

На правах рукописи

Хеирбеик Бассел

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛИВАНИЯ ДОЖДЯ
ДОЖДЕВАТЕЛЯМИ ДЕФЛЕКТОРНОГО ТИПА**

Специальность 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и
агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2024

Работа выполнена на кафедре организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»

Научный руководитель: **Журавлева Лариса Анатольевна**,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры организации и технологий
гидромелиоративных и строительных работ
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Мажайский Юрий Анатольевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГБНУ
«Федеральный научный центр гидротехники и
мелиорации имени А.Н. Костякова», Мещерский
филиал.

Рязанцев Анатолий Иванович,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры технических систем, теории и методики
образовательных процессов ГОУ ВО МО
«Государственный социально-гуманитарный
университет»

Ведущая организация: ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации»

Защита состоится «14» мая 2024 г. в 14.30 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, учебный корпус №28, аудитория 201, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов):
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «__»_____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.07
кандидат технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Сельскохозяйственное производство в большинстве регионов Российской Федерации осуществляется в суровых природно-климатических условиях, при недостатке атмосферных осадков на 80% пахотных земель. Высокий и стабильный уровень сельскохозяйственного производства может быть обеспечен только за счет дополнительного орошения.

Эффективность использования водных, почвенных, материально-технических ресурсов и экологическое состояние окружающей среды во многом определяются технологией орошения и применяемыми техническими средствами полива.

Серьезной проблемой для развития отрасли является недостаточное количество новых отечественных конструкторских разработок по дождевальной технике и все возрастающее количество зарубежных машин.

Поэтому очень важно не только модернизация существующих оросительных установок, но и освоение производства новых отечественных средств полива, дождеобразующих устройств соответствующих по своим техническим, эксплуатационным, экологическим и экономическим характеристикам зарубежным образцам и современному уровню развития науки и техники.

Исходя из вышеизложенного, **научной проблемой** является обеспечение малоинтенсивного равномерного и качественного полива при сохранении необходимого объема поливных норм.

Степень разработанности проблемы. Вопросам качественного полива посвящены работы многих ученых.

Конструктивные параметры дождевателей рассматривают в своих работах: Пажи Д.Г., Бородин В.А., Гусейн-Заде С.Х., Исаев А.П., Бредихин Н.П., Васильев Б.А., Рыжко Н.Ф., Гомберг С.В., Акпасов А.М., Черноволов В.А., Кравченко Л.В., Есин А.И., Журавлева Л.А. и др.

Влияние на качественные показатели полива ветра и оптимизация расстановки дождевателей вдоль оси трубопровода исследовались Рязанцевым А.И., Вуколовым В.В., Листопадом Г.Е., Сухаревым Ю.Ф.

Исследованию поверхностного стока при орошении дождеванием, техническим и технологическим приемам увеличения эрозионно-допустимой поливной нормы посвящены работы Костякова А.Н., Листопада Г.Е., Гаврилицы А.О., Ларионовой А.М., Абрамова Ф.Г., Ерхова Н.С., Шевцова Н.М., Васильева В. В., Ольгаренко Г.В. и др.

Повышение эффективности использования дождевальной техники, экономия поливной воды и ресурсов рассматривались Цымбаленко С.В., Фокиным Б.П., Губером К.В., Снопичем Ю.Ф., Н.Ф. Рыжко и др.

Цель работы: повышение качества полива широкозахватными дождевальными машинами за счет совершенствования процесса дождеобразования дождевателями дефлекторного типа.

Задачи исследования.

1. Оценить состояние дождевальной техники, существующие средства дождеобразования, определить направление развития конструкций дождевателей для широкозахватных дождевальных машин.

2. Провести исследования влияния конструктивных особенностей дождевателей на характеристики образующегося дождя и качество полива.

3. Оптимизировать конструктивные параметры дождевателей, режимы и условия их работы, обеспечивающие требуемые характеристики дождя.

4. Экспериментально подтвердить влияние конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа и режимов их работы на процесс образования дождя и качественные показатели полива.

5. Провести экспериментальные исследования широкозахватных дождевальных машин с разработанными дождевателями дефлекторного типа, дать экономическую оценку и рекомендации по режимам работы.

Объект исследования – системы орошения с широкозахватными дождевальными машинами оборудованными дефлекторными дождевателями.

Предмет исследования – процесс формирования дождя дождевателями дефлекторного типа.

Методика исследований. Основные методы исследований – законы гидравлики и математического анализа. Экспериментальные исследования проводились с учетом действующих стандартов, методик ВНИИ «Радуга», ВолжНИИГиМ и др. Обработка результатов проводилась с помощью стандартных программ MicrosoftExcel, Statistica.

Научная новизна.

– теоретически обоснована конструкция дождевателей дефлекторного типа для различных режимов орошения и условий эксплуатации;

– обоснованы математические зависимости для определения характеристик распыла в зависимости от конструктивных параметров дефлекторных дождевателей, режимов их работы и скорости ветра;

- оптимизировано расстояние между дождевателями вдоль трубопровода широкозахватных дождевальных машин для обеспечения максимальной равномерности распределения дождя при различных условиях эксплуатации и режимов работы;

-предложены варианты комплектаций дождевателей различного типа и их установки вдоль водопроводящего трубопровода машины для обеспечения равномерного и качественного полива.

Положения, выносимые на защиту:

–аналитические зависимости, описывающие влияние формы дефлектора дождевателя на характеристики потока жидкости.

–математические зависимости для определения конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа;

–математические зависимости для определения характеристик распыла в зависимости от конструктивных параметров дефлекторных дождевателей, режимов их работы и скорости ветра;

– усовершенствованные конструкции дождевателей дефлекторного типа для различных условий эксплуатации, режимов полива и варианты комплектаций их установки вдоль водопроводящего трубопровода машины;

– результаты исследований по определению характеристики дождевателей дефлекторного типа для различных режимов полива.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость исследования заключается в том, что научно обоснованы закономерности влияния конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа на формирование дождя с оптимальными характеристиками, интенсивностью, равномерность распределения по площади.

Спроектированы и обоснованы новые конструкции дождевателей дефлекторного типа для различных условий эксплуатации и режимов полива, в том числе с высокой ветроустойчивостью и больших расходов.

На основании теоретических исследований были получены аналитические зависимости, описывающие влияние геометрии дефлектора дождевателя на характеристики потока жидкости.

Уточнены и продемонстрированы конструктивно-технические параметры дождевателей и математические зависимости для определения характеристик распыливания потока воды в зависимости от скорости ветра.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработана конструкция дождевателей дефлекторного типа для широкозахватной дождевальной техники, обеспечивающая оптимальный размер капель и низкую интенсивность дождя, а также рекомендовано размещение дождевателей вдоль дождевального трубопровода для обеспечения максимальной равномерности распределения дождя.

