

**Загоруйко Михаил Геннадьевич**

**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИВА МНОГООПОРНЫХ  
ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (г. Москва)

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

**Официальные оппоненты:** **Рязанцев Анатолий Иванович,**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области «Государственный социально-гуманитарный университет»

**Ольгаренко Игорь Владимирович,**  
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой мелиорации земель Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

**Григоров Сергей Михайлович,**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры мелиорации земель и комплексного использования водных ресурсов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Защита состоится «15» ноября 2024 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.035.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Советская, д. 60, ауд. 325 им. А. В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Вавиловский университет и на сайте [www.vavilovsar.ru](http://www.vavilovsar.ru)

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, пр-т им. П. Столыпина, зд. 4, стр. 3.

E-mail: [dissovet01@sgau.ru](mailto:dissovet01@sgau.ru).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

  
(подпись)

Панкова Татьяна Анатольевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Земли сельскохозяйственного производства в Российской Федерации находятся в различных агроклиматических условиях, которые в определенном значении определяют потенциальную продуктивность выращиваемых на них культур.

В степном Заволжье сложились очень благоприятные условия для земледелия – обилие солнечного света и тепла, достаточно плодородные почвы и длительный безморозный период с большой суммой активных температур. Однако при перечисленных выше положительных условиях, на этой территории в летний период имеют место часто повторяющиеся засухи, суховеи и недостаточное выпадение атмосферных осадков, что является сдерживающим фактором получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, а многие овощные, корнеплоды и бобовые культуры либо вообще не произрастают или дают незначительные урожаи.

Данная зона нашей страны представляет собой значительный биопотенциал для производства различных видов сельскохозяйственной продукции. Однако недостаток естественного увлажнения этого региона может быть компенсирован только с помощью орошения, которое позволяет повысить урожайность зерновых культур в 2–3 раза, а кормовых – в 5 и более раз по сравнению с богарным производством сельскохозяйственной продукции.

Опыт мирового сельского хозяйства показывает, что мелиорированные земли играют ключевую роль в стабильном производстве сельскохозяйственной продукции. По данным World Institute, орошаемые земли занимают порядка 17 % от общей площади используемых земель, где производится более трети всей сельскохозяйственной продукции. В России же орошаемые земли занимают только 3,5 % от общей площади пахотных земель.

Основателем мелиоративной науки и ее общепризнанным мировым лидером был академик А.Н. Костяков, который еще в середине прошлого столетия говорил, что в техническом отношении задачей мелиоративной оросительной системы является подача воды от источника орошения на поля, создавая нужную для растений влажность почвы. Одним из наиболее перспективных методов орошения является полив, когда вода подается на поле в виде дождя с помощью специального устройства для разбрызгивания воды или дождевальная машина.

В настоящее время многие российские дождевальные машины не соответствуют современным требованиям сельскохозяйственного производства. Это указывает на потребность в модернизации и обновлении парка дождевальных машин в России с целью повышения эффективности, ресурсосбережения и качества работ ведения аграрного хозяйства. Российский парк дождевальных

машин по официальным оценкам является изношенным на 65–70% и характеризуется слабой тенденцией производства.

Оставляет желать лучшего и качество искусственного дождя современной поливной техники. Интенсивность дождя машин отечественного и иностранного производства в концевой части трубопровода составляет порядка 0,7–1,4 мм/мин. при впитывающей способности большинства почв 0,2–0,4 мм/мин., значительная крупность капель и неравномерность полива, вызывает разрушение структуры, сток и ирригационную эрозию почв. А значительные величины широких и глубоких колеи на поле от колес дождевальных машин вызывают уплотнение почвы и значительные потери урожая сельскохозяйственных культур.

Разработка, производство и использование новой поливной техники по ресурсосберегающим технологиям при рациональном использовании земельных и водных ресурсов с высокими технико-эксплуатационными значениями и качественными показателями полива, возможностью внесения удобрений с поливной водой является актуальной задачей повышения объемов отечественного производства растениеводческой продукции на орошаемых землях.

**Степень разработанности темы.** Анализ выполненных предыдущих исследований по проектированию, разработке и внедрению новых элементов и технических приемов при поливе многоопорными дождевальными машинами сельскохозяйственных культур было указано на решение вопросов по повышению рентабельности поливов и энергосбережения, качество искусственного дождя и проведению оптимальных поливов культур. Значительный вклад в изучение и совершенствование дождевальной техники внесли ученые: Абдразаков Ф.К. (2002), Абрамов А.М. (1987), Батраков А.С. (1979), Бакиров С.М. (2021) Бредихин Н.П. (1969), Васильев С.М. (2006), Гаджиев Г.М. (1979), Гусейн-заде С.Х. (1971), Ерхов Н.С. (1971), Есин А.И. (2004), Журавлева Л.А. (2018), Иванов В.А. (1978), Исаев А.П. (1973), Клепальский А.П. (1973), Козинская О.В. (2011), Колганов А.В. (2000), Колесников Ф.И. (1986), Кошкин Н.М. (2000), Курбатов А.Я. (1988), Кузнецов П.И. (1983), Лебедев Б.М. (1977), Мансуров М.С. (1971), Москвичев Ю.А. (1974), Овчаров В.А. (1980), Ольгаренко Г.В. (1998), Ольгаренко И.В. (2013), Поляков Ю.П. (1990), Попов В.Г. (1990), Рачинский А.А. (1984), Рыжко, Н.Ф. (2012), Рязанцев А.И. (1994), Семененко С.Я. (2010), Снопич Ю.Ф. (2011), Соловьев Д.А. (2011), Турапин С.С. (2007), Федоренко И.Д. (1938), Фокин Б.П. (2002), Хабаров В.Е. (1982), Храбров М.Ю. (2008), Чубиков Н.Е. (1985), Чураев А.А. (2001), Шевцов Н.М. (1972), Штангей А.И. (1978), Щедрин В.Н. (2004) и многие другие.

Известные отечественные и зарубежные научно-технические разработки, безусловно, повысили отдачу поливного поля, однако при применении многих технологий полива отсутствует комплексный учет и использование ряда факторов, обеспечивающих снижение затратного процесса проведения полива, сохранение

водных и земельных ресурсов, на фоне повышения продуктивности орошаемого поля. Однако, недостаточное внимание было уделено проблемам разработки и совершенствования оросительных машин кругового действия для уменьшения их металлоемкости и полива угловых частей посевных участков, понижению глубины колеи от колес при движении машин по полю с одновременным внесением питательных элементов с поливной водой.

**Цель исследования** – совершенствование технологических и конструктивных параметров многоопорных дождевальных машин для повышения качества полива, сбережения водных и энергетических ресурсов.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ, дать обоснование существующих технологических параметров дождевателей многоопорных поливных машин по качественным показателям искусственного дождя при их влиянии на водную эрозию почвы и образование колеи, на приземные части растений и равномерность полива при ветровом воздействии на снос и испарение дождя.

2. Теоретически обосновать малоинтенсивную и почвощадящую технологию орошения многоопорной дождевальной машины. Усовершенствовать конструкции устройств приземного орошения, дождевальных насадок мелкокапельного полива и разработать схемы их расстановки вдоль водопроводящего трубопровода машины.

3. Дать теоретическую основу повышения проходимости пневмоходовых систем многоопорных дождевальных машин, путем совершенствования конструкции дождевальных насадок секторного и контурного полива с целью снижения глубины образования колеи.

4. На базе проведенных исследований выявить характер работы концевых дождевальных аппаратов дождевальных машин кругового действия для увеличения площади полива.

5. Обосновать технологию работы машины с компонентом гидроподкормки (фертигации) культур и разработать алгоритм расчета конструктивных размеров дополнительных полиэтиленовых трубопроводов.

6. Провести оценку сравнения результата проведения поливного режима досточковыми поливными нормами посевов сои стандартными дождевальными аппаратами «Роса» ДМ «Фрегат» и насадками с устройствами приземного орошения на ДМ «Каскад».

7. Сформулировать и дать предложения по применению роботизированного оросительного комплекса, предназначенного для оперативного проведения водораспределения и водоподачи на оросительной системе.

8. Дать технико-экономическую оценку и рекомендации производству по проектированию и применению почвозащитных, водосберегающих технологий и

элементов внесения удобрений с поливной водой многоопорными дождевальными машинами.

**Гипотеза.** В качестве основной научной гипотезы предлагается на многоопорных дождевальных машинах использование технологий полива со сберегающим влиянием на плодородие почв и повышением их проходимости, а также увеличения площади орошения и объема выращиваемой продукции при помощи установки специальных оросителей и оборудования для гидроподкормки культур. Это поможет при модернизации и создании новых высокоэнергоэффективных оросительных систем с продуктивным получением сельскохозяйственной продукции и рациональным использованием природных ресурсов.

**Объект исследования** – многоопорные дождевальные машины кругового действия с модернизированными устройствами для приповерхностного полива и различными видами дождевальных насадок (кругового, секторного и контурного полива), оборудование для гидроподкормки и концевые дождевальные аппараты.

**Предмет исследования.** Закономерности изменения технологических и технических параметров (интенсивность дождя, равномерность полива, крупность капель дождя, потери воды на испарение и снос ветром, поливная норма до стока, проходимость, производительность, давление на входе) многоопорных дождевальных машин кругового действия.

**Методология и методы исследования.** Основными методами и подходами являлись аналитические описания процессов, основанные на известных законах и методах классической механики, физики и математического анализа, а также обработка результатов с помощью методов математической статистики и стандартных программ Microsoft Excel, Statistica.

Исследования проводились в соответствии с действующими стандартами и нормативными документами, ГОСТов, ОСТов, СТО АИСТ, разработок ВНПО «Радуга», РосНИИПМ, НПО ВИСХОМ, СтавНИИГиМ, ВолжНИИГиМ.

**Научная новизна:**

- разработаны математическая модель расчета оптимальных параметров и схем расстановки дождевателей, а также усовершенствованных устройств приповерхностного полива для обеспечения малоинтенсивного и почва-щадящего орошения;
- обоснованы и уточнены математические зависимости расчета ходовых систем на пневмоходу многоопорных дождевальных машин и конструкции дождевальных насадок для повышения проходимости опорных тележек;
- разработана математическая модель расчета концевого дождевального аппарата для увеличения площади орошения поливными машинами;
- предложена математическая модель для расчета дополнительного

полиэтиленового трубопровода на многоопорных дождевальных машинах для проведения гидроподкормки сельскохозяйственных культур;

- рекомендована к применению дождевальная насадка с дефлектором;
- пролеты дождевальных машин предлагается проектировать и изготавливать в виде шпренгельной фермы, которая представляет предварительно напряженную конструкцию, верхний пояс которой образован водопроводящим трубопроводом;
- для полива с возможностью внесения удобрений рекомендуется разработанное оборудование полива растений;
- с целью повышенной проходимости по полю со сложным рельефом дождевальной машины на пневмоходу кругового действия необходимо, чтобы подъем машины на возвышенности происходил по наиболее пологим склонам, а выбор направления движения машины осуществлялся на основе анализа линий превышения высот по рельефу участка.

Научная новизна предложенных технологических и технических решений подтверждена тремя патентами РФ на изобретение №№ 2781626, 2810574, 2789034, тремя патентами РФ на полезную модель №№ 166617, 146223, 144139 и тремя свидетельствами на базу данных №№ 2022620836, 2022620837, 2022620904.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая и практическая значимость работы состоит в расширении ресурсосберегающих технологий орошаемого земледелия при поливе многоопорными дождевальными машинами на основе комплексного подхода по созданию новых и использованию усовершенствованных технических элементов для бережного и эффективного использования земельных и водных ресурсов.

На основе выполненных исследований предложены: - конструкция дождевальной насадки с дефлектором для устройств приземного орошения с высокими показателями качества дождя; - концевые дождевальные аппараты для увеличения площади полива машин кругового действия; - дополнительный полиэтиленовый трубопровод вдоль машины для внесения удобрений; - насадки секторного и контурного полива для снижения глубины колеи от колес дождевальной машины.

Результаты исследований были апробированы и доведены до практического применения и внедрения на орошаемых полях учебных хозяйств УНПО «Поволжье» (с. Степное Энгельсского района Саратовской области) и УНПК Агроцентра ФГБОУ ВО Вавиловского университета, ИП «КФХ Вязовов» (Екатериновский район Саратовская область,), ООО «Листеко», ООО «Время-91» и ООО «Наше дело» Энгельсского района Саратовской области.

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

1. Системный подход к анализу технологических и технических решений работы многоопорных ДМ по качественным показателям искусственного дождя,

позволяющего установить их неудовлетворительное влияние на почвенный и растительный покров, незначительный коэффициент земельного использования и нерациональное потребление природных и производственных ресурсов.

2. Математическая модель расчета оптимальных параметров дождевателей малоинтенсивной технологии полива в сфере нахождения колес для обеспечения повышенной проходимости дождевальных машин.

3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке с меньшей энергоемкостью концевого дождевального аппарата для машин кругового действия с целью увеличения площади полива.

4. Технические и технологические решения по обустройству дополнительного полипропиленового трубопровода для фертигации.

5. Усовершенствованные устройства приземного орошения и дождевальные насадки кругового полива со схемой их расстановки по водопроводящему трубопроводу машины.

6. Результаты экспериментальных исследований поливного режима досточковыми поливными нормами посевов сои, проводимого с использованием дождевальных аппаратов и насадками с устройствами приземного орошения.

7. Инновационная структура устройства роботизированного оросительного комплекса для организации водораспределения и проведение водоподачи на орошаемые земли.

8. Техничко-экономическая оценка эффективности разработанных технологий и элементов техники полива многоопорных дождевальных машин.

**Степень достоверности и апробация результатов** проводилась путем публикации статей в научных журналах, новизна подтверждается патентами, полезными моделями на изобретения и базы данных для ЭВМ, а также апробацией результатов исследований на участках орошения Нижнего Поволжья. Опытные данные научных исследований получены в результате использования общеизвестных методик при проведении лабораторных и полевых экспериментов. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова, ныне – «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (2010–2022 гг.); на Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. (Саратов, 2011 г.); на Международном научно-практическом форуме «Мировая соя» (г. Санкт-Петербург, 2021, 2022 гг.); на V International Agritechnological Summit «Innovative Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Economik Globalization»; на International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE (2020 г.); на International



scientific and practical conference «Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science» (London, 2022 г.); на Международной научно-практической конференции «Агроэкосистемы, мелиорация земель и водные ресурсы в условиях изменения климата» (2022 г.); на Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с Международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения Алексея Григорьевича Дояренко (Калуга, 2024); на Международной научно-производственной конференции «Вызовы и инновационные решения в аграрной науке» (Белгород, 2024 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 47 печатных работ, 12 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 публикаций – в изданиях, включенных в базы Web of Science и Scopus, получено 9 охранных документов: патентов на изобретения, полезные модели и базы данных.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и рекомендаций производству, списка литературы и приложений. Общий объем составляет 315 страниц компьютерного текста, который включает в себя основной текст и приложения. Основной текст содержит 60 таблиц и 129 рисунков. Список использованной литературы включает 262 наименования, в том числе – 28 на иностранных языках.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «Введении» обоснованы актуальность темы, приведена цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, методика и научная новизна, показаны положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы, апробация и публикации по результатам исследований.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследования» проведен обзор научных публикаций и технических разработок по проблемным вопросам качественных показателей работы дождевальных машин ферменной конструкции. Систематизированы сведения об образовании ирригационного стока и процесс формирования эрозионно допустимых поливных норм (ЭДПН) в зависимости от различных почв по гранулометрическому составу, крупности капель и интенсивности дождя. Выполнен анализ и дана характеристика существующих дождевателей по мощности дождя и влияние его на уменьшение впитывающей способности почвы, связанной с уплотнением, снижением порозности и коэффициента структурности. Приводятся данные исследований эффективности полива дождевальными машинами в зависимости от потерь оросительной воды на испарение и скорость ветра. Изложен принцип работы и современные подходы по применению различных типов насадок и устройств приповерхностного полива, используемых на многоопорных дождевальных машинах (МДМ) ферменной конструкции. Дана оценка, установлены причины образования глубины колеи и рассматриваются способы повышения проходимости МДМ при поливе. Приводятся данные о коррозионном повреждении водопроводящего стального трубного пояса дождевальных машин и рассматриваются технологические приемы проведения гидроподкормки с поливной водой. Показано, что при внесении удобрений и химических средств стальные трубы подвержены разрушению материала и снижению срока их службы. Приведены результаты исследований ученых по выращиванию сои и ее продовольственном значении. Представлены материалы по возделыванию сои в сухостепной зоне РФ при орошении.

