оценки данных, с использованием ЭВМ, высокой степенью сходимости теоретических исследований, адекватность математических моделей и подтверждается большим объемом экспериментальных исследований.

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2009), Международной научно-практической конференции «Основы рационального природопользования» (Саратов, 2011); научных конференциях профессорско-преподавательского состава в Саратовском государственном аграрном университете им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2009–2013).

ДМ «Фрегат» с устройством приповерхностного дождевания, обеспечивающие ресурсосберегающие процессы полива испытана в ФГУ «Поволжская машиноиспытательная станция». Результаты исследований и устройства приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» внедрены в ОПХ «ВолжНИИГиМ», ООО «ВИТ» Энгельсского района Саратовской области и используются в ЗАО Агрофирма «Волга» Марковского района, ОАО «Крутое» Балаковского района, ООО «Мелиоснаб» (г. Маркс), ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» и др.

По результатам исследований опубликовано 15 научных работ, в том числе 5 в рецензируемых научных изданиях, 1 патент на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 3,75 печ. л., из них авторские – 2,09 печ. л.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 167 страницах компьютерного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, имеет 19 таблиц, 43 рисунка, 9 приложений. Список литературы включает в себя 178 наименований, в том числе 16 на иностранных языках.

Содержание работы

Во «Введении» обоснована актуальность работы, ее практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние изученности вопроса и обоснование задач исследований» анализируются результаты исследований качественных показателей полива дождевальных машин, среднеструйных дождевальных аппаратов и других дождевателей. Проведен анализ конструкций и эффективность работы устройств приповерхностного дождевания для многоопорных дождевальных машин. Выявлены основные факторы, влияющие на улучшение качественных показателей полива, обеспечивающие повышение устойчивости полета струй и площадь полива при ветре, снижающие энергетическое воздействия дождя на почву и повышающие норму полива до стока. Большой вклад

в разработку, исследование и научное обоснование работы дождевальных машин и различных дождевателей внесли ученые: Б.М. Лебедев, В.Ф. Носенко, А.П. Исаев, Ф.И. Колесников, С.Х. Гусейн-Заде, А.И. Рязанцев, К.В. Губер, Г.В. Ольгаренко, М.С. Григоров, Ю.И. Гринь, И.П. Кружилин, Н.С. Ерхов, В.И. Ольгаренко, В.М. Марквартде, С.М. Васильев, Н.П. Бредихин, Б.П. Фокин, Д.П. Гостищев, Г.П. Лямперт, С.П. Ильин, П.И. Кузнецов, Н.Ф. Рыжко, Ю.Ф. Снопич, Н.Е. Чубиков и др., а также зарубежные исследователи Н. Hummel, К. Solomon, И. Варлев, S. Okamura, M. Lateska, Т. Эйлер и др.

Показано, что создание новых обоснованных принципов совершенствования дождеобразующих устройств, позволяющих существенно улучшить качественные показатели полива и повысить производительность дождевальных машин, являются актуальной проблемой, решение которой имеет важное значение.

Во второй главе «Теоретическое обоснование снижения потерь воды на испарение и снос при поливе ДМ «Фрегат», мы исходим из того, что испарение является процессом диффузии молекул воды в окружающую среду. Процесс медленного (квазистационарного) испарения однокомпонентной капли в неподвижном воздухе при давлении, близком к атмосферному, хорошо описан в работах Дунского В.Ф., Федоренко И.Д., Сивухина Д.В. и др. Диффузионный поток пара воды капли (I) через сферическую поверхность радиусом (r) при стационарном испарении согласно Максвелла есть величина постоянная:

$$I = -4\pi D r^2 \frac{dC}{dr} \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии пара в окружающем каплю воздухе, $\text{см}^2/\text{с}$; C – концентрация пара, $\text{г}/\text{см}^3$; r – радиус капли, мм .

Исследованиями Е.Г. Зака получена формула полного испарения капли дождя в зависимости от дефицита влажности воздуха (D , мм), диаметра капли (d , мм) и времени её полета (t , с), скорости ветра (V_B). Для расчета величины испарения капли $E_{\text{и}}$ широко используется формула Федоренко И.Д., которая получена от преобразования формулы Е.Г. Зака

$$E = 100 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{D \cdot t \cdot (1 + 1,92 \cdot V_B)}{10584 \cdot d^2} \right)^{1,5} \right] \quad (2)$$

Известна также формула М.С. Мансурова, которая позволяет производить расчет $E_{\text{и}}$ отдельных дождевателей в зависимости от диаметра капель и метеорологических параметров погоды. Используя данную зависимость, а также результаты исследований различных типов дождевателей (распределение интенсивности и крупности капель дождя на площади полива) нами предложена модель расчета $E_{\text{и}}$ дождевателя, которая учитывает метеорологические факторы (T , $^{\circ}\text{C}$; ϕ , $\%$; V_B , $\text{м}/\text{с}$; D , мм) и технологические параметры дождевателя (диаметр капель и эпюры распределения дождя на площади полива дождевателя, высота его установки) (рисунок 1).

Разработана программа расчета на ПК времени полета капель дождя, объема поданной воды и потерь воды на испарение для капель определенного размера и в целом, для отдельного дождевателя. Исследования и расчеты показывают, что значительно испаряются мелкие капли близкие к водяной пыли $0,1 \dots 0,3$ мм . Расчеты $E_{\text{и}}$ по этой программе для устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками

(УПД-ДН) показаны на графике (рисунок 2). Расчеты показывают, что величину испарения можно значительно снизить за счет уменьшения высоты установки дождевателя над поверхностью почвы и оптимизации структуры дождя.