Использование предлагаемых технологических решений при поливе позволит повысить качество орошения сельскохозяйственных культур, в частности обеспечить экономию до 8 % оросительной воды.

Номенклатурные ряды дождевателей были внедрены в 2018–2023 гг. в УНПО «Поволжье» на базе ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, УНПК Агроцентр; ООО «Наше дело» (Марксовского района) на широкозахватных дождевальных машинах Кубань-ЛК1М «Каскад», «КАСКАД», «Фрегат», ООО «Биокомплекс» дождевальных машинах Reinke, КФХ Саратовской области, ООО «Али Анжила», Дамаск, Думский сельскохозяйственный центр.

В 2023 г была получена бронзовая медаль и диплом «за разработку технико-технологических решений и рекомендаций по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии» на XXV Российской агропромышленной выставке «Золотая осень 2023».

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается экспериментальными проведенных исследований и результатами внедрения. Достоверность обеспечивается оценкой полученных данных с помощью статистических методов и согласованием данных полученных теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Основные положения докладывались в период 2018-2024 гг. на конференциях профессорско-преподавательского состава в ФГБОУ ВО РГАУ-

МСХА имени К.А. Тимирязева, ФГБОУ ВО СГУТБИ имени Н.И. Вавилова, International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» 2022. Beijing, China. В 2023 году

Публикации. По диссертации опубликовано 11 печатных работ, из которых 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Объем диссертации составляет 137 страницы текста и 5 приложений. Основной текст изложен на 135 страницах: 12 таблиц, 50 иллюстраций. Список литературных источников включает 192 наименования, в том числе 21 источник на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность решаемой проблемы, цель, задачи исследований, объект, предмет и методы исследований. Сформулирована научная новизна работы и научные положения, выносимые на защиту, практическая ценность, апробация работы, публикации, объем и структура диссертации.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрены проблемы орошения в Российской Федерации, сведения о состоянии орошаемых земель, наличия дождевальной техники. Представлены требования к современным дождевальным машинам. Рассмотрены показатели качества дождя. Дан обзор существующих конструктивных исполнений дождевателей, их конструктивных элементов.

Во второй главе «Теоретическое обоснование конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа широкозахватных дождевальных машин» представлены принципы выбора основных параметров дождевателей, схем их расстановки и оптимизации режима работы для обеспечения водосбережения и малоинтенсивного полива.

Выбор основных параметров дождевателей и схем их расстановки

Важное значение при проектировании дождевателей имеет форма сопла и дефлектора, определяющие процесс обтекания и распыливания. Поток жидкости при обтекании вокруг дефлектора имеет вид устойчивой пленки, распадающейся на отдельные капли и струйки. Наибольшую дальность имеют капли сформированные в центральной зоне струи.

Рассматривая поток в корпусе, сопле дождевателя и затем при взаимодействии с дефлектором (рис. 1), можно представить уравнение Бернулли для сечений 1-1, 2-2:

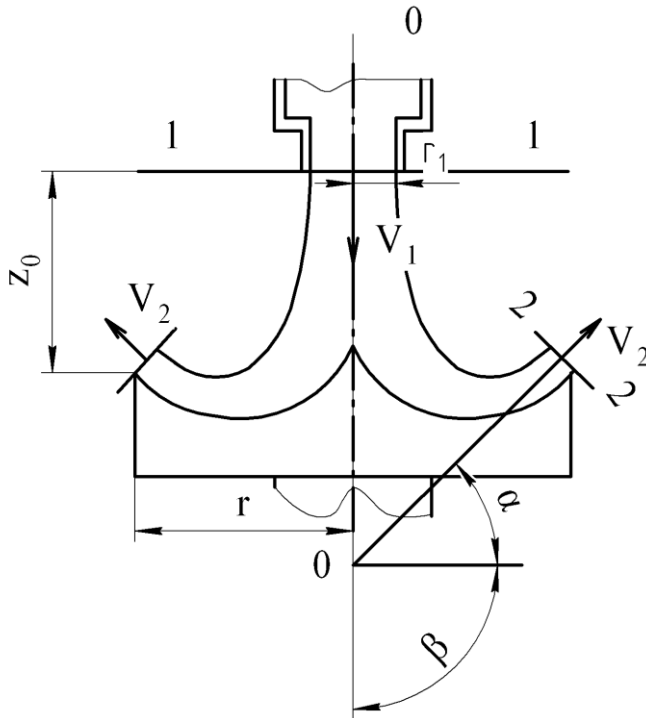
$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f, \quad (1)$$

где h_f – полные потери напора; V_1, V_2 – средние скорости движения в сечениях 1-1 площадью $\omega_1 = \pi r_1^2$ и 2-2 площадью $\omega_2 = \pi \delta (2r + \delta \cos \beta)$, δ – толщина пленки на участке 2-2; α_1, α_2 – коэффициенты Кориолиса.

Потери напора:

$$h_f = \zeta \frac{V_2^2}{2g}, \text{ получим: } V_1 = kV_2, \quad (2)$$

где ζ - гидравлический коэффициент сопротивления; k -коэффициент, учитывающий работу сил трения.



Толщина пленки сходящей с дефлектора жидкости для 2-2:

$$\delta = \frac{r}{\sin \alpha} - \sqrt{\frac{r^2}{\sin^2 \alpha} - k \frac{r_1^2}{\sin \alpha}}, \quad (3)$$

$$k = \sqrt{\frac{\alpha_2 + \zeta}{\alpha_1}}, \quad (4)$$

Толщина пленки возрастает при возрастании коэффициента сопротивления ζ , а при $\alpha = 0^\circ$:

$$\delta = 0,5k \frac{r_1^2}{r}. \quad (5)$$

Формулу (3) можно преобразовать к безразмерному виду:

$$\frac{\delta}{r} \sin \alpha = 1 - \sqrt{1 - k \left(\frac{r_1}{r} \sqrt{\sin \alpha} \right)^2}. \quad (6)$$

Сила воздействия струи на корпус дефлектора:

$$P = \rho_B V_1 \omega_1 (V_1 - V_2 \cos \beta), \quad (7)$$

где ρ_B – плотность воды.

Средняя скорость V_2 с учетом уравнения (2):

$$P = \rho_B V_1^2 \omega_1 \left(1 + \frac{\sin \alpha}{k} \right). \quad (8)$$

График зависимости (6) представлен на рисунке 2.

В формуле (6) все потери энергии учтены коэффициентом k . Из уравнения (3) можно заключить, что коэффициент k можно определить опытным путем, зная размеры дефлектора, толщины и угла схода пленки.