Установлено, что многоопорные дождевальные машины кругового действия ферменной конструкции занимают ведущее место в мелиоративном комплексе страны, однако требуют дальнейшего совершенствования для улучшения равномерности и качества полива при снижении интенсивности и мощности дождя, для повышения проходимости и уменьшения колееобразования, для повышения площади полива и КЗИ. Определены направления исследований для ресурсосбережения и повышения качественных показателей полива многоопорных дождевальных машин. Разработки по ресурсосбережению направлены на уменьшение потребления водных ресурсов, а также на снижение земельных, энергетических, материальных, трудовых и финансовых ресурсов. На схеме

(рисунок 1) показаны методы и направления, способы решения и получение результатов после проведения исследований.

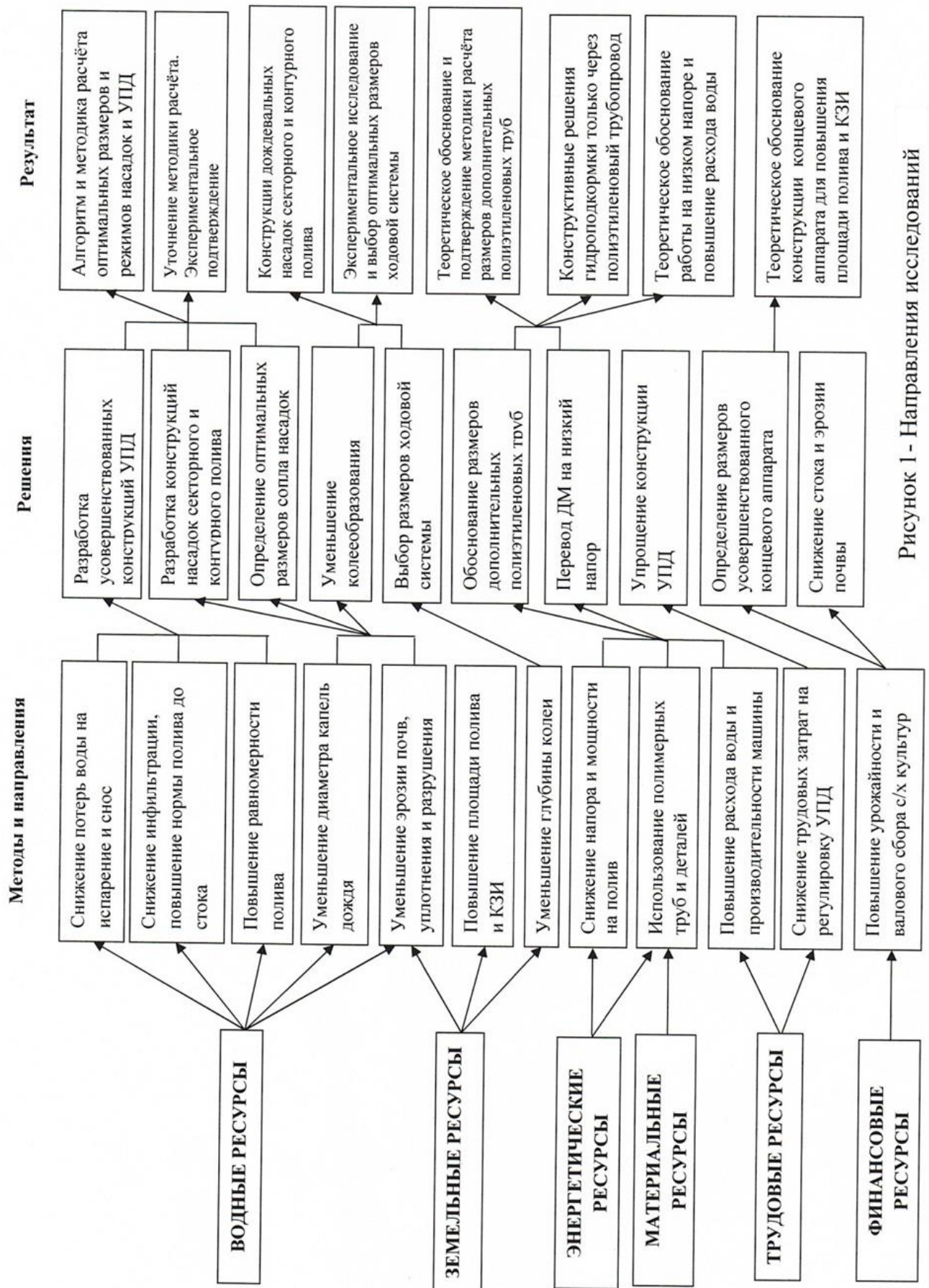


Рисунок 1 - Направления исследований

Во второй главе «Теоретические исследования повышения энергоэффективности дождевальных машин кругового действия» проведены теоретические обоснования и расчеты для определения направлений ресурсосбережения и разработки эффективных технических решений.

За основу расчета усовершенствованной технологии полива принимаются следующие основные показатели: - расход воды ( $Q$ ) и длина машины  $L$ , площадь полива ( $S$ ) и напор на входе в машину ( $H_{вх}$ ). Расход воды каждой насадки ( $q_i$ ) определялся исходя из расхода воды ( $Q$ ) и площади полива ( $S$ ) машины, а также площади полива ( $f_i$ ) насадки  $i$  по формуле:

$$q_i = \frac{Q \cdot f_i}{S}. \quad (1)$$

Напор воды в трубопроводе перед насадкой определялся с учетом потери напора по длине  $l_i$  участка стального трубопровода устанавливался по формуле Ф.А. Шевелева:

$$h_i = 0,00107 \cdot l_i \frac{v^2}{d_{вн}^{1.3}}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость воды на  $i$ -ом участке трубы, м/с;  $d_{вн}$  – внутренней диаметр трубы, см.

Скорость воды ( $v$ ) на  $i$ -ом участке трубы зависит от расхода воды ( $q$ ), внутреннего диаметра трубы ( $d_{вн}$ ) и определялся по формуле:

$$v = \frac{10 \cdot q}{0,785 \cdot (d_{вн})^2}. \quad (3)$$

Потери напора по длине всего трубопровода машины составлял сумму потерь на каждом участке трубопровода:

$$h_{п} = \sum h_i. \quad (4)$$

Напор на входе машины ( $H_{вх}$ ) определялся напором концевой дождевальной насадки, величиной потерь напора по длине трубопровода ( $h_{п}$ ) и величиной геодезического перепада места установки последней насадки ( $H_{геод}$ ):

$$H_{вх} = H_{к} + h_{п} + H_{геод}, \quad (5)$$

где  $H_{к}$  – напор перед концевой дождевальной насадкой (8–10 м вод. ст.).

Для повышения равномерности и качественных показателей полива дождевальных машин кругового действия необходимо учитывать все основные вышеперечисленные показатели и определять оптимальные характеристики дождевателей на основе расчета агротехнических показателей. Алгоритм расчета повышения качества полива и повышения эффективности использования оросительной воды показан на рисунке 2.

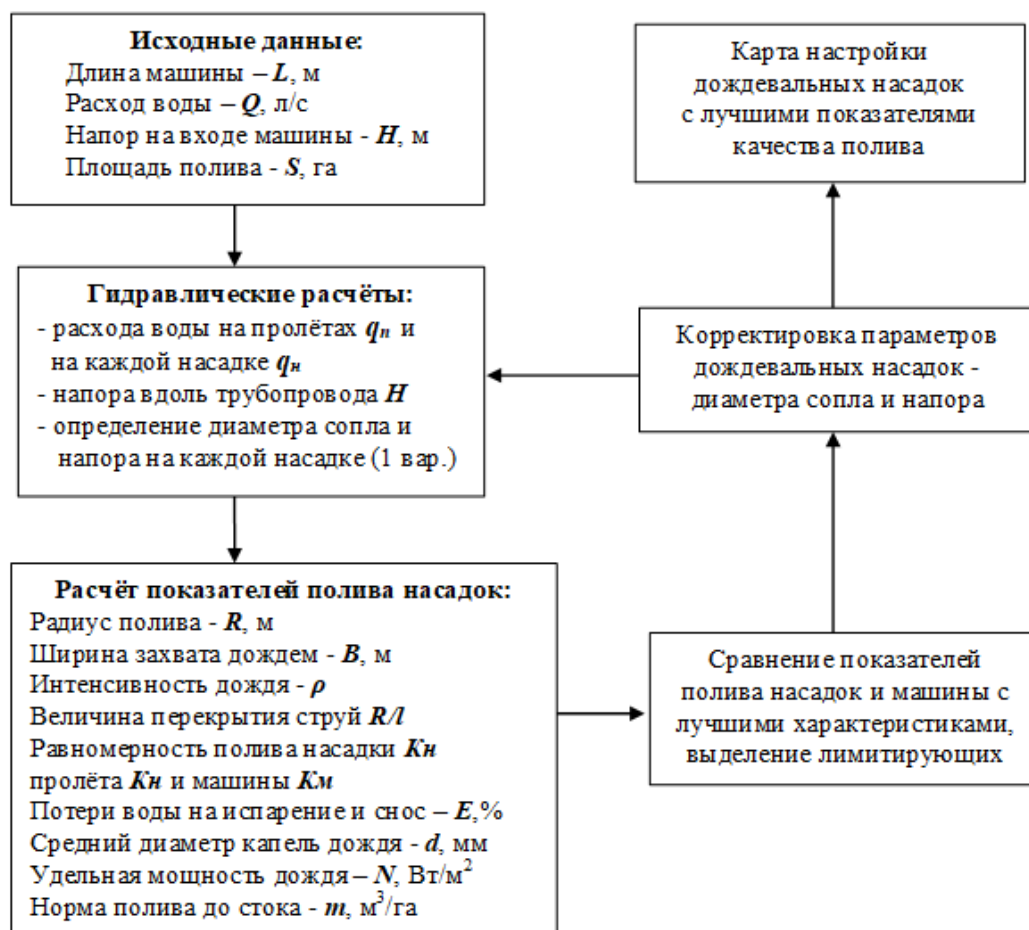


Рисунок 2 – Алгоритм расчёта конструктивно-технологических параметров дождевальных насадок и агротехнических характеристик искусственного дождя многоопорными дождевальными машинами для обеспечения водосберегающей и почвоохранной технологии полива

Для выбора применяемых насадок необходимо проводить расчеты их агротехнических характеристик: радиус и ширина захвата дождем; средняя и мгновенная интенсивность дождя; средний диаметр капель дождя  $i$  насадки; мощность дождя. Удельная мощность дождя определяется и по формуле:

$$N = 0,14d\rho, \quad (6)$$

где  $d$  – средний диаметр капель дождя, мм;  $\rho$  – интенсивность дождя, мм/мин.

Потери воды на испарение и снос дождя в любой точке машины определяется по формуле (Рыжко Н.Ф., 2014):

$$E_{и.у} = 1,22 \frac{h^{0,6}(n+1)^{0,08}}{d^{0,6}\rho_c^{0,2}\rho_m^{0,1}} \left[ t \left( 1 - \frac{\varphi}{100} \right) (v_v + 1) \right]^{0,5} K_\alpha, \quad (7)$$

где  $h$  – высота полета капель дождя, м;  $\rho_c, \rho_m$  – средняя, мгновенная интенсивность дождя, мм/мин;  $t$  – температура окружающей среды, °C;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха, %;  $v_v$  – скорость ветра, м/с;  $K_\alpha$  – коэффициент, учитывающий изменение величины испарения и уноса дождя в зависимости от угла  $\alpha$  между трубопроводом машины и направлением ветра.

Для расчёта конструктивно-технологических параметров дождевальных

насадок до появления ирригационного стока и равномерности полива насадками использовались формулы Ерхова Н.С., 1966, Кузнецова П.И., 1988, Рыжко Н.Ф. 2012, Абрамова А.М. 2001 и др.

Для обеспечения малоинтенсивной, водосберегающей и почвоохранной технологии полива предлагается применение усовершенствованных устройств приповерхностного дождевания (УПД). Их использование позволяет повысить равномерность полива и увеличить ширину расстановки дождевальных насадок (ДН) поперек трубопровода машины до 5–6 м, с возможностью регулировки высоты установки ДН по мере роста растений от 1,5 до 3,2 м, что обеспечивает нахождение ДН сверху растений (рисунок 3). УПД выполнено из напорного рукава 3 и металлической трубки 9 диаметром ½ дюйма длиной 1,5 м. Устройства приповерхностного дождевания монтируются в шахматном порядке на шпренгели. На крайних к тележкам трубах УПД (рисунок 4) монтируются на кронштейны 10, которые закреплены на шпренгели 11.

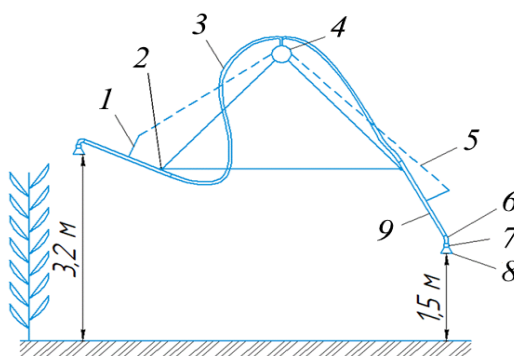


Рисунок 3 – Схема устройства приповерхностного дождевания в центральной части пролета, которые монтируются на шпренгели  
1 – кронштейн; 2 – шпренгель; 3 – напорный рукав; 4 – водопроводящая труба; 5 – тросо-цепочный фиксатор; 6 – короткий напорный рукав; 7 – переходник; 8 – дождевальная насадка кругового полива; 9 – стальная трубка

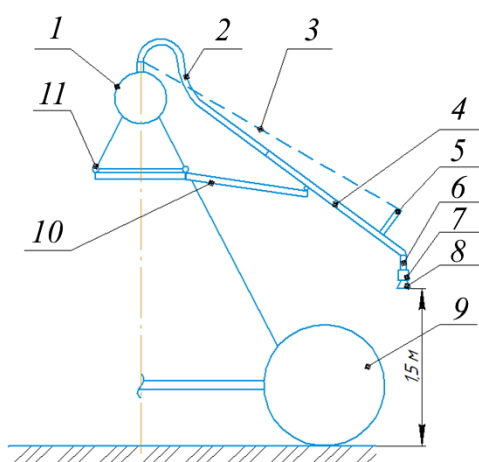


Рисунок 4 – Схема устройства приповерхностного дождевания в районе тележек  
1 – водопроводящая труба; 2 – напорный рукав; 3 – тросо-цепочный фиксатор; 4 – трубка; 5 – кронштейн; 6 – короткий напорный рукав; 7 – переходник; 8 – насадка с секторным поливом; 9 – колеса; 10 – фигурный кронштейн; 11 – шпренгель



Общая масса УПД не превышает 3,7 % от массы ДМ.

