

На правах рукописи

**ЖУРАВЛЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ШИРОКОЗАХВАТНЫЕ  
ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ  
КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и  
охрана земель

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Саратов 2018

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

Научный консультант: доктор технических наук, доцент **Соловьев Дмитрий Александрович**

Официальные оппоненты: **Рязанцев Анатолий Иванович**  
 доктор технических наук, профессор ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет», кафедра машиноведения, профессор

**Снипич Юрий Федорович**  
 доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации

**Ольгаренко Игорь Владимирович**  
 доктор технических наук, профессор Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова, филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», кафедра «Техносферная безопасность, мелиорация и природообустройство», профессор

Ведущая организация: ФГБНУ «Волжский институт гидротехники и мелиорации», г. Энгельс

Защита состоится «        » 2018 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 , созданного на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, д. 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» и на сайте: [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, [dissovet01@sgau.ru](mailto:dissovet01@sgau.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 .

Ученый секретарь  
 диссертационного совета

Д.А. Маштаков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время в России общая площадь орошаемых земель составляет 4,28 млн. га, при этом поливается 1,8 млн. га. Основной техникой полива являются широкозахватные дождевальные машины (около 13,5 тысяч единиц).

При этом имеющийся парк дождевальной техники на 80% состоит из машин, отслуживших свой нормативный срок. Большинство работающих российских дождевальных машин старого образца из-за низкого технического уровня и надежности, длительного срока эксплуатации не удовлетворяют современным требованиям, что не позволяет проводить своевременный и качественный полив сельскохозяйственных культур. За период времени с начала 90-х годов был практически потерян потенциал по производству современных дождевальных машин.

В рамках Федеральной целевой программы "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы", а также для реализации политики импортозамещения в АПК создание новой отечественной широкозахватной дождевальной техники является актуальной задачей.

В последние годы начали активно развиваться новые российские предприятия – производители дождевальной техники. За период времени 2008-2018 гг. данными предприятиями было произведено около 360 единиц дождевальных машин, что крайне мало по сравнению с требуемыми объемами.

Поэтому необходимы разработки не только по модернизации дождевальной техники «советских» времен, но и по конструированию и созданию современных, недорогих и эффективных машин.

Важнейшим направлением повышения конкурентоспособности современной отечественной дождевальной техники является широкое применение ресурсосберегающих технологий, т.е. рациональное использование водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов.

Выполнение экологически безопасного, энергоэффективного, качественного технологического процесса полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия требует научно обоснованного подхода к созданию современного конкурентоспособного поколения многоопорных дождевальных машин, отвечающих агротехническим требованиям.

В соответствии с этим научной **проблемой является** теоретическое обоснование параметров, систематизация и обобщение основных закономерностей и конструктивно-технологических решений при создании дождевальных машин кругового действия, обеспечивающих высокое качество и ресурсосбережение при поливе.

**Степень разработанности проблемы.** Исследования дождевальных машин в основном направлены на определение показателей качества дождя, влияния ветра на величину радиуса полива и площадь захвата, определение величины потерь на испарение. Подбору основных параметров

дождеобразующих устройств посвящены работы Б.М. Лебедева, Н.Ф. Рыжко, В.В. Вуколова, В.К. Губера, С.Х. Гусейн-Заде и др. ученых. Большинство исследований основываются на эмпирических данных, а также исследованиях частного характера для конкретных типов дождевателей и режимов работы. При значительном разнообразии конструкций дождевателей нет обобщенного принципа расчета и обоснования их выбора. Необходимо на основе моделирования параметров водопроводящего пояса широкозахватных дождевательных машин выполнить оптимизацию схем расстановки и конструктивно-технологических параметров дождевателей, разработать номенклатурный ряд дождевателей для различных условий эксплуатации.

Многие научные работы посвящены вопросам водосбережения и снижения энергоемкости полива. Интересны многочисленные разработки и исследования ДМ «Кубань-ЛК1» выполненные ВНПО «Радуга». Большое количество исследований проводилось с целью перевода дождевательной машины «Фрегат» на низкий напор (ВНИИМиТП, СтавНИИГиМ, УкрНИИГиМ, ВолжНИИГиМ, ВНПО «Радуга»).

Проблемам совершенствования технических средств орошения дождеванием за счет оптимизации технологических параметров и конструктивных решений посвящены работы Ю.Ф. Снопича, Н.Ф. Рыжко, К.В. Губера, В.И. Городничева, Б.П. Фокина, А.И. Рязанцева. Необходимы шаги не только по совершенствованию и модернизации существующей дождевательной техники, но по конструированию и созданию новых современных и эффективных машин, работающих при пониженных давлениях и обеспечивающих качественный, ресурсосберегающий и экологически безопасный полив.

**Цель работы:** повышение эффективности работы широкозахватных дождевательных машин кругового действия на основе системы конструктивно-технологических решений, обеспечивающих экономию водных, земельных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов.

**Задачи исследования.**

1. Провести анализ эффективности использования дождевательных машин кругового действия, определить направления их совершенствования по критериям эффективности и экономии водных, земельных, материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

2. Предложить конструктивно-технологические решения ферменных пролетов дождевательных машин кругового действия и дождеобразующих устройств нового поколения.

3. Определить конструктивно-технологические параметры дождеобразующих устройств для различных условий эксплуатации и режимов полива.

4. На основе математического моделирования водопроводящего пояса широкозахватных дождевательных машин выполнить оптимизацию схем расстановки дождеобразующих устройств.

5. Экспериментально подтвердить влияние конструктивно-технологических параметров дождеобразующих устройств на процесс формирования дождя и качественные показатели полива.

6. Разработать систему автоматизации и управления, обеспечивающую качественную работу машины со значительным количеством исполнительных опций.

7. Провести экспериментальные исследования предлагаемых дождевальных машин, оборудованных разработанными дождеобразующими устройствами, дать технико-эксплуатационную и экономическую оценку.

**Объект исследования** – инженерно-мелиоративные системы орошения, оборудованные низконапорными широкозахватными дождевальными машинами кругового действия.

**Предмет исследования** – расход воды по длине дождевальных машин кругового действия и при истечении через дождеобразующие устройства, конструктивно-технологические и гидравлические параметры машин и дождеобразующих устройств, характеристики качества дождя.

**Методы исследований.** В качестве основных методов и методик использовались: аналитическое описание процессов на основе известных законов и методов классической механики и математического анализа; методика планирования многофакторного эксперимента, оценка достоверности и адекватности результатов. Обработка результатов проводилась методами математической статистики при помощи ЭВМ с использованием стандартных программ Microsoft Excel, Statistica.

Лабораторные и полевые исследования, определение основных оценочных показателей проводились с применением соответствующих методик и ОСТов, разработанных ВНПО «Радуга», НПО ВИСХОМ, КубНИИТИМ, СТАВНИИГиМ, ВолжНИИГиМ, а также ряда частных методик по изучению механических характеристик почвы при производстве полива.

**Научная новизна.** На основе комплексного подхода к решению проблемы ресурсосбережения, повышения технических и технологических показателей полива дождевальных машин:

– разработана математическая модель расчета водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин для постоянного и изменяющегося диаметра труб по длине трубопровода;

– теоретически обоснована конструкция дождеобразующих устройств для различных условий эксплуатации и режимов полива и даны рекомендации по расстановке их вдоль трубопроводов низконапорных дождевальных машин с наилучшей равномерностью распределения дождя;

– обоснованы и уточнены математические зависимости для расчета показателей распыла дождевальных струй в зависимости от конструктивно-технологических параметров дождеобразующих устройств и скорости ветра;

– определены оптимальные соотношения компоновки пролетов водопроводящих трубопроводов и конструктивно-высотные показатели широкозахватных дождевальных машин, даны рекомендации выбора ходовых систем, с учетом несущей способности почвы и нормы полива.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Система конструктивно-технологических решений и теоретические обоснования параметров новых образцов дождевальных машин, обеспечивающих эффективную работу и ресурсосбережение при поливе.

2. Математическая модель расчета водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин для постоянного и изменяющегося диаметра труб по длине трубопровода.

3. Математические зависимости для расчета показателей распыла дождевальных струй в зависимости от конструктивно-технологических параметров дождеобразующих устройств и скорости ветра.

4. Конструктивно-технологические решения и конструкции низконапорных дождевальных машин кругового действия, дождеобразующих устройств для различных условий эксплуатации и режимов полива. Рекомендации по расстановке их вдоль трубопроводов дождевальных машин.

5. Результаты экспериментальных исследований предлагаемых машин, дождеобразующих устройств и ресурсосберегающих технологий полива.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Основные положения и выводы диссертации развивают и дополняют теоретические положения отечественных и зарубежных исследований в области техники орошения и прогрессивных ресурсосберегающих технологий полива.

Полученные результаты исследований позволили определить направления совершенствования существующих широкозахватных дождевальных машин кругового действия и вести разработку новой высокоэффективной техники полива, обеспечивающей экономию водных, земельных, материальных, энергетических и трудовых ресурсов с высокой производительностью и качеством полива.

Обоснованы технические решения конструкций широкозахватных дождевальных машин кругового действия, повышающие их технологические и эксплуатационные показатели.

Разработан номенклатурный ряд дождевателей для различных условий эксплуатации. Определены параметры дождеобразующих устройств и разработаны схемы их расстановки для обеспечения экологически безопасного полива в зависимости от режимов и условий эксплуатации.

На основании исследований спроектированы и запущены в производство серии дождевальных машин ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД», низконапорные дождеватели из оцинкованной стали и полимерных материалов.

Результаты исследований вошли в нормативные документы предприятий-производителей дождевальной техники:

Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), Саратов, 2016.

Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «КАСКАД», Саратов, 2017.

Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД). – Саратов: 2016.

Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая «КАСКАД». – Саратов: 2017.

Диссертация соответствует пп. 7, 9, 24 паспорта научной специальности 06.01.02.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Выводы и рекомендации подтверждены данными лабораторных и полевых исследований, положительными результатами сертификационных испытаний, проведенных Поволжским Агротех Тест Центром и ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция» в 2016 и 2017 гг., актами внедрения. Достоверность обеспечена статистическими методами оценки данных с использованием ЭВМ, достаточной степенью совпадения теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения диссертационной работы докладывались в период 2003-2018 гг. на конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова; международных научно-практических конференциях: «Агроэкологические проблемы сельскохозяйственного производства» (РИО ПГСХА, Пенза, 2005), «Ульяновские чтения-2005» (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, Саратов, 2005), «Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования» (Самарская ГСХА, Самара, 2005), «Основы рационального природопользования» (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, Саратов, 2009, 2011), «Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства» (МГУП, Москва, 2010), «Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения» (МГУП, Москва, 2011), «Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий» (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, Саратов, 2016), «Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении» (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, Саратов, 2016), «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, Саратов, 2016); Всероссийской конференции молодых ученых (Коломна, 2005); Всероссийской научно-практической конференции «Инновации и перспективы современной науки» (Астраханский ГУ, Астрахань, 2018).

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 67 печатных работ, 14 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 10 патентов на изобретение и 2 патента на полезные модели РФ. Общий объем публикаций составляет 17,3 п.л., из них 9,2 п.л. принадлежит лично соискателю.

**Структура и объем работы.** Общий объем составляет 409 страницы компьютерного текста, который включает в себя основной текст и 11 приложений. Основной текст изложен на 347 страницах, содержит 63 таблицы, 149 иллюстраций. Список использованной литературы включает 306 наименований, в том числе 21 на иностранных языках.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *«Введении»* обоснована актуальность проблемы, приведены: цель, объект, предмет и методы исследований; научная новизна работы и научные положения, выносимые на защиту; практическая ценность и реализация результатов исследований; апробация работы и публикации.

В *первой главе «Состояние вопроса»* представлены сведения о состоянии орошаемых земель и дождевальной техники в Российской Федерации и Саратовской области. Дан обзор конструкций существующих дождевальных машин кругового действия, особенности проектирования элементов дождевальных машин (металлоконструкций и водопроводящего пояса, ходовых систем, систем автоматизации и управления). Приведен анализ дождеобразующих устройств и показателей качества дождя. Выделены критерии оценки уровня качества дождевальных машин. Рассмотрены основные направления ресурсосбережения при проектировании и создании дождевальных машин кругового действия.

Во *второй главе «Теоретические положения усовершенствования дождевальных машин кругового действия на основе ресурсосбережения»* представлены этапы и принципы создания новой дождевальной техники с позиции ресурсосбережения. Проведенный анализ возможностей ресурсосбережения позволил выделить основные направления исследований (рис.1).

### Теоретические исследования влияния конструктивно-технологических параметров дождеобразующих устройств на процесс формирования дождя.

Сбережение водных и земельных ресурсов зависит в первую очередь от качества полива, равномерности увлажнения поливной площади, интенсивности водоподачи и определяется совершенством конструкции дождеобразующих устройств, правильным выбором конструктивного исполнения в зависимости от условий эксплуатации, а также расстановкой дождеобразующих устройств вдоль водопроводящего пояса дождевальной машины.

Рассматривая подачу воды через дождеобразующее устройство в виде дефлекторной насадки, можно выделить три процесса взаимодействия: прохождение воды по корпусу и соплу дождевателя, взаимодействие потока воды с дефлектором, сход пленки, струй или одиночных капель воды с дефлектора.

Основными оптимизируемыми параметрами дождевателя являлись: форма и размеры сопла и дефлектора дождевателя, форма и размеры канавок на поверхности дефлектора, угол схода струи к горизонту.

