

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

На правах рукописи

ЗАГОРУЙКО Михаил Геннадьевич

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

Специальность 4.1.5 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, доцент
Соловьев Дмитрий Александрович

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	16
1.1 Анализ качественных показателей работы дождевальных машин ферменных конструкций и направления их совершенствования.....	16
1.2 Принцип работы и применение устройств приповерхностного полива дождевальных машин.....	35
1.3 Дождеобразующие устройства на современных многоопорных дождевальных машинах ферменной конструкции.....	39
1.4 Оценка глубины колеи и проходимости многоопорных дождевальных машин.....	47
1.5 Особенности работы концевых дождевальных аппаратов для повышения площади полива машин кругового действия.....	52
1.6 Технические особенности и технологические приемы проведения гидроподкормки с поливной водой.....	56
1.7 Исследования по выращиванию сои при поливе.....	65
1.8 Проблематика, выводы, направления исследований.....	75
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ	79
2.1 Теоретическое обоснование малоинтенсивного и почвощающего орошения многоопорными дождевальными машинами и конструкции усовершенствованных устройств приповерхностного полива.....	79
2.2 Выбор и обоснование основных размеров устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Каскад».....	87
2.3 Обоснование конструкции дождевальных насадок кругового, секторного и контурного полива.....	92
2.4 Теоретическое обоснование повышения проходимости ходовых систем на пневмоходу ЭДМКД.....	99
2.5 Расчет водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия.....	121

2.6 Разработка математической модели водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин для проведения гидроподкормки. Обоснование конструкции дождевальной машины для внесения удобрений и химических веществ через полиэтиленовый трубопровод.....	131
2.7 Обоснование конструктивных и технологических параметров концевой дождевальной аппаратуры для увеличения площади полива машины.....	142
2.8 Обоснование роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке...	150
2.9 Выводы по 2-й главе.....	158
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	161
3.1 Программа исследований.....	161
3.2 Лабораторные исследования.....	162
3.3 Полевые исследования.....	167
3.3.1 Исследования дождевальных аппаратов и насадок.....	167
3.3.2 Исследования поливных режимов на посевах сои.....	177
3.4 Обработка результатов экспериментальных исследований и определение статистических характеристик.....	179
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ НАСАДОК И УСТРОЙСТВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОГО ДОЖДЕВАНИЯ ПРИ ПОЛИВЕ МНОГООПОРНЫМИ МАШИНАМИ.....	182
4.1 Расход воды дождевальной насадки.....	182
4.2 Радиус захвата дождем при поливе модернизированной дождевальной насадки с дефлектором.....	185
4.3 Средняя и действительная интенсивность дождя и ее распределение вдоль ДМ «Каскад» при поливе дождевальной насадкой.....	190
4.4 Крупность капель дождя при поливе дождевальными насадками....	192
4.5 Оценка удельной мощности дождя вдоль трубопроводов дождевальных машин.....	194
4.6 Устойчивость усовершенствованной дождевальной насадки в вертикальной плоскости при поливе.....	195
4.7. Исследования дождевальной насадки секторного полива.....	196

4.8 Радиус полива дождевальной насадки с отражательной пластиной и площадь контурного полива. Радиус полива струи при взаимодействии с отражательной пластиной.....	199
4.9 Выводы по 4-й главе.....	205
ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОГООПОРНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «КАСКАД». ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	207
5.1 Расход воды дождевальной машины «Каскад».....	207
5.2 Равномерность полива дождевальной машины «Каскад».....	215
5.3 Потери воды на испарение и снос ветром при поливе ДМ «Каскад»...	221
5.4. Различия в досточковых поливных нормах и агрофизических свойствах почв при поливе ДМ.....	223
5.5 Поливной режим сои досточковыми поливными нормами различными дождевателями.....	226
5.6 Энергоемкость полива ДМ «Каскад» при одиночной и групповой эксплуатации.....	228
5.7 Увеличение площади при поливе ДМ «Каскад» с концевым дождевальным аппаратом.....	233
5.8 Исследования глубины колеи ДМ «Каскад» и повышение проходимости и надежности работы ходовой системы.....	238
5.9 Экономическая эффективность.....	242
5.10 Преимущества и эффективность разработок.....	247
5.11 Выводы по 5-й главе.....	248
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	251
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	255
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	256
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	257
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	288
Приложение А.....	288
Приложение Б.....	290
Приложение В.....	292
Приложение Г.....	297
Приложение Д.....	299
Приложение Е.....	301
Приложение Ж.....	303

Приложение З.....	305
Приложение И.....	307
Приложение К.....	308
Приложение Л.....	309
Приложение М.....	310
Приложение Н.....	311
Приложение О.....	312
Приложение П.....	313
Приложение Р.....	314
Приложение С.....	315

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Земли сельскохозяйственного производства в Российской Федерации находятся в различных агроклиматических условиях, которые в определенном значении предопределяют 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 сельским хозяйством (Савенков С.И., 1974).

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 (Щедрин В.Н., 2004).

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 машины (Костяков А.Н., 1951).

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 (Колганов А.В., 2000; Ольгаренко Г.В., Турапин С.С. и др., 2020; Журавлева Л.А., 2018; Ольгаренко Г.В., 2015 и др.).

Оставляет желать лучшего и качество искусственного дождя современной поливной техники. Интенсивность дождя машин отечественного и иностранного производства 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 производства отечественного продовольствия на орошаемых землях.

Степень разработанности проблемы. 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), Гусейнзаде 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. Недостаточное внимание

уделено проблемам разработки и совершенствования оросительных машин кругового действия для уменьшения их металлоемкости и полива угловых частей посевных участков, понижению 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 почвощающую 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 плодородия 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 высоко энергоэффективных 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 MicrosoftExcel, 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 концевой дождевальной аппаратуры 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 дождевальная машина 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. 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 Энгельского 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 концевой дождевальной аппаратуры 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 дождевальнх машин.

Степень достоверности и апробация результатов проводилась путем публикации статей в научных журналах, патентов на изобретения и полезные модели, а также в виде докладов на научных конференциях. Опытные данные научных исследований получены в результате использования общеизвестных методик при проведении лабораторных и полевых экспериментов. Достоверность новизны подтверждается патентами, полезными моделями на изобретения и базы данных для ЭВМ, а также апробацией результатов исследований на участках орошения Нижнего Поволжья и Саратовской области. 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 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: патенты 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.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ качественных показателей работы дождевальных машин ферменных конструкций и направления их совершенствования

Для дождевальных машин российского производства «Кубань-ЛК1», «Каскад», «Казанка», «Орсис» и др., а также иностранных машинах типа «Т-L», «Bauer», «Valley» и др. характерным является использование короткоструйных насадок кругового и секторного полива (Колганов, А.В., 2000; Ольгаренко Г.В., 2015). Такие насадки устанавливаются сверху на трубопроводе машины «Кубань-ЛК1» через 2,6 м (рисунок 1.1) или на устройствах приповерхностного полива машин «Каскад», «Т-L», «Bauer», «Valley» и др. с интервалом 2,0–3,3 м.



Рисунок 1.1 – Полив дождевальными насадками, установленными на трубопроводе ДМ «Кубань-ЛК1»

Для машин кругового действия характерным является значительное увеличение интенсивности дождя (Рязанцев А.И., 1991; Фокин Б.П., 2002; Абдразаков Ф.К., Васильев В.В., 2005; Ольгаренко Г.В., 2006) во второй половине трубопровода до 1,2–1,4 мм/мин, что приводит к образованию на

поле луж, перераспределению дождя по элементам рельефа и вызывает неравномерность увлажнения почвы и недобор урожая сельхозкультур.