Ширина захвата дождем машины ( $B_i$ ) при поливе УПД (рисунок 5) определяется по формуле:

$$B_i = 2(R_i + L_i), \quad (8)$$

где  $L_i$  – расстояния от  $i$  насадки до трубопровода машины, м;  $R_i$  – радиус полива насадки, м.

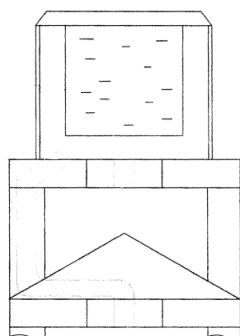
Среднюю интенсивность дождя  $i$  насадки определяется по формуле:

$$\rho_i = 60 \cdot q_i / L_n \cdot B_i, \quad (9)$$

где  $q_i$  – расход воды  $i$  насадки, л/с;  $L_n$  – расстояние между дождевальными насадками, м.

Установлено, что применение усовершенствованных УПД с шириной расстановки насадок ( $B_n$ ) до 5–6 м, обеспечивает увеличение ширины захвата дождем ( $B_d$ ) и уменьшение средней интенсивности дождя на машине на 23–65 %.

Предлагаемая конструкция дождевальной насадки с дефлектором (рисунок 5, патент № RU 166617 U1) обеспечивает мелкокапельный полив, формирует дождь однородной структуры (без усов) и минимизирует реактивный момент при выходе струи из сопла, что обеспечивает вертикальное положение на устройствах приземного орошения с небольшим грузом и повышает равномерность полива.



а)



б)

Рисунок 5 – Дождевальная насадка с дефлектором (пат. № RU 166617 U1)  
а – схема дефлекторного узла; б – внешний вид

При движении дождевальной машины по влажному грунту проявляется гидростатический эффект, при котором вода не успевает выжиматься из пор грунта, что влияет на уменьшение проходимости и увеличение глубины колеи при поливе многоопорными дождевальными машинами (МДМ).

С увеличением влажности сопротивляемость грунтов при достижении предела текучести уменьшается. Несущая способность грунта от влажности показана на рисунке 6.

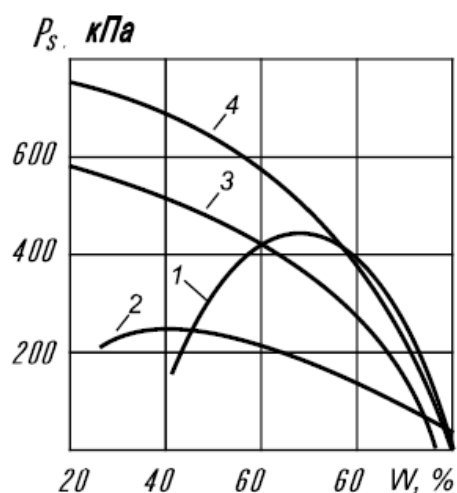


Рисунок 6 – Зависимость несущей способности  $P_s$  грунта от влажности  $W\%$ :  
1 – песчаный грунт; 2 – супесь; 3 – суглинок; 4 – глина

Данные зависимости показывают, что уменьшение влажности почвы в месте прохождения колес ДМ по полю способствует увеличению несущей способности грунта данного участка и уменьшению колееобразования, а также зависит от нагрузки на колеса МДМ. По А.И. Рязанцеву:

$$H = 1,2Q/P_0 bD^{0,5}, \quad (10)$$

где  $H$  – глубина колеи, м;  $Q$  – вертикальная нагрузка на ось колеса, Н;  $P_0$  – несущая способность почвы, Н/м<sup>2</sup>;  $D, b$  – диаметр и ширина обода колеса, м.

Исследованиями (Алейничук Н.А., Крутиков Н.П. и др.) установлено значительное уменьшение несущей способности почвы происходит с увеличением её влажности, поэтому повышение проходимости МДМ и уменьшение глубины колеи на поле достигается путем исключения попадания оросительной воды под колеса ДМ. Для уменьшения влажности в местах нахождения тележек необходимо производить монтаж УПД дождевальных насадок секторного и контурного полива (рисунок 7). На схему полива ДН в районе тележек получено положительное решение о завершении экспертизы заявки (№ 2024100838).

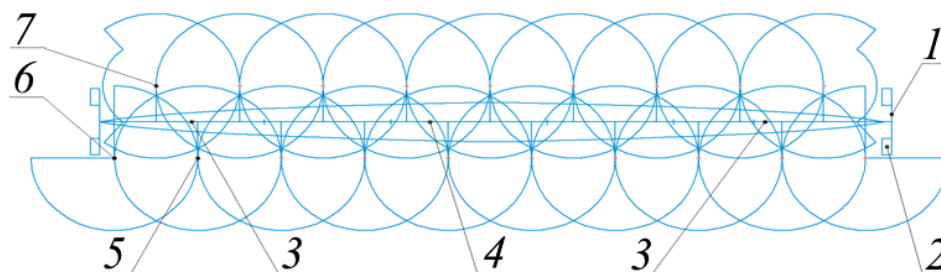


Рисунок 7 – Схема полива на пролете ДМ «Каскад» с устройствами приповерхностного дождевания

1 – тележка; 2 – колеса; 3 – крайние водопроводящие трубы; 4 – водопроводящая труба;  
5 – дождевальная насадка кругового полива; 6 – дождевальная насадка секторного полива; 7 – дождевальная насадка контурного полива



Разработана дождевальная насадка секторного полива (рисунок 8), которая снабжена отражателем 2, при котором угол недополива составляет порядка  $90^\circ$ .

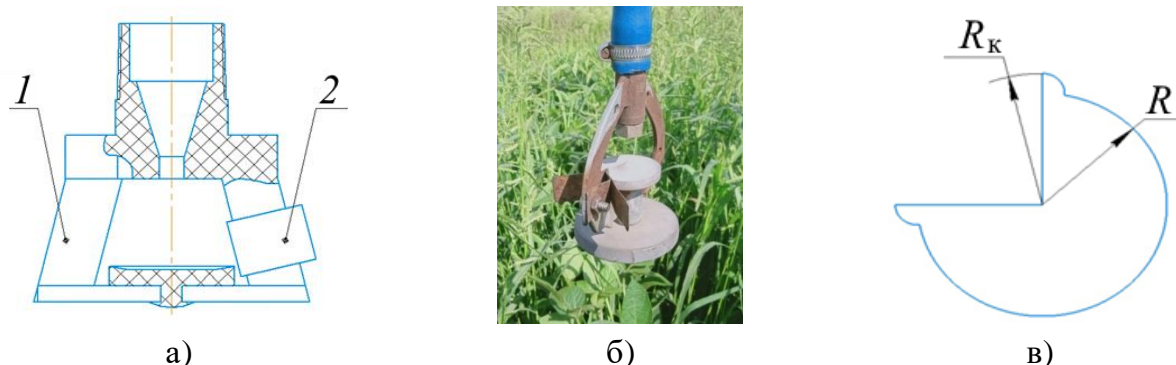


Рисунок 8 – Схема конструкции и зона орошения дождевальной насадки секторного полива

а) – схема насадки секторного типа; 1 – ножка насадки секторного типа; 2 – отражатель; б) – общий вид насадки; в) – радиус захвата секторного полива;  $R$  – радиус полива;  $R_k$  – радиус сектора без полива

Разработана дождевальная насадка контурного полива (рисунок 9), которая снабжена отражательной пластиной с изменяющим углом вылета струи к горизонту  $0-20^\circ$  (положительное решение о завершении экспертизы заявки № 2024100838).

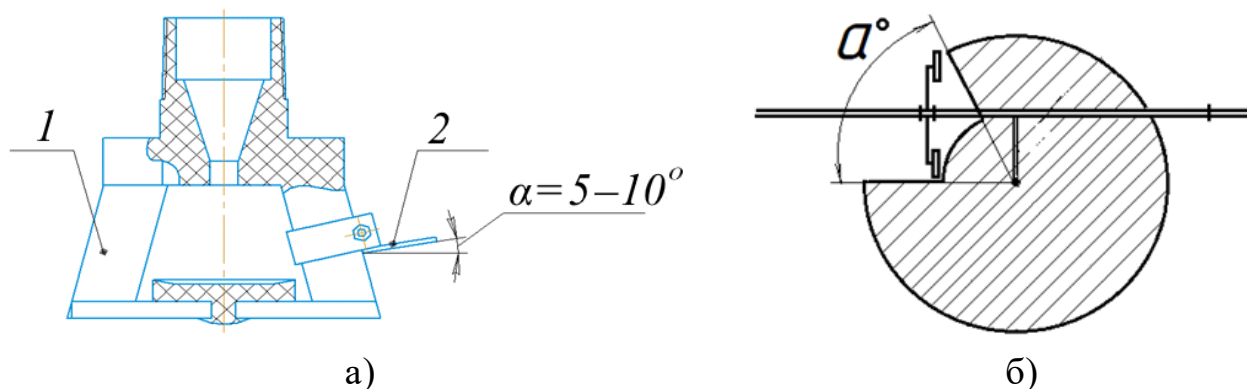


Рисунок 9 – Схема конструкции и зона орошения дождевальной насадки контурного полива

а) – схема насадки контурного полива; 1 – ножка дождевальной насадки; 2 – отражательная пластина; б) – радиус контурного полива

Для повышения надежности работы ДМ при внесении удобрений и химических веществ с поливной водой, обоснована схема их подачи (положительное решение о завершении экспертизы заявки № 2024100838). Рассмотрены три варианта внесения удобрений с использованием дополнительного полиэтиленового трубопровода. В первом варианте расход воды и рабочее давление на входе в машину не изменяется и составляет  $0,35-0,46$  МПа при расходе воды  $53,7-63,6$  л/с при длине машины  $434-475$  м. Во втором варианте расход воды машины увеличивается до  $75$  л/с и рабочее давление на входе в машину составляет

0,35 МПа. В третьем варианте расход воды машины увеличивается до 90 л/с и рабочее давление на входе в машину составляет 0,35 МПа.

Конструкция машины по первому варианту состоит из неподвижной опоры, ферменных пролетов, включающих водопроводящий трубопровод диаметром 159 мм, а параллельно прокладываются полиэтиленовые трубы, в которые из водовыпусков через переходники подается оросительная вода. Возле неподвижной опоры машины устанавливается технологическая емкость с концентрированным раствором удобрений или жидкими комплексными удобрениями (ЖКУ). Электрический высоконапорный насос подает удобрительный раствор из емкости под напором в удобрительную трубку, из которой раствор через дюзы поступает в переходники и далее в полиэтиленовые трубы. К седлам установленных на полиэтиленовых трубах прикреплены рукава УПД с дождевальными насадками. Удобрительный раствор смешивается с чистой водой и подается на орошаемое поле для проведения гидроподкормки выращиваемых растений. Значения диаметров полиэтиленового трубопровода 40 мм определяются расходом воды на пролетах и приведены в таблице 1.

Дождевальная машина «Каскад» при модернизации по второму варианту с использованием полиэтиленовых труб диаметром 110, 90 и 63 мм обеспечивает не только подачу удобрений через полиэтиленовые трубы, но и увеличивает подачу расхода воды с 64 до 75 л/с (в 1,17 раз), при этом напор снижается с 46 до 35 м (в 1,31 раз), а энергоемкость подачи 1000 м<sup>3</sup> воды снижается с 450 до 343 кВт (в 1,31 раз).

Таблица 1 – Характеристики полиэтиленовых труб и напора на ДМ «Каскад»  $L=434$  м,  $Q_M=53,7$  л/с,  $H_M=35$  м. вод. ст.

№ тележки	НО	П1	Т1	П2	Т2	П3	Т3	П4	Т4
$Q_{ст}$ , л/с	53,7		53,76		50,14		45,64		39,351
$Q_{п}$ , л/с		0,899		2,69		4,496		6,294	
$D_{п}$ , мм		40		40–1*		40–2*		40–2*	
$h_{п}$ , м		6,2		5,7		4,9		3,8	
$H_{тр}$ , м	35		28,8		23,1		18,2		14,4

Продолжение таблицы 1

П5	Т5	П6	Т6	П7	Т7	консоль	кда
	31,227		21,336		9,647		
8,124		9,891		11,689		3,89	5,69
40–5*		40–5*		40–6*		40–2*	
2,6		1,4		0,4	0	0	
	11,8		10,4		10	10,0	10,0

Примечание: \* – число водовыпусков на трубе; НО – неподвижная опора; П – пролет

Дождевальная машина «Каскад» при модернизации по третьему варианту с

использованием полиэтиленовых труб диаметром 125, 110, 90 и 63 мм обеспечивает не только подачу удобрений и воды через полиэтиленовые трубы, но и увеличивает расход воды с 64 до 90 л/с (в 1,46 раз), при этом напор снижается с 46 до 35 м (в 1,31 раз), а энергоёмкость подачи 1000 м<sup>3</sup> воды снижается с 450 до 343 кВт (в 1,31 раз.) (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики ДМ «Каскад» L=434 м, Q<sub>м</sub>=90 л/с  
H<sub>м</sub>=35 м. вод. ст.

№ тележки	НО	П1	Т1	П2	Т2	П3	Т3	П4	Т4
Q <sub>ст</sub> , л/с	53		51,5		51,5		43,97		33,427
Q <sub>п</sub> , л/с		1.506		–		7,53		10,54	
D <sub>п</sub> , мм		40–1*		–		40–3*		40–5*	
h, м		5,9		5,74		4,93		3,24	
H, м	35		29,1		23,36		18,43		15,19
Q <sub>пв</sub> , л/с	37		37		32,49		32,49	–	32,49
Q <sub>п</sub> , л/с		–		4,51		–			
D <sub>п</sub> , мм		125		125		125		125	
h, м		5,41		4,69		4,01		4,01	
H, м	35		29,59		24,9		20,89		16,88

Продолжение таблицы 2

П5	Т5	П6	Т6	П7	Т7	консоль	кда
	33,427		23,867		16,222		
–		9,56		7,645		6,517	9,508
		40–3*		63–3*		63–2*	
2,41		1,77		0,87			
	12,78		11,01		10,14	10	10
	18,935	–	11,935		0		
13,555		7,0		11,935			
110		110		90–63			
4,79		1,82		0			
	12,09		10,27				

\*– число водовыпусков на трубе

Подача удобрительных растворов только через полиэтиленовые трубопроводы и устройства приземного орошения исключает попадание коррозионных растворов в стальной трубопровод и конструкционные узлы машины, что способствует повышению надежности и долговечности ее работы.

Один из наиболее важных факторов обеспечения слаженной работы ДМ-система стабилизации и проходимости машины с минимальным повреждением сельскохозяйственных культур, что возможно с определением и обоснованием размеров колесных движителей многоопорных дождевальных машин.