Рассматривая установившееся обтекание осредненным турбулентным потоком жидкости дефлектора конической формы с углом при вершине  $2\beta$ , была определена толщина пленки:

$$\delta = -\frac{r}{\cos\beta} + \sqrt{\frac{r^2}{\cos^2\beta} + k_0 \frac{r_0^2}{\cos\beta}}, \quad (1)$$

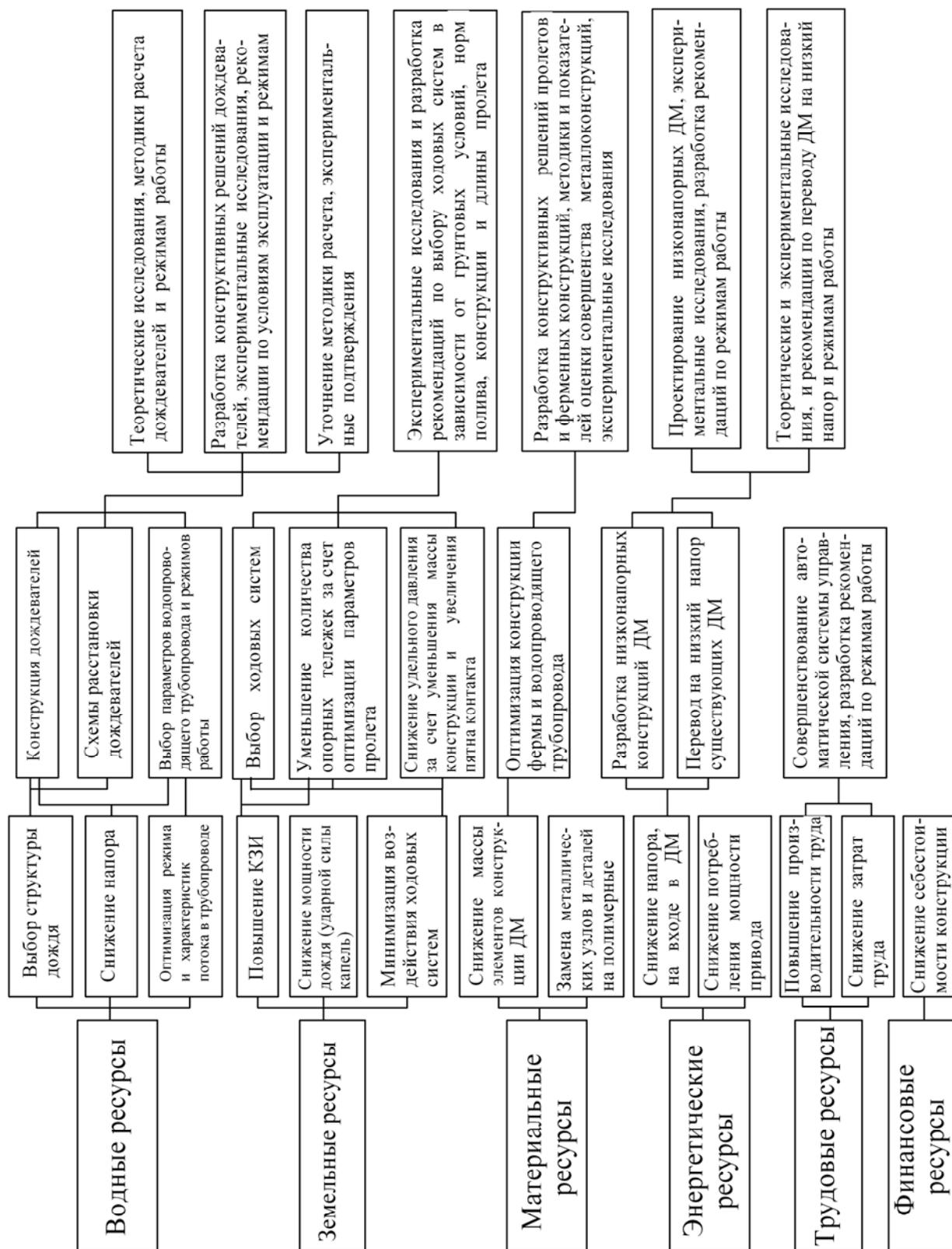


Рисунок 1 – Основные направления ресурсосбережения дождевальных машин кругового действия

Поправочный коэффициент, учитывающий работу сил трения и кинетичность набегающего потока жидкости  $k_0$ , определяется:

$$k_0 = \sqrt{\frac{1 + \zeta}{1 - \frac{2}{Fr_0}}}, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус дефлектора;  $r_0$  – радиус сопла дождевателя;  $\zeta$  – полный гидравлический коэффициент сопротивления, учитывающий потери напора на поверхности дефлектора и на поверхности раздела жидкость – воздух;  $Fr_0$  – число Фруда набегающего потока.

Толщина пленки увеличивается при возрастании коэффициента сопротивления  $\zeta$  и уменьшается при увеличении кинетичности набегающего потока.

Средняя скорость жидкости  $V_1$  на сходе с дефлектора:

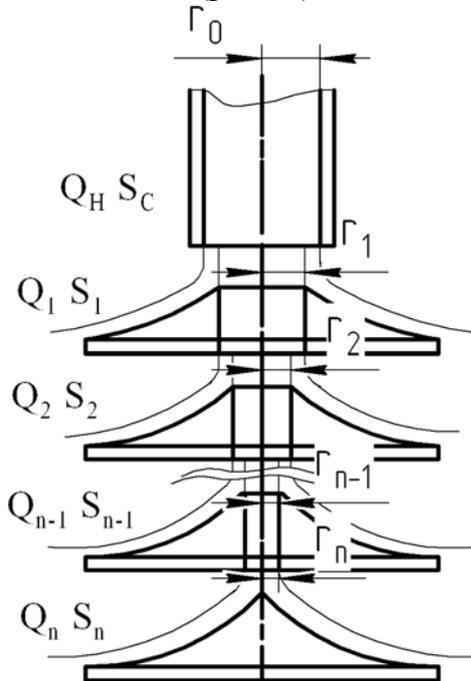
$$V_1 = \frac{V_0}{\sqrt{1 + \zeta}} \sqrt{1 - \frac{2}{Fr_0}} = \frac{V_0}{k_0}, \quad (3)$$

где  $V_0$  – средняя скорость движения жидкости на выходе из сопла.

Наибольшее значение радиуса дефлектора  $r_{\max}$ , при котором возможно безотрывное обтекание соответствует максимальной толщине пленки  $\delta_{\max}$ :

$$r_{\max} = k_0 \frac{r_0^2}{2\delta_{\max}} - \frac{\delta_{\max}}{2} \cos\beta. \quad (4)$$

Увеличение производительности дождевателя без изменения качества распыливания может быть обеспечено применением каскадных, многоярусных дождевателей, (рис. 2).



Расход  $Q_H$  дождевателя можно определить как,  $m^3/c$ :

$$Q_H = \mu \omega_0 V_0, \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  
 $\omega_0$  – площадь сечения сопла,  $m^2$ .

Для обеспечения равного расхода с каждого дефлектора должно соблюдаться условие:

$$\begin{aligned} Q_{1H} &= Q_{2H} = Q_{(n-1)H} = \\ &= Q_{nH} = \pi \mu (r_0^2 - r_{1K}^2) V_0 = \pi \mu (r_{1K}^2 - r_{2K}^2) V_0 = \\ &= \pi \mu (r_{n-1}^2 - r_n^2) V_0 = \pi \mu r_n^2 V_0, \end{aligned} \quad (6)$$

Рисунок 2 – Схема распределения расхода воды по дефлекторам каскадного дождевателя для приповерхностного полива

$Q_{1Н}, Q_{2Н}, Q_{(n-1)Н}, Q_{nН}$  – расход воды с первого, второго, предпоследнего и последнего дефлектора соответственно;  $r_0$  – радиус сопла дождевателя, м;  
 $r_{1К}, r_{2К}, r_n, r_{n-1}$  – радиусы отверстий в первом, втором, последнем и предпоследнем дефлекторе соответственно, м.

Оптимальное соотношение радиуса сопла дождевателя и отверстия в дефлекторе 1:0,71. При установке нескольких дефлекторов:

$$r_n = 0,71 r_{n-1}. \quad (7)$$

Применение каскадных дождевателей рационально при диаметре сопла более 10 мм, т.е. во второй половине или последней трети водопроводящего пояса машины, при длине машины более 350 м.

Непосредственным рабочим элементом дождевателя, осуществляющим передачу энергии необходимую для дробления поступающей на него жидкости является дефлектор. Задача дефлектора – создание определенной формы схода потока воды, т.е. тонкой пленки или струй равномерно по всему периметру.

При не закрепленном жестко дефлекторе с криволинейными канавками, поток воды попадает в них, создает момент силы реакции вытекающих струй и дефлектор начинает вращаться вокруг оси, достигая определенной частоты. Плотность орошения можно регулировать шириной и числом канавок на дефлекторе.

Радиальная скорость жидкости  $V_1$  при выходе с дефлектора с канавками будет иметь вид:

$$V_1 = 0,75 \frac{\omega^{0,8} D'^{0,4}}{B^{0,4}} \left( 1 - \frac{0,9}{B^{0,92} \omega^{0,42} D^{1,43}} \right)^{0,4}, \quad (8)$$

$B = 0,09 r_K^{0,35} v^{0,25} n_K^{0,8} Q_H^{-0,8}$  – для канавок в форме параболы,

где  $\omega$  – угловая скорость дефлектора,  $c^{-1}$ ;  $D'$  – диаметр дефлектора;  $r_K$  – радиус канавки;  $n_K$  – число канавок на дефлекторе;  $v$  – кинематический коэффициент вязкости,  $m^2/c$ .

Увеличение расхода жидкости при прочих равных условиях ведет к увеличению радиальной скорости схода потока, а соответственно радиусу захвата дождем. Наибольшую скорость приобретает вода при выходе с вращающегося дефлектора, имеющего радиус канавок 3-5 мм при расходе более 2 л/с и мелкие канавки 1,5-2,5мм, занимающие площадь всего дефлектора при меньшем расходе.

#### Теоретические основы проектирования водопроводящего трубопровода ДМ кругового действия

Совершенствование конструкции дождевальной машины напрямую связано с оптимизацией водопроводящего пояса, тщательно подобранные параметры которого позволят значительно уменьшить материалоемкость и стоимость самой машины, повысить эффективность работы, оптимизировать режимы полива, снизить интенсивность водоподдачи.

Дождевальная машина кругового действия обеспечивает выдачу поливной нормы  $m_D$ , согласно выражению,  $m^3/га$ :

$$\frac{m_{\Pi}}{10} \equiv h_{\text{ос}}, \quad (9)$$

$h_{\text{ос}}$  – слой осадков, мм.

При равномерном распределении отводов по длине трубопровода расчетная площадь орошения составит:

$$S_0 = \pi \left( L_M^2 - \frac{L_{\text{от}}^2}{4} \right) \cdot 10^{-4}, \text{ га}, \quad (10)$$

где  $L_M$  – длина дождевальной машины, м;  $L_{\text{от}}$  – расстояние между водоотводами под дождеобразующие устройства, м.

Необходимый расход дождевальной машины:

$$Q_M = \frac{10h_{\text{ос}}}{3,6 \cdot 24T_0} S_0, \text{ л/с}, \quad (11)$$

где  $T_0$  – время работы дождевальной машины, сут.

Количество водоотводов под дождеобразующие устройства на трубопроводе, который в общем случае может быть переменного сечения, определяется как:

$$N = \text{INT} \left( \frac{L_M}{L_{\text{от}}} \right). \quad (12)$$

Каждый из водоотводов должен обеспечивать выдачу поливной нормы  $h_{\text{ос}}$  для соответствующего поливаемого кольца площадью:

$$S_i = 2\pi L_{\text{от}}^2 i, \text{ м}^2; \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (13)$$

Тогда расход каждого водоотвода находится из выражения:

$$Q_i = \frac{h_{\text{ос}}}{24 \cdot 3600T_0} S_i, \text{ л/с}; \quad (14)$$

Соответственно, для расходов по участкам между отводами:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{ТР}}^{(1)} &= Q_0 \\ Q_{\text{ТР}}^{(i)} &= Q_{\text{ТР}}^{(i-1)} - Q_{i-1}, \quad i = 2, 3, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Зная внутренний диаметр  $d_{\text{вн}}$  трубопровода, можно определить средние скорости движения воды на каждом участке трубопровода:

$$V_i = Q_{\text{ТР}}^{(i)} / \omega / 1000, \text{ м/с}, \quad (16)$$

где  $\omega = \pi d_{\text{вн}}^2 / 4$ .

При выполнении условия  $\frac{L_{\text{от}}}{d_{\text{вн}}}, \frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{отв}}} > 7 \dots 10$ , где  $d_{\text{вн}}^{\text{отв}}$  – внутренний диаметр

водоотвода, потерями напора на «смешение масс» и перепадом восстановления напора можно пренебречь и вычислять потери напора между отводами по формулам равномерного движения.

Для определения потерь напора на участках трубопровода между водоотводами для новых стальных труб можно пользоваться формулой Ф.А. Шевелева:

$$\left. \begin{aligned} h_1^{(i)} &= \theta_i A Q_i^2 L_{от}; \quad A = \frac{0,001478}{d^{5,226}}; \\ \theta_i &= 0,889 \left( 1 + \frac{0,684}{V_i} \right)^{0,226}; \quad i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$d$  – диаметр трубопровода.

Местные потери напора в трубопроводе учитываются увеличением на 5% потерь напора по длине:

$$h_{тр}^{(i)} = 1,05 h_1^{(i)}. \quad (18)$$

Тогда общие потери напора в трубопроводе:

$$h_{тр} = \sum_{i=1}^N h_{тр}^{(i)}. \quad (19)$$

Зная геодезический напор и задавая свободный напор на последнем водоотводе, можно определить потребный напор на гидранте дождевальной машины. На основании данной математической модели была разработана программа на языке программирования QBASIC (Приложение), оптимизирован водопроводящий трубопровод электрифицированных дождевальных машин кругового действия «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД», спроектирован номенклатурный ряд дождеобразующих устройств и внедрен в производство (г. Саратов, ООО «Мелиоративные машины», ООО «ЛандшафтСтройСервис», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ).

На рис. 3,4 представлен пример моделирования работы водопроводящего пояса дождевальной машины длиной 500 м с диаметром трубопровода 159 мм, (толщина стенки 3 мм) заданной поливной нормой 400 м<sup>3</sup>/га. Время полива 7 суток. Средняя скорость последней тележки 0,31 м/с. В результате расчета получено: необходимый расход дождевальной машины  $Q_M = 51,84$  л/с, суммарные потери напора в водопроводящем тракте составляют  $\Sigma h_{тр} = 19,16$  м, а потребный напор на гидранте дождевальной машины  $H_{потр} = 24,66$  м.