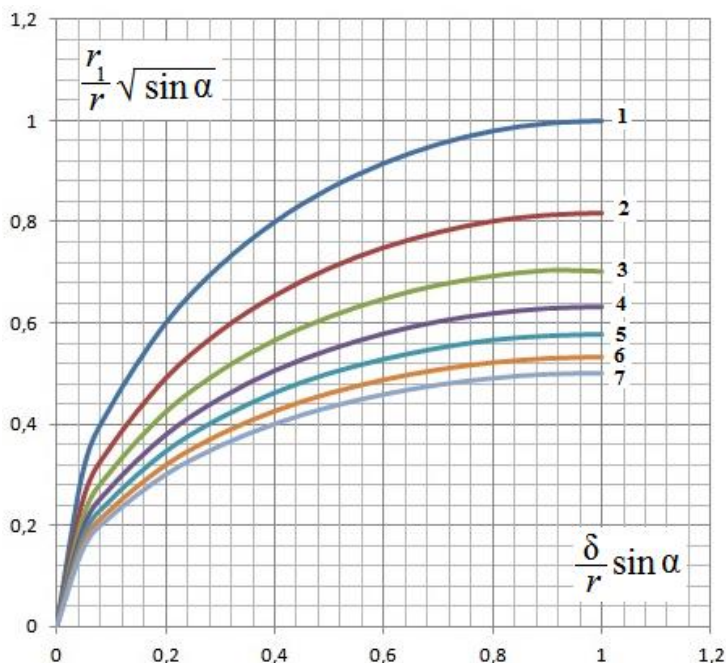


Рисунок 2 – Графическое представление зависимости (6)

- 1 – $k = 1$;
- 2 – $k = 1,5$;
- 3 – $k = 2,0$;
- 4 – $k = 2,5$;
- 5 – $k = 3,0$;
- 6 – $k = 3,5$;
- 7 – $k = 4,0$

Траекторию и радиус действия дождевателя R' можно представить в соответствии со схемой на рис. 3.

Уравнение траектории струи принимает вид:

$$z = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{k^2}{4\mu^2 H \cos^2 \alpha} x^2. \quad (9)$$

$$\text{Радиус распыливания } R' = L_0 \cos \alpha, \quad (10)$$

$$L_0 = \frac{\sqrt{(az_{\text{нас}} K - \sin \alpha)^2 + 4az_{\text{нас}}(1 + K \sin \alpha)} - az_{\text{нас}} K + \sin \alpha}{2a(1 + K \sin \alpha)}, \quad a = \frac{k^2}{4\mu^2 H}. \quad (11)$$

$$K = \lambda \frac{\mu^4 H}{k^4 \delta}. \quad (12)$$

где μ – коэффициент расхода дождевателя, H – напор перед дождевателем, K – безразмерный параметр, зависящий, в общем случае, от параметров r , r_1 , α , δ , H и сопротивления в дефлекторе и воздушной среде, λ – коэффициент сопротивления.

Пренебрегая величиной $z_{\text{нас}}$ радиус R' можно записать:

$$R' = \frac{2\mu^2 H \sin 2\alpha}{k^2(1 + K \sin \alpha)}, \quad (13)$$

Максимальный радиус действия дождевателя достигается при $\alpha \approx 17...18^\circ$.
При неустойчивых ветровых режимах:

$$L_{\text{д}} = 1,4\varepsilon R', \quad (14)$$

$L_{\text{д}}$ – расстояние между дождевателями, м; ε – коэффициент запаса, учитывающий влияние ветра, уклона местности, колебаний гидравлических характеристик потока в трубопроводе.

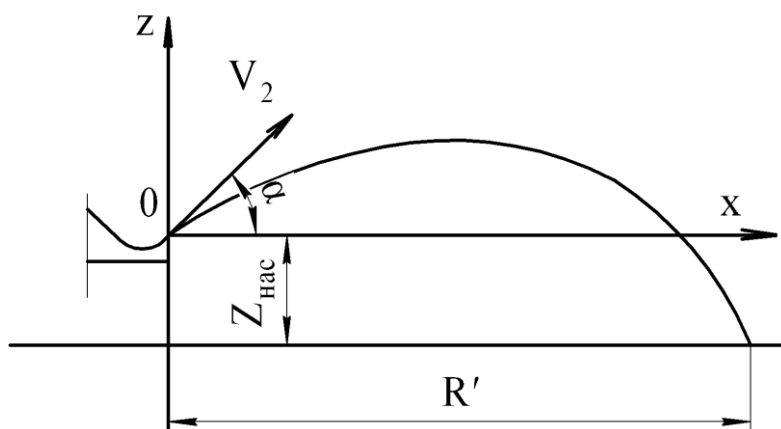


Рисунок 3 – Схема движения траектории струи при отсутствии ветра

Дождеватели с несколькими дефлекторами (каскадные)

Качество распыливания можно сохранить при больших расходах, падении давления применением дождевателей с несколькими последовательно расположенными дождевателями (каскадных, многоярусных (рис. 4)).

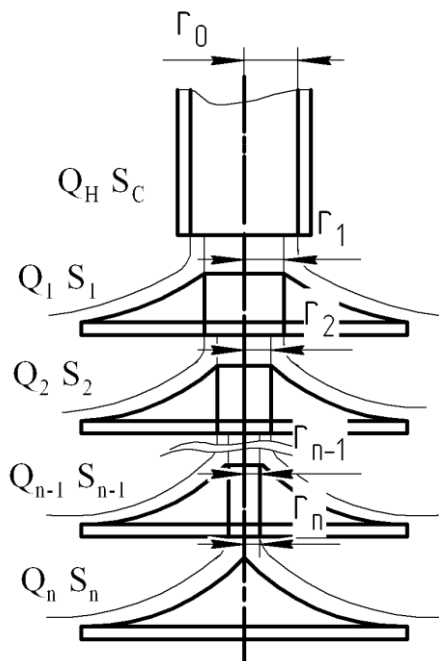


Рисунок 4 – Распределение потока воды по дефлекторам дождевателя

Расход дождевателя определяется как, м³/с :

$$Q_{\text{н}} = \mu \omega_0 V_1, \quad (15)$$

V_1 – начальная скорость струи воды, м/с, ω_0 – площадь сопла, м².

Выходя из сопла, вода частично распыливается, обтекая верхний дефлектор, а часть потока через отверстие в конусе верхнего дефлектора поступает на второй и т.д. последующие дефлекторы. Расход с первого дефлектора:

$$Q_{1\text{н}} = \mu \pi (r_0^2 - r_{10}^2) V_1, \quad (16)$$

r_0 – радиус сопла, м; r_{1o} – радиус отверстия в конусе верхнего дефлектора, м. Тогда для последнего $Q_n = \pi r_n^2 V_1$, (17)

$$Q_n = Q_{1n} + Q_{2n} + \dots + Q_{(n-1)n} + Q_{nn}, \quad (18)$$

Для обеспечения одинакового расхода:

$$r_n = 0,7 r_{n-1}, \quad (19)$$

Применение дождевателей с несколькими каскадными дефлекторами целесообразно при диаметрах сопел 10 мм и более, т.е. при длине трубопровода дождевальной машины 350 м и более во второй или последней трети трубопровода, а также при больших расходах воды, т.е. значительных нормах полива.