В общем случае на проходимость машины будут влиять физико-механические характеристики почвы такие как гранулометрический состав, плотность, влажность, микрорельеф поверхности качения, кроме того, нужно учитывать динамические свойства движителей, а также высоту и вид орошаемой культуры. Минимум отрицательных воздействий на сельскохозяйственные культуры достигается благодаря внедрению новых конструктивных решений, снижающих удельное давление движителей на почву. Так при изучении взаимодействия колесного движителя с почвой рассматриваются режимы силового нагружения движителя, сопротивления качению, сцепные свойства.

Значение законов механических характеристик и моделирование грунтов позволяет проводить математическое моделирование процесса движения поливальных машин. Проведенный анализ существующих законов и математических моделей позволяет прорабатывать ситуации работы дождевальных установок на пневматических колесных опорах и показывает безусловную перспективность их использования. Это обуславливает непрерывное совершенствование конструкций колесных трубопроводов с учетом движения по различным состояниям грунта. Совершенствуются при этом и технологические процессы полива.

Предлагается способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом, заключающимся в перемещении машины вокруг неподвижной опоры при помощи самоходных тележек, снабженных электроприводом и опорными пневмоколесами, при этом направление движения дождевальной машины задают таким образом, чтобы подъем машины на возвышенности происходил по наиболее пологим склонам, а выбор направления движения машины осуществляют на основе анализа линий превышения высот на топографической карте участка, где согласно изобретению при эксплуатации машины ее перемещают по орошаемому участку только в одном предварительно выбранном направлении (Патент № 2810574). Кроме того, на каждой самоходной тележке опорные пневмоколеса устанавливаются таким образом, чтобы при взгляде на них сверху, острие елочек протекторного рисунка шин совпадало с направлением движения машины, также опорные пневмоколеса самоходных тележек оснащают сельскохозяйственными шинами высокой проходимости. Опорные пневмоколеса снабжают шинами, имеющими индекс грузоподъемности, соответствующий максимально допустимой нагрузке на шину, которую определяют по следующей формуле:

$$P_{ш} = m_n / n_k k_p, \quad (11)$$

где  $P_{ш}$  – максимально допустимая нагрузка на шину, кг;  $m_n$  – полная масса ферменного пролета с водой, кг;  $n_k$  – число опорных пневмоколес у самоходной тележки, шт.;  $k_p$  – коэффициент запаса грузоподъемности шины,  $k_p = 1,05$ .

Опорные пневмоколеса снабжают шинами с нормой слойности от 8 до 12. В способе повышения проходимости многоопорной дождевальнoй машины кругoвoгo действия на участках со сложным рельефом предлагается отказаться от полноценного реверсного хода и в процессе эксплуатации машины перемещать ее вокруг неподвижной опоры только в одном предварительно выбранном направлении, при котором подъем машины на возвышенности происходит по наиболее пологим склонам. При движении машины только в одном направлении оба колеса самоходной тележки можно сделать тяговыми. Для этого предлагается на каждой самоходной тележке установить опорные пневмоколеса таким образом, чтобы при взгляде на них сверху, острое елочкo прoтeктoрнoгo рисунка шин совпадало с направлением движения машины. Такая схема установки опорных колес позволяет увеличить их сцепление с почвой, а также уменьшает буксование, что в свою очередь снижает вероятность возникновения локальных переполивов.

Обоснованы конструкции концевого дождевального аппарата (КДА) руководствуясь:

- норма полива под основными пролетами ( $m_{п}$ ) ДМ и в зоне полива КДА ( $m_{кда}$ ) должны быть равны –  $m_{п} = m_{кда}$ ;
- радиус захвата дождем КДА должен быть максимальный;
- мощность подкачивающего насоса не должна превышать 2 кВт.

Проведен расчет характеристик полива КДА (таблица 3) при использовании концевого аппарата R25S (рисунок 10) на машине длиной 475 м с расходом воды 64 л/с и с подкачивающим насосом.

Таблица 3 – Характеристики полива концевого дождевального аппарата R25S на ДМ «Каскад»

$L$ , м	$Q$ , л/с	$H_{вх}$ , м	$H_k$ , м	$H_{кда}$ , м	$R_{кда}$ , м	$q$ , л/с	$D$ , мм	$S_d$ , га	$N$ , кВт
475	64	43	5	20	25	4,3	18	5,3	4,5

Примечание:  $L$  – длина дождевальной машины  $Q$  – расход воды;  $H_{вх}$ ,  $H_k$  и  $H_{кда}$  – напор на входе машины, перед концевой насадкой и перед концевым аппаратом;  $q$  и  $R$  – расход воды концевого аппарата и радиус полива,  $S_d$  – дополнительная площадь полива,  $N$  – мощность электродвигателя.



Рисунок 10 – Дождевальный аппарат секторного полива R25S

Использование в качестве концевого дождевального аппарата «Фрегат»-4 (рисунок 11, а) с расходом воды 2,6 л/с, диаметром сопла 11,9 м при напоре 0,35 МПа обеспечит радиус полива 25 м и уменьшает потребляемую мощность при использовании подкачивающего насоса *КО 50–32–160а* ( $Q=12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $P=0,28 \text{ МПа}$ ;  $N_{\text{н}}/N_{\text{э}}=1,7/2,2 \text{ кВт}$ ) или насоса *КО 50–32–125* ( $Q=11,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $P=0,2 \text{ МПа}$ ;  $N_{\text{н}}/N_{\text{э}}=1,26/2,2 \text{ кВт}$ ).



а)



б)

Рисунок 11 – Дождевальный аппарат секторного полива «Фрегат»-4 (а) и насадка секторного полива с отражательной пластиной (б)

В зону полива основного КДА «Фрегат»-4 для обеспечения требуемого расхода воды и нормы полива могут дополнительно поливать насадки с отражательной пластиной (рисунок 11, б) или малорасходные аппараты с отражателями, которые работают при небольшом давлении 0,1 МПа и обеспечивают качественный распыл.

Установлено, что настройка дождевальных насадок ДМ на требуемый расход воды с использованием регуляторов давления или дюз позволяет использовать избыточный напор на гидрантах в начале и середине больших орошаемых участков, увеличить напор перед КДА до 34–60 м и увеличить радиус полива до 35–47 м.

В качестве КДА можно использовать односопловый аппарат «Фрегат» ДМ–07.150, Роса-3, Kommet, RainBird и другие. Расчеты показывают, что возможная дополнительная площадь полива составит порядка – 6,3–11 га на машину в зависимости от длины машины и напора.

Проведено обоснование роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке (рисунок 12).

Роботизированный оросительный комплекс предназначен для эффективного использования дождевальных машин и насосной станции на орошаемом участке с целью рационального использования водных, земельных, энергетических и трудовых ресурсов, а также повышения урожайности при обеспечении агроэкологических требований на полив и сохранения плодородия почв.

Роботизированный оросительный комплекс включает центральный вычислительный пункт контроля и управления работой группы дождевальных машин от насосной станции с закрытой оросительной сетью. В общем виде алгоритм управления можно выразить в виде схемы, представленной на рисунке 12.

Все работы по контролю за текущим состоянием орошаемого участка, расчет и выработка управленческих решений обеспечивает центральный вычислительный пункт, который по мобильной связи может получать, обрабатывать и передавать команды управления на пульт управления дождевальных машин, насосной станции и диспетчеру бригады поливальщиков.

Центральный вычислительный пункт имеет ряд приложений и баз данных по орошаемому участку: – насосной станции (число насосных агрегатов, расход и напор агрегата, мощность электродвигателя и удельные затраты электроэнергии на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды); – закрытой оросительной сети (диаметры и длины труб, запорная и регулирующая арматура) и каждой дождевальной машине (длину и площадь полива, расход воды и напор на входе в машину, нормы полива, скорость движения и время полива участка); – по выращиваемой сельскохозяйственной культуре (вид культуры, сроки посева, ориентировочные данные по фазам роста и требования к влажности почвы в каждый период ее роста, плановая урожайность и потребность в удобрениях, вид и способ внесения сухих и жидких удобрений, глубина корневой системы, режим орошения культуры); – по метеорологическим параметрам (температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость ветра и слой осадков подекадно в течение вегетационного периода и др.); – по почвам (тип и гранулометрический состав, плотность скелета, среднее содержание азота, фосфора, калия и гумуса в почве, влажность и влагоемкость почвы, засоление почвы и др.), морфологические условия, уровень грунтовых вод и др.

На основании этих данных и с учетом возможного количества одновременно работающих машин в оптимальном режиме насосной станции, а также пропускной способности отдельных участков закрытой оросительной сети при минимальных затратах электроэнергии на полив производится расчет предварительного укомплектованного графика полива на орошаемом участке. С началом проведения поливов с учетом выпавших осадков или при их отсутствии производится корректировка сроков проведения поливов и норм полива. При этом учитывается поступающая информация с метеопунктов и датчиков влажности почвы на блок управления дождевальными машинами, а также используются данные, получаемые с беспилотного летательного аппарата (БЛА) с видеокамерами или съемок со

спутника.

Новизна разработки заключается в том, что центральный вычислительный пункт обеспечивает управление группы дождевальных машин (до 40 ед.) и группы насосных агрегатов с учетом распределения потоков воды по закрытой оросительной сети. При этом нет необходимости установки ЭВМ на каждой дождевальной машине. Внедрение роботизированного оросительного комплекса на орошаемом участке позволит снизить водные и энергетические затраты на полив, обеспечит поддержание влажности почвы в оптимальных пределах, что позволит получение стабильно гарантированных урожаев с меньшей зависимостью от климатических условий.

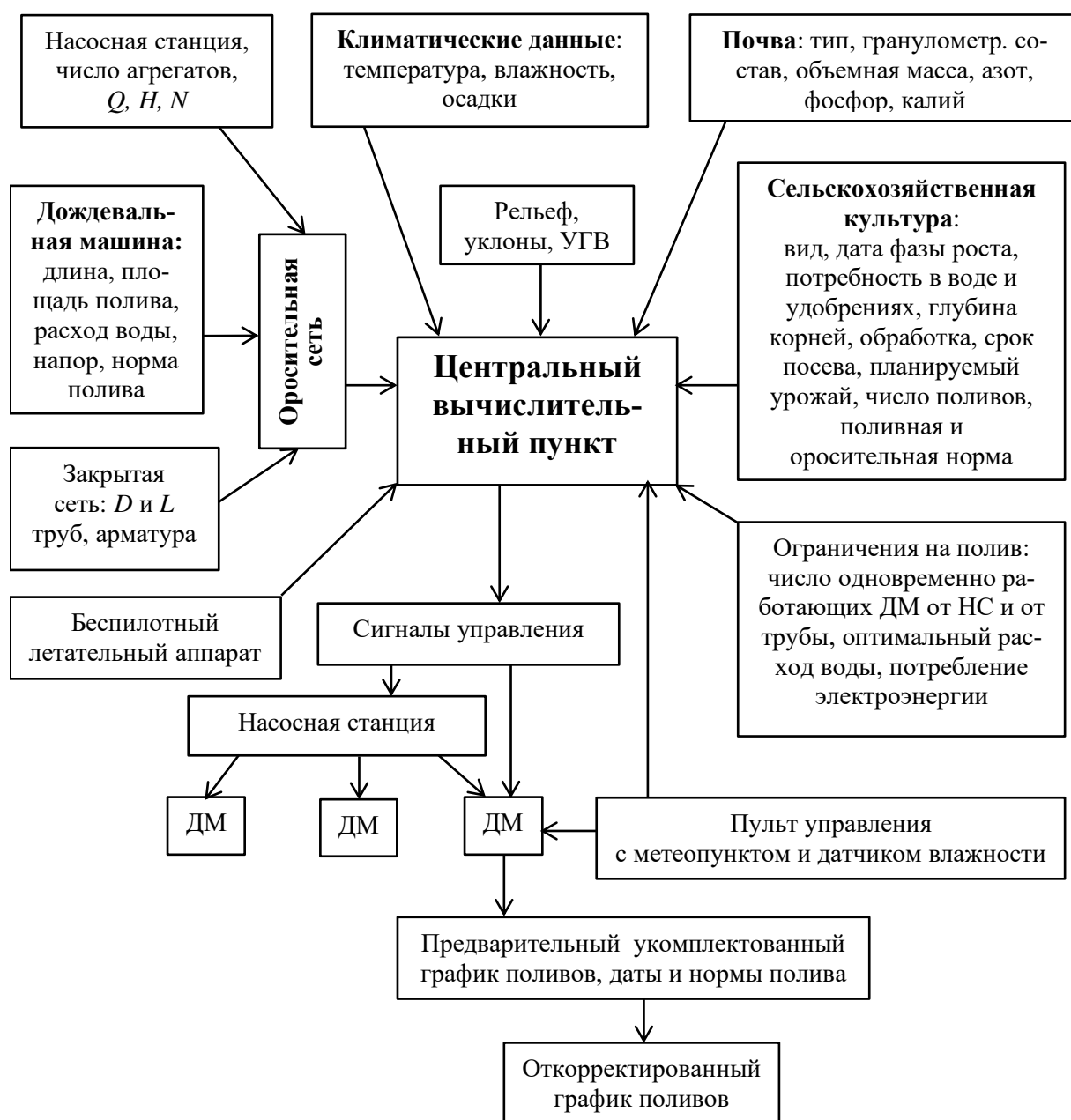


Рисунок 12 – Схема роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке



В третьей главе «Программа и методика проведения лабораторных и полевых исследований» представлены типовые и разработанные методики проведения испытаний в производственных условиях. В основу методик положены указания СТО АИСТ 11.1 – 2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей». Равномерность полива и интенсивность дождя определялись при помощи осадкомеров. Расход воды дождевальных насадок и всей машины в целом определялся объемным способом с использованием мерных емкостей. Диаметр капель дождя – при помощи обеззоленных бумажных фильтров, натертых чернильным порошком. Потери воды на испарение и снос ветром определялись по разнице объема воды, выходящих из дождевателей и объемом воды в осадкомере. Влажность почвы определялась термостатно-весовым способом с использованием термощкафа, почвенного бура и бюкс.

Лабораторные исследования проводились в соответствии с требованиями РД 70.11.1–89 «Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний». Технические средства измерения: образцовый манометр ГОСТ 2405–88, секундомер ГОСТ 5270-79, анемометр ручной крыльчатый АСО–3, рулетка RemoColor, №5006, психрометр аспирационный М–34 Ассмана. Расход воды определялся объемным методом с использованием заборного мерного устройства.

Полевые исследования дождевальной машины «Каскад» проводились в период 2017–2023 гг. на полях ООО «Листеко», ООО «Время-91», ООО «Наше дело» и других орошаемых хозяйствах.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований усовершенствованных дождевальных насадок и устройств приповерхностного дождевания при поливе многопорными машинами» приведены результаты исследований дождевальных насадок. Установлено, что расход воды зависит от диаметра сопла и давления перед насадкой (рисунок 13).

Уравнение для расчета расхода воды в зависимости от диаметра сопла ( $D$ ) ДН и давления ( $P$ ) имеет вид:

$$q = \frac{\mu \cdot D^2 \cdot (100P)^{0,5}}{287,59} = \frac{D^2 \cdot (100P)^{0,5} (0,97 - 0,01D)}{287,59}, \quad (12)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода сопла.

Исследованиями установлено, изменение коэффициента расхода  $\mu$  уменьшается от снижения степени поджатия струи, т.е. от диаметра сопла, показано на рисунке 14 и имеет вид:

$$\mu = 0,97 - 0,01D, \quad (13)$$

где  $D$  – диаметр сопла, мм.