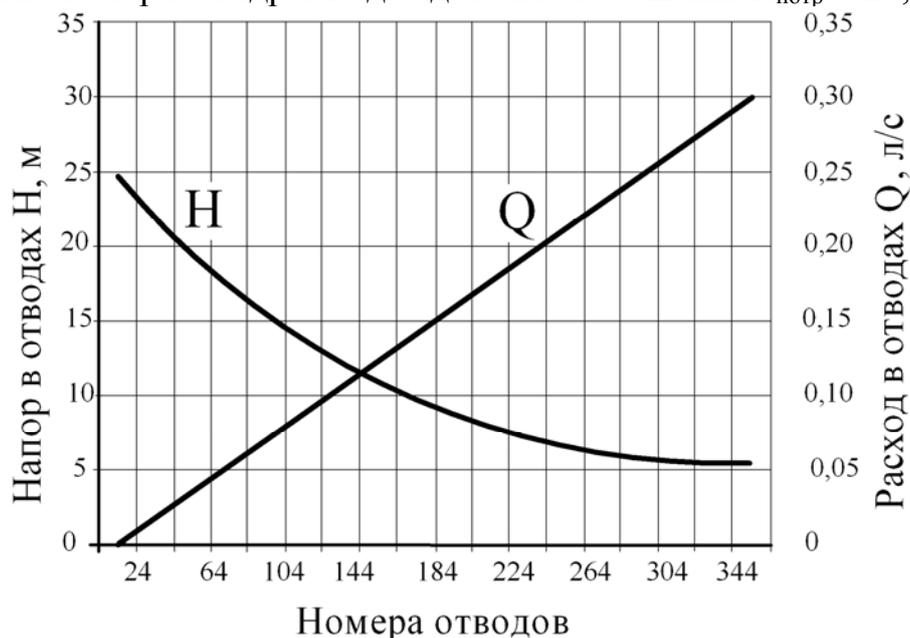


Рисунок 3 – Напор и расход в отводах трубопровода

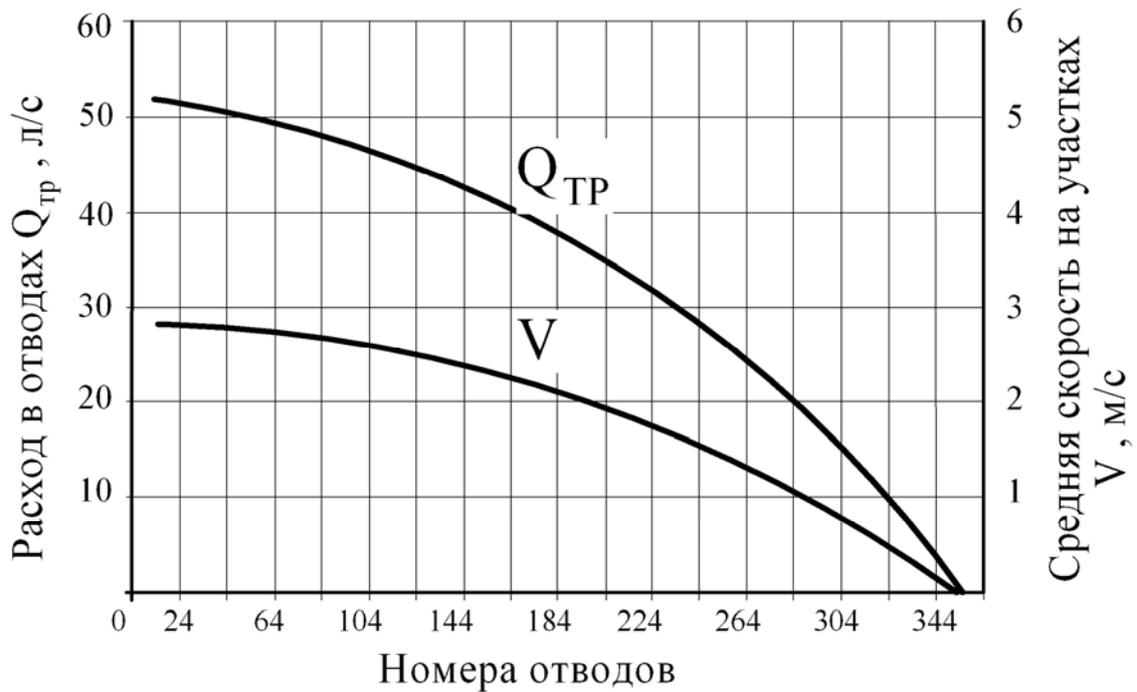


Рисунок 4 – Расход и средняя скорость потока воды на участках трубопровода

Снижение материальных ресурсов при проектировании широкозахватных ДМ кругового действия

Одним из путей экономии материальных ресурсов является оптимизация конструкций дождевальных машин, которая проявляется в снижении их металлоемкости.

Металлоемкость дождевальных машин, т/га:

$$M = \sum m_M / S_0, \quad (20)$$

где  $\sum m_M$  – масса машины, т;  $S_0$  – площадь полива, га.

Общая масса машины складывается из составляющих: массы основной опоры  $m_{оп}$ , масс опорных тележек  $m_T$ , участков водопроводящего трубопровода между опорными тележками с элементами ферменной системы  $m_{ВТ}$  и массы консоли (при наличии)  $m_K$ .

$$\sum m_M = m_{оп} + n_T m_T + m_{ВТ} + m_K, \quad (21)$$

где  $n_T$  – количество тележек.

Количество опорных тележек можно выразить как

$$n_T = \text{INT} \left( \frac{L_M - \ell_{кон}}{\ell_{пр}} \right), \quad (22)$$

где  $\ell_{кон}$  – длина консоли, м;  $\ell_{пр}$  – длина пролета, м.

Массу водопроводящего трубопровода с элементами ферменной системы (угольники, система шпренгелей, крепления) можно выразить как:

$$m_{ВТ} = m_{1ВТ} (L_M - \ell_{кон}), \quad (23)$$

$m_{1ВТ}$  – масса метра водопроводящего трубопровода с средней массой, приходящихся на него элементов ферменной системы:

$$\sum m_M = m_{оп} + \left( \frac{L_M - \ell_{кон}}{\ell_{пр}} \right) m_T + m_{1ВТ} L_M + m_K, \quad (24)$$

Очевидными путями снижения металлоемкости машины являются:

1. Увеличение пролетов между опорными тележками.

2. Уменьшение массы машины за счет оптимизации ферменной конструкции и применения трубопровода с переменным диаметром труб по длине машины.

С увеличением площади полива, охватываемой одной дождевальными машиной, металлоемкость снижается. Также хорошо заметно снижение металлоемкости при увеличении длины пролетов с 48,7 до 59,5 и 65,2 м (рис.5).

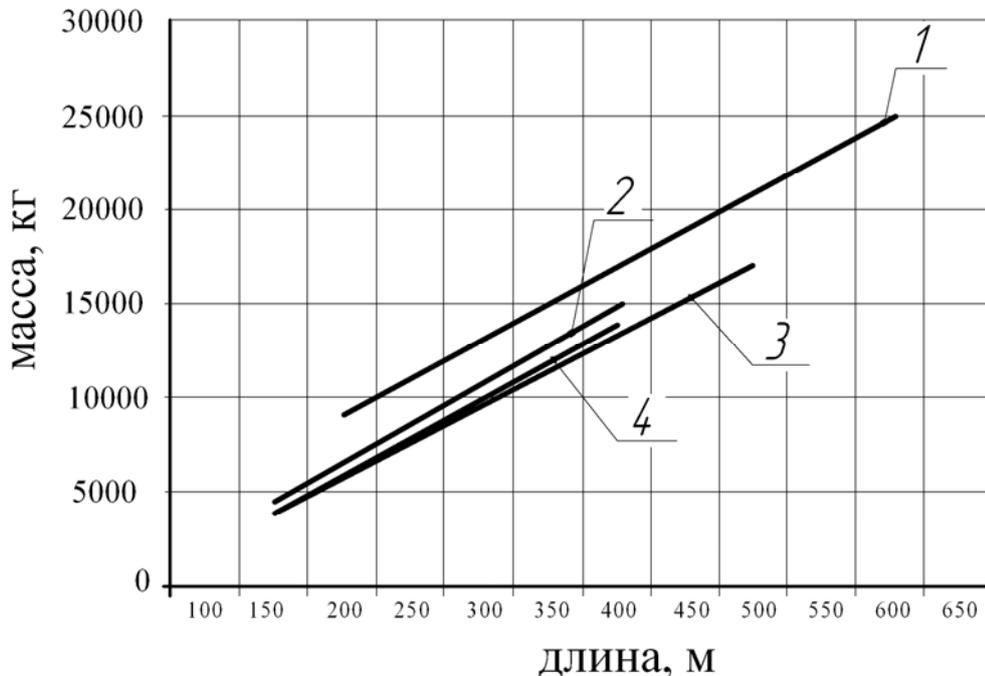


Рисунок 5 – Зависимость массы ДМ «Кубань» и «КАСКАД» от длины  
 1 – «Кубань-ЛК1» (пролет 48,7 м); 2 – МДЭК «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (пролет 48,7 м); 3 – ДМ «КАСКАД» (пролет 59,5 м); 4 – ДМ «КАСКАД» (пролет 65,25 м).

Длина пролетов ограничивается следующими факторами: прочностью ферменной конструкции, массой, оказывающей влияние на глубину колеи и условиями эксплуатации, т.е. рельефом, характеристиками почв. Для работы с высокостебельными культурами минимальное расстояние от поверхности земли до нижнего пояса металлоконструкции ДМ «КАСКАД» должно составлять 2,8-2,9 м. При эксплуатации на уклонах более 0,08 необходимо использовать модификации с увеличенной колесной базой и пролетами длиной 48,7 м.

Масса ферменной конструкции зависит от типа поперечного сечения, числа и размеров элементов (угольников). В настоящее время для ДМ типа «Кубань» и «КАСКАД» используются два типа ферм:

Ферма типа 1, применяемая на ДМ «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48,7 м в поперечном сечении представляет собой равнобедренный треугольник с разными длинами стоек и раскосов.

Ферма 2 типа, усовершенствованный вариант, установлена на ДМ «КАСКАД» с пролетами 59,5 м и 65,2 м, в поперечном сечении также представляет собой равнобедренный треугольник с равновеликими тягами и раскосами и креплением в одной точке.

Для оценки совершенства системы ферменного пояса был введен коэффициент металлоемкости фермы:

$$K_{\text{ФП}} = \frac{\sum P_{\text{уг}}}{\ell_{\text{ПР}}}, \quad (25)$$

где  $\sum P_{\text{уг}}$  – общий периметр угольников фермы на пролет, м.

Для оценки ферм с использованием разных профилей проката был введен показатель, характеризующий массу угольников ферменного пояса – коэффициент массы угольников:

$$K_{\text{УГ}} = \frac{\sum m_{\text{уг}}}{\ell_{\text{ПР}}}, \quad (26)$$

где  $\sum m_{\text{уг}}$  - общая масса угольников на пролет, м.

Оптимизация ферменной конструкции позволяет при незначительном увеличении массы на 5,8-15,1% увеличить длину пролета на 22,1-33,8% (табл. 1).

Рекомендуемые соотношения применяемых на ДМ диаметров трубопроводов, длин машины и норм полива представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики ферменной конструкции ДМ

Тип ДМ	«Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» «КАСКАД»	«КАСКАД»	
	Длина пролета, м	48,7	59,5
Масса угольников на пролет, кг	198,12	209,74	228,21
Периметр угольников на пролет, м	58,79	62,24	67,72
Коэффициент металлоемкости фермы	1,2	1,04	1,04
Коэффициент массы угольников	4,0	3,5	3,5
Процент увеличения длины пролета, %	0	22,1	33,8
Процент увеличения массы угольников на пролет, %	0	5,8	15,1
Увеличение площади полива, м <sup>2</sup>	0	3669,3	5921,7
Процент увеличения площади полива, %	0	49,2	79,51

Таблица 2 – Рекомендуемые соотношения параметров для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД»

Характеристики трубопровода		Характеристики ДМ	
Диаметр трубопровода, мм	Максимальный расход, л/с	Длина ДМ, м	Норма полива за проход, м <sup>3</sup> /га
Ø89	18,9	Для консолей либо при снижении диаметра в конце трубопровода машины	<200
Ø108	28,5		200-300
Ø114	32,0		200-350
Ø133	44,3	До 290	300-450
Ø159	64,3	290-520	300-450
Ø168	72,1	520	400-650
Ø203	106,6	520	500-700
Ø219	124,7	Более 520	500-800

### Повышение эффективности использования земельных ресурсов

В процессе полива при движении дождевальными машинами по полю создается колея. Ширина образующейся колеи  $B_K$  зависит от диаметра опорных колес  $D_K$ , ширины обода  $b_K$ , глубины погружения колеса в грунт  $H''$ , расстояния от неподвижной опоры  $R_{iM}$  и может быть записана с учетом несущей способности почвы:

$$B_K = \left\{ \left( R_{iM} + \frac{b_K}{2} \right)^2 + \frac{1,2Q_K}{\left[ P_{ДП} - (1,4m_{дост}^{0,65} + 8 \cdot 1,01m_{ст}) \right] b_K \sqrt{D_K}} \times \right. \quad (27)$$

$$\left. \times \left( D_K - \frac{1,2Q_K}{\left[ P_{ДП} - (1,4m_{дост}^{0,65} + 8 \cdot 1,01m_{ст}) \right] b_K \sqrt{D_K}} \right) \right\}^{0,5} - \left( R_{iM} - \frac{b_K}{2} \right),$$

Глубина колеи:

$$H'' = \frac{1,2Q_K}{\left[ P_{ДП} - (1,4m_{дост}^{0,65} + 8 \cdot 1,01m_{ст}) \right] b_K \sqrt{D_K}}, \quad (28)$$

где:  $Q_K$  – нагрузка на колесо, кН;  $P_{ДП}$  – несущая способность почвы, МПа;  $m_{дост}$  – досточная норма, м<sup>3</sup>/га;  $m_{ст}$  – величина стока, м<sup>3</sup>/га.

Теоретические зависимости глубины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» представлены на рис. 6.