Диаметр каплей может быть найден:

$$d_k = 4,71 \cdot 10^{-2} d_0 Ga^{-0,59} Fr_0^{-0,5}, \quad (20)$$

где Ga – критерий Галилея; Fr_0 – критерий Фруда, d_0 – диаметр сопла, м.

При выборе типа дождевателя необходимо учитывать тот факт, что диаметр каплей резко увеличивается при уменьшении давления и увеличении диаметра сопла, что характерно в конце трубопровода широкозахватных дождевальных машин.

Дождеватели с дефлекторами, установленными с возможностью вращения

Диаметр каплей дождя, образующихся при сходе с вращающегося дефлектора:

$$d_k = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{r \rho_v}}, \quad (21)$$

где ω – угловая скорость дефлектора, c^{-1} ; ρ_v – плотность воды, kg/m^3 ; r – радиус, м; σ – сила поверхностного натяжения; c – константа.

Полученные зависимости и значения приведенных параметров использовались при конструировании дождевателей с криволинейным дефлектором, определении расстояния между дождевателями», рис. 5

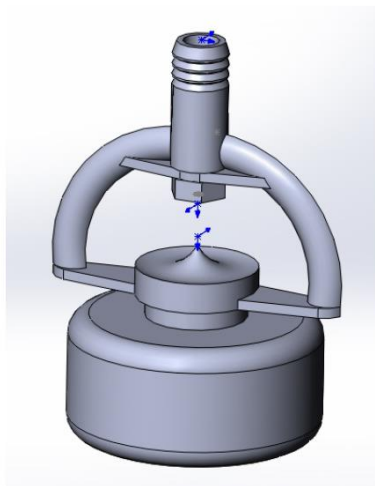
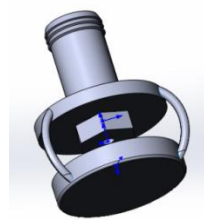
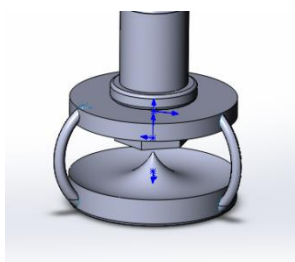


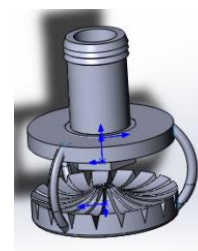
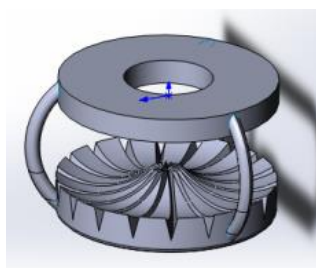
Рисунок 5 –
Базовая модель
дождевателя

Типы дождевателей, выполненные для проведения исследований

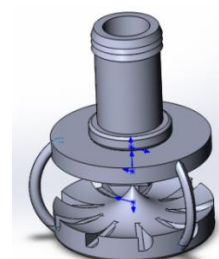
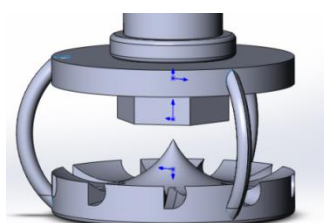
представлены на рисунке 6.



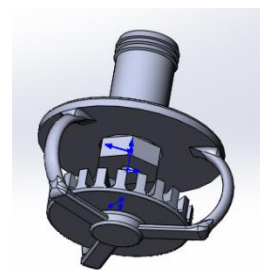
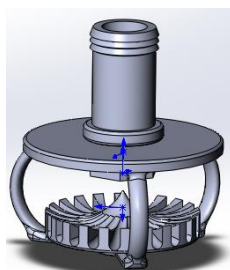
тип 1



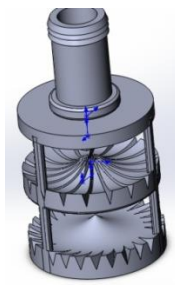
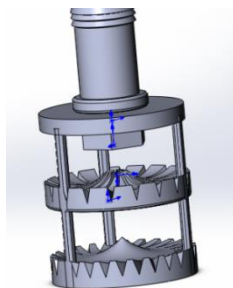
тип 2



тип 3



тип 4-5



тип 6

Рисунок 6 – Типы дождевателей.

1 – с жестко закрепленным дефлектором; 2 – с жестко закрепленным дефлектором с треугольными бороздками на его поверхности; 3 – с жестко закрепленным дефлектором с овальными бороздками; 4 – с дефлекторами

имеющими возможность вращения и треугольными бороздками; 5 – с дефлекторами имеющими возможность вращения и овальными бороздками на поверхности; 6 – с двумя дефлекторами.

В третьей главе «Программа и методики проведения лабораторных и полевых исследований» даны программы и методики исследований, применяемое оборудование и приборы.

Максимальная дальность полета капель дождя определялась для высоты установки дождевателя от 1,0 до 2,5 м. Давление в трубопроводе изменялось от 0,07 до 0,45 МПа. Сопла диаметром 3,0 -15,0 мм.

Дождевальные машины комплектовались дождевателями:

1. На ДМ «Фрегат» ДМУ-Б 463-90 в стандартные водоотводы устанавливались дождеватели базовой модели. Напор - 0,34 МПа на входе в ДМ.

2. На ДМ «КАСКАД» через 3,5 м дождеватели с базовой модели до половины длины машины и дождеватели с дефлекторами имеющими возможность вращения и овальными бороздками на поверхности дефлектора со второй половины длины машины. Напор - 0,3 МПа. Модели Reinke-400- через 2,9 м дождеватели базовой модели.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» показаны результаты исследований характеристик полива для разработанных дождевателей.

Основные характеристики дождевателей

Характеристика расход-давление для различных типов дождевателей представлена на рисунке 7.