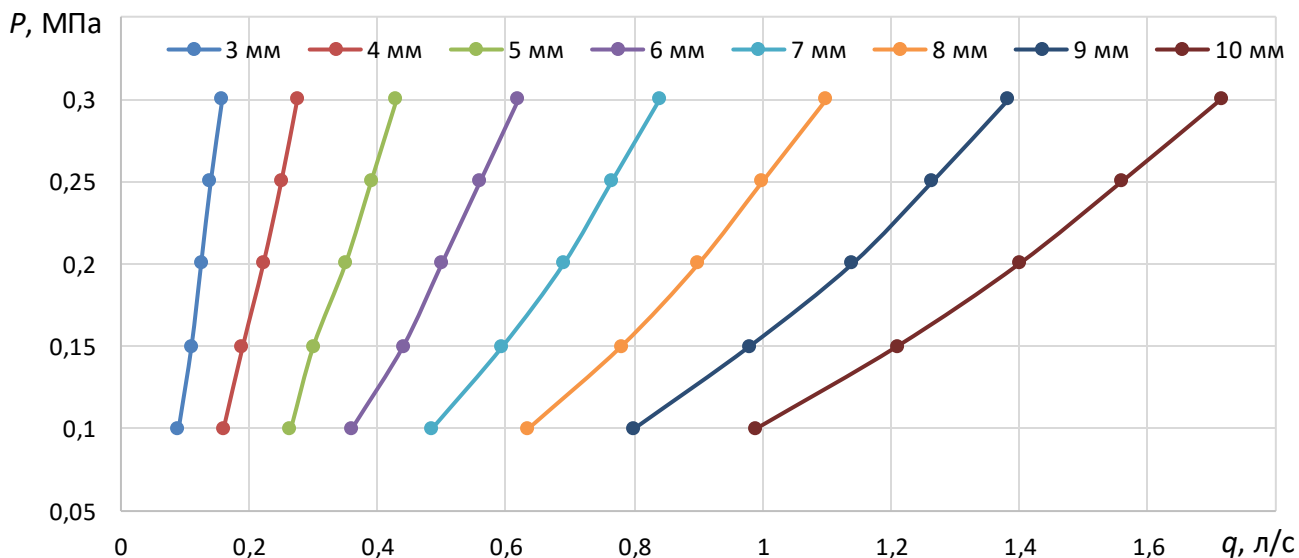


Рисунок 13 – Расход воды дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла и давления перед насадкой

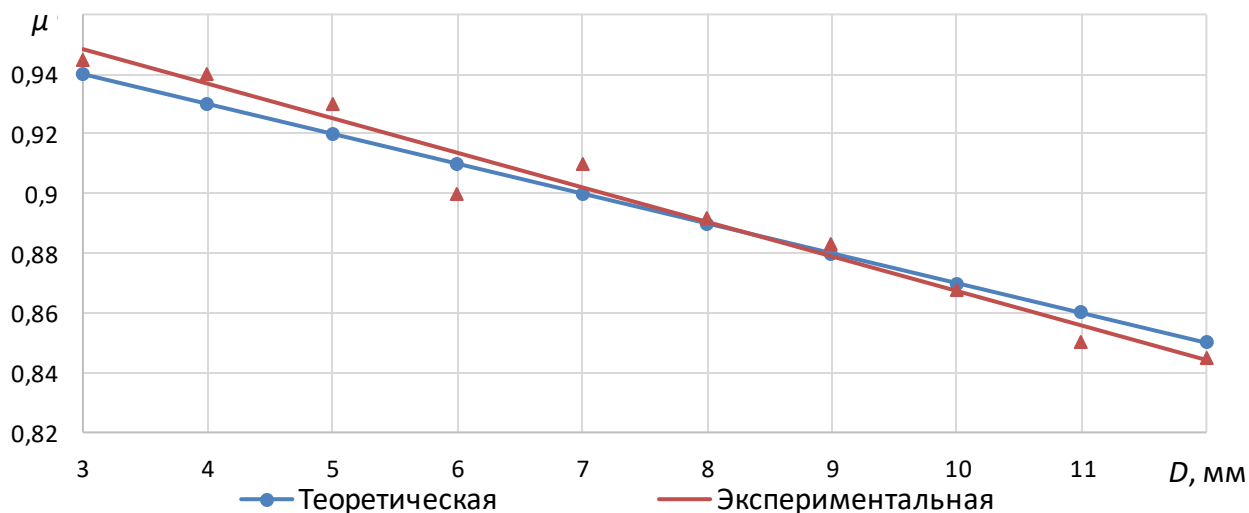


Рисунок 14 – Изменение коэффициента расход воды дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла

Дождевальные насадки обеспечивают расход воды от 0,065 до 2,13 л/с при изменении диаметра сопла от 3 до 12 мм и могут использоваться на большинстве многоопорных ДМ.

Радиус полива дождевальной насадки зависит от диаметра сопла, давления и высоты установки насадки над поверхностью поля:

$$R_h = K_h R_2 = 0,843 h^{(0,25/h+0,06h)} 100P/1,08 + 85P/D, \quad (14)$$

где  $K_h$  – коэффициент от высоты;  $R_2$  – радиус полива ДН (на высоте 2 м), м;  $h$  – высота, м;  $P$  – давление, МПа;  $D$  – диаметр сопла насадки, мм.

Исследования показывают, что радиус полива дождевальных насадок с дефлектором при увеличении диаметра сопла с 2,2 до 10 мм повышается с 2,3 до 6,4 м и соответствует стандартным дефлекторным насадкам.

Исследования дождевальной насадки секторного полива показал, что угол неполива насадки  $\gamma_n$  зависит от центрального угла клина  $\gamma_k$  (рисунок 15). Уравнение для расчета угла неполива насадки имеет вид:

$$\gamma_n = 1,28\gamma_k. \quad (15)$$

Чтобы обеспечить неполивной угол 90 град. угол клина должен быть 70 град.

Исследования показали, что радиус захвата дождем дождевальной насадкой контурного полива зависит от угла наклона отражательной пластины (рисунок 16). Уравнение для расчета радиуса полива струи после взаимодействия с отражательной пластиной ( $R_n$ ) имеет вид:

$$R_n = K_\theta R_{30}, \quad (16)$$

$$K_\theta = 0,5 + 0,0166\theta, \quad (17)$$

где  $K_\theta$  – коэффициент изменения радиуса полива от угла наклона отражательной пластины;  $\theta$  – угол наклона отражательной пластины к горизонту ( $\theta = 0^\circ \dots 30^\circ$ );  $R_{30}$  – радиус захвата дождем дождевальной насадкой с углом вылета  $30^\circ$ , м.

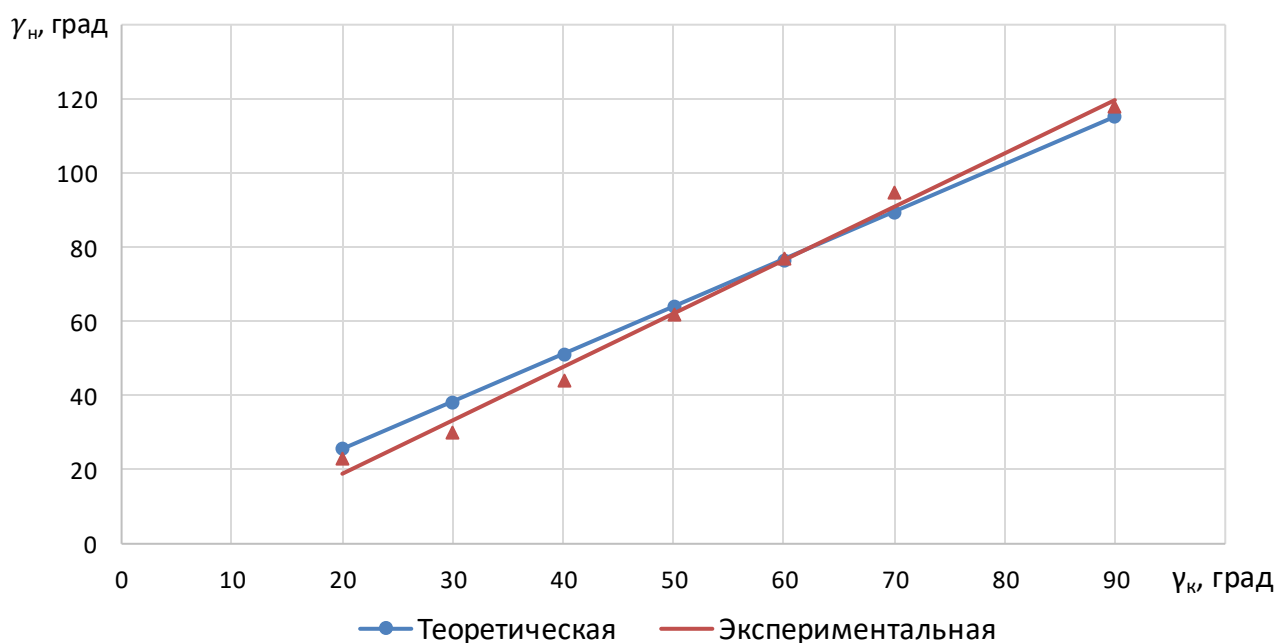


Рисунок 15 – Изменение угла неполива дождевальной насадки в зависимости от угла конуса на клине

Для обеспечения радиуса полива струи после взаимодействия с отражательной пластиной в пределах 4–4,5 м угол наклона отражательной пластины к горизонту должен быть  $15\text{--}20^\circ$ .

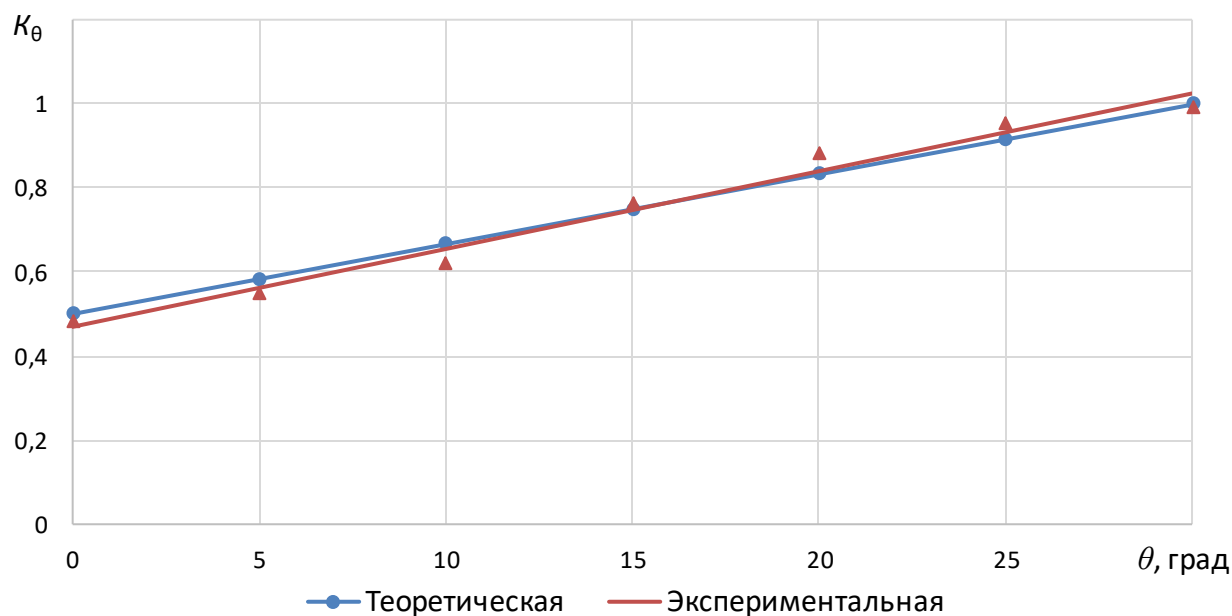


Рисунок 16 – Изменение  $K_\theta$  от угла наклона отражательной пластины

Проведенные исследования показали, что предлагаемые ДН формируют мелкокапельный дождь. Крупность капель зависит от диаметра сопла ДН, давления перед насадкой и радиуса захвата дождем (расстояния от точки ее установки до места падения крайних капель). Изменение среднего диаметра капель вдоль радиуса полива ДН с диаметром сопла  $D = 5,5$  мм показано на рисунке 17.

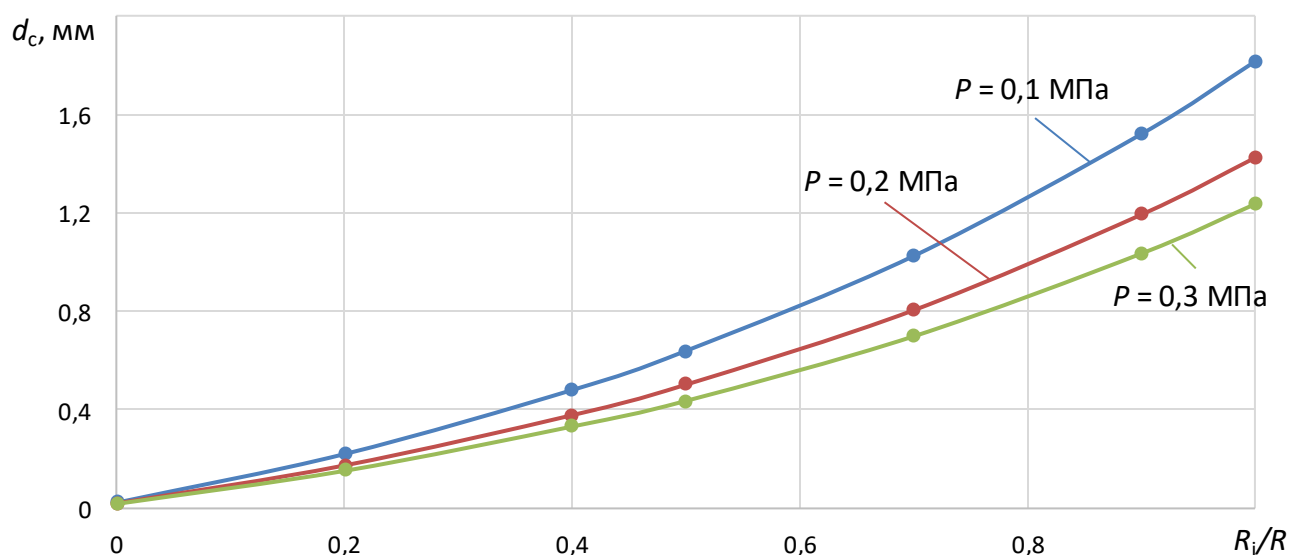


Рисунок 17 – Изменение среднего диаметра капель дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадки диаметром 5,5 мм в зависимости от давления

Из графика видно, что чем больше давление перед насадкой, тем меньше крупность капель. Крупность капель увеличивается ближе к концу радиуса захвата дождем и снижается при уменьшении значения диаметра сопла ДН.