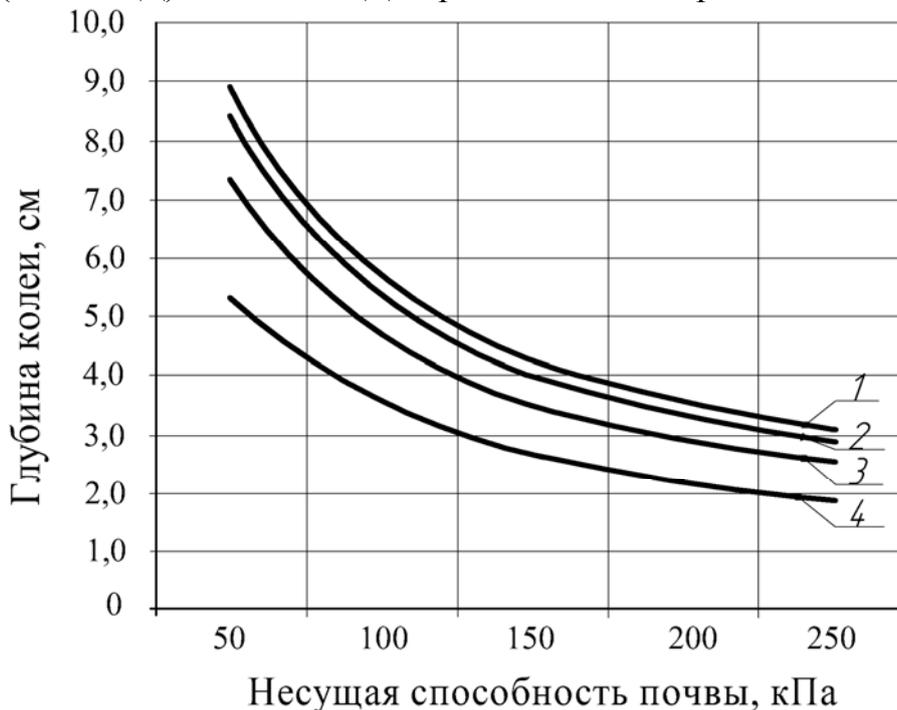


Рисунок 6 – Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для первой опоры (шины 14,9-24, трубопровод 159 мм):  
 1 – пролет 65 м;  
 2 – пролет 59,5 м;  
 3 – пролет 48,7 м;  
 4 – пролет 30 м.

Рассматривая зависимость величины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов, можно сделать вывод о возможности увеличения пролета до 65 м, при которых величина колеи не превышает нормативных значений.

Для почв с низкой несущей способностью и машин с длиной пролетов более 59 м рационально применение колес с шинами не менее 16,9-24, а при уменьшении несущей способности – устанавливать шины 18,4-26.

Уплотняемую колесами машин площадь поля можно определить выражением:

$$S_{\Pi} = \pi \ell_{\Pi} n_T B_K (1 + n_T), \quad (29)$$

где  $n_T$  – количество опорных тележек;  $\ell_{\Pi}$  – длина пролета, м.

Уплотняемая колесами машин площадь зависит от количества тележек и ширины колеи. При увеличении длины пролета количество тележек сокращается, уменьшается уплотняемая площадь.

При длине машины 500 м и использования пролетов длиной 48,7 м ходовая система будет представлять собой 10 тележек. При длине пролетов 59,5 м – 8 тележек. При длине пролетов 65,2 м – 7 тележек.

Для ДМ с пролетами 48,7 м (шины 18,4-26) площадь уплотнения составляет 8410,45 м<sup>2</sup>, в то время как при 59,5 м – 6725,8 м<sup>2</sup> и при 65,2 м – 5732,35 м<sup>2</sup>, что соответственно меньше на 20 и 31,8%.

Снижение трудовых ресурсов возможно при увеличении производительности, автоматизации системы управления, позволяющей уменьшить численность обслуживающего персонала и простой дождевальной техники.

Важным требованием к автоматической системе управления является смена режима полива при прохождении круга, возможность задания точек изменения скорости по окружности в зависимости от заданных координат или угла сектора, а также возможность реверса. Это позволит проводить полив с разными поливными нормами на одном поливном участке, т.е. при выращивании разных культур, исключить орошение на секторах круга, не требующих полива, при применении технологии полива в несколько приемов.

Скорость движения машины  $V_{\text{по}}$ , м/с, по каждому сектору можно определить:

$$V_{\text{по}} = \frac{\pi R_M}{1800 n_{\text{уч}} T_{\text{пол}}}, \quad (30)$$

где  $R_M$  – радиус полива (длина машины), м;  $n_{\text{уч}}$  – количество участков.

Время полива каждого участка  $T_{\text{пол}}$ , ч:

$$T_{\text{пол}} = \frac{S_0 m_{\Pi}}{Q_M}, \quad (31)$$

Необходимая поливная норма, выдаваемая на секторе полива, м<sup>3</sup>/га:

$$m_{\text{уч}} = \frac{360 Q_M T_{\text{пол}}}{\pi R_M^2 \alpha_{\text{пол}}}, \quad (32)$$

где  $\alpha_{\text{пол}}$  – угол сектора полива, град;  $m_{\Pi}$  – поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $S_0$  – площадь полива дождевальной машиной, га;  $Q_M$  – расход дождевальной машины, м<sup>3</sup>/ч.

Норму полива за проход машины можно представить в виде:

$$m_{\Pi} = \frac{600 Q_M}{R_M} \left( \frac{t_{\text{СТ}}}{b_M} + \frac{1}{V_{\text{СР}}} \right). \quad (33)$$

$t_{\text{СТ}}$  – время стоянки дождевальной машины, мин;  $b_M$  – ширина захвата дождем машины, м;  $V_{\text{СР}}$  – средняя скорость движения опорной тележки, м/мин.

При расчете следует принимать фактическую скорость движения машины с учетом пробуксовывания, что требует корректировки скорости и уточнения режима работы с учетом экспериментальных исследований.

**В третьей главе «Программа и методики проведения лабораторных и полевых исследований»** приводятся программы и методики: лабораторных исследований характеристик дождевателей; гидравлических параметров потока в водопроводящих трубопроводах; полевых исследований качественных показателей полива модернизированных и новых образцов ДМ кругового действия, оборудованных разработанными низконапорными дождевателями; полевые исследования несущих свойств почвы при поливе; полевые исследования характеристик работы новых образцов ДМ кругового действия в зависимости от их конструктивного исполнения; полевые испытания новых образцов ДМ кругового действия для оптимизации режимов работы и разработки рекомендаций.

Для проведения исследований были изготовлены низконапорные дождеватели двух типов: тип 1 – из оцинкованной стали, тип 2 – из полиамида следующих исполнений: 1– с гладким статическим дефлектором; 2 – со статическим дефлектором с канавками треугольной формы (шириной от 1,5 до 5 мм); 3 – со статическим дефлектором с канавками полукруглой формы (шириной канавок от 2 до 5 мм и глубиной от 2 до 6 мм); 4 – с вращающимся дефлектором и треугольными канавками (шириной канавок от 1,5 до 5 мм и глубиной от 2 до 6 мм); 5 – с вращающимся дефлектором и полукруглыми канавками (шириной от 2 до 5 мм и глубиной от 2 до 6 мм); 6 – каскадные (рис. 7).

Для исследований ресурсосберегающих технологий полива ДМ кругового действия были оснащены по следующим схемам расстановки дождевателей:

1. Установка через 5 и 6 м на 25 и 30-метровых пролетах для машин марки «Фрегат» ДМУ-Б 463-90 дождевателей типа 1.

2. Установка через 3,5 м на ДМ «Кубань-ЛК1» модели 212 дождевателей типа 1.

3. Установка через 3,5 м на ДМ «КАСКАД» модели 497-90 дождевателей типа 2 исполнения 2.

4. Установка через 3,5 м на ДМ «КАСКАД» модели 497-90 дождевателей типа 2 исполнения 1 до 1/2 длины водопроводящего пояса и исполнения 5 с 1/2 длины водопроводящего пояса.

5. Установка через 4,5 м на ДМ «КАСКАД» длиной 434 м через 4,5 м дождевателей типа 2 исполнения 2 до 2/3 и исполнения 6 с 2/3 длины водопроводящего пояса.

6. Установка через 3,5 м на ДМ «Кубань-ЛК1М» «КАСКАД» длиной 441,5 дождевателей типа 1 исполнения 1.

Лабораторные исследования проводились в лабораториях кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», а также в УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Полевые исследования проводились на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с.

Степное Энгельсского района Саратовской области), УНПК «Агроцентр»; ООО «Наше дело» (Саратовская область Марксовский район).



Рисунок 7 –  
Низконапорные  
дождеватели

Также были проведены Приемочные испытания ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция» (г. Кинель, Самарская обл.) и сертификационные испытания Испытательным Центром «Поволжский Агротех Тест Центр (г. Кинель).

Основные технические характеристики новых образцов ДМ представлены в таблице 3.

Таблица 3– Основные технические характеристики машин

Наименование показателей	Показатель	
	2	3
1	2	3
Условное наименование	«Кубань ЛК1М» (КАСКАД)	«КАСКАД»
Скорость движения последней тележки, м/мин	0,1 –1,8	
Расстояние до нижнего пояса металлоконструкции, м	2,7	2,8-2,9

1	2	3
Тип водопроводящего трубопровода	Секционный, ферменной конструкции	
Диаметры водопроводящего трубопровода, мм	159	219; 203; 168, 159; 133
Диаметры труб консоли, мм	133	133; 114; 108; 89
Длины пролетов, м	48,7	48,7; 53,7; 59,5; 65,25
Диаметры стояка неподвижной опоры, мм	168, 203	168; 203; 219; 244,5; 273
Колесная база	3700	3700; 4200
Колеса самоходных тележек:	пневматические, камерные по два колеса на каждой тележке	
Мотор-редукторы	УМС	
Колесные редукторы самоходных тележек, тип	червячные	
Расположение органов оперативного управления	– щит управления на неподвижной опоре; – дистанционный пульт управления	
Норма полива за проход, м <sup>3</sup> /га	95-600	

В четвертой главе «*Результаты экспериментальных исследований*» представлены качественные показатели полива разработанных низконапорных дождевателей, новых образцов ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), «КАСКАД», а также ДМ «Кубань-ЛК1» и «Фрегат» оборудованных низконапорными дождевателями.

#### Результаты исследований низконапорных дождевателей

Установлено, что при увеличении диаметра сопла с 3 до 15 мм и давления с 0,1 до 0,35 МПа, расход воды увеличивается с 0,1 до 4,5 л/с соответственно. Характеристика расход-давление дождевателей показана на графике (рис. 8).

Радиус захвата дождем зависит в основном от таких показателей как диаметр сопла, давление перед дождевателем, высота установки дождевателя над поверхностью поля. Максимальный радиус захвата дождем при изменении диаметра сопла от 3 до 15 мм при напоре 0,3 МПа составляет 4,5 – 13 м (рис.9).

При сравнении радиуса полива дождевателей со стационарным дефлектором и разными по размеру и форме канавками можно сделать вывод, что наибольший радиус полива обеспечивается дождевателями 2 и 3 типа с канавками 3-5 мм шириной и глубиной. Форма канавок при равной площади поперечного сечения и одинаковых остальных параметрах незначительно влияет на характеристики.

Анализ опытов для всех типов дождевателей показывает, что повышение давления способствует увеличению дальности полета струи. С увеличением давления радиус захвата дождем дождевателей с вращающимся дефлектором увеличивается в большей степени, нежели у дождевателей со статическим дефлектором.

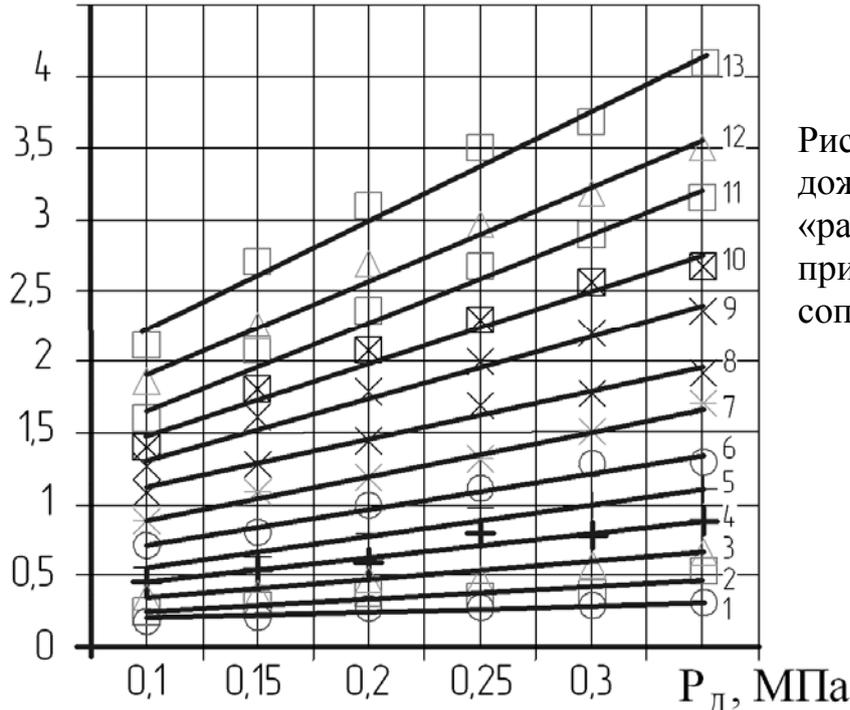
$Q_H, \text{ л/с}$ 

Рисунок 8—Характеристика  
дождевателей  
«расход—давление»  
при различных диаметрах  
сопла

- 1 – Ø3 мм,  $Q_H = 0,485 P_D + 0,159$ ,  $R^2 = 0,914$ ; 2 – Ø4 мм,  $Q_H = 0,891 P_D + 0,176$ ,  $R^2 = 0,911$ ;  
 3 – Ø5 мм,  $Q_H = 1,24 P_D + 0,232$ ,  $R^2 = 0,976$ ; 4 – Ø6 мм,  $Q_H = 1,737 P_D + 0,292$ ,  $R^2 = 0,957$ ;  
 5 – Ø7 мм,  $Q_H = 2,217 P_D + 0,354$ ,  $R^2 = 0,967$ ; 6 – Ø8 мм,  $Q_H = 2,514 P_D + 0,474$ ,  $R^2 = 0,973$ ;  
 7 – Ø9 мм,  $Q_H = 3,16 P_D + 0,57$ ,  $R^2 = 0,99$ ; 8 – Ø10 мм,  $Q_H = 3,382 P_D + 0,785$ ,  $R^2 = 0,981$ ;  
 9 – Ø11 мм,  $Q_H = 4,314 P_D + 0,904$ ,  $R^2 = 0,988$ ; 10 – Ø12 мм,  $Q_H = 5,085 P_D + 0,992$ ,  $R^2 = 0,975$ ;  
 11 – Ø13 мм,  $Q_H = 5,92 P_D + 1,134$ ,  $R^2 = 0,982$ ; 12 – Ø14 мм,  $Q_H = 6,308 P_D + 1,353$ ,  $R^2 = 0,984$ ;  
 13 – Ø15 мм,  $Q_H = 7,6 P_D + 1,493$ ,  $R^2 = 0,98$ .