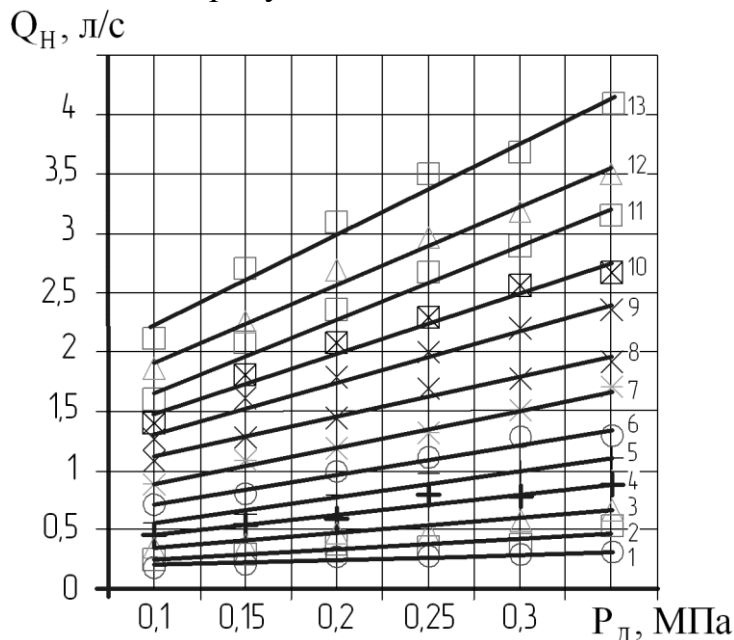


Рисунок 7 –
Расходно-
напорные
характеристики

1- Ø3 мм, $Q_H=0,51P_D+0,16$; 2 - Ø4 мм, $Q_H=0,92 P_D+0,18$; 3 - Ø5 мм, $Q_H= 1,25 P_D+0,24$;
4 - Ø6 мм, $Q_H= 1,76 P_D+0,29$; 5 - Ø7 мм, $Q_H= 2,32 P_D+0,36$; 6 - Ø8 мм, $Q_H= 2,63 P_D+0,48$; 7 - Диаметр сопла Ø9 мм, $Q_H= 3,13 P_D+0,58$; 8 - Ø10 мм, $Q_H= 3,40P_D+0,79$; 9 - Ø11 мм, $Q_H= 4,43 P_D+0,91$; 10 - Ø12 мм, $Q_H= 5,16 P_D+0,94$; 11 - Ø13 мм, $Q_H= 5,94P_D+1,14$; 12 - Ø14 мм, $Q_H= 6,43 P_D+1,36$; 13 - Ø15 мм, $Q_H= 7,73 P_D+1,50$. $R^2=0,92 - 0,99$.

При высоте установке дождевателя 2,5 м и увеличении диаметра сопла с 3 до 15 мм радиус захвата дождем увеличивался с 4,5 до 13 м. Давление - 0,35 МПа.

Анализ радиусов орошения дождевателей с неподвижно закрепленными гладкими дефлекторами и дождевателей с дефлекторами имеющими на своей поверхности бороздки различных размеров и формы показывает, что максимальный радиус орошения при одном и том же режиме работы обеспечивают дождеватели, имеющие бороздки шириной 3-5 мм и глубиной 3-5 мм.

При одинаковой площади поперечного сечения и одинаковых условиях эксплуатации влияние формы бороздок на характеристики сходящего потока незначительно.

Статические дефлекторы с мелкими бороздками формируют плотные, тонкие струи, более устойчивые к ветру и обеспечивающие больший радиус полива.

При более высоком давлении дождеватели с вращающимися дефлекторами имеют больший радиус орошения.

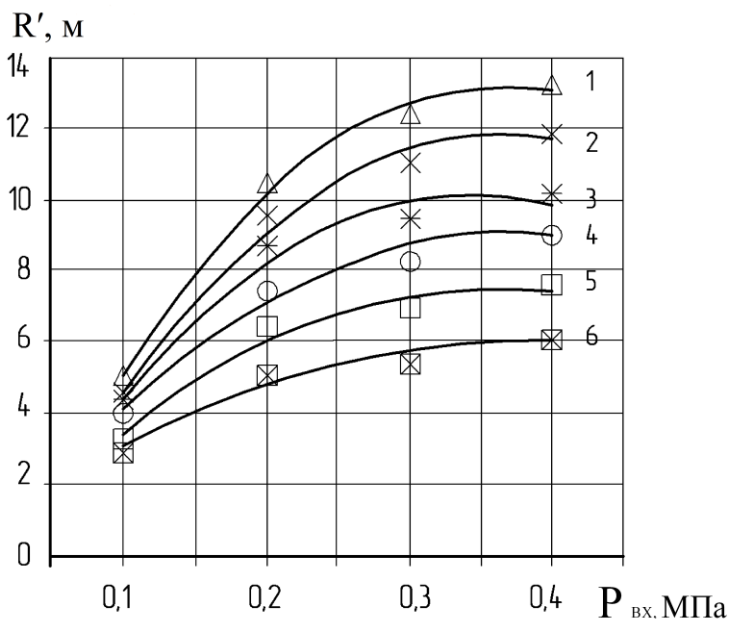


Рисунок 8 – Радиус захвата от напора для дождевателей с гладким дефлектором

1 - Ø8 мм, $R' = -120,2 P_{BX}^2 + 88,1 P_{BX} - 2,0$; 2 - Ø7 мм, $R' = -108,3 P_{BX}^2 + 78,5 P_{BX} - 2,2$; 3 - Ø6 мм, $R' = -98,1 P_{BX}^2 + 68,4 P_{BX} - 1,4$; 4 - Ø5 мм, $R' = -71,5 P_{BX}^2 + 52,0 P_{BX} - 0,4$; 5 - Ø4 мм, $R' = -66,9 P_{BX}^2 + 45,3 P_{BX} - 0,5$; 6 - Ø3 мм, $R' = -38,2 P_{BX}^2 + 29,1 P_{BX} + 0,7$, $R^2 = 0,97-0,99$. Высота установки - 2,5 м.

Радиус захвата дождем пропорционально увеличивался с увеличением давления в трубопроводе машины всех типов дождевателей. При этом средний диаметр капель уменьшался, улучшается качество распыления.

Средняя интенсивность дождя не превышает 1,2 мм/мин для всех разработанных конструкций дождевателей.

Высокие показатели качества распыливания показали дождеватели имеющие дефлектор с возможностью вращения. Уменьшение средней и

мгновенной интенсивности характерно дождевателям, имеющим на поверхности дефлектора бороздки величиной 1,5-3 мм.

Дождеватели с дефлекторами, имеющими возможность вращения при работе на расходах до 1,5 л/с обеспечивают интенсивность несколько большую (порядка 12-16%), чем дождеватели с жестко закрепленным дефлектором и бороздками на своей поверхности, рис.9.

Дождеватели с дефлекторами, имеющими возможность вращения под действием струи воды, характеризуются меньшими значениями интенсивности (10-14%) в сравнении с дождевателями с жестко закрепленными дефлекторами при расходах до 2,4 л/с, что объясняется увеличением радиуса захвата дождем.