Уравнение для определения диаметра капель в  $i$ -ой точке радиуса ДН имеет

ВИД:

$$d_i = d_{min} + (d_{max} - d_{min})X_i/R \cdot e^{-0,75(1-X_i/R)}, \quad (18)$$

где  $X_i/R$  – относительный радиус полета струи,  $0 \leq X_i/R \leq 1$ ;

$d_{min}, d_{max}$  – минимальный и максимальный средний диаметр капель, мм.

$$d_{min} = 0,011(100P)^{-0,22}D^{0,71}, \quad (19)$$

$$d_{max} = 1,75(100P)^{-0,35}D^{0,47}. \quad (20)$$

Было установлено, что средний диаметр капель дождевальных насадок со съемным дефлектором имеет близкие значения к стандартным дефлекторным насадкам. Изменение среднего диаметра капель вдоль трубопровода ДМ «Каскад», «Кубань-ЛК1», «Zimmatic» показано на рисунке 18. Применение на ДМ «Каскад» дождевальных насадок со съемным дефлектором снижает средний диаметр капель до 0,5–0,7 мм, что в 1,3 раза меньше, чем у секторных насадок (СН) «Кубань-ЛК1» (0,7–0,8 мм) и 1,5 раза меньше по сравнению с насадками *i-wob* ДМ Zimmatic.

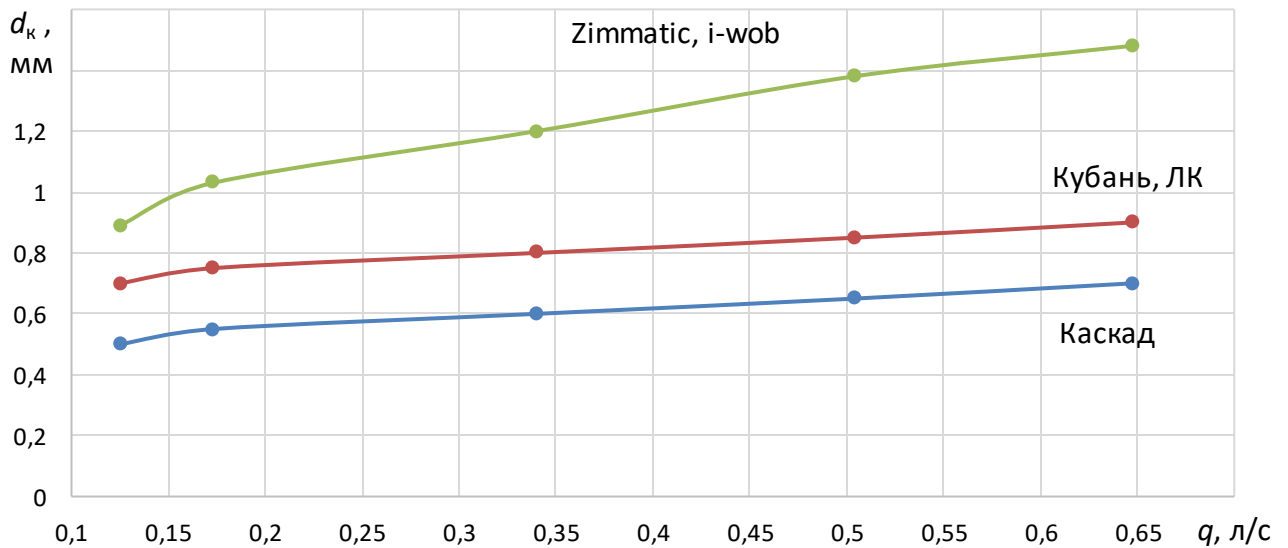


Рисунок 18 – Изменение среднего диаметра капель дождя вдоль трубопровода ДМ «Каскад», «Кубань–ЛК1» и «Zimmatic»

Было определено, что средняя интенсивность дождя ДМ Каскад с УПО и ДН, установленными на шпренгелях, соответствует уровню иностранной ДМ Zimmatic и ниже в 1,25–1,6 раза, чем у дефлекторных насадок ДМ Фрегат, установленных на трубопроводе машины (рисунок 19).

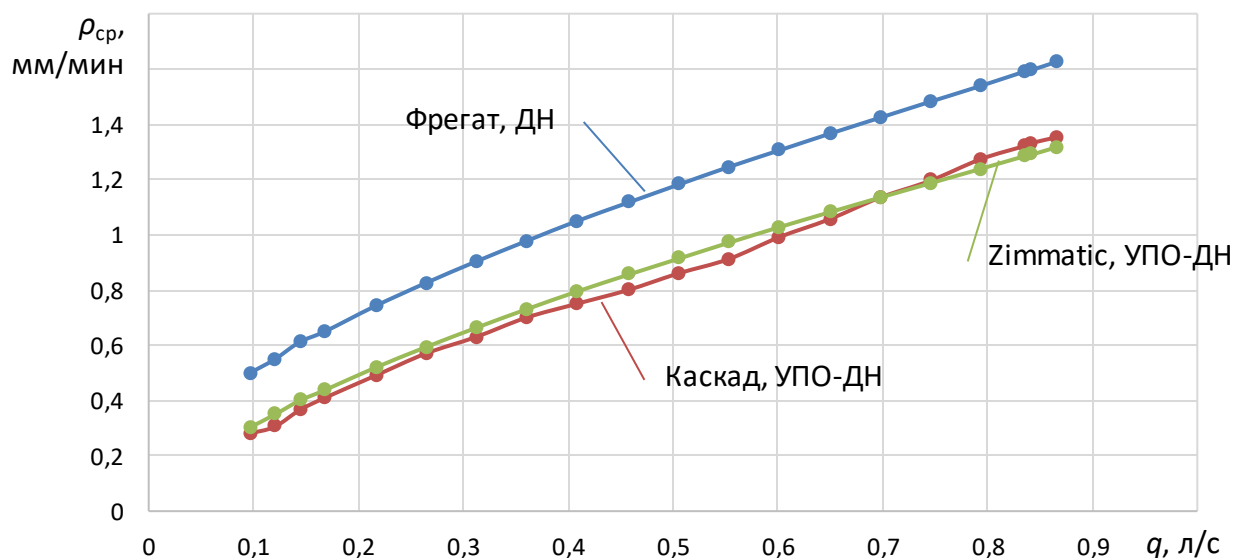


Рисунок 19 – Изменение средней интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Каскад», «Фрегат» и «Zimmatic»

Увеличение ширины расстановки дождевальных насадок, снижение среднего диаметра капель и интенсивности дождя на ДМ «Каскад» приводит к уменьшению средней мощности дождя в 1,5–2 раза по сравнению с насадками *i-wob* Zimmatic (рисунок 20).

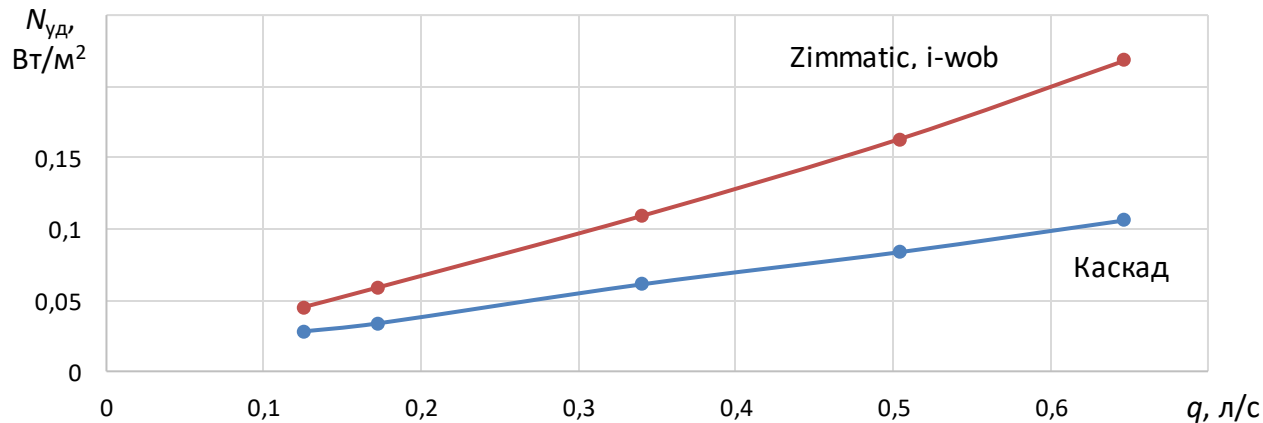


Рисунок 20 – Изменение удельной мощности дождя вдоль трубопровода ДМ «Каскад» и Zimmatic

Дождевальная насадка с дефлектором формирует однородный дождь по всему контуру полива, при этом снижается реактивный момент при выходе струи из сопла. Устойчивое вертикальное положение при поливе обеспечивает насадка с грузом общей массой 0,4 кг.

В пятой главе «**Результаты исследований многоопорной дождевальной машины «Каскад». Экономическая эффективность результатов исследований**», оценка проводилась согласно ГОСТ 34393–2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Обработку полученных

данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов (Доспехов Б.А., 1985), а компьютерная обработка проводилась при помощи программ для ПЭВМ: Statistica, Excel.

Проведены исследования дождевальных машин «Каскад» № 1, 4 и 3 в ООО «Листеко» с устройствами приземного орошения и дождевальными насадками, настроенными по разработанным картам. Длины машин составляли 475, 452 и 434 м и обеспечивали расчетный расход воды (63,6; 57,9 и 53,7 л/с) при низком напоре ( $H=46; 39$  и  $35$  м) и позволяли его регулировать в широких пределах – от 45 до 66 л/с. Уравнения для расчета расхода воды в зависимости от напора для ДМ № 1, 4 и 3 имеют вид:

$$Q_1 = 9,377H^{0,5} (L = 475 \text{ м}), \quad (21)$$

$$Q_4 = 9,271H^{0,5} (L = 452 \text{ м}), \quad (22)$$

$$Q_3 = 9,082H^{0,5} (L = 434 \text{ м}). \quad (23)$$

Исследованиями установлено, что ДМ «Каскад» с УПО и усовершенствованными дефлекторными насадками обеспечивает при ветре 3–5 м/с повышение равномерности полива до 0,70–0,82, т. е. на 13–20 % больше, чем «Кубань–ЛК1» с секторными насадками (0,6–0,72). Это достигается за счет уменьшения высоты подъема дождевого облака с 4–5 м до 1,5–3,2 м (не более 0,5–1,0 м) над растениями, чем обеспечивается снижение ветровой нагрузки, сноса дождя и оптимизацией распыла струи по сравнению со стандартной ДМ «Кубань–ЛК1» с секторными насадками и ДМ «Фрегат» (рисунок 21).

Равномерность полива при ветре ДМ «Каскад» значительно лучше, чем у ДМ «Фрегат» как со среднеструйными дождевальными аппаратами (СДА), так и с ДН, установленными в стандартные штуцера. Равномерность полива ДМ «Каскад» с УПО находится на уровне иностранных ДМ Zimmatic.

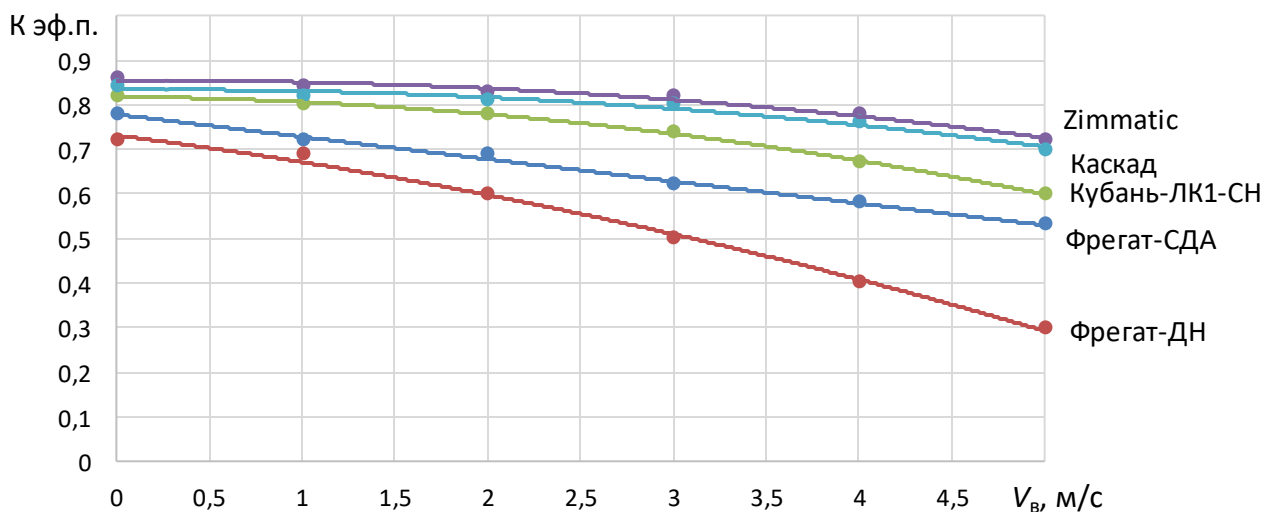


Рисунок 21 – Изменение равномерности полива ( $K_{эф.п}$ ) в зависимости от скорости ветра ДМ «Каскад», «Фрегат», «Кубань-ЛК1» и Zimmatic

Установлено, что ДМ «Каскад» с дефлекторными насадками, установленными на УПО по сравнению с секторными насадками «Кубань–ЛК1», обеспечивает в 1,5–2 раза снижение потерь воды на испарение и снос в зависимости от метеорологической напряженности. Это обеспечивалось за счет уменьшения высоты подъема дождя с 4–5 м до 1,5–2,5 м, снижения ветровой нагрузки и оптимизации распыла дождевателей (рисунок 22).

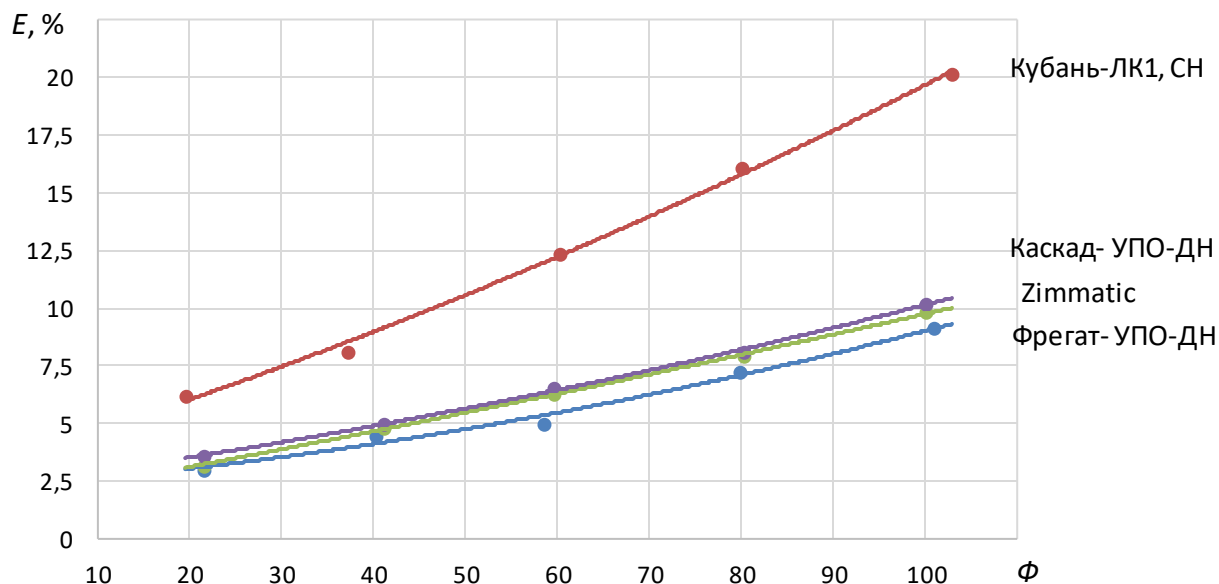


Рисунок 22 – Снижение потерь воды на испарение и снос ( $E$ ) в зависимости от коэффициента метеорологической напряженности ( $\Phi$ ) для ДМ «Каскад», «Фрегат», Zimmatic и Кубань-ЛК1

Потери воды на испарение и снос у ДМ Каскад находятся в пределах 3–10 %, т.е. на уровне иностранных ДМ и машин «Фрегат» с УПО.