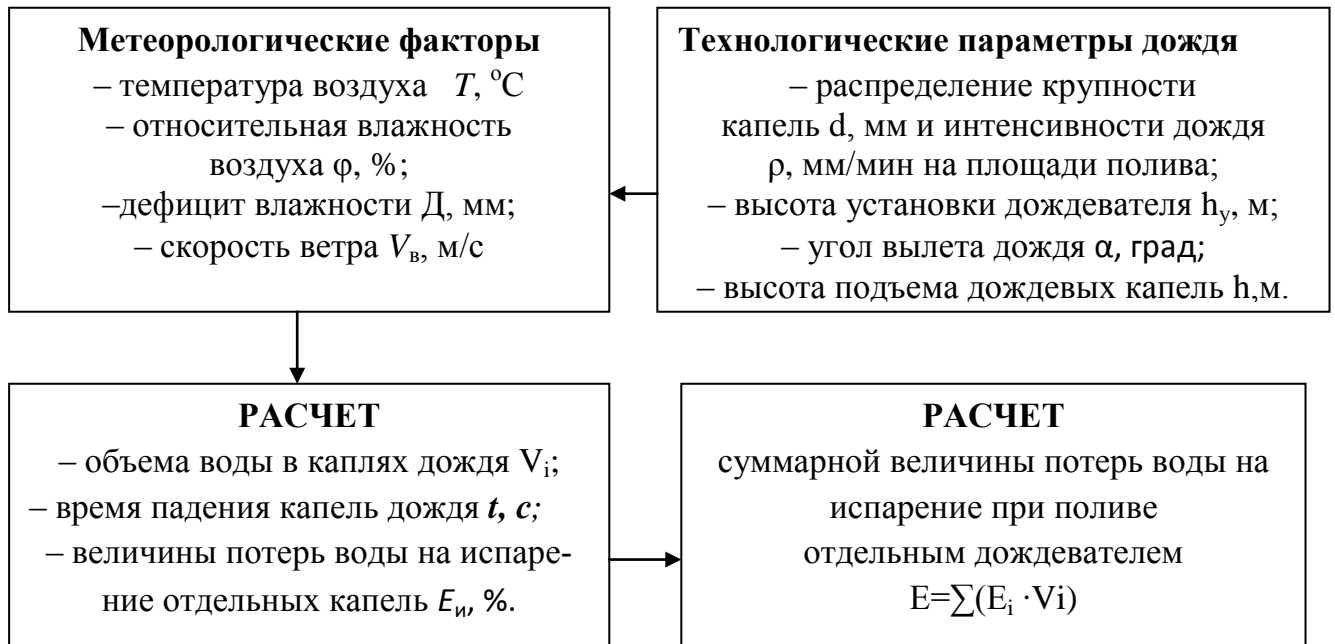


Рисунок 1 – Последовательность расчета величины испарения при поливе дождевателем

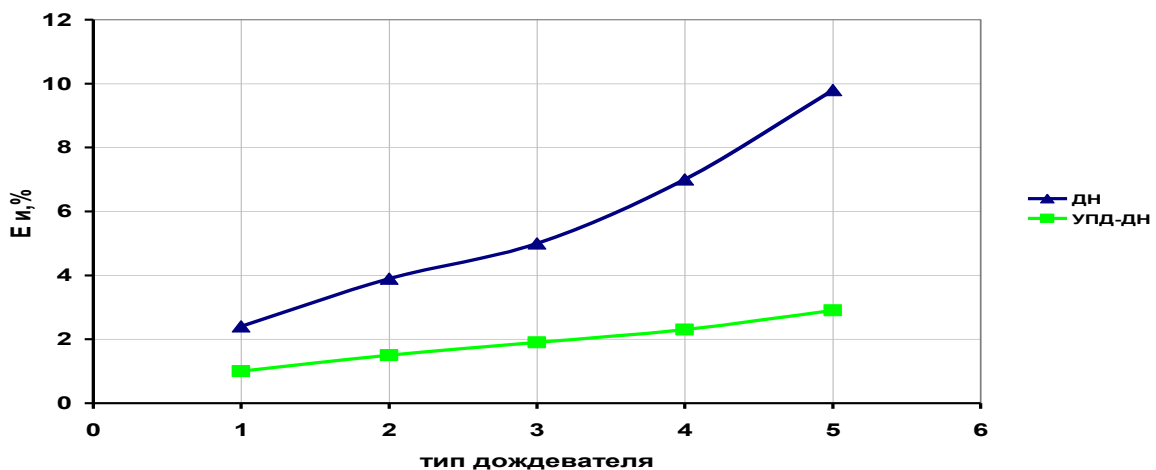


Рисунок 2 – Экспериментальные значения потерь воды на испарение $E_{и}$ при поливе отдельным дождевателем (ДН) и с устройством приповерхностного полива (УПД_ДН)

Очень важным показателем при работе дождевальных машин является величина потерь воды на испарение и снос $E_{ис}$. Фактически при работе дождевальной машины на $E_{ис}$ оказывает влияние не только метеорологические параметры, такие как температура воздуха t , относительная влажность воздуха φ , скорость ветра V_B , но и технические параметры машины: высота подъема дождевого облака h ; диаметр капель дождя d_k ; средняя и мгновенная интенсивность дождя $\rho_{ср}$, $\rho_{мг}$. Это хорошо видно на представленных

графиках, построенных по экспериментальным данным наших замеров и других исследований.

Для оценки величины испарения и сноса дождя $E_{ис}$ при поливе исследовались как одиночные дождевальные аппараты и насадки, так и машины «Фрегат». Для расчета $E_{ис}$ были использованы опытные данные М.С. Мансурова, А.П. Клепальского, К.М. Мустафаевой, Е.Г. Петрова, В.Е. Хабарова и др. Величина $E_{ис}$ при поливе отдельным аппаратом или дефлекторной насадкой увеличивается с повышением температуры воздуха (t) и скорости ветра (V_v) и уменьшается с увеличением относительной влажности воздуха (φ), зависит от комплексного показателя напряженности климата Φ по В.Е. Хабаров:

$$\Phi = t(1 - \frac{\varphi}{100})(V_v + 1), \quad (3)$$

где t – температура воздуха, °С; φ – относительная влажность воздуха, %; V_v – скорость ветра, м/с.

При поливе дождевальными машинами величина $E_{ис}$ зависит от направления ветра относительно трубопровода машины. Если направление ветра перпендикулярно оси трубопровода ($\alpha=90^\circ$), то величина $E_{ис}$ максимальная, а при направлении ветра вдоль трубопровода ($\alpha=0^\circ$) – минимальная.