Исследованиями А.Л. Кальянова (Кальянов А.Л., 2000) на светло-каштановых почвах Волгоградской области при поливе ДМ «Кубань-ЛК1» установлено, что уже первый полив люцерны нормой 40 мм вызывает сток оросительной воды при небольшом уклоне 0,008. При поливе норме 60 мм, выдаваемой за один проход, величина стока поливной воды за три года составляет 24,6 %, а при дискретной подаче – в 13,1 раз меньше. При поливе нормой 80 мм, выдаваемой за один проход, величина сток поливной воды за три года составила 30,1 %, а при дискретной подаче – в 4,1 раза меньше.

При увеличении стока оросительной воды с орошаемого участка глубина промачивания почвы уменьшается. Если поливная норма составляет 600 м³/га, то почва промачивается на глубину 0,35 м. При норме полива 800 м³/га почва промачивается уже на 0,5 м. А если вода подается в два приема, то глубина промачивания еще больше: она составляет 0,6 и 0,68 м. для каждой из подач соответственно (Кальянов А.Л., 2000).

Выдача поливной нормы в два приема снижает вынос питательных элементов с водой. За три года при использовании нормы полива 600 м³/га потери азота составили 98 кг/га килограмм на гектар, фосфора – 216 кг/га, калия – 133,5 кг/га. При разделении этой нормы на две части потери азота составили всего 3,3 кг/га, фосфора – 12,7 кг/га, калия – 4,6 кг/га (Кальянов А.Л., 2000). При использовании нормы полива 800 м³/га за три года потери NPK составили: азота – 189,7 кг/га, фосфора – 263 кг/га, калия – 181,7 кг/га. Разделение этой нормы на два приема позволило сократить вынос питательных веществ с водой: по азоту – в 9,7 раза, по фосфору – в 6,9 раза, по калию – в 6 раз.

Увеличение объема подаваемой на поле воды приводит к усилению эрозии почвы. При норме орошения 800 м³/га смыв почвы после полива составляет в среднем 4,15 т/га. При норме 600 м³/га – 1,47 т/га, а при норме 400 м³/га – всего 0,46 т/га (Касьянов А.Л., 2000). Разделение нормы полива на

две части значительно снижает смыв почвы: при норме $300 + 300 \text{ м}^3/\text{га}$ он составляет всего $0,08 \text{ т/га}$, а при норме $400 + 400 \text{ м}^3/\text{га}$ – $0,82 \text{ т/га}$. Для светло-каштановых почв такой смыв считается допустимым.

Опытами Касьянова А.Л. доказано преимущество подачи поливной нормы частями, значительно уменьшающими ирригационный сток, а с ним вынос питательных элементов и эрозию почвы

Исследованиями Н.М. Шевцова (Шевцов Н.М., 1972; Шевцов Н.М., 1974) на различных дождевальными машинах и установках установлено, что с увеличением интенсивности и крупности капель дождя повышается жидкий и твердый сток.

На основании полевых опытов Данильченко А.Н. в Павлодарской области Республики Казахстан при поливе «Кубань» фронтального действия на супесчаных каштановых почвах установлено, что досточная поливная норма для кукурузы изменяется от $32\text{--}35 \text{ мм}$ в начале вегетации до $40\text{--}50 \text{ мм}$ в фазу выметывания и цветения. Для люцерны досточная поливная норма составила $38\text{--}40 \text{ мм}$ перед укосом и снижается до $35\text{--}36 \text{ мм}$ после укоса. Чтобы уменьшить сток на фронтальных машинах предлагается ступенчатая технология полива (Данильченко А.Н., 2008).

Наблюдения В.Г. Попова при норме полива 60 мм для ДДА-100МА за трехлетний период смыв составляет в среднем 16% , для ДМ Фрегат – 11% , для ДМ «Кубань-М» (новый орошаемый участок) – 6% , смыв почвы составил соответственно $0,56$; $0,26$ и $0,1 \text{ т/га}$. Лучшие показатели имеет ДМ «Кубань-М» так как она формирует мелкокапельный дождь меньшей удельной мощности (Попов В.Г., 1990, 2003).

Козинская О.В. при исследовании свойств светло-каштановых почв, рассматривала способы повышения их впитывающей способности и повышением норм полива. «Рассматривались организационные (прерывный полив) и агротехнические (рыхление верхнего и пахотного слоев почвы, щелевое рыхление) методы. В экспериментах были задействованы пропашные культуры, кукуруза и многолетние травы.»(Козинская О.В., 2011)

В условии опытов было два варианта предполивной влажности почвы – 70 % и 80 % от наименьшей влагоемкости, полив осуществлялся с прекращением подачи воды при заводнении (вариант 2) и с однократной выдачей всей нормы воды (вариант 1) (таблица 1.1) (Козинская О.В., 2011).

Сток при поливе кукурузы снизился с 29 % до 15 % при увеличении продолжительности полива кукурузы до 600 м³/га. Это означает, что вода теперь впитывается в почву, а не уходит стоком с поверхности. Увеличение нормы полива в 1,5–1,75 раза, нежелательно, так как приводит к простоям машины. Необходима оптимизация графика полива, чтобы обеспечить достаточное количество воды для растений, но при этом не допускать стока или простоя оборудования (Козинская О.В., 2011).

Таблица 1.1 – Объем стока поливной воды при поливе ДМ «Кубань-ФШ»

Показатель	Культура						
	Кукуруза		Люцерна				
Вариант опыта	1	2	1	2	1	2	
Предполивной порог влажности почвы, % НВ	70	80	70		80		
Норма полива, м ³ /га	600	400	600		400		
Продолжительность дождевания, мин	120	80	120	210	80	130	
Кол-во поливов	7	8	6	6	7	7	
Средний сток за 1 полив	м ³ /га	113	49	175	-	78	30
	%	18	12	29	19	7	-
Суммарный сток, м ³ /га	793	393	1047	564	548	210	
Твердый сток, т/га	2,93	1,12	4,42	2,46	3,10	1,85	

На основе представленных данных можно увидеть, что при использовании норм полива 400 и 600 кубических метров на гектар теряется часть воды, которая не приносит пользы, стекая и образуя сток. Эти потери составляют 19 % и 29 % от общего объема подаваемой воды соответственно.

Исследования, проведенные Б.П. Фокиным в Ставропольском крае (Фокин Б.П., 2002) показали, что величина поливной нормы, которая не приводит к эрозии почвы при использовании дождевальной машины «Кубань», зависит от водопроницаемости почвы, ее влажности и используемой технологии обработки почвы. Для темно-каштановых почв

средней водопроницаемости ЭДПН составляет 31,5 мм. Для черноземных почв повышенной водопроницаемости ЭДПН, при снижении предполивной влажности от 95 до 60 % НВ, повышается с 33 до 48 мм. Светло-каштановые слабозасоленные почвы имеют низкую водопроницаемость и при влажности 70 % НВ ЭДПН составляет всего 8,0–9,5 мм. Для обеспечения ЭДПН при поливе ДМ «Кубань» рекомендуется большие поливные нормы (50–60 мм) выдавать в два приема и использовать ступенчатую технологию полива, а также проводить дополнительные рыхление почвы или кротование.