Применение на ДМ «Каскад» усовершенствованных дождевальных насадок и УПО повышают качественные показатели полива. При поливе формируется мелкокапельный дождь с меньшей интенсивностью и мощностью дождя (по сравнению с секторными насадками «Кубань-ЛК1»), который не уплотняет верхний слой почвы. Это обеспечивает более равномерное увлажнение почвы и будет способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Исследования низконапорных ДМ «Каскад» при эксплуатации с насосами 1Д500–63 (ООО Время–91) и 330Д70 (ООО Листеко) в оптимальном режиме обеспечивают экономию энергозатрат на полив (253–263 кВт·ч) в 1,81–1,87 раз (таблица 4 и 5) по сравнению с высоконапорными ДМ «Фрегат» и насосами Д1250–125, где энергозатраты на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды составляют 475–500 кВт и более.



Таблица 4 – Технические характеристики и затраты электроэнергии ( $Ny$ ) на подачу  $1000 \text{ м}^3$  воды в ООО «Время-91» при эксплуатации ДМ «Каскад»

Марка машины	Расход воды, л/с	Давление на насосе, МПа	$Ny$ , кВт-ч на $1000 \text{ м}^3$	Потребляемая мощность электродвигателем, кВт	Экономия энергозатрат, раз
ДМ «Каскад» и «Фрегат»	140	0,63	262	132	1,81
ДМ «Фрегат»	60	0,65	370	80	1,28

Таблица 5 – Технические характеристики и затраты электроэнергии ( $Ny$ ) на подачу  $1000 \text{ м}^3$  воды в ООО «Листеко» при эксплуатации ДМ «Каскад»

Номера работающих машины	Расход воды, л/с	Давление на насосе, МПа	$Ny$ , кВт-ч на $1000 \text{ м}^3$	Потребляемая мощность электродвигателем, кВт	Экономия энергозатрат, раз
№ 4, 5 и 3	175,3	0,65	253,5	160	1,87
№ 1 и 2	121,6	0,75	321,3	140	1,47

Использование на низконапорных ДМ «Каскад» в ООО «Любицкое» с подкачивающим насосом увеличивает радиус захвата дождем концевым аппаратом до 25 м и повысило площадь полива до 5,3 га на машину (таблица 6) и на 4-х ДМ дополнительно поливается – 21,2 га. Дополнительно ежегодно получается продукции на 160 тыс. рублей.

Таблица 6 – Характеристики полива концевого аппарата в зависимости от напора на входе к ДМ «Каскад» при использовании подкачивающего насоса

Хозяйство	№ ДМ	Насос на НС	$H_{nc}$ , м	$h_p$ , м	$h_r$ , м	$L$ , м	$H_{vx}$ , м	$H_{kda}$ , м	$R$ , м	$q$ , л/с	$S_d$ , га
ООО «Любицкое»	1–4	F34k150/8E	60	12	8	475	40	5	5		–
	1–4		60	12	8	475	40	20*	25	4,3	5,3

Исследования подтвердили, что использование избытка напора на закрытой сети больших орошаемых участков и настройка ДМ «Каскад» на требуемый расход воды при помощи регуляторов давления или регулировочных дюз обеспечивают увеличение радиуса полива до 34–47 м и площадь дополнительного полива до 6,5–12 га на машину (таблица 7).

Исследования показали, что с увеличением нормы полива до 60 мм увеличивается влажность почвы перед колесами и увеличивается глубина колеи до

10–12 см при первом поливе. С увеличением числа полива за поливной сезон глубина колеи увеличивается. Причем чем больше поливная норма, тем более интенсивно увеличивается глубина колеи и достигает 20–30 см при норме полива 600 м<sup>3</sup>/га. При норме полива 150 м<sup>3</sup>/га глубина колеи в конце поливного сезона меньше – 12–15 см.

Таблица 7 – Характеристики полива концевой аппаратуры в зависимости от напора на входе к ДМ «Каскад» при настройке на требуемый расход воды

Хозяйство, № НС	№ ДМ	Насос	Н <sub>нс</sub> м	h <sub>п</sub> , м	h <sub>г</sub> , м	L, м	Н <sub>вх</sub> м	Н <sub>кда</sub> , м	R, м	q, л/с	S <sub>д</sub> , га
ООО «Время–91» НС №3	1	200Д90	100	16,5	5	520	48*	10	13		–
	1		100	16,5	5	520	88,5**	48	40,6	7,9	12
	2		100	24,3	5	520	48*	10	13		–
	2		100	24,3	5	520	80,7**	42,7	38	6,9	10
ООО «Наше дело» НС №4	18	Д1250–125	100	10	0	452	39*	10	13		
	18		100	10	0	452	90**	60	47,2	11	11
	21		100	15	0	452	39*	10	13		–
	21		100	15	0	452	85**	55	45	10	10
ООО «Листеко»	1	300Д70	72	2	0	475	46*	10	13		–
	1		72	2	0	475	70**	34	34	7,1	6,5

Примечание: Н<sub>нс</sub> – напор на насосной станции; h<sub>п</sub> – потери напора по длине трубопровода; h<sub>г</sub> – геодезический перепад; L – длина машины; Н<sub>вх</sub> – напор на входе в машину; Н<sub>кда</sub>, R, q – напор, радиус полива и расход воды концевой аппаратуры; S<sub>д</sub> – дополнительная площадь полива концевым аппаратом; \* – на входе в машину стандартный напор при частично закрытой задвижке; \*\* – на машине используется полный напор в закрытой сети.

Использование на ДМ «Каскад» и УПД дождевальных насадок секторного и контурного полива исключают попадание оросительной воды под колеса до 0–50 м<sup>3</sup>/га и уменьшают глубину колеи с 20–30 см до 6–9 см. Это снижает потребляемую мощность электродвигателя при передвижении тележек машины, и как следствие снижается мощность на передвижение машины с 0,5 кВт до 0,4 кВт. Уменьшение колееобразования будет способствовать повышению производительности машинно-тракторных агрегатов при обработке орошаемого участка и в период проведения уборочных работ.

Работа ДМ «Каскад» при низком давлении 0,25–0,4 МПа при оптимальном режиме насоса позволила снизить энергозатраты на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды с 475–500 кВт·ч до 253–262 кВт·ч (машина становится в 1,5–2 раза более экономичнее по потреблению энергии) (таблица 8).

Таблица 8 – Экономическая эффективность применения ДМ «Каскад» с УПО-ДН при низком давлении

Наименование показателей	Стандартная комплектация ДМ Каскад	ДМ Каскад с УПО-ДН при низком давлении
Энергозатраты, руб. (кВт-ч) / 1000 м <sup>3</sup>	22800 (475)	12576 (262)
Давление, МПа	0,9–1,0	0,25–0,4
Опора, опорные тележки, руб.	600000	600000
Трубопровод с ферменной конструкцией, руб.	2392000	2392000
Основные детали (колеса, редуктор, дождеватели, метизы и пр.), руб.	2540000	2540000
Автоматика, руб.	750000	750000
Суммарная стоимость ДМ, руб.	6304800	6294576
Затраты на 1 га, руб./га (в расчете на 100 га)	63048	62946

Таким образом, экономическая эффективность от внедрения усовершенствованной ДМ «Каскад» и перевода насосной станции на низконапорные режимы работы 0,7–0,6 МПа, вместо 1,2–0,9 МПа, позволяет использовать на подачу 3000 м<sup>3</sup> воды 30 тыс. кВт-ч электроэнергии. В среднем на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды тратится 10000 кВт-ч, при том что высоконапорная энергоемкая ДМ «Фрегат» на подачу такого же объема воды затрачивает 42 тыс. кВт-ч, в среднем на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды тратится 15000 кВт-ч, что на 30 % выше относительно низконапорной ДМ «Каскад».

Кроме того, замена ДМ «Фрегат» на усовершенствованные ДМ «Каскад» позволит увеличить число одновременно работающих машин от одного насосного агрегата с 1–2 ДМ «Фрегат» до 3–4 ДМ «Каскад». Так при использовании одного насосного агрегата Д120/125 с электродвигателем 500 кВт, возможно увеличить число работающих низконапорных машин ДМ «Каскад» до 4 шт. В стандартном режиме нормальная работа 3 серийных энергоемких ДМ «Фрегат» обеспечивается двумя насосными агрегатами марки Д120/125.

При определении досточковых поливных норм разными дождевателями на посевах сои сорта Соер 7 на среднесуглинистых почвах с впитывающей способностью 38 мм использовалась формула П.И. Кузнецова. Результаты расчетов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет досточковых поливных норм

Показатель	Аппарат Роса, ДМ «Фрегат»	Дождевальные насадки с УПО
Впитывающая способность $P$ , мм	38	38
Ср. интенсивность дождя $\rho$ , мм/мин	0,5	0,8
Средний диаметр капель дождя $d$ , мм	1,7	0,7
Поливная норма $m$ , мм	36,5	47
Поливная норма $m$ , м <sup>3</sup> /га	365	470

Проведение поливного режима посевов сои с дождевальными насадками с УПО более высокими досточковыми поливными нормами уменьшило количество поливов и энергоемкость проведения режима орошения. Более высокие поливные нормы увеличивали слой увлажнения и зону питания корневой системы, что в свою очередь повлияло на увеличение урожайности сои. При поливе дождевальными насадками с УПО урожайность данной культуры составила 2,4 т/га, а при поливе аппаратом «Роса» – 1,5 т/га.

Более равномерное увлажнение почвы и снижение потерь воды на испарение и снос ветром обеспечило повышение урожайности сои при поливе ДМ «Каскад» с УПО-ДН на 27 % (таблица 10).

Таблица 10 – Экономическая эффективность внедрения устройств приземного орошения и усовершенствованных дождевальных насадок на ДМ «Каскад»

Наименование показателей	ДМ «Каскад»	
	СН	УПО-ДН
Наименование культуры	Соя	
Средний диаметр капель, мм	0,9	0,5
Удельная мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup>	0,17	0,09
Равномерность полива при скорости ветра 3,8 м/с	0,70	0,81
Потери воды на испарение и снос, %	15	7
Урожайность, ц/га	12	21
Прибавка урожая, ц/га		9
Годовой экономический эффект, тыс. руб.		567

В среднем, по машине прибавка урожая сои составляет 9 ц/га или 567 тыс. рублей на машину.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования существующих многоопорных дождевальных машин российского и импортного производства оснащаются дождевальными насадками и аппаратами, которые не в полной мере удовлетворяют качеству полива и надежности работы, на них используются дождеватели большой интенсивности и мощности дождя, что вызывает эрозию и сток почвы. Тележки передвигаются в зоне дождя, что вызывает образование глубоких и широких колеи это требует значительной мощности электродвигателей на передвижение. При внесении удобрений и химвеществ стальной трубопровод подвержен значительной коррозии, что снижает надежность работы и срок службы трубопровода и конструктивных элементов машины. Для низконапорных дождевальных машин кругового действия характерным является недополив угловых участков и низкий коэффициент земельного использования ( $KЗИ = 0,81-0,83$ ).

2. Теоретически обоснована малоинтенсивная, водосберегающая и почвозащитная технология орошения дождевальными машинами кругового действия и алгоритм расчета оптимальных параметров дождевальных насадок. Обоснована конструкция и геометрические размеры усовершенствованных устройств приповерхностного полива, которые устанавливаются на высоте от 1,5 до 3,2 м и увеличивают ширину расстановки насадок поперек трубопровода до 5–6 м при снижении интенсивности дождя в 1,23–1,65 раза. Устройства приповерхностного дождевания ДМ «Каскад» обеспечивают высокую равномерность полива при скорости ветра 3–4 м/с до 0,75–0,80, что на 6,6–14,2 %, больше устройств со среднеструйными аппаратами и на 20–35 % выше с дефлекторными насадками установленными в стандартные штуцера ДМ «Фрегат». Снижения потери воды на испарение и снос ветром 6–10 %. удается достичь путем снижения дождевого облака с 4–7 м до 1,5–3,5 м над поверхностью почвы и до 1,0–1,5 м над поверхностью растений. Определена математическая зависимость расхода воды и дальности полета струй дождя от диаметра сопла. Предлагаются зависимости для определения крупности капель дождя в любой точке радиуса полива. Средний диаметр капель дождя составляет 0,5–0,7 мм, что в 1,5–2 раза меньше по сравнению с насадками ДМ Zimmatic и на 30 % меньше, чем у секторных насадок.

3. При движении машины по увлажненному полю возможны неравномерные перемещения отдельных тележек и искривление трубопровода. Уточненная теория расчета параметров пневматических колес дождевальных машин дает обоснование для повышения проходимости опорных тележек. Установка в месте нахождения тележек на устройствах приповерхностного дождевания дождевальных насадок секторного и контурного полива позволяет уменьшить глубину колеи после многократных проходов с 15–20 см до 6–9 см. Мощность на передвижение тележки уменьшается с 0,5 кВт до 0,4 кВт. Уменьшение колееобразования будет

способствовать снижению энергоемкости передвижения и повышению производительности машинно-тракторных агрегатов при обработке орошаемого участка и при проведении уборки.

4. Обоснованы различные варианты применения концевых дождевальных аппаратов для увеличения площади полива как за счет использования подкачивающего насоса с электродвигателем малой мощности (1,1 кВт), так и за счет использования избытка напора на гидрантах, расположенных вначале и середине орошаемых участков. Дополнительная площадь полива ДМ «Каскад» и других многоопорных дождевальных машин в зависимости от модификации и длины машин может увеличиваться от 3 до 12 га.

5. Предлагается конструкция многоопорной дождевальной машины, обеспечивающая внесение удобрительных растворов только через дополнительные полиэтиленовые трубопроводы. Для внесения удобрений и химических препаратов только через полиэтиленовый трубопровод обоснована схема подачи и определены его размеры вдоль машины. Предложенный алгоритм и методика расчета позволяет определять диаметры и длины полиэтиленовых трубопроводов: без увеличения общего расхода воды машины; с увеличением расхода воды до 75 л/с и снижении давления на входе машины с 0,43 до 0,35 МПа; при увеличении расхода воды ДМ «Каскад» до 90 л/с при давлении на входе 0,35 МПа.

6. Исследования в проведении поливных режимов сои досточковыми поливными нормами с помощью дождевальных насадок с УПО по сравнению с поливами аппаратами «Роса» показали, при поливе насадками увеличивается величина поливной нормы, сокращается число поливов и уменьшается энергоемкость проведения поливного режима культуры. Полив дождевальными насадками с большими значениями средней интенсивности дождя, но с меньшим диаметром капель, чем у аппаратов «Роса» благоприятно влияет на микроклимат надземной части растений. При большей поливной норме увеличивается активный слой почвы и зона питания корневой системы, что в свою очередь увеличивает урожайность орошаемой культуры с 1,58 т/га до 1,92 т/га.