Расчеты по полученной зависимости показали, что $E_{ис}$ может достигать 20-30 и 40 % (рис.3). Видно, что имеется возможность уменьшения $E_{ис}$ за счет снижения параметра K_T – высоты подъема и оптимизации технологических параметров дождевого облака

$$K_T = \frac{h^{0,6} \cdot (n+1)^{0,08}}{d^{0,6} \cdot \rho_c^{0,2} \cdot \rho_m^{0,1}}. \quad (4)$$

Изменение величины испарения $E_{ис}$ в зависимости от комплексного метеорологического фактора Φ и комплексного технологического параметра дождевальной машины K_T показано на рисунке 3.

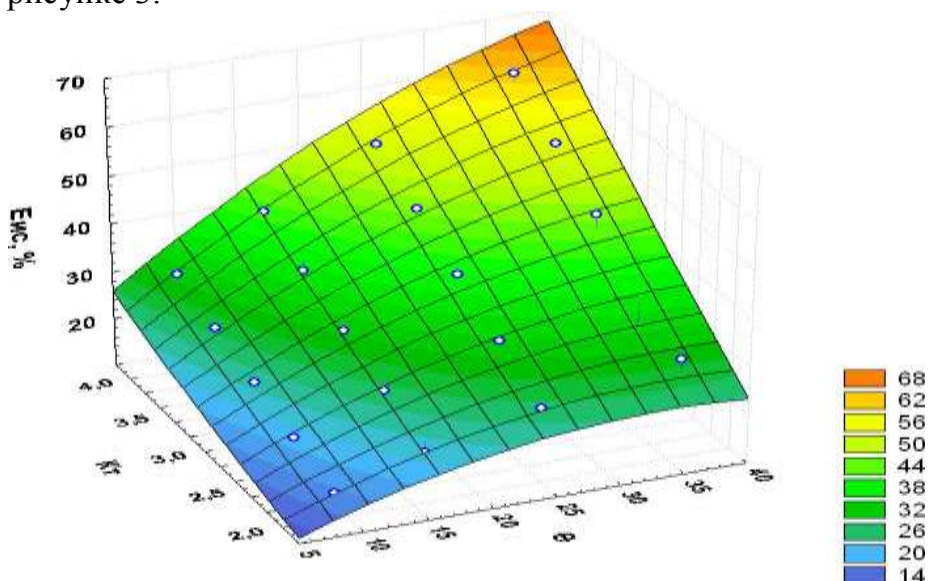


Рисунок 3 – Экспериментальные значения потерь воды $E_{ис}$ при поливе ДМ «Фрегат» в зависимости от технологического параметра K_T

На основании исследований нами получена формула для расчета величины испарения и сноса дождя $E_{ис}$ при дождевании одиночным дождевальным аппаратом, дефлекторной насадкой или машиной с учетом метеорологических факторов и технологических параметров дождя:

$$E_{ис} = 2,67 \frac{h^{0,6} \cdot (n+1)^{0,08} \cdot \Phi^{0,5} \cdot K_{\alpha}}{d^{0,6} \cdot \rho_c^{0,2} \cdot \rho_m^{0,1}}, \quad (5)$$

где h – высота подъема капель дождя над почвой, м;

n – частота вращения аппарата, об./мин;

d_k – средний диаметр капель, мм;

ρ_c, ρ_m – средняя и мгновенная интенсивность дождя, мм/мин;

K_{α} – коэффициент, учитывающий изменение величины испарения и сноса дождя в зависимости от величины угла между трубопроводом машины «Фрегат» и направлением ветра $K_{\alpha} = 1 - 0,009(90 - \alpha)$.

Для повышения равномерности полива нами проанализирован полет капель дождя при различных значениях скорости ветра. Определены четыре модели полета капли в зависимости от скорости ветра. Анализ этих зависимостей позволил определить способы повышения ветроустойчивости струи, которые зависят от высоты подъема дождевого облака, высоты установки дождевателя, а также за счет оптимизации параметров дождевого облака. Уменьшение высоты установки дождевальной насадки с 2,5 м (max) до 0,6 м (min) позволит на 10–15 % увеличить площадь полива при скорости ветра 4 м/с.

Оптимальный диаметр капли ($d_{кап} = 1,0–1,5$ мм) при ветре позволяет повысить площадь полива и уменьшить долю сноса водяной пыли.

С целью оптимизации распыла, а также высоты установки дождевателя разработано УПД рычажного типа (рисунок 4, Пат. 74033), состоящее из поворотного рычага с хомутом 2, напорного рукава 1, угольника 3 с дефлекторной насадкой 4 (рисунок 4).

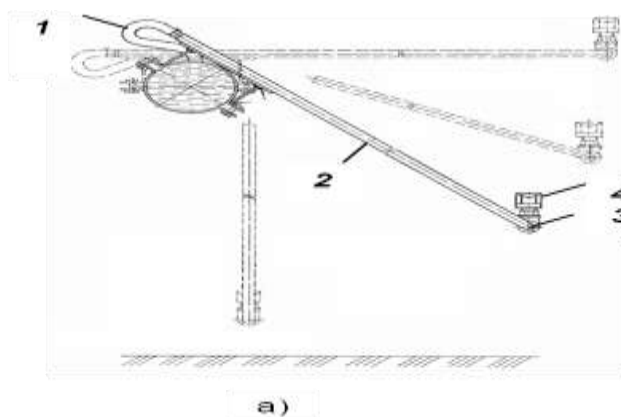


Рисунок 4 – Устройство приповерхностного дождевания рычажного типа с дефлекторной насадкой

Уменьшение энергетического воздействия дождя на почву достигается за счет уменьшения средней интенсивности дождя путем разноса УПД с дождевателями и установке их на трубопровод дождевальной машины в шахматном порядке. Формула для расчета средней интенсивности дождя на пролете при разносе дождевателей имеет вид

$$\rho_{cp} = \frac{60q_{np}}{L_{np}(2R + 2L_y)} = \frac{30q_{np}}{L_{np}(R + L_y)}, \quad (6)$$

где $q_{\text{пр}}$ – расход воды на пролете, л/с; $L_{\text{пр}}$ – длина пролета, м;

L_y – длина выноса устройств приповерхностного дождевания от трубопровода машины, м; R – радиус полива дождевателем, м;

Уменьшение интенсивности дождя способствует расширению зоны полива за счет разноса поворотных рычагов на величину $2L_y$.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приводятся программа и методика экспериментальных исследований устройств приповерхностного дождевания со специальными дефлекторными насадками и ДМ «Фрегат», обеспечивающих приповерхностное дождевание.