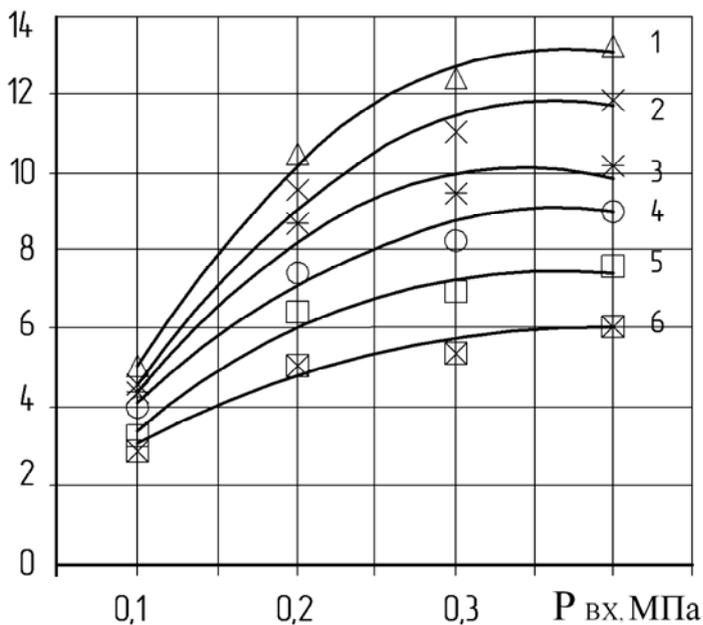
 $R', \text{ м}$ 

Рисунок 9 – Зависимость  
радиуса захвата дождем от давления  
перед дождевателем  
Типа 1, исполнения 1:  
 1 – Ø8 мм,  $R' = -120 P_{ВХ}^2 + 86,6 P_{ВХ} - 2,35$ ,  $R^2 = 0,994$ ; 2 – Ø7 мм,  
 $R' = -107 P_{ВХ}^2 + 77,45 P_{ВХ} - 2,125$ ,  $R^2 = 0,987$ ;  
 3 – Ø6 мм,  
 $R' = -97,5 P_{ВХ}^2 + 67,25 P_{ВХ} - 1,375$ ,  $R^2 = 0,971$ ;  
 4 – Ø5 мм,  
 $R' = -70 P_{ВХ}^2 + 51,2 P_{ВХ} - 0,3$ ,  $R^2 = 0,981$ ; 5 –  
 Ø4 мм,  
 $R' = -65 P_{ВХ}^2 + 44,75 P_{ВХ} - 0,425$ ,  $R^2 = 0,971$ ;  
 6 – Ø3 мм,  
 $R' = -37,5 P_{ВХ}^2 + 28,45 P_{ВХ} + 0,625$ ,  
 $R^2 = 0,966$ . Высота установки 2,5 м.

Средняя интенсивность  $\rho_{ср}$  дождя изменяется в границах от 0,08 до 1,2 мм/мин.

Анализ полученных результатов показывает, что при малых расходах до 0,5 л/с дождеватели с гладким дефлектором занимают промежуточное положение. Меньшая средняя и мгновенная интенсивность соответствует дождевателям 2 и 3 исполнения со статическим дефлектором с канавками 1,5-3 мм. При больших расходах дождеватели, имеющие вращающиеся дефлекторы, обеспечивают меньшее значение интенсивности, нежели дождеватели со статическими дефлекторами (рис. 10).

$\rho_{\text{ср}}, \rho_{\text{мг}}, \text{мм/мин}$

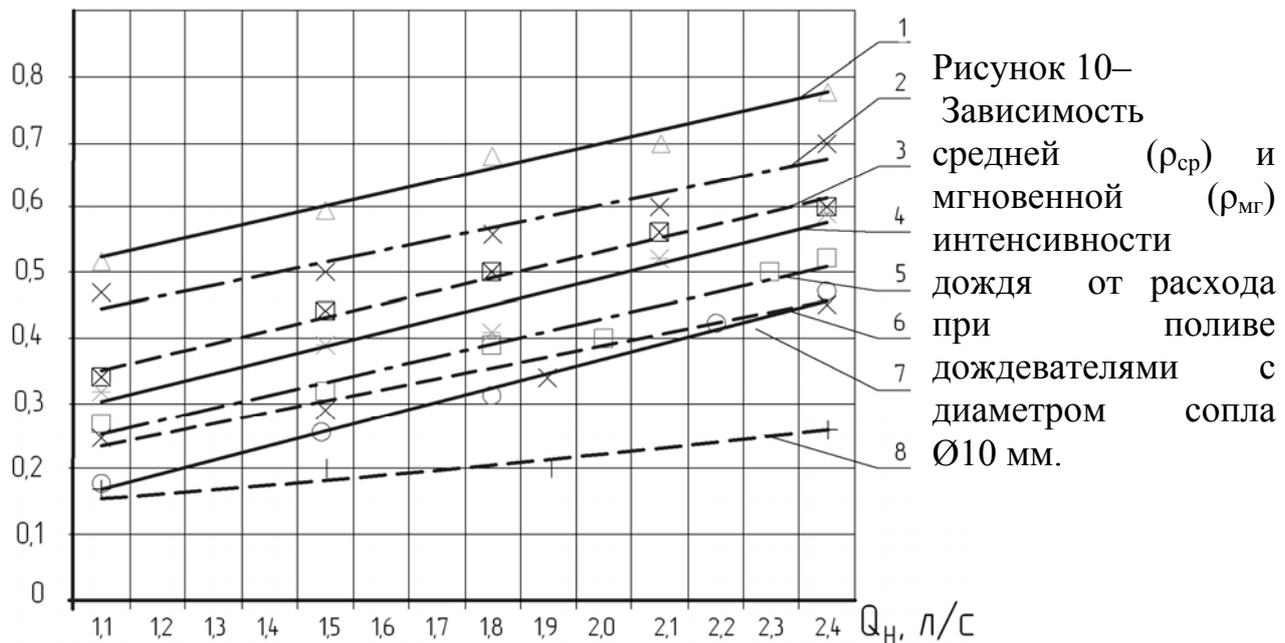


Рисунок 10—  
Зависимость  
средней ( $\rho_{\text{ср}}$ ) и  
мгновенной ( $\rho_{\text{мг}}$ )  
интенсивности  
дождя от расхода  
при поливе  
дождевателями с  
диаметром сопла  
 $\text{Ø}10 \text{ мм}$ .

1 –  $\rho_{\text{ср}} = 0,194 Q_{\text{н}} + 0,310$ ,  $R^2 = 0,980$  (исполнение 2 и 3, канавки 3 мм); 2 –  $\rho_{\text{ср}} = 0,172 Q_{\text{н}} + 0,258$ ,  $R^2 = 0,937$  (исполнение 1); 3 –  $\rho_{\text{ср}} = 0,201 Q_{\text{н}} + 0,129$ ,  $R^2 = 0,988$  (исполнение 4 и 5 канавки 5-6 мм); 4 –  $\rho_{\text{мг}} = 0,207 Q_{\text{н}} + 0,076$ ,  $R^2 = 0,954$  (исполнение 2 и 3, канавки 3 мм); 5 –  $\rho_{\text{мг}} = 0,195 Q_{\text{н}} + 0,039$ ,  $R^2 = 0,967$  (исполнение 1); 6 –  $\rho_{\text{мг}} = 0,152 Q_{\text{н}} + 0,068$ ,  $R^2 = 0,963$  (исполнение 4 и 5, канавки 5 – 6 мм); 7 –  $\rho_{\text{ср}} = 0,238 Q_{\text{н}} - 0,118$ ,  $R^2 = 0,829$  (исполнение 4 и 5, канавки 3 мм); 8 –  $\rho_{\text{мг}} = 0,060 Q_{\text{н}} + 0,109$ ,  $R^2 = 0,983$  (исполнение 4 и 5, канавки 3 мм)

При помощи каскадных (двойных) дефлекторов можно распределять значительные расходы воды в нормативных границах интенсивности, обеспечивая мягкий режим орошения. Конструкция с двумя дефлекторами снижает интенсивность орошения на 10-15% по сравнению с конструкцией с одним дефлектором при одинаковом расходе воды.

При рассмотрении распределения нормированного слоя дождя ( $h_i/h_{\text{ср}}$ ) по радиусу захвата дождевателем в зависимости от диаметра сопла, можно заметить, что с увеличением давления распределение слоя дождя вдоль радиуса захвата становится более равномерное для всех типов дождевателей (рис. 11). При этом принцип распределения слоя дождя не зависит от диаметра сопла.

У дождевателей с вращающимся дефлектором струя лучше распадается на капли и равномерно распределяется вдоль радиуса (рис.12).

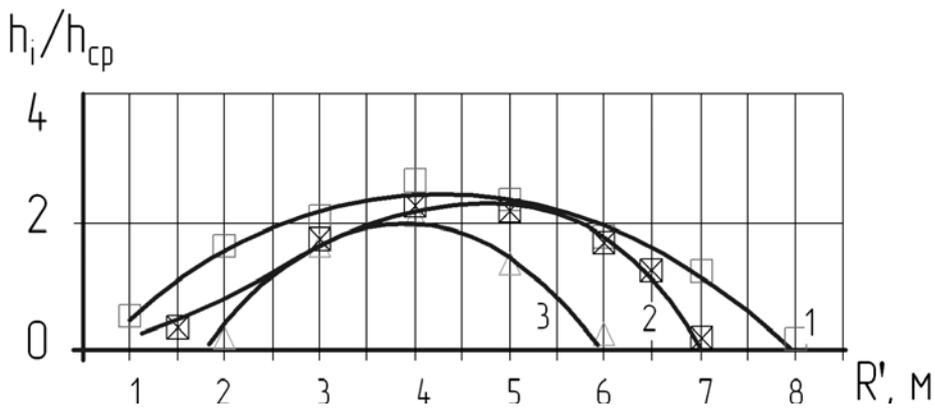


Рисунок 11 –  
Распределение  
слоя дождя  
вдоль радиуса  
полива при  
диаметре сопла  
 $\varnothing 5$  мм,  
исполнение 2 и 3

- 1 –  $P_{BX}=0,18$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,173R'^2 + 1,495R' - 0,821$ ,  $R^2=0,963$ ;  
 2 –  $P_{BX}=0,12$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,225R'^2 + 1,847R' - 1,504$ ,  $R^2=0,911$ ;  
 3 –  $P_{BX}=0,06$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,304R'^2 + 2,169R' - 1,79$ ,  $R^2=0,92$

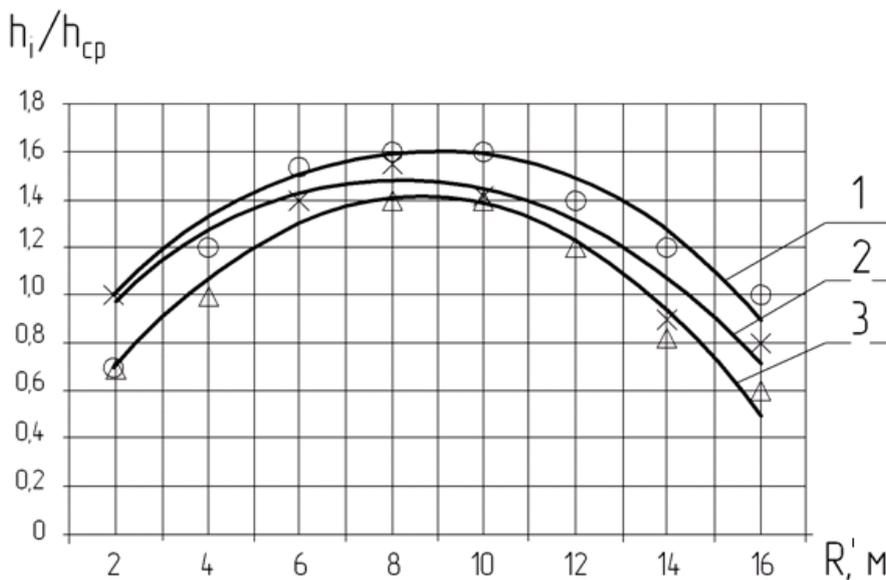


Рисунок 12 –  
Распределение слоя  
дождя вдоль  
радиуса при  
диаметре сопла 12  
мм и давлении  
0,22 МПа

- 1 –  $h_i/h_{cp} = -0,015R'^2 + 0,291R' + 0,25$ ,  $R^2=0,948$  (исполнение 5, канавки 6 мм);  
 2 –  $h_i/h_{cp} = -0,012R'^2 + 0,209R' + 0,611$ ,  $R^2=0,904$  (исполнение 4, канавки 5 мм);  
 3 – каскадного  $h_i/h_{cp} = -0,016R'^2 + 0,280R' + 0,213$ ,  $R^2=0,941$  (исполнение 6)

У каскадных дождевателей обеспечивается достаточно высокая равномерность распределения дождя. Формами и размерами дефлекторов и формой канавок подбираются характеристики распределения дождя вдоль радиуса полива.

Средний диаметр каплей дождя растет с увеличением относительного радиуса полета каплей  $R_i/R$ , диаметра сопла и с уменьшением давления для всех типов дождевателей. С повышением давления перед дождевателем с вращающимся дефлектором диаметр каплей уменьшается (рис.13-14).

Проведенные исследования различных типов дождевателей позволили сделать вывод, что во второй половине трубопровода для снижения мгновенной интенсивности дождя эффективно использовать дождеватели с вращающимся дефлектором или каскадные при больших расходах.