При значительных расходах (свыше 2 л/с) наименьшие значения средней интенсивности показали дождеватели с дефлекторами имеющими возможность вращения, а также и дождеватели с дефлекторами жестко закрепленными, но имеющими на своей поверхности мелкие бороздки, рис. 10.

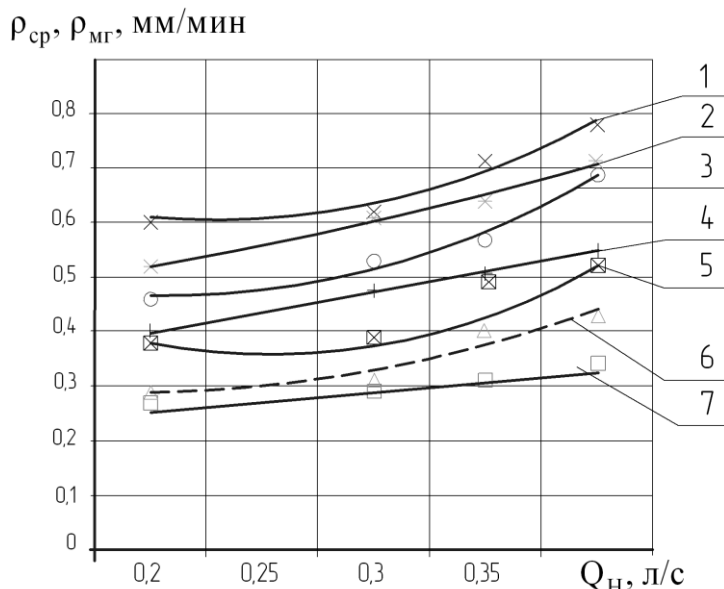


Рисунок 9—
Средняя и
мгновенная
интенсивность
от
расхода

На рисунке 9: 1 - $\rho_{\text{ср}} = 6,5 Q_{\text{н}}^2 - 2,9 Q_{\text{н}} + 0,95$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с вращающимся дефлектором с бороздками 3 мм на поверхности); 2 - $\rho_{\text{мг}} = 0,92 Q_{\text{н}} + 0,34$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с вращающимся дефлектором с бороздками 3 мм на поверхности); 3 - $\rho_{\text{ср}} = 5,55 Q_{\text{н}}^2 - 2,23 Q_{\text{н}} + 0,69$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с вращающимся дефлектором с бороздками 1,5-2 мм на поверхности); 4 - $\rho_{\text{мг}} = 0,75 Q_{\text{н}} + 0,26$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с вращающимся дефлектором с бороздками 1,5 мм на поверхности); 5 - $\rho_{\text{мг}} = 7,46 Q_{\text{н}}^2 - 3,84 Q_{\text{н}} + 0,86$, $R^2 = 0,93$ (дождеватель с жестко закрепленным гладким дефлектором); 6 - $\rho_{\text{ср}} = 0,74 Q_{\text{н}} + 0,13$, $R^2 = 0,85$ (дождеватель с вращающимся дефлектором и треугольными бороздками 1,5 мм на поверхности); 7 - $\rho_{\text{мг}} = 0,34 Q_{\text{н}} + 0,19$, $R^2 = 0,91$ (дождеватель с вращающимся дефлектором с треугольными бороздками 1,5 мм на поверхности). Диаметр сопла $\varnothing 3$ мм.

Дождеватели с несколькими дефлекторами (каскадные) могут использоваться для достижения мягкого режима полива, распределяя большие расходы при соблюдении ограничений интенсивности полива. Дождеватели с двумя дефлекторами снижают интенсивность полива до 15%.

Средний диаметр дождевых капель увеличивается по мере увеличения относительного радиуса Ri/R , диаметра сопла дождевателя и уменьшения давления перед дождевателем.

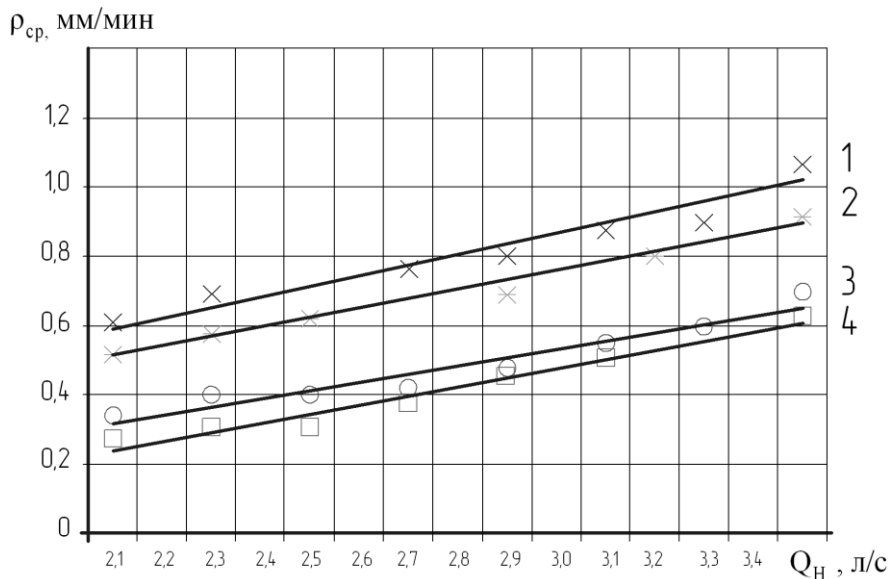


Рисунок 10—
Средняя
интенсивности дождя
от расхода

На рисунке 10. 1 - $\rho_{ср} = 0,31 Q_{н} - 0,06$, $R^2 = 0,84$ (дождеватель с гладким дефлектором); 2 - $\rho_{ср} = 0,28 Q_{н} - 0,06$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с каскадным дефлектором); 3 - $\rho_{ср} = 0,24 Q_{н} - 0,17$, $R^2 = 0,93$ (дождеватель с дефлектором с бороздками на поверхности); 4 - $\rho_{ср} = 0,27 Q_{н} - 0,31$, $R^2 = 0,94$ (дождеватель с возможностью вращения дефлектором с бороздками). Диаметр сопла 15 мм.

Средний диаметр капель дождя всех конструкций дождевателей увеличивается при увеличении диаметра сопла (значит и расхода) и с уменьшением давления, что характерно у последних тележек. Значения диаметра не превышает 1,6 мм при снижении давления до 0,15 МПа.

Экспериментальные исследования показали, что дождеватели с двойными дефлекторами обеспечивают диаметр капель не превышающий 1,8 мм при давлениях до 0,15 МПа и диаметрах сопла 15 мм.