Для оценки качественных показателей полива определяли: расход воды дождевателей и машины в целом при различных значениях напора; дальность полета струи и площадь полива; среднюю и действительную интенсивность дождя; крупность капель дождя; потери воды на испарение и снос; достаточную поливную норму; равномерность полива; влажность почвы; урожайность сельскохозяйственных культур и др. Эти наблюдения и исследования выполняли в соответствии с требованиями РД 70.11.1–89 «Машины и установки дождевальные. Урожайность сельскохозяйственных культур определяли по методике Б.А. Доспехова.

Схема опыта по изучению влияния качественных показателей полива различных дождеобразующих устройств на урожайность культур включала следующие варианты: 1. Контроль – серийные дождевальные аппараты «Фрегат» № 1–4, (СДА); 2. Устройства приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками (УПД-ДН). Серийные и изучавшиеся в опыте дождеватели размещались на одной дождевальной машине группами по 7–10 шт. Учетные площадки размещали в середине группы дождевателей, чтобы исключить влияние соседних.

Обработку данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализа. Оценку экономической эффективности проводили в соответствии с РД-АПК 300.01.003-03 «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель».

В четвертой главе «Результаты исследований устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками на ДМ «Фрегат» приведены результаты лабораторных испытаний устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками, а также полевых исследований при их установке на ДМ «Фрегат».

Оптимизация параметров дефлекторных насадок по расходу показала, что при увеличении диаметра сопла с 4 до 16 мм и напора с 0,1 до 0,3 МПа, расход воды увеличивается с 0,1 до 4,1 л/с и соответствует расходу серийных дождевальных аппаратов № 1, 2, 3 и 4. В результате лабораторных и полевых исследований установлено, что расход воды дождевальными насадками при установке на УПД отличается от варианта установки в трубопровод машины и увеличивается на 4,9 %. Формула расхода при этом имеет вид:

$$q = \frac{D^2 H^{0,5}}{315} \quad (7)$$

где q – расход воды л/с; D – диаметр насадки, мм; H – напор струи воды, МПа.

Исследования устройств приповерхностного дождевания изготовленных из труб диаметром 15, 20 и 25 мм (I и IV тип) показали, что потери напора по длине увеличиваются с повышением расхода воды и уменьшения диаметров труб (рисунок 5). При увеличении расхода воды до 0,7 л/с, проходящего через УПД I типа Ø 15 мм, до 0,7 л/с,

потери напора возрастают до 4 м. При увеличении расхода воды, проходящего через УПД (I тип), до 1 л/с, потери напора по его длине увеличиваются до 7 м. Для УПД (II и III тип) при таком же расходе воды, потери напора ниже и составляют соответственно 6 и 4 м.

Установлено, что при расходе воды $q = 0,7 \dots 1,3$ л/с необходимо использовать УПД (II тип) с $\varnothing 20$ мм. При $q > 1,3 \dots 2,0$ л/с необходимо использовать устройства приповерхностного дождевания с $\varnothing 25$ мм (III и IV тип). Минимальные потери напора по длине УПД имеют устройства 4 типа, где использовалась труба диаметром 25 мм. В этом случае рабочий расход воды увеличивается до $1,5 \dots 2$ л/с, а потери напора находятся в пределах $3 \dots 5$ м. Для расчета потерь напора по длине УПД необходимо использовать эмпирическую зависимость:

$$\Delta h = a \cdot q^b, \quad (8)$$

где q – расход воды насадкой, л/с; a и b – эмпирические коэффициенты. $a = 7$; $b = 2,058$ – для УПД (I тип); $a = 5,8$; $b = 1,97$ – для УПД (II тип); $a = 4$; $b = 1,72$ – для УПД (III тип); $a = 1,45$; $b = 1,469$ для УПД (IV тип).

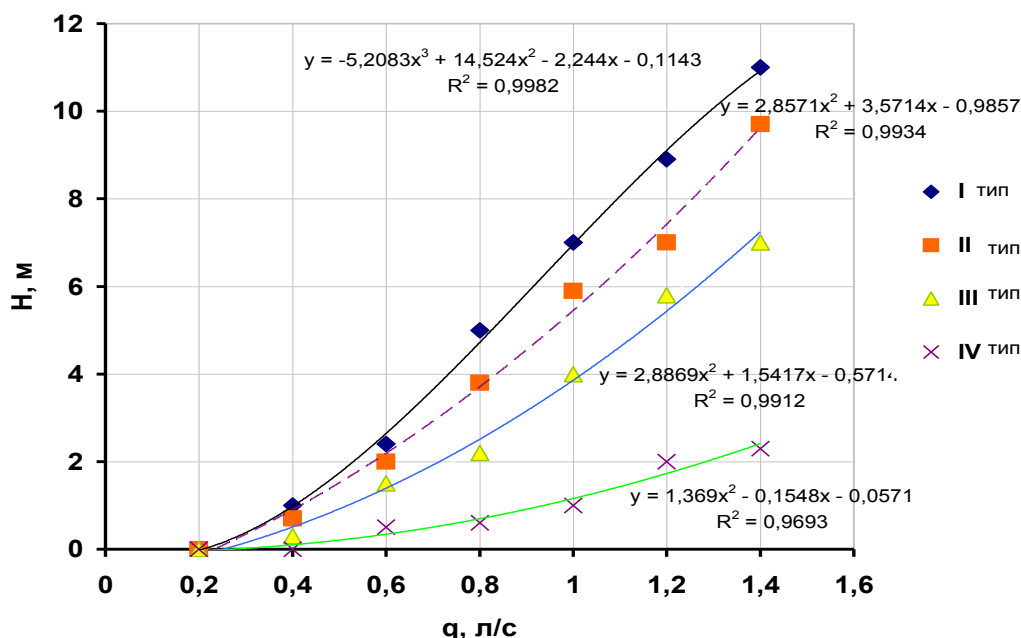


Рисунок 5 – Экспериментальные значения потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания (I, II, III и IV типа) в зависимости от расхода воды