7. Предложенная схема и основные блоки роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур (на примере сои) на орошаемом участке и разработанный алгоритм взаимосвязи и выполнения операций сбора данных, расчета, контроля и управления позволяет оперативно проводить забор воды из водоисточника и подача ее на поле.

8. Устройства приповерхностного дождевания производят качественный полив на ДМ «Каскад» с низким напором (46; 39 и 35 м) и возможностью регулировки расхода от 45 до 66 л/с. При этом энергоемкость полива в 1,4–1,8 раза ниже по сравнению с высоконапорными машинами «Фрегат». Экономическая оценка показала, что себестоимость ДМ «Каскад» составляет 6304800 руб.

Себестоимость ДМ «Каскад» с УПО-ДН составляет 6294576 руб. Средний урожай сои на участках полива ДМ, оборудованных низконапорными дождевателями выше на 8 %, чем на участках полива серийными дождевальными аппаратами. Экономический эффект составил 567000 руб. на машину.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. На орошаемых участках рекомендуются внедрять многоопорные дождевальные машины ферменной конструкции «Каскад» с усовершенствованными устройствами приповерхностного дождевания которые увеличивают ширину захвата дождем и снижают интенсивность дождя на пролетах тележек, а также при мелкокапельном распыле дождевальными насадками с дефлекторами повышают норму полива до стока.

2. На орошаемых участках рекомендуются внедрять дождевальные машины ферменной конструкции «Каскад» с дождевальными насадками секторного и контурного полива монтируемые в районе тележек, что позволит снизить глубину колеи, уменьшит буксование и мощность на передвижение тележек и повысит проходимость машины.

3. Внедрять низконапорные ДМ «Каскад» с малоэнергоёмкими насосами для снижения энергозатрат на полив. Проведение гидроподкормки через полиэтиленовый трубопровод и УПО обеспечат повышение эффективности орошения и снизят коррозию конструктивных элементов дождевальных машин. Внедрение усовершенствованных концевых дождевальных аппаратов позволит увеличить радиус захвата дождем до 25–30 м и уменьшить потребление электроэнергии на подкачивающем насосе.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Совершенствование многоопорных дождевальных машин путем создания более совершенных эрозионно-безопасных дождевателей роторного и струйного типа, снижения напора на входе и энергоёмкости полива, отслеживание и регулирование напора на входе в зависимости от уклона поверхности поля, автоматическое изменение расхода воды, агротехнических показателей полива и норму полива в зависимости от рельефа участка и метеорологических условий.

### **СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Рецензируемые научные издания, рекомендованных ВАК Минобрнауки России**

1. Соловьев, Д.А. Результаты создания дождевальной машины «Фрегат», работающей в режимах при низких напорах / Д.А. Соловьев, М.С. Елисеев, Д.А.

- Колганов, М.Г. **Загоруйко** // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 67–69.
2. Затинаяцкий, С.В. Гидравлическая модель работы модифицированной ДМ «Фрегат» с возможностью движения без полива / С.В. Затинаяцкий, Д.А. Колганов, М.Г. **Загоруйко** // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 7. – С. 69–72.
3. Свиридов, А.С. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей / А.С. Свиридов, Ю.В. Катаев, М.Г. **Загоруйко** // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 6. – С. 96–100.
4. Годжаев, З.А. Математическая модель оценки недобора урожая от переуплотнения почвы движителями сельхозмашин / З.А. Годжаев, А.В. Лавров, А.В. Русанов, М.Г. **Загоруйко** // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 9. – С. 81–86.
5. Кравчук, А.В. Особенности использования и конструктивные решения широкозахватной дождевальной техники / А.В. Кравчук, Б.Н. Бельтиков, М.Г. **Загоруйко**, Е.Н. Бессмольная // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 8. – С. 82–84.
6. Соловьев, Д.А. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «КАСКАД 65Т» / Д.А. Соловьев, Р.Е. Кузнецов, Д.Г. Горюнов, Ю.Н. Гречечук, М.Г. **Загоруйко** // Природообустройство. – 2023. – № 1. – С. 28–32.
7. Соловьев, Д.А. Параметры закрытой оросительной сети и конструкция узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д.А. Соловьев, Р.Е. Кузнецов, Д.Г. Горюнов, Ю.Н. Гречечук, М.Г. **Загоруйко** // Природообустройство. – 2023. – № 2. – С. 66–71.
8. Горюнов, Д.Г. Особенности технического обслуживания дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д.Г. Горюнов, М.Г. **Загоруйко**, Р.Г. Кузнецов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 36–37.
9. Соловьев, Д.А. Дистанционное управление и мониторинг дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д.А. Соловьев, Д.Г. Горюнов, Ю.Н. Гречечук, М.Г. **Загоруйко**, Р.Е. Кузнецов // Природообустройство. – 2023. – № 5. – С. 28–32.
10. Башмаков, И.А. Особенности конструкции элементов привода электрических дождевальных машин кругового действия / И.А. Башмаков, М.Г. **Загоруйко** // Природообустройство. – 2023. – № 5. – С. 33–39.
11. **Загоруйко** М.Г. Снижение энергоемкости полива при эксплуатации многоопорных дождевальных машин «Каскад» / М.Г. **Загоруйко**, Д.А. Соловьев, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Мелиорация и водное хозяйство. – № 1. – 2024. – С. 39–42.
12. **Загоруйко**, М.Г. Роботизированный оросительный комплекс для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке / М.Г. **Загоруйко**, Д.А. Соловьев, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т 18. – № 2. – С. 61–67.

#### Публикации в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus

13. Esin, A.I. An research of the flow-pressure relationships of the «Cascade» family sprinkler machines. Mathematical modeling (Исследование зависимости расхода от давления в дождевальных машинах «Каскад». Математическое моделирование) / A.I. Esin, D.A. Soloviev, A.V. Rusinov, М.Г. **Zagoruyko**, D.A. Kolganov / В сборнике: Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. Ser. «Computer



Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry, CMSD 2021». – 2022. – С. 1225103.

14. Esin, A.I. Longitudinal homogeneous flow in a cylindrical coarse filter (Продольное однородное течение в цилиндрическом фильтре грубой очистки) / A.I. Esin, D.A. Soloviev, **M.G. Zagoruyko**, D.A. Kolganov, T.A. Marynova // В сборнике: International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science» (AEES 2021). – London, 2022. – С. 012159.

15. Esin, A.I. Screw flow in cylindrical coarse filter (Винтовой поток в цилиндрическом фильтре грубой очистки) / A.I. Esin, D.A. Soloviev, **M.G. Zagoruyko**, D.A. Kolganov, T.A. Marynova // В сборнике: Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. – International Scientific and Practical Conference. – London, 2022. – С. 012068.

16. Soloviev, D.A. Investigation of the movement of multi-support frontal machines (Исследование движения многоопорных фронтальных машин) / D.A. Soloviev, A.V. Rusinov, **M.G. Zagoruyko**, D.A. Kolganov, R.N. Bakhtiev // В сборнике: Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. – International Scientific and Practical Conference. – London, 2022. – С. 012059.

17. Belyshkina, M. The study of possible soybean introduction into new cultivation regions based on the climate change analysis and the agro-ecological testing of the varieties (Изучение возможности внедрения сои в новые регионы выращивания на основе анализа изменения климата и агроэкологического тестирования сортов) / M. Belyshkina, **M. Zagoruyko**, D. Mironov, I. Bashmakov, D. Rybalkin, A. Romanovskaya // Agronomy. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 610.

#### Патенты и авторские свидетельства

18. Пат. 146223 Российская Федерация, МПК А01G 27/00. Устройство автополива растений, выращиваемых в контейнерах (варианты) / Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Колесников Н.А., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – № 2014102048/13, заявл. 22.01.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28. – 2 с.

19. Пат. 144139 Российская Федерация, МПК А01G 25/00. Устройство автополива цветочных растений, выращиваемых в контейнерах / Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Колесников Н.А., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – № 2014105266/13, заявл. 12.02.2014; опубл. 10.08.2014, Бюл. № 22. – 2 с.

20. Пат. 166617 Российская Федерация, МПК А01G 25/00. Дождевальная насадка / Елисеев М.С., **Загоруйко М.Г.**, Соловьев Д.А., Колганов Д.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – № 2016116573/13, заявл. 28.04.2016; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. – 2 с.

21. Пат. 2781626 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Ферменный пролет дождевальной машины / Соловьев Д.А., Кузнецов Р.Е., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – № 2022101334, заявл. 21.01.2022; опубл. 17.10.2022, Бюл. № 29. – 26 с.

22. Св-во 2022620836 Российская Федерация. Инновационный

роботизированный оросительный комплекс для семеноводства сои / **Загоруйко М.Г.**, Бельшкіна М.Е.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – № 2022620653, заявл. 06.04.2022; опублик. 18.04.2022, Бюл. № 4. – 1 с.

23. Св-во 2022620837 Российская Федерация. Оценка агроклиматических условий и прогноз смещения северной границы возделывания сои в условиях Центрального района Нечерноземной зоны / Бельшкіна М.Е., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – № 2022620658, заявл. 06.04.2022; опублик. 18.04.2022, Бюл. № 4. – 1 с.

24. Св-во 2022620904 Российская Федерация. Алгоритм подбора модели сорта сои с учетом агроклиматических условий региона возделывания / Бельшкіна М.Е., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – № 2022620649, заявл. 06.04.2022; опублик. 21.04.2022, Бюл. № 5. – 1 с.

25. Пат. 2789034 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Пролет фермы дождевальной машины (варианты) / Соловьев Д.А., Колганов Д.А., Кузнецов Р.Е., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова». – № 2021137673, заявл. 16.12.2021; опублик. 27.01.2023, Бюл. № 3. – 19 с.

26. Пат. 2810574 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом / Соловьев Д.А., Кузнецов Р.Е., Горюнов Д.Г., Садаев М.С., **Загоруйко М.Г.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова». – № 2023128411, заявл. 02.11.2023; опублик. 27.12.2023, Бюл. № 36. – 13 с.

#### **Публикации в журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций и других изданиях**

27. **Загоруйко, М.Г.** Алгоритм моделирования технологий и составления технологических комплексов машин / М.Г. Загоруйко, Д.А. Соловьев, Д.Г. Горюнов, Р.Е. Кузнецов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. – Саратов: Изд-во СГАУ имени Н.И. Вавилова, 2011. С. 215–216.

28. Соловьев, Д.А. Исследования дефлекторных оросителей / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, **М.Г. Загоруйко** // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–1. С. 222.

29. **Загоруйко, М.Г.** Оптимизация геометрических параметров элементов строительных конструкций на этапе их проектирования с помощью технологий 3D-прототипирования / М.Г. Загоруйко, М.С. Елисеев, В.В. Васильчиков // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 1. – С. 45–48.

30. **Загоруйко, М.Г.** Повышение качественных показателей полива многоопорных дождевальных машин ферменной конструкции / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.А. Шишенин, Е.С. Смирнов, **М.Г. Загоруйко**, С.В. Ботов // Национальная научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 125 - летию профессора Ильи Абрамовича Кузника. – Саратов: Изд-во

ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2023. С. 63–69.

31. **Загоруйко, М.Г.** Проектирование деталей дождевальных машин с применением технологий 3D-прототипирования / **М.Г. Загоруйко**, В.В. Васильчиков, А.А. Леонтьев // Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Саратов: Изд-во СГАУ имени Н.И. Вавилова, 2017. С. 115–119.

32. Бельшкіна, М.Е. Пути совершенствования технологии уборки и послеуборочной доработки сои / М.Е. Бельшкіна, И.А. Старостин, **М.Г. Загоруйко** // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 8. – С. 4–9.

33. **Загоруйко, М.Г.** Мониторинг показателей фотосинтетической деятельности и его использование для прогнозирования потенциальной урожайности сои / **М.Г. Загоруйко**, М.Е. Бельшкіна, Р.К. Курбанов, Н.И. Захарова // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 12. – С. 9–12.

34. Бельшкіна, М.Е. Особенности производственного процесса сортов сои разных регионов районирования в агроклиматических условиях ЦРНЗ РФ / М.Е. Бельшкіна, **М.Г. Загоруйко** // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 3. С. 4–9.

35. Катаев, Ю.В. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий / Ю.В. Катаев, **М.Г. Загоруйко**, И.А. Тишанинов, Е.А. Градов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 79–82.

36. Бельшкіна, М.Е. Оценка биохимического состава семян сои северного экотипа / М.Е. Бельшкіна, **М.Г. Загоруйко**, И.А. Старостин, А.В. Ещин // Научная жизнь. – 2022. – Т. 17. – № 6 (126). – С. 924–932.

37. **Загоруйко, М.Г.** Исследование взаимодействия движителей дождевальных установок с опорной средой / **М.Г. Загоруйко**, И.А. Башмаков, Д.А. Рыбалкин // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 1 (295). – С. 17–20.

38. Катаев, Ю.В. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий / Ю.В. Катаев, **М.Г. Загоруйко**, И.А. Тишанинов, Е.А. Градов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 79–82.

39. **Загоруйко, М.Г.** Урожайность и кормовая ценность надземной биомассы сои сортов северного экотипа в условиях Центрального Нечерноземья / **М.Г. Загоруйко**, М.Е. Бельшкіна, Т.П. Кобозева // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 62–67.

40. Старостин, И.А. Проблемы обеспечения сельскохозяйственного производства техникой с элементами цифровых технологий и пути их решения / И.А. Старостин, М.Е. Бельшкіна, Е.Д. Дегтярева, А.В. Ещин, **М.Г. Загоруйко**, Г.В. Сысоев // Научная жизнь. – 2023. – Т. 18. – № 3 (129). – С. 409–422.

41. Бельшкіна, М.Е. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность зерна сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом / М.Е. Бельшкіна, Т.П. Кобозева, **М.Г. Загоруйко**, Т.В. Ананьева, Н.П. Попова // Природообустройство. – 2023. – № 2. – С. 43–51.

42. Бельшкіна, М.Е. Повышение продуктивности и кормовой ценности зерна сои на основе оптимизации биологической азотфиксации в технологиях соеводства / М.Е. Бельшкіна, Т.П. Кобозева, **М.Г. Загоруйко** // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3 (63). – С. 13–18.

43. Бельшкіна, М.Е. Биохимический состав семян сортов сои различного

эколого-географического происхождения и оценка пригодности их переработки / М.Е. Бельшкіна, **М.Г. Загоруйко** // Аграрная Россия. – 2023. – № 7. – С. 3–8.

44. **Загоруйко, М.Г.** Влияние предполивного порога влажности почвы на продуктивность и кормовую ценность сои на мелиорированных землях / **М.Г. Загоруйко**, М.Е. Бельшкіна, Т.П. Кобозева, Н.П. Попова // Природообустройство. № 1. 2024. С. 32–41.

45. **Загоруйко, М.Г.** Зеленоукосное направление в соеводстве на мелиорируемых землях Центрального Нечерноземья / **М.Г. Загоруйко**, М.Е. Бельшкіна, Т.П. Кобозева // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 16–25.

46. Славкіна, В.Э. Оценка эффективности применения композита из полиацетала для изготовления щелевых распылителей / В.Э. Славкіна, Ю.В. Катаев, А.С. Свиридов, **М.Г. Загоруйко** // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 136–141.

47. **Загоруйко, М.Г.** Семеноводство сои на орошении в условиях Левобережья Саратовской области / **М.Г. Загоруйко**, М.Е. Бельшкіна, М.С. Садаев // Природообустройство. № 2. 2024. С. 28–34.