«При использовании дождевальной машины «Фрегат», к значительным энергетическим нагрузкам на растения и почву, а также образование стоков, приводят большая крупность капель и высокая интенсивность дождя.» (Затицацкий С.В., Колганов Д.А. и др., 2017).

В условиях Заволжья Самарской области, как показывают исследования А.П. Клепальского величина стока при поливе с использованием дождевальной машины ДМ «Фрегат» увеличивается по мере приближения к концевой части машины и с повышением кратности проходов. Аналогичные результаты были также получены в результате исследований, проведенных ВолжНИИГиМ в Саратовской области (Клепальский А.П., Корочков В.Н., 1973; Клепальский А.П., 1973; Рыжко Н.Ф., 2007; Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2016; Соловьев Д.А., Загоруйко М.Г. и др., 2017; Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2018; Abdrazakov F.K., Solovev D.A., et al., 2018; Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2022).

В концевой части дождевальной машины «Фрегат», где полив осуществляется с помощью аппаратов «Фрегат» №3 и 4, согласно исследованиям Ю.А. Москвичева (1974) и П.И. Кузнецова (1983), наблюдается разрушение структуры почвы, уменьшение водопроницаемости почвы и коэффициента структурности, а также увеличение объемного веса почвы. Приводятся схожие результаты при поливе методом дождевания в работах ученых – Ковды В.А. (МГУ), Попова В.А. (ЮжНИИГиМ) и др.

Для повышения ЭДПН при поливе ЭДФМ «Кубань-Л» А.А. Митрюхин рекомендует применять насадки кругового полива и использовать открьлки (рисунок 1.2). При оснащении машины открьлками длиной 10 и 15 м, где монтируются до 5 дождевальных насадок, интенсивность дождя уменьшается с 1,6 до 0,8–0,65 мм/мин (примерно в 2–2,46 раза), а ЭДПН повышается с 26,3 до 37,6–41 мм (таблица 1.2). Еще большее снижение интенсивности дождя и повышение ЭДПН можно получить при применении на машине среднеструйных аппаратов «Фрегат-2» и «Фрегат-3» (Митрюхин А.А., 1971).

Таблица 1.2 – Параметр ЭДПН ДМЭФ «Кубань-Л» при различных технических средствах для образования дождя

Техническое средство образования дождя	Средняя интенсивность дождя, мм/мин	Радиус полива, ширина захвата, м	$H_{\text{кон.}}$, МПа	$H_{\text{вх.}}$, МПа	$N_{\text{дв}}$, кВт	ЭДПН при впитываемости $P=60$, м ³ /га
Дефлекторные насадки	1,6	4,35	0,14	0,31	108	263
Насадки кругового полива (ВНПО «Радуга»)	1,3	5,8	0,14	0,31	108	290
Насадки кругового полива с открьлками 5 м	1,1	13,7	0,14	0,31	108	316
10 м	0,8	18,7	0,14	0,31	108	376
15 м	0,65	23,7	0,14	0,31	108	410
СДА Фрегат-2	0,5	15	0,245	0,427	137	472
СДА Фрегат-3	0,4	18	0,25	0,432	138	525

Аналогичные результаты приводит Н.С. Ерхов, где норма полива до стока с открьлками повышается с 28 до 37 мм (Ерхов Н.С., 1996).

Предлагаемое оборудование приповерхностного дождевания (таблица 1.2, рисунок 1.2) имеют большую металлоемкость и сложность изготовления, монтажа и его регулирования. Вызывает сомнение в увеличении ЭДПН при использовании среднеструйных аппаратов «Фрегат-3», которые формируют дождь большой мощности.

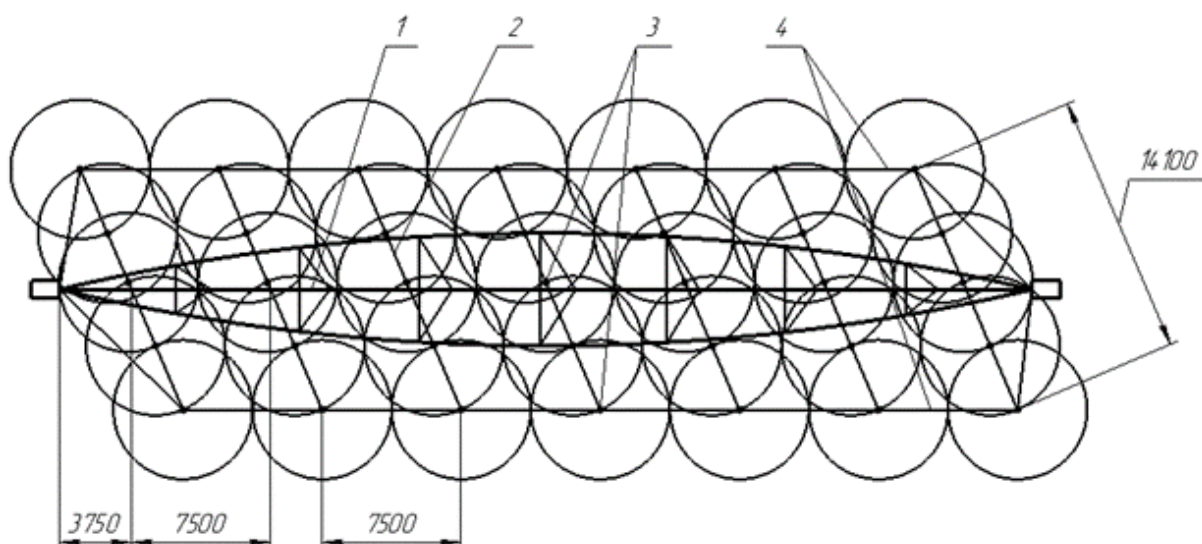


Рисунок 1.2 – Пролет машины «Кубань-Л», оснащенный открылками: 1 – водопроводящий пояс; 2 – открылка; 3 – дождевальная насадка; 4 – укрепляющий трос

При увеличении объемного веса почвы при одинаковой структуре дождя снижается норма полива до уровня стока (Ерхов Н.С., 1981).

Математическое описание и уравнения для расчета нормы полива до стока, выполненные Н.С. Ерховым (Ерхов Н.С., 1966; Ерхов Н.С., Лямперт Г.П., 1971; Ерхов Н.С., 1981; Ерхов Н.С., 1996), А.П. Исаевым (Исаев А.П., 1973; Исаев А.П., 1982; Исаев А.П., Сергеев Б.И. и др., 1990), Ф.И. Колесниковым (Колесников Ф.И., 1975; Колесников Ф.И., 1986), Г.И. Швобсом (Швобс Г.И., 1974), О.А. Гаврилицей (Гаврилица О.А., 1991; Гаврилица О.А., 1993), Ф.Г. Абрамовым (Абрамов Г.Ф., 1952), Ю.А. Москвичевым (Москвичев Ю.А., 1974; Москвичев Ю.А., Шевцов Н.М., 1974; Москвичев Ю.А., Сорочкин В.П. и др., 1974), Ю.П. Поляковым (Поляков Ю.П., 1990), П.И. Кузнецовым (Кузнецов П.И., 1983), А.П. Клепальским (Клепальский А.П., Корочков В.Н., 1973; Клепальский А.П., 1973), А.М. Ларионовой (Ларионова А.М., 2016) и др. (Краснов С.Ф., 1982; Рыжко Н.Ф., 2007; Рыжко Н.Ф., Гуркин Е.И. и др., 2009; Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2015).