При снижении высоты установки дефлекторной насадки радиус полива уменьшается незначительно. Формула для определения дальности полета струи (R) в зависимости от диаметра сопла D , м, рабочего напора H , МПа и высоты установки дождевателя h , м имеет вид:

$$R = \frac{(0,92 + 0,02h)H}{(0,695 + 0,000942 \frac{H}{D})}. \quad (9)$$

Максимальный радиус захвата дождем дефлекторной насадки при изменении диаметра сопла от 4 до 16 мм и напоре 0,3 МПа увеличивается от 4,0 до 11,8 м. Чтобы обеспечить хорошую равномерность при поливе дефлекторными насадками УПД на пролетах устанавливаются по угаданной схеме (через 5 и 6 м). Величина перекрытия

струй (R/ℓ) в начале дождевальной машины выше, чем у среднеструйных аппаратов (рисунок 6). Это способствует повышению равномерности полива ДМ «Фрегат».

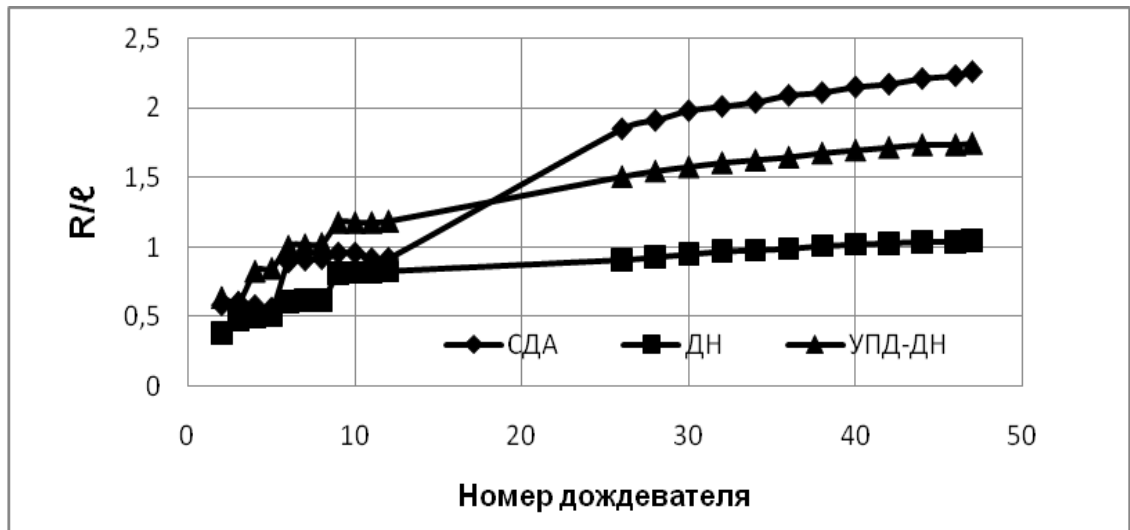


Рисунок 6 – Экспериментальные значения величины перекрытия струй R/ℓ вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с различными типами дождевателей

Во второй половине трубопровода ДМ «Фрегат» величина перекрытия струй увеличивается до 1,5. В тоже время при обычной установке дефлекторных насадок на трубопроводе перекрытие достигает максимума 0,9...1,05.

Установка дефлекторных насадок на УПД с рычагами длиной 2 м способствуют снижению средней интенсивности дождя по сравнению с ДН, устанавливаемыми на трубопроводе машины. Мгновенная интенсивность дождя у дефлекторных насадок изменяется вдоль трубопровода в пределах 0,3...0,6 мм/мин, что в 4...5 раз меньше, чем у среднеструйных аппаратов.

Исследования показали, что средний диаметр капель дождя дефлекторных насадок изменяется вдоль трубопровода машины от 0,50 до 0,86 мм и в 1,8–2,0 раза меньше, чем серийных дождевальных аппаратов.

Крупность капель дождя дефлекторных насадок определяется диаметром сопла и напором. Средний диаметр капель дождя дефлекторных насадок увеличивается с возрастанием относительного радиуса полета капель R_i/R , диаметра сопла и с уменьшением напора перед насадкой. Диаметр капель дождя в i -й точке радиуса действия струи дефлекторной насадки описывается формулой:

$$d_i = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min}) \left(\frac{X_i}{R}\right) \cdot e^{-0,757(1-\frac{X_i}{R})}, \quad (10)$$

где X_i/R – относительная величина радиуса захвата дождем, $0 \leq X_i/R \leq 1$;

d_{\min} – минимальный диаметр капель в начале струи, мм; $d_{\min} = 0,274H^{0,5397}D^{1,07}$;
 d_{\max} – максимальный диаметр капель в конце струи, мм; $d_{\max} = 1,558H^{-0,358}D^{0,490}$.

Для обеспечения равномерности полива дефлекторных насадок напор должен быть в пределах $H = 0,10 \dots 0,25$ МПа, а относительная величина $H/D = 0,015 \dots 0,025$ МПа/мм.

На основании проведенных исследований разработаны карты настройки УПД с дефлекторными насадками для ДМ «Фрегат» различных модификаций, работающих как при штатном напоре, так и при пониженном напоре.

Результаты испытаний ДМ «Фрегат» различных модификаций (9, 12, 13, и 16-ти опорных) с УПД в ОПХ «ВолжНИИГиМ», ЗАО Агрофирма «Волга» и ООО «ВИТ» показали, что расход воды машин соответствует паспортным данным.

Установка дождевателей на высоте 0,6 м от поверхности почвы уменьшает высоту подъема дождевого облака. Это повышает устойчивость струй к ветру. Исследования ДМ «Фрегат» с УПД, оборудованных дефлекторными насадками показывают, что равномерность полива при ветре 3...4 м/с находится на хорошем уровне 0,68...0,75, что выше на 15...20 %, чем при поливе ДН, устанавливаемыми в стандартные штуцера (рисунок 7).

Равномерность полива обеспечивается снижением сноса дождя, большой надежностью работы УПД с дефлекторными насадками по сравнению с ДН.