Таким образом, для снижения интенсивности дождя рекомендуется устанавливать дождеватели с вращающимся дефлектором на второй половине длины машины или многодефлекторные (каскадные). Для вращающихся дождевателей интенсивность снижается за счет увеличения радиуса, для многодефлекторных за счет разделения потоков.

Комплектация дождевателями широкозахватных дождевательных машин

Сложность выбора расстояния между дождевателями заключается в том, что необходимо одновременно учитывать множество факторов, влияющих на равномерность полива. Основные факторы можно разделить на конструктивно-технологические и природные.

При давлении на входе в трубопроводе до 0,2 МПа дождеватели базовой модели с гладким жестко закрепленным дефлектором необходимо устанавливать не более чем через 3,0 м для обеспечения перекрытия

поверхности орошения соседними дождевателями и соответственно равномерного полива.

Расстояние между дождевателями можно увеличить до 3,5 м при давлении на входе в дождеватель от 0,2 до 0,6 МПа.

За счет увеличенного радиуса распыливания расстояние между дождевателями можно увеличить для дождевателей, имеющих бороздки на своей поверхности до 3,5 м при давлении до 0,2 МПа и до 4-4,5 м при давлении 0,3-0,6 МПа.

Рекомендуемое расстояние между многодефлекторными дождевателями зависит от вида и выполнения дефлекторов (вращающиеся или жестко закрепленные, гладкие или с бороздками на поверхности). Для моделей с гладкими двухдефлекторными моделями рекомендуемое расстояние между ними 3,0 м при давлении до 0,2 МПа и 3,5-4,0 м при давлении 0,3-0,6 МПа.

Тогда для широкозахватных дождевальных машин:

Однопролетные дождевальные машины, длиной как правило, до 60 м, при среднем ветровом режиме, рекомендуется комплектовать наиболее простыми и экономически оправданными дождевателями базовой модели, установленные через 3,0 метра. Для ДМ «Кубань-ЛК1» - пролет 48,7 м и консоль. Для ДМ «КАСКАД» - пролет 59,5 м.

Дождевальные машины длиной более 500 м (8 и более пролетов) рекомендуется комплектовать многодефлекторными дождевателями начиная с последней трети длины машины.

Дождевальные машины длиной более 300 м (6 и более пролетов) рекомендуется комплектовать дождевателями базовой модели до половины длины машины и дождевателями со сменными вращающимися дефлекторами со второй половины длины машины.

Широкозахватные дождевальные машины длиной от 60 до 300 м (5 пролетов 59,5 м «Кубань-ЛК1» до 6 пролетов по 48,7 м «КАСКАД») рекомендуется комплектовать дождевателями со сменными дефлекторами, имеющими мелкие бороздки на своей поверхности.

Дождевальные машины работающие при высоких расходах (нормы полива более 500 куб.м/га) рекомендуется комплектовать также многодефлекторными дождевателями.

Для орошения в зонах с неустойчивым режимом ветра, дождевальную технику рекомендуется комплектовать дождевателями со сменными дефлекторами, имеющими крупные бороздки (до 5 мм глубина/ширина). Дефлектор может быть стационарно закрепленным или установленным с возможностью вращения.

Для проращивания ростков и щадящего воздействия на почву, рекомендуется полив дождевальными машинами укомплектованными дождевателями со сменными дефлекторами, имеющими мелкие бороздки (1,0-2 мм ширина/глубина) на поверхности.

Использование различных типов дождевателей и оценка качественных показателей позволили сделать вывод, что уменьшение размера капель и

снижение мощности дождя привели к снижению уплотнения верхнего слоя почвы, т.е. было обеспечено мягкое воздействие на почву и растения.

Проведенные полевые исследования показали, что средняя интенсивность дождя при комплектации дождевальными машинами «Фрегат», «Кубань-ЛК1» и «КАСКАД» разработанными дождевателями в соответствии с рекомендациями, составила 0,51-0,53 мм/мин. Диаметр капель - до 0,85 мм. Характеристики дождя отвечают требованиям ресурсосберегающего шадящего полива.

В пятой главе «Экономическая эффективность результатов исследований» представлены данные по внедрению разработанных дождевателей, таблица 1.

Комплектация ДМ «Фрегат» разработанными дождевателями дефлекторного типа, обеспечило прирост урожайности за счет повышения равномерности полива, деликатного воздействия дождя на почву. Кроме того, были зафиксированы снижения потерь на испарение и снос ветром за счет конструктивных особенностей дождевателей и установки их на гибких спускных трубках приповерхностного полива.

Таблица 1– Экономическая оценка внедрения

Показатели	Базовая ДМ «Фрегат»	Модернизированная
Агрокультура	Кукуруза	
Коэффициент эффективности (скорость ветра 3 м/с)	0,67-0,77	0,77-0,82
Потери воды за счет испарения и сноса ветром, %	8-12	2,0-6
Диаметр капель дождя, мм	0,86-1,3	0,7-0,86
Средняя скорость падения капель дождя, м/с	3,8-4,6	3,3-3,9
Мощность дождя, Вт/м ²	0,02-0,06	0,01-0,03
Средняя за три года урожайность кукурузы на силос, т/га	87,3	94,4
Прирост урожайности, т/га		6,9

Средняя урожайность для различных условий эксплуатации на 6,9 т/га выше, чем на участках полива дождевальными машинами с серийными дождевальными аппаратами.

Комплектация ДМ «Фрегат» спроектированными дождевателями способствовало уменьшению среднего диаметра дождевых капель, соответственно мощности дождя, снижения плотности почвенного покрова.

Стоимость второго комплекта дождевальными машинами (142 дождевателя) составила 42600 рублей, в то время как комплект Nelson Irrigation с аналогичными характеристиками стоил 594900 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ показал, что серьезной проблемой для развития мелиоративной отрасли является недостаточное количество российских конструкторских разработок, внедренных в производство. Наиболее важным условием при выборе дождевальной техники и применяемой технологии полива должно быть повышение качества полива, сохранение плодородия почв, снижение поверхностного стока и непроизводительных потерь оросительной воды, т.е. экологическая и экономическая составляющие. Улучшение качества полива достигается за счет мелкодисперсной структуры дождевых капель, равномерного их распределения по орошаемой площади, устранения поверхностного стока и минимизации потерь на испарение и ветер.

2. Проведенные исследования взаимодействия потока воды с элементами дождевателей позволили сформировать методику расчета параметров дождевателей. Получены аналитические зависимости, описывающие влияние геометрии дефлектора на характеристики образуемого потока жидкости. Разработаны усовершенствованные конструкции дождевателей дефлекторного типа для различных режимов полива и условий эксплуатации, оптимизировано расстояние между дождевателями вдоль трубопровода широкозахватных. Предложены варианты комплектаций дождевателей различного типа и их установки вдоль водопроводящего трубопровода машины для обеспечения равномерного и качественного полива.