«К критериям, определяющим норму полива до стока, относятся: «гранулометрический состав почвы, ее тип, ландшафт (уклон) поля, начальную влажность и объемный вес почвы, виды сельскохозяйственных растений и энергетические характеристики дождя» (Рыжко Н.Ф., 2007; Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2021; Соловьев Д.А., Корсак В.В. и др., 2021).

Исследованиями П.И. Кузнецова (Кузнецов П.И., 1983) установлено, что для условий Волгоградской области при поливе ДМ «Фрегат» норма полива до стока:

$$m = P/\rho^{0.27} \cdot d^{0.42}, \quad (1.1)$$

где P – впитывающая способность почв, изменяется соответственно для 1-5 полива и составляет 42 и 24 мм; ρ – ср. интенсивность, мм/мин.;

d – ср. диаметр капель, мм.

В работе А.П. Исаева (Исаев А.П., 1982) для более полного учета данных искусственного дождя предлагает учитывать действительную интенсивностью дождя и динамическое воздействие (сила воздействия капель дождя на почву). Сила удара капель дождя на почву равна:

$$F = k \cdot V \cdot d^2, \quad (1.2)$$

где k – коэффициент, зависящий от типа почв и характера удара; V – скорость падения капель дождя, м/с; d – средний диаметр капель дождя, мм.

Норма полива до стока определяется уравнением:

$$m = A_{1,5} \cdot (F_{1,5})^{0,5} / \rho_d^{n-1} \cdot (F_k)^{0,5}, \quad (1.3)$$

где $F_{1,5}$ и F_k – сила удара на почву капель дождя диаметром 1,5 мм и конкретного дождя, H ; ρ_d – действительная интенсивностью дождя, мм/мин.

В исследованиях С.Ф. Краснова (Краснов С.Ф., 1982) также учитывается сила удара капель дождя на почву.

В исследованиях А.М. Абрамова (Абрамов А.М., 1987) доказывается, что норма полива до стока определяется удельной мощнсть дождя, которая определяется средней интенсивностью и скоростью падения капель дождя

$$N_y = 0,0083\rho \left(\sum (n_i V_i^2) \right), \quad (1.4)$$

где ρ – средняя интенсивность дождя, мм/мин; V_i – скорость падения капель дождя, м/с.

Уравнение для расчета нормы полива до стока имеет вид:

$$m = \varphi \ln \left(\frac{(N_o - N_x)}{(N_y - N_x)} \right), \quad (1.5)$$

где φ – коэффициент, учитывающий реакцию почвы на энергетическое воздействие дождя и характеризующий изменение впитывающей способности почв, для различных почв φ изменяется в пределах (4,0–32,6 мм); N_o – удельная мощность дождя, при которой образуются лужи сразу в начале полива, Вт/м²; N_x – удельная мощность дождя, при которой лужи на поле не образуются вообще, Вт/м²; N_y – удельная мощность дождя для определенного дождевателя или машины, Вт/м².

Исследованиями в ОАР установлено, уравнение для определения времени полива до стока в зависимости от средней интенсивности дождя и кинетической энергии дождя:

$$t = 160\rho^{-11,8}W^{-0,227}, \quad (1.6)$$

где W – кинетическая энергия дождя, эрг; ρ – средняя интенсивность дождя, см/час.

Так как в ранее проведенных исследованиях были установлены математические зависимости, которые описывают норму полива до стока и учитывают отдельные характеристики дождя, необходимо оценить влияние на норму полива до стока комплексных энергетических характеристик полива, а также дефлекторных насадок (Рыжко Н.Ф., 2007; Журавлева Л.А., 2023).

Исследованиями Кузнецова П.И., Москвичева Ю.А., Ковда В.Г., Абрамова В.Ф., Ерхова Н.С., Миняйло В.Г., Чижикова Г.И. и др. установлено, что различное энергетическое воздействие на почву обуславливается величиной мощности дождя. Интенсивный дождь разрушает

верхний слой почвы, ухудшая структуру и уплотняя почву. объемная масса почвы увеличивается после дождя, наблюдается уплотнение и разрушение (Кузнецов П.И., 1983; Фалькович А.С., Пронько Н.А. и др., 2017).

В работах О.В. Козинской наблюдается уменьшение коэффициента структурности почвы с 3,04 до 2,16 после пяти поливов с нормой 500 м³/га (рисунок 1.3) (Козинская О.В., 2011). Происходило уплотнение почвы после последующих поливов.

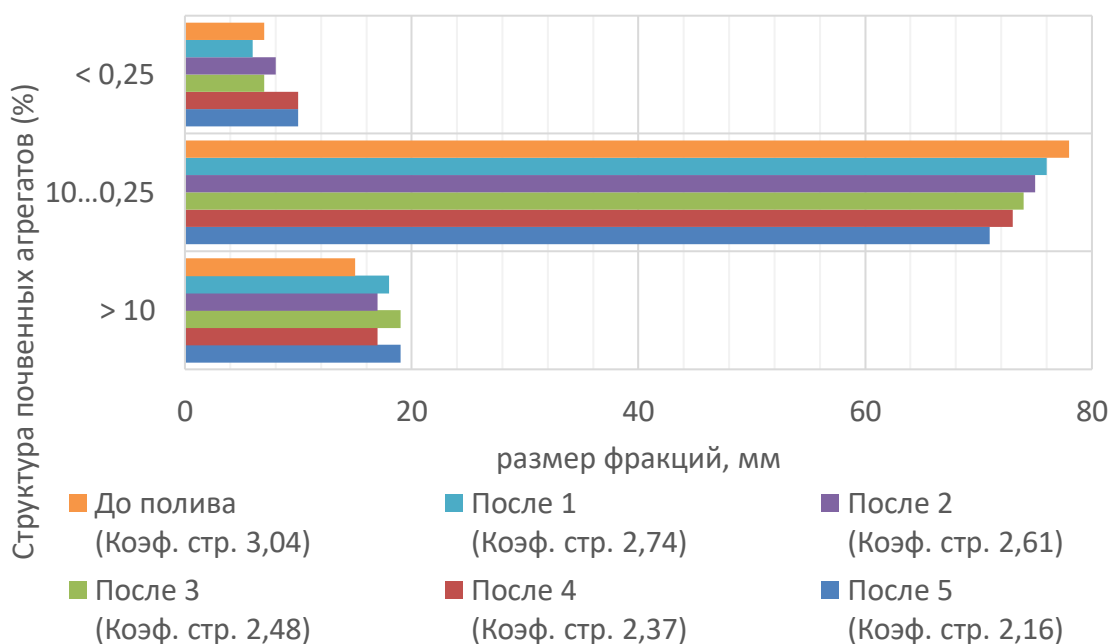


Рисунок 1.3 – Влияние дождевания на динамику структурного состава почвы в слое 0,00–0,30 м при поливе люцерны (Козинская О.В., 2011)

Коэффициент структурности почвы перед первым поливом кукурузы составил 3,65, а после 5 поливов снизился на 31 % до 2,55 (500 м³ на гектар) (рисунок 1.4) (Козинская О.В., 2011).