Исследования показывают, что при средних метеоусловиях для Саратовской области ($T = 17,4^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 59\%$, $V_{\text{в}} = 3,8\text{ м/с}$) величина $E_{\text{ис}}$ ДН изменяется вдоль трубопровода в пределах 10,4–22,3 % (рисунок 8, ДН), а для УПД-ДН она уменьшается до 6,0–14,3 % или в 1,5–1,8 раза. Снижение величины потерь воды при поливе ДМ «Фрегат» с УПД обусловлено снижением сноса дождевого облака и оптимизации факела распыла.

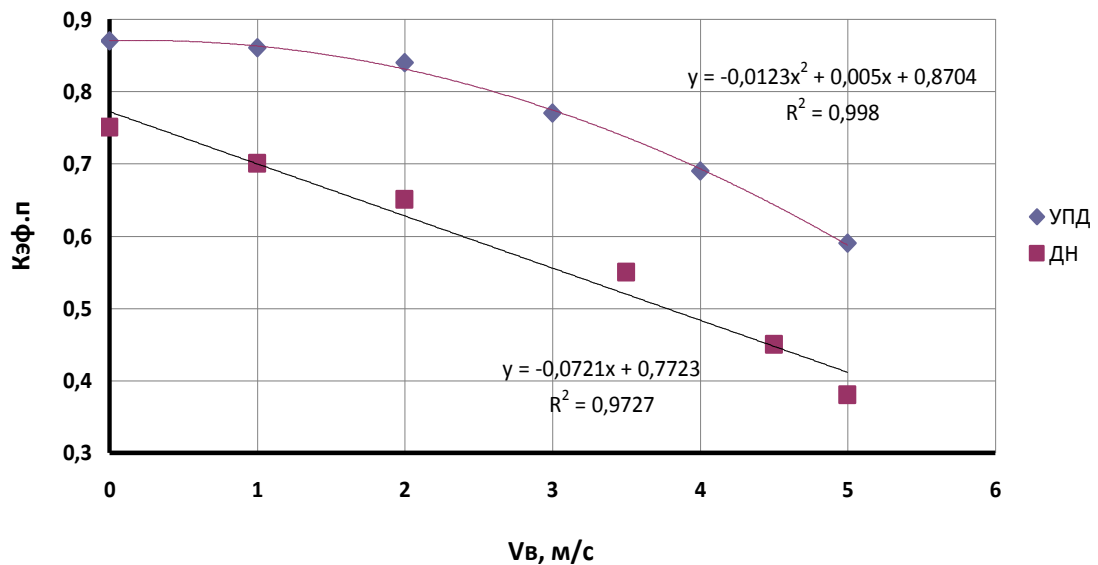


Рисунок 7 – Экспериментальные значения коэффициента эффективного полива ДМ «Фрегат» в зависимости от скорости ветра для дефлекторных насадок, установленных в стандартные штуцера (ДН) и устройствами приповерхностного дождя (УПД-ДН)

Результаты испытаний ДМ «Фрегат» с УПД оборудованными ДН показывают, что средняя крупность капель, мгновенная интенсивность и мощность дождя меньше, чем у ДН. Наиболее важным показателем дождя является комплексный энергетический показатель дождя (ЭПД), который учитывает крупность капель, среднюю и мгновенную интенсивность дождя. Минимальные значения ЭПД отмечены у дефлекторных насадок и

изменяются вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» в пределах 0,04...0,44 (рисунок 9). Для дождевальных аппаратов № 1 и 2 ЭПД находится в диапазоне 0,2...0,6.

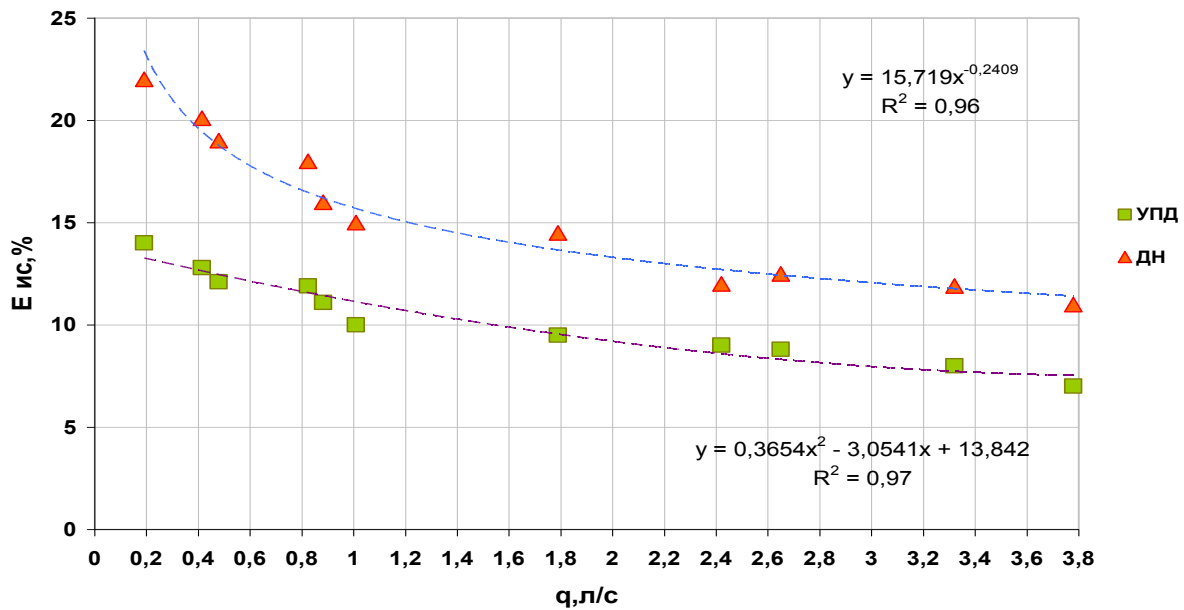


Рисунок 8 – Величина испарения и сноса дождя $E_{ис}$ вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» ДН и УПД-ДН при средних показателях напряженности климата Ф