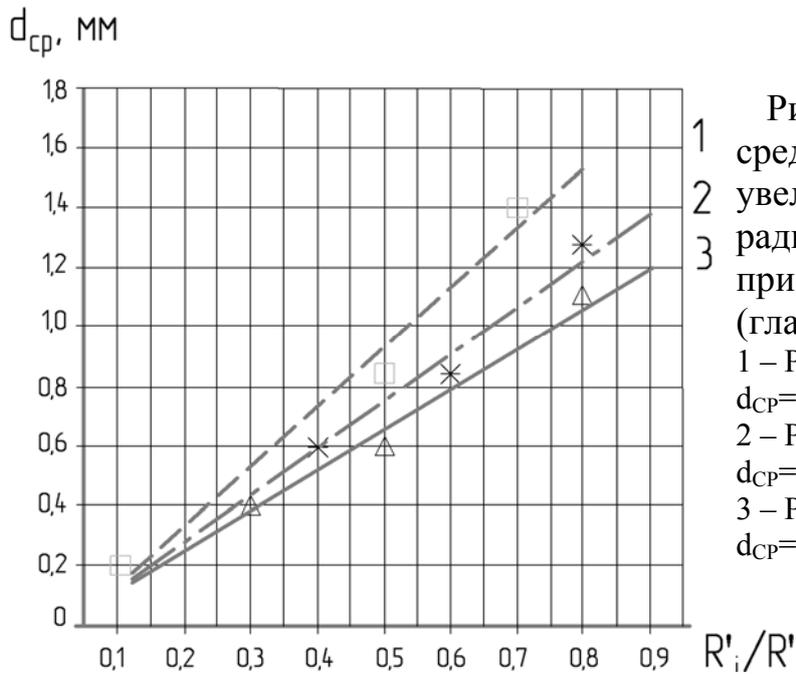


Рисунок 13 – Изменение среднего диаметра капель с увеличением относительного радиуса полета капель  $R'_i/R'$  при диаметре сопла  $\varnothing 6$  мм (гладкий дефлектор)

1 –  $P_{BX}=0,08$  МПа,  
 $d_{CP}= 2,0R'_i/R' - 0,06$ ,  $R^2=0,957$ ;  
 2 –  $P_{BX}=0,14$  МПа,  
 $d_{CP}= 1,621R'_i/R' - 0,034$ ,  $R^2=0,969$ ;  
 3 –  $P_{BX}=0,3$  МПа,  
 $d_{CP}= 1,453R'_i/R' - 0,032$ ,  $R^2=0,978$ .

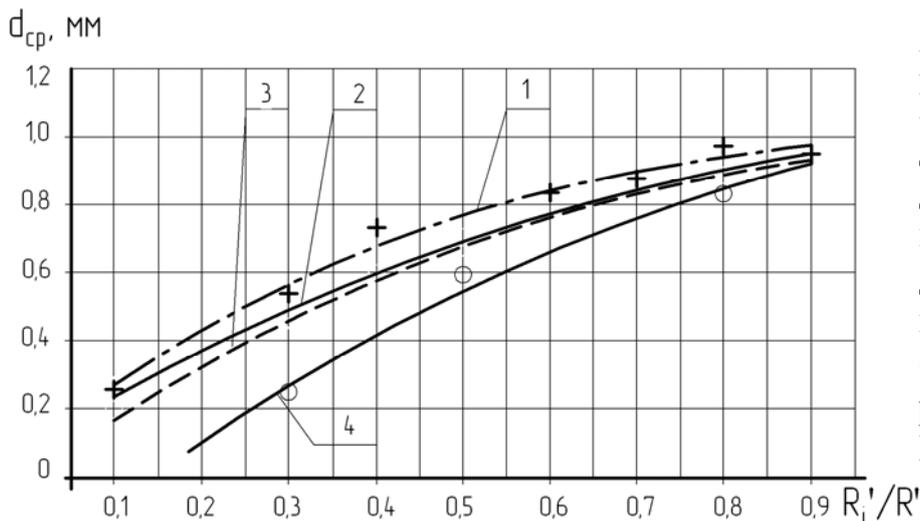


Рисунок 14 – Изменение среднего диаметра капель дождевателя с вращающимся дефлектором с изменением относительного радиуса полета капель  $R'_i/R'$ :

1 –  $d_{CP} = -1,383(R'_i/R')^2 + 2,27(R'_i/R') - 0,01$ ,  $R^2 = 0,910$  (исполнение 4, канавки 2 мм,  $P_{BX} = 0,28$  МПа); 2 –  $d_{CP} = -0,619(R'_i/R')^2 + 1,519 R'_i/R' + 0,088$ ,  $R^2 = 0,905$  (исполнение 4; канавки 2 мм,  $P_{BX} = 0,18$  МПа); 3 –  $d_{CP} = -0,918(R'_i/R')^2 + 1,868 R'_i/R' - 0,008$ ,  $R^2 = 0,979$  (исполнение 5; канавки 5 мм,  $P_{BX} = 0,2$  МПа); 4 –  $d_{CP} = -0,8(R'_i/R')^2 + 2,04R'_i/R' - 0,22$ ,  $R^2 = 0,99$  (исполнение 5; канавки 5 мм,  $P_{BX} = 0,35$  МПа)

Рекомендации по расстановке дождевателей вдоль трубопровода:

**Дождеватели с гладким дефлектором:**

– для давления до 0,2 МПа – рекомендуемая расстановка через 3,0 м;

– для давления от 0,2 до 0,6 МПа – через 3,5 м.

**Дождеватели со стационарным дефлектором с канавками:**

– для давления до 0,2 МПа – рекомендуемая расстановка через 3,5 м;

– для давления от 0,3 до 0,6 МПа – через 4-4,5 м.

**Дождеватели с вращающимся дефлектором с канавками:**

– для давления до 0,2 МПа – рекомендуемая расстановка через 4,0 м;

– для давления от 0,3 до 0,6 МПа – через 5-6 м.

**Дождеватели каскадные:**

- для давления до 0,2 МПа – рекомендуемая расстановка через 3,0 м;
- для давления от 0,3 до 0,6 МПа – через 3,5-4,0 м.

Для орошения в зонах с повышенным ветровым режимом рекомендуются дождеватели со стационарными или вращающимися дефлекторами с канавками. При больших расходах для повышения равномерности – каскадные дождеватели.

#### Результаты исследований ДМ оборудованных низконапорными дождевателями

Наибольшие потери воды при поливе дождевателями, смонтированными на трубопроводе машины, не превышают 5% при подъеме дождевого облака до уровня трубопровода машины.

Коэффициент эффективности полива при скорости ветра до 3 м/с:

- при работе ДМ «Фрегат» с установленными по схеме 1 дождевателями типа 1 исполнения 1 при давлении на входе в машину 0,34 МПа – 0,76-0,8.
- при работе ДМ «Кубань-ЛК1» модели 212 с установленными по схеме 2 дождевателями при давлении на входе в машину 0,4 МПа – 0,76-0,8.
- при работе ДМ «КАСКАД» модели 497-90 с установленными по схеме 3 дождевателями при давлении на входе в машину 0,35 МПа – 0,77-0,87.
- при работе ДМ «КАСКАД» модели 497-90 с дождевателями установленными по схеме 4 при давлении на входе в машину 0,3 МПа – 0,88.
- при работе ДМ «КАСКАД» длиной 434 м с дождевателями по схеме 5 при давлении на входе в машину 0,35 МПа коэффициент эффективности полива – 0,86.
- при работе ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) модели 497-90 с дождевателями по схеме 6 при давлении на входе в машину 0,35-0,4 МПа – 0,86.

Значения плотности верхнего слоя почвы (0-5 см) при поливе ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» с различными типами дождевателей представлены в таблице 4.

Тип почвы при испытании «Фрегат» ДМУ-Б463-90 и «Кубань-ЛК1» – чернозем обыкновенный. Тип почвы при работе ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» – темно-каштановый суглинок.

При поливе дождевателями установленными на гибких спускных трубопроводах приповерхностного полива обеспечивается щадящее воздействие дождя на почву.

Средняя интенсивность дождя ДМ равная 0,5 мм/мин при диаметре капель до 1,0 мм обеспечивает возможность проведения ресурсосберегающих технологий полива, позволяет увеличить достоящую поливную норму и уменьшить глубину колеи ходовых систем.

Результаты исследований глубины колеи от порядкового номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа после первого прохода для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) при оборудовании дождевателями по схемам 4 и 6 показаны на рис. 15. Глубина колеи в обоих случаях не превышает 6 см.

Таблица 4 – Плотность верхнего слоя почвы

Место установки дождевателя	Тип дождевателя	Мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup>	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>
Схема 6, 3 полив			
Первый пролет	Тип 1 исполнение 1	0,018	1,03
Пятый пролет		0,042	1,06
Предконсольный пролет		0,105	1,11
Схема 3, 3 полив			
Первый пролет	Тип 2 исполнение 2 Мелкие канавки	0,015	1,04
Пятый пролет		0,048	1,07
Предконсольный пролет		0,097	1,10
Схема 4, 4 полив			
Первый пролет	Тип 2 исполнение 1	0,019	1,04
Пятый пролет	Тип 2 исполнение 1	0,053	1,08
Предконсольный пролет	Тип 2 исполнение 5	0,085	1,10
Схема 5, 4 полив			
Первый пролет	Тип 1 исполнение 2	0,016	1,06
Пятый пролет	Тип 2 исполнение 2	0,046	1,10
Предконсольный пролет	Тип 2 исполнение 6	0,105	1,12
Богара			1,01

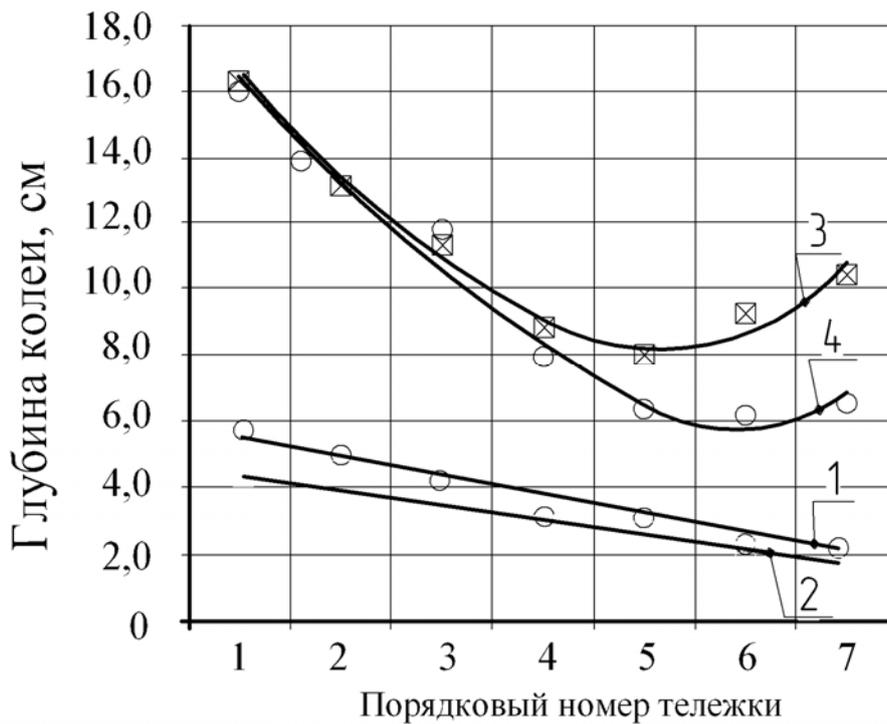


Рисунок 15 –  
Зависимость  
глубины колеи от  
номера опорной  
тележки при  
несущей  
способности почвы  
110-125

1 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (48,7м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 6),  $H'' = -0,525n_{OT} + 5,9$ ;  $R^2 = 0,976$ , (первый проход); 2 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (48,7м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 4),  $H'' = -0,432 n_{OT} + 5,028$ ;  $R^2 = 0,961$ , (первый проход); 3 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 4),  $H'' = 0,125n_{OT}^3 - 1,197n_{OT}^2 + 0,927 n_{OT} + 16,15$ ;  $R^2 = 0,91$ , (конец поливного сезона); 4 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 6),  $H'' = 0,041n_{OT}^3 + 0,023n_{OT}^2 - 3,489 n_{OT} + 19,8$ ;  $R^2 = 0,967$ , (конец поливного сезона).

В конце поливного сезона на последних тележках колея возрастает за счет увеличения расхода и крупности капель. При этом при установке дождевателей по схеме 4 возрастание колеи происходит в меньшей степени за счет снижения интенсивности, увеличения радиуса распыла и уменьшения диаметра капель.

При установке колес с шинами 16,9-24, а также дождевателей по схеме 5 колея снижается до 4 см на первой тележке за первый проход и до 9 см в конце поливного сезона, несмотря на увеличение длины пролета до 59,5 м (рис. 16).

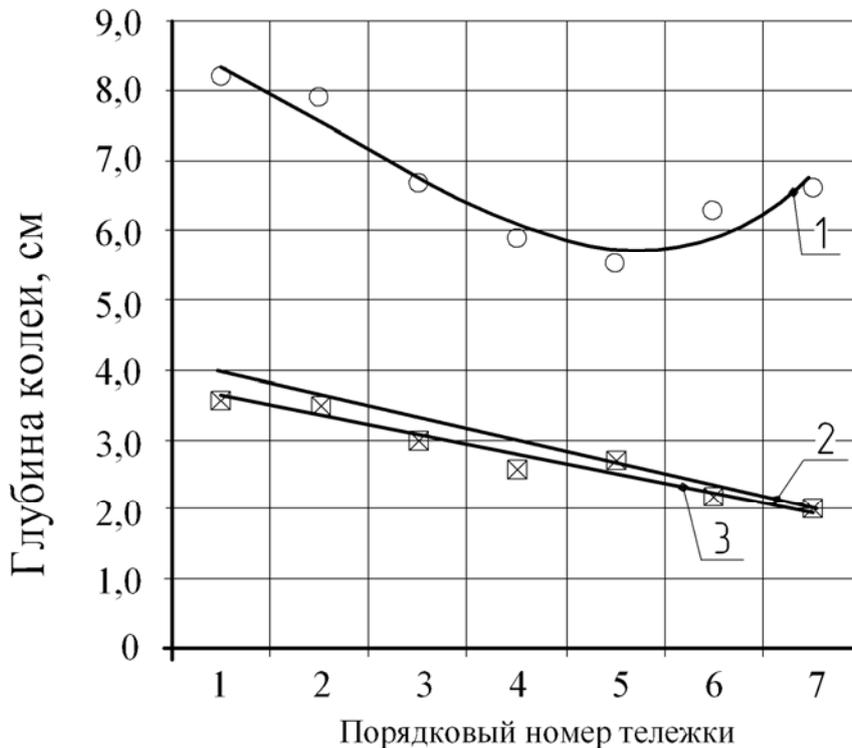


Рисунок 16 – Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (59,5 м пролет, шины 16,9-24, схема расстановки 5.