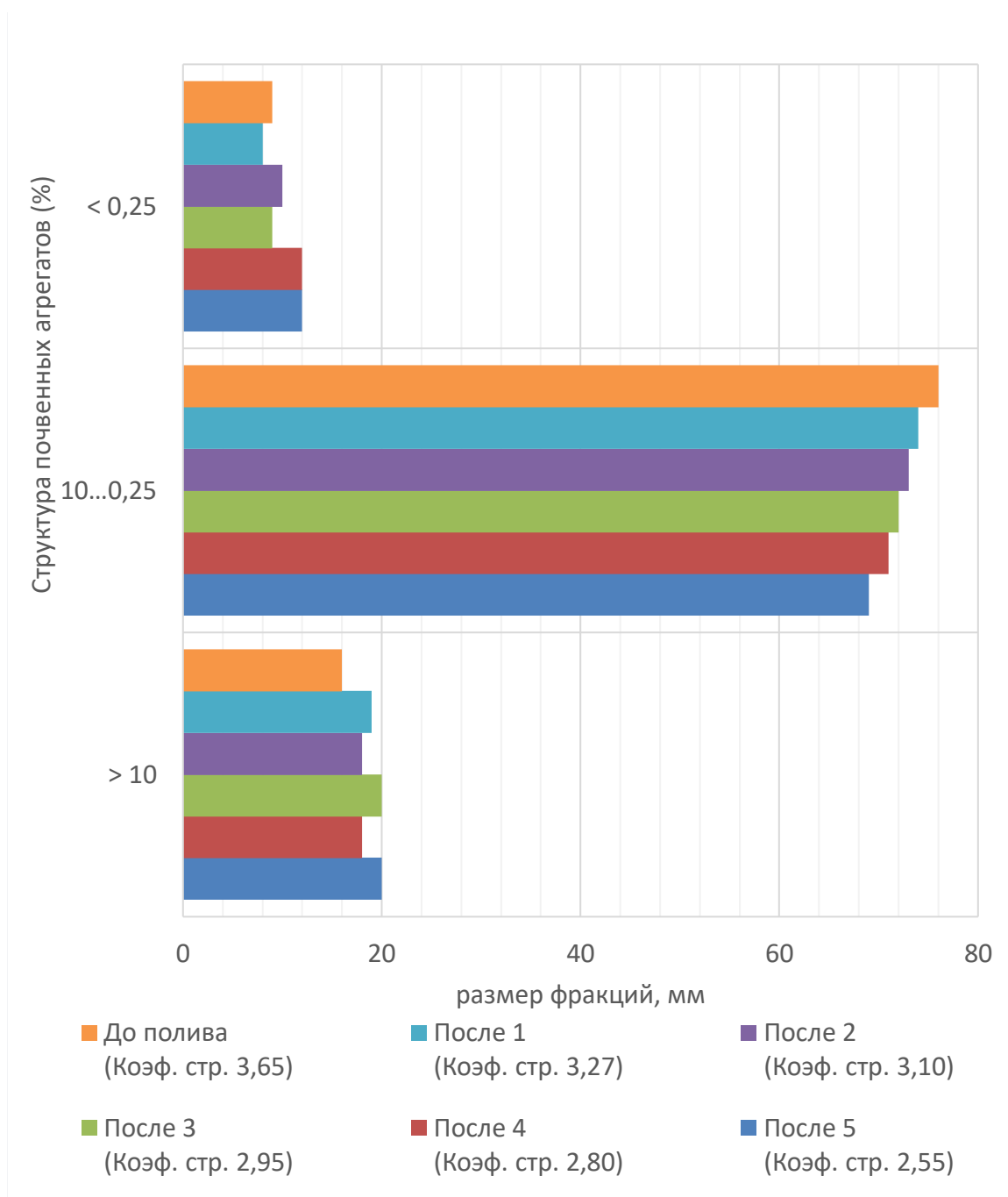


Рисунок 1.4 – Динамика структурности почвы в слое 0,00...0,30 м под влиянием полива кукурузы дождеванием (Козинская О.В., 2011)

Уменьшение впитывающей способности почвы в течение вегетационного периода связано с уплотнением, снижением порозности и коэффициента структурности. После 5 поливов плотность пахотного слоя увеличилась на 12,5 % в слое 0,0–0,05 м и на 6 % в слое 0,20–0,30 м (рисунок 1.5) (Козинская О.В., 2011).

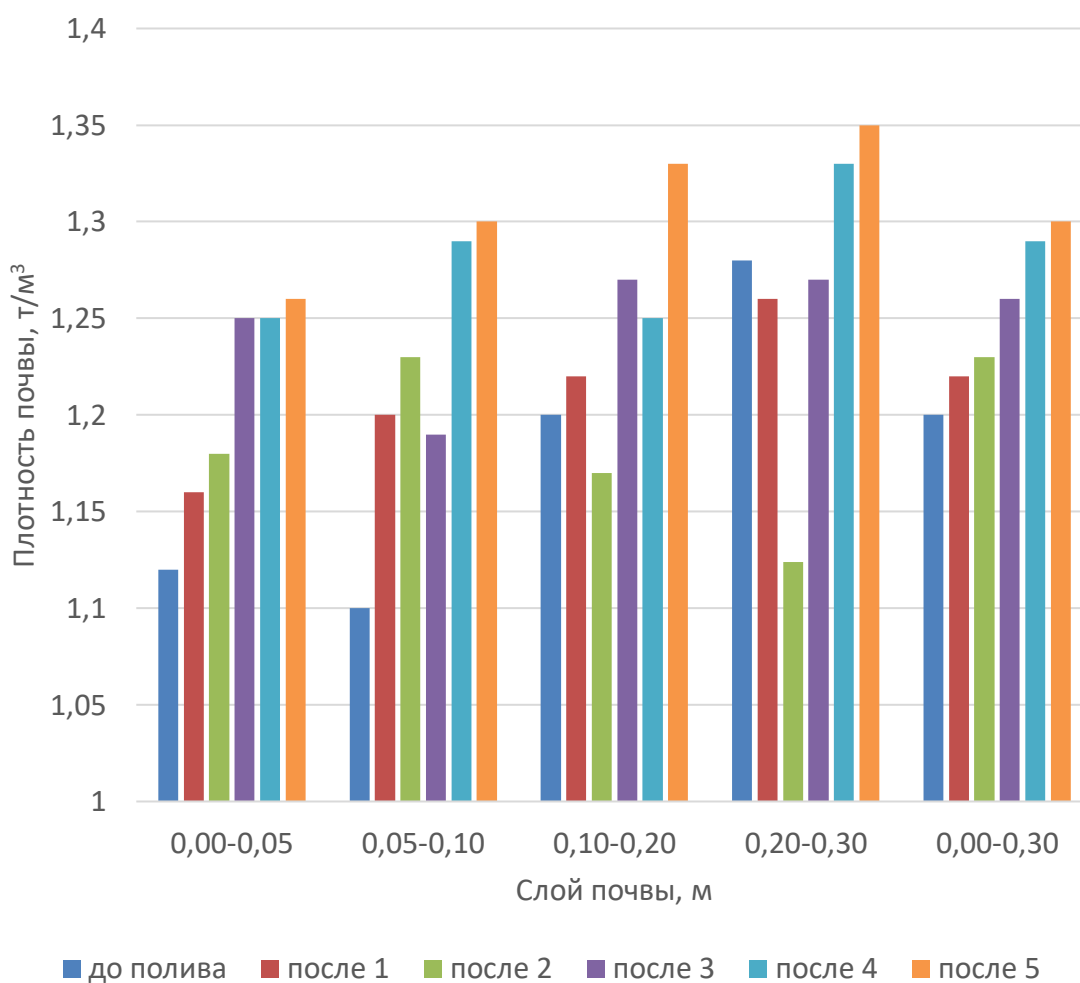


Рисунок 1.5 – Изменение плотности почвы под влиянием поливов, т/м³
(Козинская О.В., 2011)

Результаты исследований ВолжНИИГиМ (Карпова О.В., 2017; Рыжко Н.Ф., 2007) показали, что масса верхнего слоя (0–50 мм) зависит от водопроницаемости, способа дождевания, уклона поля, наличия растительного покрова и состояния верхнего слоя почвы. Данные представлены в таблице 1.3.