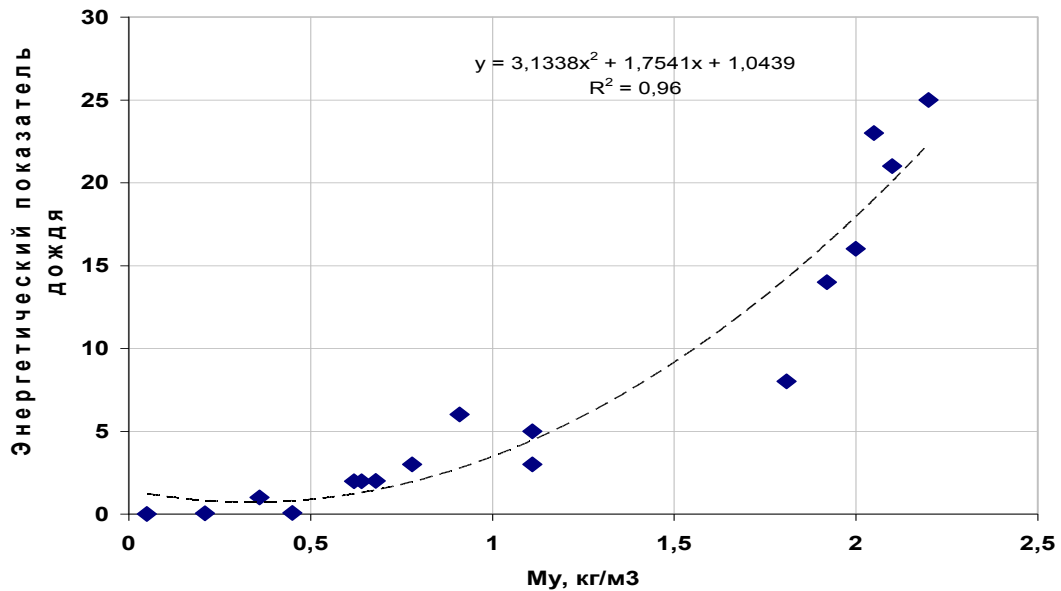


Рисунок 9 – Экспериментальные значения удельной массы разбрызгиваемой почвы в зависимости от энергетического показателя дождя при поливе ДМ «Фрегат»

Большие значения ЭПД (0,8...2,2) имеют аппараты № 3, 4 и 5 (больше на 20–70 %). Результатом снижения ЭПД является уменьшение энергетического воздействия дождя на почву, при этом снижается объемная масса верхнего слоя (0–5 см) и уменьшается

удельная масса разбрызгивающей почвы (отношение массы разбрызгивающей почвы в кг на 1м³ оросительной воды), что способствует снижению покрытия растений таких как капуста, кабачок и др. мелкоземом.

В пятой главе «Результаты исследований работы модернизированной ДМ «Фрегат» и экономическое обоснование ее использования» приведены замеры влажности почвы в течение поливного сезона в ОПХ «ВолжНИИГиМ» на ДМ «Фрегат» с УПД-ДН и ДН которые показывают, что после каждого полива наблюдается прирост запаса влаги в почве на 7,7–12,0 %. Улучшение качественных показателей полива (повышение равномерности полива, снижение крупности капель дождя и энергетического воздействия на почву, уменьшение потерь воды на испарение и снос) способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, на 5...24 %, а энергетическая эффективность повышается на 6–16 % (таблица 1).

Таблица 1. Показатели экономической эффективности сельскохозяйственных культур при поливе модернизированной ДМ «Фрегат»

Показатели	ООО «ВИТ»	
	Капуста	
Сельскохозяйственная культура	ДН	УПД
Число поливов	13	
Урожайность, ц/га	850,0	895,0
Качественный показатель, %	84	97
Коэффициент эффективного полива при скорости ветра 3,8 м/с	0,53	0,72
Потери воды на испарение и снос, %	16	9
Годовой экономический эффект, тыс. руб	-	347

Экономическая эффективность внедрения УПД на ДМ «Фрегат» составляет 347 тыс. руб. в зависимости от культуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа и оценки эффективности использования ДМ «Фрегат» теоретически определены потери воды на испарение при поливе с учетом распределения крупности капель и интенсивности дождя на площади полива, высоты установки дождевателя, времени полета отдельных капель дождя и метеорологических условий. Определена зависимость для расчета потерь воды на испарение и снос при поливе различными типами дождевателей с учетом их конструктивно-технологических параметров и метеорологических условий. Доказано, что для снижения потерь воды на испарение и снос необходимо уменьшать высоту подъема дождевого облака и оптимизировать параметры распыла дождевателей.

2. Уточнены математические зависимости для расчета расхода воды дефлекторной насадкой установленной на УПД, и радиуса полива в зависимости от диаметра сопла, напора и высоты ее установки. С учетом величины потерь напора по длине УПД при расходе воды дефлекторной насадки 0,1...0,7 л/с, диаметр труб должен быть

15 мм; при расходе 0,7...1,3 л/с, 20 мм; при 1,3...2,0 л/с, 25 мм.

Разработан алгоритм для расчета полета капель дождя в зависимости от скорости и направления ветра, а также крупности капель. Обоснована конструкция устройства при поверхностного дождевания (Пат. 74033) с дефлекторной насадкой. Размещение УПД с дождевальными насадками на трубопроводе ДМ «Фрегат» в шахматном порядке по учащенной схеме обеспечит снижение средней интенсивности дождя на пролетах машины на 15–24 %.

3. На основании исследований установлено, что ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания, расположенными по учащенной схеме, обеспечивает требуемый расход воды как при стандартном, так и при низком напоре.

Высота подъема дождевого облака снижается до 1,1...1,7 м над поверхностью поля, что обеспечивает уменьшение потерь воды на испарение и снос вдоль трубопровода машины (при средних погодных условиях Саратовской области) с 10,4–22,5 до 4–10 %. При этом коэффициент эффективного полива, при средней скорости ветра 3...4 м/с для Саратовской области, находится в пределах 0,70...0,75 (повышается на 20–25 %).