1 –  $H''=0,03n_{OT}^3-0,206n_{OT}^2-0,357n_{OT}+8,871$ ;  $R^2=0,935$ ; 2 – теоретическая зависимость; 3 –  $H''=-0,275n_{OT}+3,9$ ;  $R^2=0,953$ .

Исследования глубины колеи ДМ «Фрегат» с жесткими колесами на почвах несущей способностью 85-105 кПа, оборудованных низконапорными дождевателями типа 1, также показывают снижение глубины колеи в конце поливного сезона с 35 до 18 см, с учетом уменьшения на один круг работы.

Исследования глубины колеи от несущей способности почвы после проведения полива  $P_{III}$  и досточковой поливной нормы в начале, середине и конце трубопровода машин при различных схемах установки дождевателей позволяют сделать вывод о снижении глубины колеи и выравнивании значений по длине машин (рис. 17).

Ориентировочные зоны применения колесных систем для ДМ «КАСКАД»: для почв низкой несущей способности  $P_{III} < 60$  кПа, при норме полива более  $500 \text{ м}^3/\text{га}$  рекомендуется применение широкопрофильных шин. При норме полива до  $300 \text{ м}^3/\text{га}$ , несущей способности почвы  $P_{III} \geq 80-100$  кПа – узкопрофильные пневматические колеса.

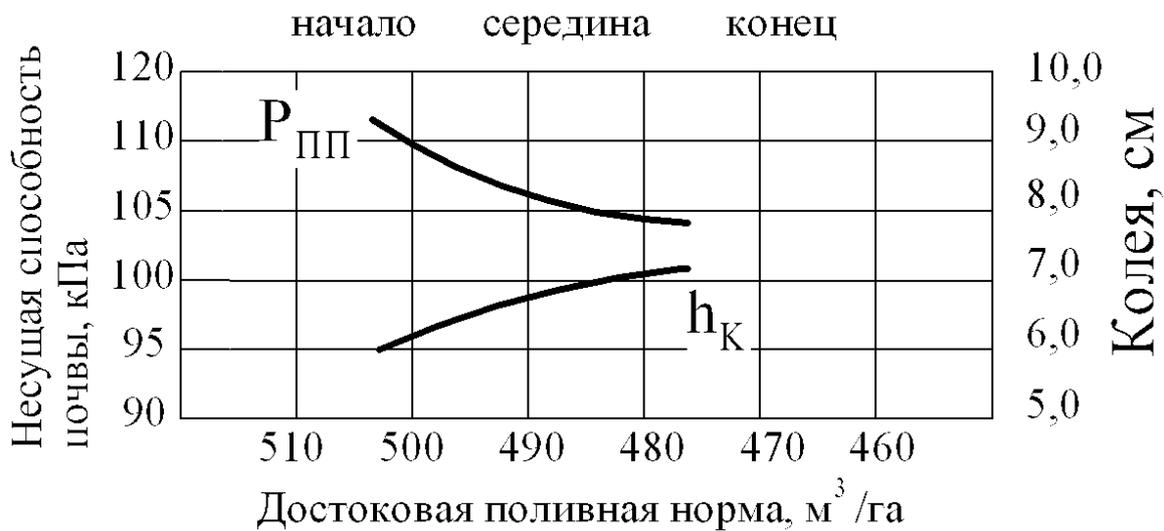


Рисунок 17 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (59,5 м пролет, шины 18,4-26, схема расстановки дождевателей 4 с вращающимся дефлектором)

#### Производительность ДМ кругового действия. Рекомендации по режимам работы

Экспериментальные исследования подтвердили, что фактическая скорость движения ДМ «КАСКАД» и ДМ «Кубань-ЛК1» за счет буксования на 9,5-13,6% меньше заданной, что ведет к увеличению нормы полива на 7-10,5% и требует внесения соответствующих корректив при задании соотношения импульса и паузы таймера.

При помощи программы Excel были получены графики установок таймера для моделей ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД». Для коррекции режима при делении на участки с разными поливными нормами и суточным водопотреблением разработана программа на языке программирования BASIC (Приложение).

#### Система автоматизации и управления для новых образцов ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД»

Для обеспечения управления машинами была разработана собственная система электрификации, автоматизации и управления дождевальными машинами со следующими опциями: автоматически задаваемая остановка, секторный полив со сменой режима, реверс, отключение при низком давлении, контроль хода, автоматическое отключение насосного агрегата, автоматическое управление запорным клапаном.

Была также разработана и внедрена система GSM контроля оборудования, предназначенная для дистанционного управления, отслеживания работы, оповещения по каналу сотовой связи о работе или отказе оборудования. Данное решение было реализовано на дождевальных машинах «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД», установленных на орошаемых полях в ООО «Наше дело» (2016, 2018 гг. – Энгельсский филиал ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», Гагаринская оросительная система) и в Учебно-научно-производственном

объединении «Поволжье» (2017 г.– с. Степное, Энгельсский район Саратовской области).

В пятой главе «*Экономическая эффективность результатов исследований и результаты внедрения*» приведена информация по внедрению предложенных конструктивно-технологических решений и представлены результаты технико-экономического анализа новых образцов ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» (табл. 5). Только за счет оптимизации ферменной конструкции себестоимость машины снижается до 8,5 %.

Таблица 5– Сравнительные характеристики ДМ

Параметр	Модель		
	«Кубань-ЛК1М»	«КАСКАД»	
Длина пролета, м	48,7	59,5	65,2
Площадь полива основным трубопроводом, га	74,4	71,1	65,4
Длина машины, м	487	476	456,4
Количество опорных тележек, шт	10	8	7
Длина консоли, м	13	24	31
Масса консоли, кг	110,5	174	245
Увеличение массы консоли, кг		63,5	134,5
Длина машины с консолью, м	500	500	487,4
Общая площадь полива, га	78,5	78,5	74,5
Масса водопроводящего пояса с ферменной системой, кг (без консоли)	6675	6191	6001
Снижение массы водопроводящего пояса с ферменной системой, кг		484	674
Снижение массы водопроводящего пояса с ферменной системой, %		7,2	10,1

Средний урожай кукурузы на участках полива ДМ «Фрегат», оборудованных разработанными низконапорными дождевателями выше в среднем на 8 %, чем на участках полива серийными дождевальными аппаратами, что достигнуто за счет большей равномерности подачи воды, уменьшения среднего диаметра капель дождя и его мощности, уменьшения плотности верхнего слоя почвы (табл. 6).

В 2016 г. был начат промышленный выпуск дождевальной машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД). Машина прошла испытания в ФГБУ «Поволжская МИС». «Самарским центром испытаний и сертификации», г. Самара 19.07.2016 г был выдан Сертификат соответствия таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».

В 2017 году в производство была запущена серия ДМ «КАСКАД» с широким модельным рядом, номенклатурой узлов и дополнительных опций.

Таблица 6– Экономическая эффективность внедрения низконапорных дождевателей

Показатели	Базовая ДМ «Фрегат»	Модернизированная ДМ «Фрегат»
Сельскохозяйственная культура	Кукуруза на силос	
Коэффициент эффективности полива при скорости ветра 3 м/с	0,68-0,72	0,76-0,81
Потери воды на испарение и снос, %	8-11	2,5-5
Крупность капель дождя, мм	0,85-1,2	0,7-0,85
Средняя скорость падения, м/с	3,8-4,5	3,4-3,8
Мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup>	0,02-0,05	0,01-0,02
Средняя урожайность кукурузы на силос, т/га за 3 года	87,4	94,3
Прибавка урожая, т/га		6,9
Площадь полива, га	72,3	
Годовой экономический эффект, руб./маш		448920

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Важнейшим фактором повышения конкурентоспособности современных широкозахватных дождевальных машин является рациональное использование водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов как на этапе их создания, так и в процессе обслуживания и работы. Проведенный анализ использования широкозахватных дождевальных машин кругового действия позволил выделить критерии эффективности и наметить следующие направления совершенствования:

- оптимизация водопроводящего пояса машины;
- оптимизация ферменной конструкции;
- рациональный выбор ходового оборудования;
- разработка новых низконапорных дождевателей.

2. Снижение материальных ресурсов при проектировании широкозахватных дождевальных машин основано на рациональном выборе длины пролетов и ферменной конструкции водопроводящего пояса. Для оценки и сравнения различных конструкций и модификаций между собой по материалоемкости были предложены: конструктивный коэффициент массы машины, коэффициент металлоемкости фермы и коэффициент массы угольников. Оптимизация ферменной конструкции позволяет при незначительном увеличении массы на 5,8-15,1% увеличить длину пролета на 22,1- 33,8%. Сравнение коэффициентов проводилось для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) длиной 487 м с пролетами 48 м (тип фермы 1), ДМ «КАСКАД» длиной 476 м с пролетами 59,5 м (тип фермы 2) и «КАСКАД» длиной 456,4 м с пролетами 65,2 (тип фермы 2). Дождевальная машина с пролетами 65,2 м является оптимальным вариантом, требующим минимума затрат. При

увеличении длины пролета с 47,7 до 65,25 м площадь уплотнения ходовыми системами уменьшается на 31,8%

3. Теоретические и экспериментальные исследования позволили определить конструктивно-технологические параметры дождевателей для различных условий эксплуатации и режимов работы, определить схемы их расстановки вдоль трубопровода для модернизированных и новых образцов дождевальных машин. Максимальный радиус захвата дождем разработанных низконапорных дождевателей при напоре 0,3 МПа составляет 4,5-13 м. Средняя интенсивность дождя изменяется в границах от 0,08 до 1,2 мм/мин.

4. На основе математического моделирования водопроводящего пояса дождевальных машин на алгоритмическом языке QBASIC разработана прикладная программа гидравлических расчетов, позволяющая определять параметры трубопровода, расстояния между водоотводами дождеобразующих устройств и площади сечений сопел дождевателей. Выполнен расчет водопроводящего пояса серии дождевальных машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД», спроектирован номенклатурный ряд дождеобразующих устройств с диаметром сопел от 3 до 15 мм.

5. Оборудование модернизированных и новых образцов ДМ разработанными дождевателями по предлагаемым схемам расстановки обеспечило более качественное распределение слоя осадков по длине машин, что позволило уменьшить переполив под последними пролетами. Средняя интенсивность дождя на новых ДМ равна 0,5 мм/мин при диаметре его капель менее 1 мм. При значительных расходах для повышения равномерности полива рационально применение каскадных дождевателей, для орошения в зонах с повышенным ветровым режимом – дождевателей со стационарным или вращающимися дефлекторами, имеющими крупные и средние канавки, для щадящего воздействия на почву и растения – дождевателей с дефлекторами, имеющими мелкие канавки.

6. Для обеспечения работы ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» в автоматическом режиме была разработана и внедрена система автоматизации и управления. Для предварительного подбора режима работы машины в среде Excel была разработана прикладная программа установки таймера. Также была внедрена система GSM контроля оборудования, предназначенная для дистанционного управления, оповещения по каналу сотовой связи о работе или отказе оборудования.

7. Экономическая оценка показала, что себестоимость ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) составляет 2 864 000 руб (38494,6 руб. на 1 га вложений). Себестоимость ДМ «КАСКАД» с пролетами 59,5 м составляет 2 528 520 руб (35562,8 руб. на 1 га вложений). Себестоимость ДМ «КАСКАД» с пролетами 65,2 м составляет 2 304 600 руб. (35238,5 руб. на 1 га вложений). Средний урожай кукурузы на участках полива ДМ «Фрегат», оборудованных низконапорными дождевателями выше на 8 %, чем на участках полива серийными дождевальными аппаратами. Дополнительный валовой сбор ее на площади полива 72,3 га ДМ «Фрегат» составил 498,8 т. Экономический эффект составил 448920 руб на машину.

### **Предложения и рекомендации производству:**

1. Производителям дождевальной техники рекомендуется использовать разработанные на основе использования принципа комплексного ресурсосбережения конструктивно-технологические решения и конструкции широкозахватных дождевальных машин кругового действия, в частности ферменные пролеты длиной 65,2 м;

2. Эксплуатирующим организациям для обеспечения экологически безопасного полива рекомендуется применять дождеобразующие устройства следующим образом:

– при значительных расходах воды каскадные дождеватели;

– для орошения в зонах с повышенным ветровым режимом – дождеватели со стационарными или вращающимися дефлекторами, имеющими крупные и средние канавки;

– для щадящего воздействия на почву и растения – дождеватели с дефлекторами, имеющими мелкие канавки.

3. Проектным организациям при проектировании широкозахватных дождевальных машин кругового действия использовать разработанные математические зависимости, программы и методики расчета.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы.**

Также в настоящее время на основе исследований данной диссертационной работы спроектирован и планируется к внедрению в 2018-2019 гг. роботизированный оросительный комплекс, способный обеспечивать отслеживание энергоснабжения, расхода воды, состояния узлов машины, менять нормы полива в зависимости от микронеровностей участка и метеоданных с автоматизированным принятием.

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

#### ***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК***

1. Слюсаренко В.В. Дождевальные машины XXI века / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Техника машиностроения. – 2003. – №6. – С. 84-87.

2. Слюсаренко В.В. Совершенствование дождевальной техники / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2003. – № 2. – С. 50-53.

3. Слюсаренко В.В. Усовершенствование дождевальных машин / В.В. Слюсаренко, Журавлева Л.А. // Вестник машиностроения – 2003. – №10. – С. 83-85.

4. Слюсаренко В.В. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низконапорном режиме / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – №1. – С. 22-24.

5. Слюсаренко В.В. Равномерность распределения дождя при ветре / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева, С.Р. Хабибов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Вып.3. Самарская ГСХА. – 2006. – С.179-180.

6. Слюсаренко В.В. Технологические особенности работы широкозахватных дождевальных машин и пути их совершенствования / В.В.

Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Вып. 3. Самарская ГСХА. – 2006. – С.173-176.

7. Есин А.И. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин / А.И. Есин, Д.А., Соловьев, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2017. – № 9. –С. 20-28.

8. Есин А.И. Исследования характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальной машины / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. – № 2. – С.16-25.

9. Есин А.И. Обтекание конического дефлектора потоком вязкой несжимаемой жидкости / А.И. Есин, А.В. Русинов, А.П. Акпасов, Ю.В. Бондаренко, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. – № 4. – С. 14-19.

10. Есин А.И. Рекомендации по выбору дождевателей «Каскад» для дождевальных машин / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Мелиорация и водное хозяйства. – 2018. – №2. –С. 16-22.

11. Абдразаков Ф.К. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин / Ф.К. Абдразаков, Л.А. Журавлева, В.А. Соловьев //Аграрный научный журнал. – 2018. –№5.–С. 37-42.

12. Журавлева Л.А.Теоретические исследования влияния конструктивных параметров дождевателей на процесс формирования дождя / Л.А. Журавлева, И.В. Иванов, А.С. Гвоздков, В.А. Соловьев // Научная жизнь. – 2018. – № 7. – С.18-25.

13. Сальников А.Л. Результаты экспериментальных исследований дождевателей «Каскад» / А.Л. Сальников, Л.А. Журавлева, Е.В. Смирнов, В.А. Соловьев // Научная жизнь. – 2018. – № 7. – С.31-37.

14. Abdrazakov F.K. The studies of water flow characteristics in the water conducting belt of wide-coverage sprinkling machines / F.K. Abdrazakov, D.A. Soloviev, A. L. Zhuravleva, D.A. Kolganov, V. A. Soloviev // The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication – TOJDAC ISSN: 2146-5193, March 2018 Special Edition, p. 567-577.

### ***Изобретения и полезные модели***

15. Патент РФ№2317153.Кузнецов Р.Е., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 2006109774. Зарег. 20.02.2008. Публ. 20.02.2008. Бюл.№5.

16. Патент РФ № 2321250. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Краев С.Г., Айбушев Н.Р. Дождевальная насадка // Патент России № 2006100522. Зарег. 10.04.2008. Публ. 10.04.2008. Бюл.№10.

17. Патент РФ № 2315470.Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 200610287/12. Зарег. 27.01.2008. Публ. 27.01.2008. Бюл.№3.

18. Патент РФ № 2316947. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 2006107072С2. Зарег. 20.02.2008. Публ. 20.02.2008. Бюл.№5.

19. Патент РФ №2316946. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 2006107017С2. Зарег. 20.02.2008. Публ. 20.02.2008. Бюл.№5.

20. Патент РФ №2324333. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Чернышев В.Г. Колесный дождевальнй трубопровод // Патент России № 2006119826/12С2. Публ. 20.05.2008. Бюл.№14.

21. Патент РФ №2629233. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Электрифицированная многосекционная дождевальная машина кругового действия // Патент России № 2016146570. Публ. 28.08.2017. Бюл.№25.

22. Патент РФ №26246909. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Электрифицированная дождевальная машина кругового действия // Патент России № 2016146573. Публ. 12.03.2018. Бюл.№8.

23. Патент РФ №2643841. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Кузнецов Р.Е., Журавлева Л.А., Гомберг С.В. Дождеватель // Патент России № 2016146548. Публ. 06.02.2018. Бюл.№4.

24. Патент РФ №2654341. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Кузнецов Р.Е., Журавлева Л.А., Гомберг С.В. Многосекционная дождевальная машина кругового действия // Патент России № 2016146578. Публ. 17.05.2018. Бюл.№14.

25. Полезная модель РФ. 173434. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Дождевальная насадка // Полезная модель России № 2016146563. Публ. 28.08.2017. Бюл.№25.

26. Полезная модель РФ № 173433. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Дождевальная насадка // Полезная модель № 2016146571. Публ. 28.08.2017. Бюл.№25.

***Публикации в сборниках научных трудов, материалах конференций и семинаров***

27. Журавлева Л.А. Водные ресурсы Саратовской области и их использование / Л.А. Журавлева // Передовой производственный и научно-технический опыт в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: сб. науч. работ. Вып. 3. – Саратов: СГАУ им. Вавилова Н.И., 2002. – С. 55-62.

28. Слюсаренко В.В. Направление и перспективы развития мелиорации в Саратовской области / В.В. Слюсаренко, Н.И. Канищев, А.В. Русинов, Л.А. Журавлева // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов в АПК: сб. науч. трудов Поволжской межвуз. конф. – Самара: Самарская ГСХА, 2002. – С. 134-136.

29. Журавлева Л.А. Исследование качества дождя колесных дождевальных установок / Л.А. Журавлева, Ю.Р. Хабибов // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования: сб. науч. трудов II Межд. науч.-практ. конф. Вып. 3. – Самара: Самарская ГСХА, 2005. – С. 210-216.

30. Слюсаренко В.В. Результаты исследования качественных показателей дождевальных аппаратов «Фрегат» / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева, Ю.Р.

Хабибов // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования: сб. науч. трудов II Межд. науч.-практ. конф. Выпуск 3. – Самара: Самарская ГСХА, 2005. – С.216-221.

31. Журавлева Л.А. Качество дождя широкозахватных дождевальных машин на примере ДКШ-64 «Волжанка» / Л.А. Журавлева // Системные исследования природно-техногенных комплексов Нижнего Поволжья: сб. науч. работ. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2005. – С.23-29.

32. Журавлева Л.А. Качественные показатели дождя ДКШ-64 «Волжанка» / Л.А. Журавлева // сб. науч. трудов Всерос. конф. молодых ученых. – Коломна, 2005. – С.38-41.

33. Журавлева Л.А. Определение рациональной дальности расстановки дождевальных аппаратов широкозахватных дождевальных машин / Л.А. Журавлева // Ульяновские чтения – 2005: матер. Межд. науч.-практ. конф. Часть 2. – Саратов: ФГОУ ВПО СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2005. – С. 54-57.

34. Журавлева Л.А. Повышение равномерности распределения дождя широкозахватных дождевальных машин при ветре / Л.А. Журавлева // Основы рационального природопользования: сб. науч. трудов. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2005. – С. 166-170.

35. Журавлева Л.А. Эксплуатационные показатели широкозахватных дождевальных машин / Л.А. Журавлева, Ю.Р. Хабибов // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования: сб. науч. трудов II Межд. науч.-практ. конф. Выпуск 3. – Самара: Самарская ГСХА, 2005. – С. 221-226.

36. Журавлева Л.А. Влияние закономерностей впитывания воды в почву на тягово-сцепные свойства широкозахватных дождевальных машин фронтального действия / Л.А. Журавлева, С.Г. Краев, В.Г. Чернышев // Организация, технология и механизация производства: сб. посвящен.70-летию П.С. Батеенкова. – Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2006. – С. 104-107.

37. Слюсаренко В.В. Расширение технологических возможностей широкозахватных дождевальных машин / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Технические, технологические и экологические проблемы орошения земель Поволжья: сб. науч. трудов. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2006. – С. 39-42.

38. Журавлева Л.А. Оценка ветроустойчивости дождевальных аппаратов / Л.А. Журавлева, О.А. Коблов // Системные исследования природно-техногенных комплексов Нижнего Поволжья: сб. науч. работ. Выпуск 2. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2007. – С.46-49.

39. Журавлева Л.А. Оценка конструктивно-высотных свойств дождевальных машин фронтального действия / Л.А. Журавлева, С.Г. Краев // Системные исследования природно-техногенных комплексов Нижнего Поволжья: сб. науч. работ. Вып. 2. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2007. С.44-46.

40. Журавлева Л.А. Повышение ветроустойчивости дождевальных машин фронтального действия / Л.А. Журавлева, С.Г. Краев // Системные исследования

природно-техногенных комплексов Нижнего Поволжья: сб. науч. работ. Вып. 2. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2007. –С.96-100.

41. Журавлева Л.А. Исследование качественных показателей дождевальных аппаратов «Фрегат» / Л.А. Журавлева // Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования: сб. науч. работ. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2008.–С. 55-57.

42. Журавлева Л.А. Истечение жидкости через насадки / Л.А. Журавлева // Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования: сб. науч. работ. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2008.– С. 57-60.

43. Журавлева Л.А. Совершенствование конструкции дождевальных насадок, работающих в неустойчивых ветровых режимах/ Л.А. Журавлева // Организация и управление производством: сб. науч. работ посвящен. 70-летию Л.М. Игнатъева. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2008.–С. 71-73.

44. Журавлева Л.А. Совершенствование конструкции дождеобразующих устройств /Л.А. Журавлева // Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования: сб. науч. работ. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2008.– С. 60-63.

45. Журавлева Л.А. Теоретические исследования влияния геометрических характеристик дождевальных насадок на радиус полива с учетом воздействия ветра/Л.А. Журавлева//Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования: сб. науч. работ. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2008. – С. 52-55.

46. Слюсаренко В.В. Влияние толщины пограничного слоя при истечении воды в сходящемся сопле на характеристики распыла дождевальной насадкой / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Основы рационального природопользования: матер. 2 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2009. – С 282-286.

47. Журавлева Л.А. Анализ дождевальных насадок, применяемых при поливе дождеванием / Л.А. Журавлева, А.В. Хизов, И.А. Хизов/ Инновации, наука и образование 21 века / межд. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию кафедры «Организация и управление инженерными работами». –Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2010. – С. 85-88.

48. Журавлева Л.А. Исследование качественных показателей дождевальных аппаратов «Фрегат» / Л.А. Журавлева // «Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства»: матер. Межд. науч.-практ. конф. Часть 4. Технология и средства механизации в природообустройстве. – М: МГУП,2010. – С. 48-58.

49. Журавлева Л.А. Качественные показатели дождевальных аппаратов «Фрегат» / Л.А. Журавлева // Инновации, наука и образование 21 века / межд. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию кафедры «Организация и управление инженерными работами. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2010. – С. 110-112.

50. Журавлева Л.А. Закономерности впитывания и сохранения воды в почве / Л.А. Журавлева // Проблемы повышения эффективности использования водных и земельных ресурсов Поволжья: сб. науч. трудов, посвящ. 45-летию ФГНУ «ВолжНИИГиМ». – Саратов: ФГНУ «ВолжНИИГиМ», 2011.–С. 252-256.

51. Журавлева Л.А. Закономерности впитывания воды в почву / Л.А. Журавлева, И.А. Хизов // Системные исследования природно-техногенных комплексов Нижнего Поволжья. Выпуск 3: сб. науч. работ. – Саратов: «Саратовский источник», 2011. – С. 43-46.

52. Журавлева Л.А. Исследование качественных показателей дождевальных аппаратов «Фрегат» / Л.А. Журавлева // Технология и средства механизации в природообустройстве: матер. Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения. Часть 5. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2011. – С. 43-53.

53. Журавлева Л.А. Повышение ветроустойчивости дождеобразующих устройств с поворотным и эластичным дефлекторами / Л.А. Журавлева, А.Н. Ковалев // Основы рационального природопользования: матер. 3 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2011. – С.283-288.

54. Журавлева Л.А. Совершенствование дождеобразующих устройств широкозахватных дождевальных машин / Л.А. Журавлева, А.Н. Ковалев // Основы рационального природопользования: матер. 3 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2011. – С. 262-265.

55. Журавлева Л.А. Системный подход к обоснованию технических средств и технологий полива / Л.А. Журавлева, А.Н. Ковалев // Технология и средства механизации в природообустройстве: матер. Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения. Часть 5. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2011. – С. 64-69.

56. Журавлева Л.А. Возрождение орошения в Саратовской области / Л.А. Журавлева // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: сб. статей 6 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С. 95-97.

57. Журавлева Л.А. «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) – Российская дождевальная машина нового поколения / Л.А. Журавлева, А.С. Попов // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: матер. Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С. 123-130.

58. Журавлева Л.А. Оценка испарения и сноса дождя при дождевании / Л.А. Журавлева, А.С. Попов // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: матер. Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С. 120-123.

59. Журавлева Л.А. Равномерность распределения воды при орошении дождевальными насадками / Л.А. Журавлева // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: сб. статей 6 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С. 100-102.

60. Журавлева Л.А. Системный подход при выборе технических средств и технологий полива / Л.А. Журавлева. // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: сб. статей 6 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. –С 97-100.

61. Журавлева Л.А. Формирование системы машин для полива сельскохозяйственных культур /Л.А. Журавлева // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий: сб. статей 5 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С 50-53.

62. Затинаяцкий С.В. Оценка величины испарения и сноса дождя при дождевании/ С.В. Затинаяцкий, В.А. Соловьев, Л.А. Журавлева и [др.] // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: матер. Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С.4-7.

63. Иванов И.В. Влияние параметров дождевателей на процесс формирования потока воды / И.В. Иванов, В.А. Соловьев, А.Л. Сальников, Л.А. Журавлева//Инновации и перспективы современной науки. Естественные науки: матер. конф. – Астрахань: ФГБОУ ВО АГТУ, 2018. –С. 9-11.

64. Магомедов А.Р. Моделирование процесса расхода и напора воды на водопроводящем трубопроводе многосекционной дождевальной машины / А.Р. Магомедов, К.Е. Панкин, Л.А. Журавлева // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: матер. IV Межд. науч.- практ. конф. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2018. – С. 53-57.

65. Магомедов А.Р. Коэффициент эффективности водопроводящего трубопровода многосекционной дождевальной машины / А.Р. Магомедов, К.Е. Панкин, Л.А. Журавлева // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: матер. IV Межд. науч.- практ. конф. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2018. –С. 57-61.

66. Смирнов Е.В. Исследование конструктивно-технологических параметров дождевателей «КАСКАД» / Е.В. Смирнов, В.А. Соловьев, А.Л. Сальников, Л.А. Журавлева // Инновационные перспективы современной науки. Естественные науки: сб. научных трудов ФГБОУ ВО АГТУ.–Астрахань, 2018. – С. 16-19.

67. Соловьев Д.А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Вестник АПК Верхневолжья. – Ярославль, 2018. – № 1. – С.38-44.

---

Подписано в печать . Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Печ. л. 2,0. Тираж 100. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»  
410012, Саратов, Театральная пл., 1