Из таблицы 1.3 видно, что среднеструйные аппараты №3 и №4 ДМ «Фрегат» (удельная мощность дождя N_d 0,269–0,573 Вт/м²) оказывают большое энергетическое воздействие, и особенно сильное воздействие оказывает концевой дождевальная аппарат, удельная мощность дождя в котором достигает $N_d = 0,69–1,57$ Вт/м².

Таблица 1.3 – Масса в верхнем слое почвы (0–5 см) при поливе ДМ «Фрегат» с различными типами дождевателей (Карпова О.В., 2017; Рыжко Н. Ф., 2007)

Место замера	Тип дождевателя	Мощность дождя, Вт/м ²	Элемент рельефа	Объемная масса, г/см ³
<i>После 1-го полива ячменя, АО «Энгельское»</i>				
Т1-2	СДА 1	0,190	Р	0,90
Т3-4	СДА 2	0,210	П	0,98
Т7-8	СДА 3	0,269	П	0,98
Т7-8	СДА 3	0,288	Р	1,05
Т14-15	СДА 4	0,379	П	0,98
Т14-15	СДА 4	0,405	Н	1,02
КДА	СДА 5	0,700	Р	1,08
КДА	СДА 5	0,700	Н	1,25
<i>После 4-го полива кукурузы ООО «Наше дело»</i>				
Т2-3	СДА 2	0,208	Р	1,15
Т8-9	-ДН	0,030	Р	1,05
Т15-16	-ДН	0,068	Р	1,10
КДА	СДА 5	0,680	Р	1,19
Богара	-	-	Р	1,10
<i>После 2-х поливов оз. пшеницы ЗАО «Трудовое»</i>				
Т2-3	СДА 1и 2	0,19	Р	1,104
Т7-8	СДА 3	0,27	Р	1,215
Т12-13	СДА 4	0,38	Р	1,25-1,37
КДА	СДА 5	0,90	Р	1,414
Богара	-	-	Р	1,2
<i>После 4-х поливов капусты ООО «Агррия»</i>				
Т6-7	СДА 2	0,23	Р _к	1,03
Т10-11	СДА 3 с прерывателем	0,27	Р _к	1,1
Т11-12	СДА 4 с прерыв	0,32	Р _к	1,13
Т14-15	СДА 4	0,40	Р _к	1,2
Т15-КДА	СДА 4	0,50	Р _к	1,28

Примечание: т – тележка; р – ровный участок поля; п – повышение; н – низина; сда – среднеструйный дождевальная аппарат; кда – концевой дождевальная аппарат; рк – рядок капусты; дн – дождевальная насадка.

Дефлекторные насадки, установленные в начале и в конце машины имеют удельную мощность дождя N_d составляет 0,013–0,070 Вт/м². Работа этих насадок происходит с уменьшением размера капель и интенсивности дождя и несмотря на увеличение мгновенной интенсивности дождя, обеспечивается норма полива до уровня серийных аппаратов, при этом не значительно уплотняя верхний слой. По мере увеличения интенсивности

дождя и энергетического потенциала дождя возрастает масса разбрызгиваемой почвы (Карпова О.В., 2017).

Дефлекторные насадки создают мелкокапельный дождь с низкой интенсивностью и низким энергетическим потенциалом дождя, что обеспечивает минимальное уплотнение почвы.

Исследованиями А.А. Митюхина (ВНИИ «Радуга») установлено, что равномерность полива ЭДФМ «Кубань-М» высокая и коэффициент эффективного полива ($K_{эф.п}$) находится в пределах 0,8–0,73 (Митрюхин А.А., 1971). Также высокую равномерность полива ЭДФМ «Кубань-М» порядка 0,82 при небольшом ветре, отмечает А. С. Батраков (Батраков А.С., 1979).

По данным А.Я. Курбатова (Курбатов А.Я., 1988) в Саратовской области на ЭДФМ «Кубань-М», где насадки располагались на высоте 4,5 м, равномерность полива по ходу машины в основном высокая и зависит от скорости ветра и нормы полива, так при скорости ветра до 5–7 м/с $K_{эф.п}$ уменьшается с 0,96–1 до 0,8. Снижению равномерности полива способствует стоп стартовый режим работы тележек, увеличение нормы до 44–65 мм, а также при поливе небольшими нормами 8,2 мм. Лучшая равномерность слоя дождя получена при средней норме полива в пределах 22,7–30,7 мм.

Исследования А.Н. Данильченко показали, что при поливе дождевальными машинами МДЭФ «Кубань» равномерность полива снижается с увеличением скорости ветра. При безветренной погоде равномерность полива составила 0,83, а при скорости ветра до 5 метров в секунду 0,73 (Данильченко А.Н., 2008). Уравнение для определения $K_{эф.п}$ от скорости ветра (V_v) имеет вид:

$$K_{эф.п} = 0,83 - 0,02V_v. \quad (1.7)$$

Равномерность полива также зависит от нормы полива. При небольшой норме полива равномерность ниже. По его данным, чтобы равномерность полива была на уровне 0,75 норма полива должна быть не ниже 17 мм.

Применение на ДМ Таврия усовершенствования короткоструйных секторных насадок и уточненной методике расчета диаметра сопла

(Бубенчиков М.А., 1989) обеспечивает равномерность полива $K_{эф.п} = 0,84–0,89$ (Бредихин Н.П., 1969).

Коэффициент эффективного полива при 3 метрах в секунду в любом направлении варьировался от 0,75 до 0,86 (рисунок 1.6) (Клепальский А.П., 1973).