3. Были определены оптимальные конструктивные решения дождевателей. Радиус захвата дождем зависит от диаметра сопла дождевателя, давления в трубопроводе машины, высоты установки дождевателя и характеристик дефлектора. Наибольшая дальность полета струи (радиус действия дождевателя) достигается для угла схода с дефлектора 17-18°. Дождеватели с установленными на них каскадными дефлекторами были разработаны для использования при больших расходах воды (значительных нормах полива) и для установки в конце трубопровода широкозахватных дождевальных машин, где диаметр сопла дождевателя значительно увеличен и может достигать 15 мм. Параметры отверстий в дефлекторах подбираются таким образом, чтобы расход воды при сходе с каждого дефлектора были одинаковыми. Соотношение между радиусами сопла дождевателя и отверстий в дефлекторе составляет 1:0,71. Применение дождевателей с каскадными (двойными) дефлекторами рекомендуется применять на машинах длиной более 350 м во второй половине трубопровода, при больших расходах. Для различных режимов работы и условий эксплуатации рекомендована установка сменных дефлекторов различного типа.

4. Экспериментальные исследования подтвердили влияние конструктивных параметров дождевателей, в частности сменных дефлекторов и режимов работы на процессы дождеобразования и показатели качества орошения. В целом средняя интенсивность дождя изменяется в диапазоне 0,08-1,2 мм/мин, а мгновенная интенсивность - в диапазоне 0,08-1,1 мм/мин. Дождеватели с каскадными (двойными) дефлекторами могут использоваться для достижения мягкого режима полива при значительных расходах воды

(нормах полива), обеспечивая интенсивность полива в пределах нормы. Дождеватели с установленными двойными дефлекторами при сравнении с однодефлекторными такого же типа, при одинаковом расходе, позволяют снизить интенсивность полива на 10-15%. Рассматривая работу каскадных дождевателей (с двумя дефлекторами), можно заметить, что при низком давлении и максимальном диаметре сопла 15 мм диаметр капель находится в пределах спецификации. Поэтому для снижения интенсивности целесообразно устанавливать во второй половине трубопровода широкозахватных дождевательных машин дождеватели с вращающимися дефлекторами или с каскадными дефлекторами.

5. Равномерность распределения дождя была значительно улучшена за счет установки разработанных дождевателей. Коэффициент эффективного полива также увеличился, что за счет повышения равномерности, уменьшения областей переполива. Средняя интенсивность - 0,5 мм/мин, а диаметр капель дождя 0,7-1,0 мм, что делает полив экологически безопасным. Разработанные дождеватели дефлекторного типа могут быть использованы на дождевательных машинах "Фрегат" для повышения равномерности полива, уменьшения воздействия дождя на почву и, соответственно, снижения уплотнения почвы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ И ПРЕДПРИЯТИЯМ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИМ И ПРОИЗВОДЯЩИМ ДОЖДЕВАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

1 Эксплуатирующим дождевательную технику организациям рекомендуется использовать дождеватели для экологически безопасного полива следующим образом:

- при больших расходах использовать дождеватели с дефлекторами каскадного типа;
- использовать дождеватели со сменными неподвижными или вращающимися дефлекторами для полива в зонах с сильными ветрами;
- для щадящего полива, с минимальным воздействием на почву и растения (полив всходов) дождевательные машины, оборудованные дождевателями имеющими бороздки на своей поверхности.

2. Проектным организациям, НИИ - использовать математические зависимости и методы расчета, разработанные при проектировании дождевателей для широкозахватных дождевательных машин.

Перспективы дальнейшей разработки темы

На основе проведенных в данной работе исследований планируется дальнейшая разработка и внедрение регулируемых дождевателей для различных условий эксплуатации, а также дождевательных машин точного полива.

Список основных публикаций по теме диссертации

1. Журавлева, Л.А., Дождеватели широкозахватных дождевательных машин. Монография./ Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Х. Бассел // ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени КА Тимирязева. Москва.- 2022.- С. 140.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

2. Пчелкин, В.В. Закономерности изменения элементов водного баланса зоны аэрации при поливе столовой моркови / В.В. Пчелкин, С.О. Владимиров, О.М. Кузина, Х. Бассел // *Природообустройство*. - 2021. - №5. - С.21-30.

3. Журавлева, Л.А. Исследования характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, А. Алдиаб, Х. Бассел // *Природообустройство*. - 2022. - №5. - С. 100-104.

Публикации в сборниках научных трудов, материалах конференций и семинаров

4. Журавлева Л.А., Совершенствование широкозахватных дождевальных машин кругового действия. / Л.А. Журавлева, Х. Бассел, М.С. Магомедов // *Международный научный журнал «Инновационная наука»*. - 2022. - №7-2. - С. 24-27.

5. Журавлева, Л.А. Теоретическое обоснование применения водопроводящего трубопровода широкозахватной дождевальной машины из композиционного материала. / Л.А. Журавлева, М.С. Магомедов, А. Алдиаб, Х. Бассел // *Естественные и технические науки*. – 2022. – №6. – С. 363-371.

6. Журавлева, Л.А. Моделирование параметров потока в напорных трубопроводах с дискретным отбором жидкости. / Л.А. Журавлева, М.С. Магомедов, А. Алдиаб, Х. Бассел // *Научная жизнь*. – 2022. – № 3. - С. 364-373.

7. Журавлева, Л. А. Теоретические исследования движения воды в дождевателях с вращающимся дефлектором широкозахватных дождевальных машин / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Х. Бассел // *Научная жизнь* – 2022. – №6. - С. 856-863.

8. Журавлева, Л.А. Исследования параметров потока воды в трубопроводе широкозахватных дождевальных машин / Л.А. Журавлева, Х. Бассел // *Аграрный научный журнал*. - 2023. - № 1. - С. 136-143.

9. Zhuravleva, L. A. Wide-reach sprinkler Machine with "Intelligent Module"/L.A. Zhuravleva, H. Bassel // *Proceedings of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” - Reports in English (July 20, 2022 Beijing, PRC)*. Beijing, China 2022. – С. 135-140.

10. Zhuravleva, L.A Characteristics of the sprinkler spraying process / L.A. Zhuravleva, M.V. Karpov, Kh. Bassel, M.S. Magomedov // *Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы IX Международной научно-практической конференции – ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ; Саратов: Амирит*. - 2022. - С.25-28.

11. Zhuravleva, L.A. Irrigation rate-soil-sprinkler machine / L.A. Zhuravleva, M.V. Karpov, Kh. Bassel, M.S. Magomedov // *Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы IX Международной научно-практической конференции – ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ; Саратов: Амирит*, - 2022. - С.21-25.