4. УПД с дефлекторными насадками обеспечивают мелкокапельный дождь, средний диаметр капель которого в начале машины составляет 0,4...0,5 мм, в конце машины – 0,9...1,0 мм, скорость падения капель дождя от дождевальных аппаратов вдоль трубопровода машины «Фрегат» изменяется в пределах 6...12 м/с, от дефлекторных насадок она гораздо меньше – 3...6 м/с. При таком дожде снижается энергетическое воздействие на почву и сельскохозяйственные растения, уменьшается объемная масса в верхнем слое почвы и масса разбрызгиваемой почвы, что приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 5,0-18,0 %

5. Экономическая эффективность от повышения урожайности сельскохозяйственных культур составляет 347 тыс. руб. Дождевальные машины «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания внедрены в 2 орошаемых хозяйствах Саратовской области. При стоимости одного комплекта УПД с дефлекторными насадками 60 тыс. руб. оборудование окупается в первый год эксплуатации.

РЕКОМЕНДАЦИИ

В орошаемых хозяйствах особенно на поливе овощных использовать устройства приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками, устанавливаемыми на трубопроводе дождевальной машины «Фрегат» по учащенной схеме. Настройка дефлекторных насадок для серийных и низконапорных машин «Фрегат» должна производиться по разработанным картам для различных модификаций машины.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

- Разработать автоматизированные системы управления расходом дождевальных насадок для конкретных культур и климатических зон на основе проведения натуральных исследований.

- Установить значения биоклиматических факторов на величину испарения применительно к приповерхностному поливу сельскохозяйственных культур.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях

1. Надежкина Г.П. Результаты исследований устройств приповерхностного дождя на ДМ «Фрегат» // «Научное обозрение». – 2011. – № 5. – С. 192-197.
4. Надежкина Г.П. Пути совершенствования дождевателей ДМ «Фрегат» / Надежкина Г.П., Н. Ф. Рыжко, В.В. Слюсаренко // «Научное обозрение». – 2011. – № 6. – С. 31–34.
2. Рыжко Н.Ф., Ресурсосберегающие технологии полива ДМ «Фрегат» фронтального передвижения / Рыжко Н.Ф., Шушпанов И.А., Горбачев А.С., Надежкина Г. П // Вестник Саратовского госагроуниверситета им .Н .И. Вавилова. – 2011. – № 7. – С. 56-60.
3. Рыжко Н.Ф. Повышение ветроустойчивости струй дождевателей ДМ «Фрегат» / Рыжко Н.Ф., Слюсаренко В.В., Надежкина Г. П. // «Научное обозрение». – 2012. – № 2. – С. 256–262.
5. Рыжко Н.Ф. Резервы экономии электроэнергии на насосной станции при работе с низконапорными ДМ «Фрегат» / Рыжко Н.Ф., Слюсаренко В.В., Надежкина Г. П. // «Научное обозрение». – 2013. – № 10. – С.20–28.

Патент

6. *Патент на полезную модель 74033 Российская Федерация* Дождевальная машина/ Слюсаренко В. В., Рыжко Н. Ф., Гуркин Е. И., Надежкина Г. П., Рыжко С. Н., Марьин М. П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратов. ГАУ». – № 2008105594/22 ; заявл.13.02.08; опубл. 20.06.08, Изобретения. Полезные модели. № 30. – 5 с.: ил.

Статьи в журналах, тематических сборниках и материалах научных конференций

7. Надежкина, Г. П. Анализ исследований дождевальной машины «Фрегат» и обоснование применения устройств приповерхностного дождевания / Г. П. Надежкина // Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования: сб. науч.тр. – Саратов : ООО Издательство «Научная книга», – 2008. – С.165–167.
8. Надежкина Г. П. Определение потери на испарение и снос дождя при поливе ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками / Г. П. Надежкина // Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования: сб. науч. тр. – Саратов : ООО Издательство «Научная книга», – 2008. – С. 168–169.
9. Рыжко, Н.Ф. Результаты исследований ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания / Н. Ф. Рыжко, Г. П. Надежкина // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы : материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов ИЦ «Наука», 2009. – С. 302–305.
10. Надежкина, Г. П. Технологический процесс дождевания / Г.П. Надежкина // Совершенствование конструкций и методов расчета строительных, дорожных машин, машин для природообустройства и технологий производства работ: сб. науч. тр.– Саратов: Издательство СГТУ, 2010. – С. 44–46.

11. Слюсаренко В.В., Надежкина Г.П. Основные требования к орошению и машин для его осуществления / В. В. Слюсаренко, Г. П. Надежкина // Совершенствование конструкций и методов расчета строительных, дорожных машин, машин для природоустройства и технологий производства работ : сб. науч. тр. – Саратов : Издательств СГТУ, 2010. – С. 46–49.

12. Надежкина Г. П. К вопросу повышения эффективности использования устройств приповерхностного дождевания / Г.П. Надежкина // Основы рационального при родопользования : материалы III Международной научно-практической конференции. – Саратов : Типография ЦВП «Саратовский источник, 2011. С. – 273–278.

13. Рыжко Н.Ф., Мазнева Л.Н., Гуркин Е.И., Надежкина Г.П., Рыжко С.Н.: Использование компьютерных технологий для улучшения качества полива дождевальных машин Н. Ф. Рыжко, Л. Н. Мазнева, Е. И. Гуркин, Г. П. Надежкина, С. Н. Рыжко // Проблемы повышения эффективности использования водных и земельных ресурсов Поволжья : сб. науч. тр. посвящен 45-летию ФГНУ «ВолжНИИГиМ» – Саратов: Орион, 2011. – С. – 56–67.

14. Рыжко Н.Ф., Шушпанов И.А., Горбачев А.С., Рыжко Н.В., Марьин М.П., Гуркин Е.И., Надежкина Г. П. Совершенствование дождеобразующих устройств для дождевальных машин типа «Фрегат» / Н.Ф. Рыжко, И. А. Шушпанов, А. С. Горбачев, Н. В. Рыжко, М. П., Е. И. Гуркин, Г. П. Надежкина // Проблемы повышения эффективности использования водных и земельных ресурсов Поволжья: сб. науч. тр. посвящен 45-летию ФГНУ «ВолжНИИГиМ» – Саратов: Орион, 2011. – С. – 68 –77.

15. Рыжко Н.Ф., Слюсаренко В.В., Надежкина Г. П. Снижение потерь воды при поливе дождеванием // «Научная жизнь». – 2013. – № 6. – С. 57–61.

Подписано в печать 09.10.14.
Формат 60x84. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печ. л. 1,0. тираж 100. Заказ №43/43