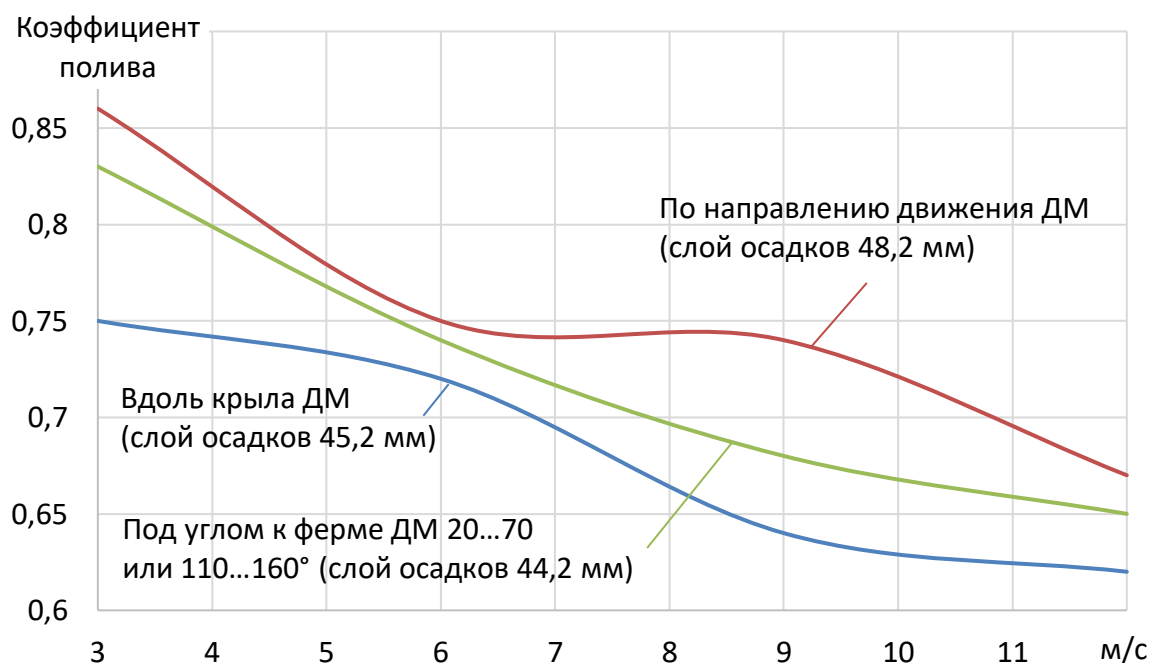


Рисунок 1.6 – Влияние скорости и направления ветра на показатели качества полива ДМ «Мини Кубань-ФШ» (Клепальский А.П., 1973)

При значениях скорости ветра 6,1–9,0 м/с и направлением совпадающем с направлением движения дождевальной машины коэффициент эффективного полива остается в допустимых пределах ($K_{эф} \geq 0,7$). Значение $K_{эф}$ снижается до 0,64–0,68 при направлении ветра, образующем угол или идущем вдоль крыла дождевальной машины. При средней скорости ветра 9,1–12,0 м/с наблюдается наихудшее качество полива ($K_{эф}$ снижается до 0,62, а $K_{нп}$ увеличивается до 0,22). Аналогичные данные при использовании дождевальной машины «Кубань-ЛШ» (Козинская О.В., 1973).

Эксперименты О.В. Козинской показали, что скорость ветра до 3,0 м/с не влияет на качество полива. При скорости ветра 6,1–9,0 м/с дождевание машинами «Кубань-ЛШ» и «Мини Кубань-ФШ» возможно с заданной поливной нормой, если направление ветра совпадает с направлением движения машины. В таких условиях осуществлять полив, для предотвращения стока воды и эрозии почвы норму полива необходимо снизить на 20–25 %. При скорости ветра свыше 9,0 м/с, качественный полив соответствующей агротехническим требованиям, недостижим (Клепальский А. П., 1973).

Равномерность полива иностранных машин находится на уровне машин типа «Кубань», если дождевальные насадки установлены на трубопроводе на высоте 4,5 м от поверхности почвы, например для машины Lainer-2 $K_{эф.п} = 0,76–0,8$ (ВНИИ Радуга).

При использовании на зарубежных машинах устройств приповерхностного полива (рисунок 1.7) с высотой установки дождевальных насадок 1,5–2 м от поверхности почвы, равномерность полива выше, чем у машин типа «Кубань» и достигает 0,85–0,88 (Установки кругового орошения Valley; Рачинский, А.А., 1984).



Рисунок 1.7 – Дождевальная машина «Valley» с высотой установок дождевальных насадок 2 м от поверхности почвы

Если дождевальные насадки при поливе овощных культур располагаются на высоте 0,6–1 м (рисунок 1.8) от поверхности почвы, то равномерность полива даже при ветре остается достаточно высокой, а коэффициент Христансена равен $CU = 95$ (США статья 6 и проспект).



Рисунок 1.8 – Дождевальная машина «Valley» с высотой установок дождевальных насадок 0,6 м от поверхности почвы

Недостаток оборудования приповерхностного дождевания на иностранных машинах в том, что здесь сложно регулировать высоту установки дождевальных насадок, зачастую она не регулируется.

Потери воды из-за испарения и сноса являются важными показателями эффективности полива дождевальными машинами. По данным А.И. Штангея (1975; 1977), Г.М. Гаджиева (1976; 1977; 1979; 1979), В.А. Овчарова (1980), И.Д. Федоренко (1936), М.К. Мустафаевой (1962), испарение может достигать 20–30 % при полете капель, а с учетом потерь по данным В.Е. Хабарова, М.С. Мансурова (1971) и др. может достигать до 65 %. По данным В.Я. Чичасова, В.Н. Черноморцевой (1975), А.М. Абрамова (1987) испаряется 10–15 % воды, по данным В.Е. Хабарова (1979; 1980; 1982) – не более 5 %, а по данным А.А. Рачинского и В.К. Севрюгина (1984) при использовании расчетного метода испаряется 1–2%. Различные методы исследований, объясняют разброс экспериментальных данных (от 1–2 % до 65 %).

Существуют различные методы определения потерь воды на испарение при дождевании: балансовый метод заключается в подсчете баланса прихода воды на почву (данные осадкомеров) и расхода на выходе из дождевального аппарата; с помощью спектрального фотометра, по спектру отдельных химических элементов в воде при выходе из дождевального аппарата и в воде, попавшей на почву или растения.

При исследовании потерь воды на испарение при поливе ДМ «Кубань» И.Н. Ожередов (1994) (СтавНИИГиМ) установил, что при напряженности метеопараметров по В.Е. Хабарову до $\Phi = 50$ ед. потери составляют от 3 до 12 %. Первая цифра соответственно при $0-5^\circ$ (вдоль машины), вторая при 90° (перпендикулярно к трубопроводу машины). При $\Phi = 100$ ед. потери 7–24 %. При температуре воздуха более 30°C , относительная влажность воздуха 25 % и скорость ветра 5 м/с потери до 10–40 %. В этом случае метеорологическая напряженность равна $\Phi=150$ ед.

Исследованиями Б.П. Фокина (Фокин Б.П., 2002) подтверждается, что при средней метеорологической напряженности климата потери на испарение находятся в пределах 12–16% (таблица 1.4).

По номограмме потери, представленной в книге под редакцией Г.С. Гусейн-Заде (Гусейн-Заде С.Х., Перевезенцев Л.А. и др., 1984) могут увеличиваться до 24 %.

Таблица 1.4 – Потери ДМ «Кубань» (Фокин Б.П., 2002)

Скорость перемещения, м/мин	Метеоусловия			Расчетная норма, м ³ /га	Факт. норма, м ³ /га	Потери, %
	T _{возд.} , °C	W _{отн.} , %	V _{вет.} , м/с			
1,06	27,0	48	4,8	140	123	12
0,30	28,3	56	3,8	460	385	16
0,56	26,3	60	2,4	245	214	12
0,49	26,3	60	2,4	280	235	16

Исследованиями А.Н. Данильченко (2008) при поливе подземными прохладными водами МДЭФ «Кубань» установлено, что потери на

испарение находятся в пределах 2–5% в пасмурные дни и ночное время и до 16–18 % в жаркие дни. Математической обработкой экспериментальных данных установлена зависимость испарения оросительной воды при поливе МДЭФ «Кубань» от температуры и относительной влажности воздуха, а также скорости ветра в момент проведения полива:

$$E_{\text{и}} = 1,21 + 7,4\Phi - 0,56\Phi^2, \% \quad (1.8)$$

где Φ – параметр, характеризующий влагопоглощающую способность приземного слоя воздуха:

$$\Phi = (TV_2)/A, \quad (1.9)$$

где T – температура воздуха, °С; V_2 – скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с; A – относительной влажность воздуха, %.

На поверхности листьев растений испарение составляет от 0,1 до 1,6 мм или в пределах от 0,3 до 5,3 % при норме полива 30 мм (Данильченко А.Н., 2008).

Общие потери на испарение приводят к снижению почвоувлажнительного эффекта на 5–10 % в ночное время и на 15–20 % в дневное время, и это обуславливает необходимость увеличения расчетной поливной нормы.

Исследования в Саратовском Заволжье на ДМ «Фрегат», проведенные в ВолжНИИГиМ под руководством Н.Е. Чубикова (1985), показали высокую эффективность работы устройств приповерхностного дождевания, которые снижают общие потери воды в зависимости от погодной напряженности с 10,7–38,7 % до 3,3–8,4 % (таблица 1.5).

Таким образом, для снижения потери воды на испарение и унос ветром на ДМ типа «Кубань-ЛК1», «Каскад» и др., необходимо применять устройства приповерхностного полива, которые бы обеспечивали регулировку высоты установки дождевальных насадок от 1 до 2–3 м (Рыжко Н.Ф., 2007).

Таблица 1.5 – Потери воды (испарение) в Саратовской области

№ Опыт а	ДМ «Фрегат» с УПО								Серийны е ДМ
	Высота насадк и, м	Угол вылет а дождя , град	V _{вет} , м/с	W _{отн} , %	T _{воз} , °С	Скорость перемещени я насадки, м/с	Расход воды насадк и, л/с	Потери воды на испарени е и снос, %	Потери воды на испарени е и снос, %
1	1,0	5	3 ^x (7)	58	24, 5	0,0129	1,396	8,4	12
2	2,5	30	2-3	58	24	0,0116	1,392	38,7	38,7
3	0,8	2	3 (6)	44	26, 5	0,0320	1,439	4,5	17,2
4	0,5	0	3 (7)	44,3	26, 2	0,0140	1,430	3,3	17,2
5	1,5	20	3 (5)	44,8	26, 1	0,0128	1,435	16,3	17,0
6	0,6	5	6-7	44	22	0,0135	1,370	6,1	21,7
7	2,0	7	5 (7)	44	22	0,0138	1,374	17,7	21,7
8	0,6	5	2-3	54	20	0,0160	1,376	3,3	10,7

Примечание: 3^x (7) – означает, что основная скорость ветра 3 м/с, с кратковременными порывами до 7 м/с в период проведения опыта. T_{воз.} - температура воздуха, град; W_{отн} - относительная влажность воздуха, %; V_{вет} - скорость ветра, м/с

Таким образом, на данный момент в России накоплено значительное количество данных о качестве полива дождевальными машинами ферменной конструкции, таких как «Кубань». Исследования показали недостаточную равномерность полива при использовании серийных форсунок при наличии ветра, большие объемы потерь воды из-за испарения и сноса. «Приповерхностный полив – важный метод, он позволяет снизить высоту установки дождевателей над поверхностью почвы и растениями, уменьшая потери воды на испарение и снос ветром» (Рыжко Н.Ф., 2007).

1.2 Принцип работы и применение устройств приповерхностного полива дождевальных машин

На первых образцах применялись дождевальные аппараты и насадки, которые монтировались на трубопроводе («Кубань», «Кубань-Л», «Кубань-

ЛК1», «Ладога», «Мини-Кубань» и др.) на высоте 4–5 м от поверхности почвы (рисунок 1.1). В условиях жаркого климата и постоянных ветров это приводило к сносу дождевого облака, снижению равномерности полива с 0,8–0,85 до 0,5–0,6 (Данильченко А.Н., Фокин Б.П., Козинская О.Л и др.) и увеличению потерь воды на испарение и снос до 15–20 % и более (Чубиков Н.Е., Ожередов Н.А., Данильченко А.Н., Хабаров В.Е. и др.)

Использование устройств приповерхностного дождевания (УПД) на многоопорных дождевальными машинах является одним из направлений улучшения их агротехнических показателей полива. Первые работы в этом направлении проводились во второй половине XX в. в КазНИИВХе, ТуркНИИЗе, Киргизская ОМС, ВолжНИИГиМе под руководством Н.Е. Чубикова (1969–1977 гг.) еще на базе двухконсольных агрегатов ДДА-100М и ДДА-100МА (Абдразаков Ф.К., Васильев В.В., 2005; Абдразаков Ф.К., Васильев В.В. и др., 2003). За период 1978–2012 гг. в ВолжНИИГиМ был разработан ряд конструкций УПД для дождевальных машин типа «Фрегат», «Кубань-М», «Кубань-ЛК».

Устройства приповерхностного дождевания, разработанные в ВолжНИИГиМе, представляли собой свисающий рукав, на нижнем конце которого устанавливалась дождевальная насадка. Недостаток данного УПД – при расположении в линию вдоль трубопровода в том, что интенсивность дождя оставалась высокой и не обеспечивало регулирование дождевателей по высоте. Здесь также были разработаны УПД типа вращающаяся штанга (Лизин Е.Д.). Однако металлоемкость такого УПД была большая и не нашла практического применения. Во ВНИИМиТП было разработано УПД для ДМ «Кубань-Л» (рисунок 1.2), которое представляет собой 7 открьлков длиной 10-15 м, на которых устанавливались по 5 дождевальных насадок. Открьлки монтировались снизу на пролете. Несмотря на значительное увеличение ширины расстановки насадок до 14 м и зоны полива на каждом пролете на практике не нашло применения, так значительно увеличивалась масса

пролета, требовались большие трудовые затраты на их монтаж, также сложно проводить регулировку по высоте.

Зарубежные устройства для приповерхностного дождевания (США, Австрия, Канада, Испания и другие страны) имеют в целом схожую конструкцию (рисунки 1.7 и 1.8). Это вертикальный напорный шланг, на нижнем конце которого расположена короткоструйная форсунка установленные ниже уровня трубопровода машины на высоте 1,8–2 метра от земли для высокостеблевых культур и высоте 1–1,5 метра для овощных культур. Это может приводить к сносу дождевой завесы. На некоторых конструкциях дождевальных машин шланги устанавливались на шпренгельные пролеты. В этом случае увеличение ширины захвата между форсунками до 3–3,3 метра наблюдалось только в центральной части пролета. Недостатком такой конструкции является отсутствие возможности регулировать высоту расположения дождевателей над землей (Рыжко С.Н., 2022).

В ООО «Лидер» Волгоградской области сотрудниками ВолжНИИГиМ на ДМ «Кубань-ЛК1» дождевальные насадки при помощи рукавов закреплялись на шпренгели пролетов, при этом высота их установки оставалась высокой – 2,7–3,5 м (рисунок 1.9), что не позволяло значительно повысить качество полива.



Рисунок 1.9 – Установка дождевальных насадок на шпренгелях ДМ «Кубань-ЛК1»

Для увеличения ширины расстановки дождевальных насадок перпендикулярно к трубопроводу в ВолжНИИГиМ на ферменной ДМ «Волга-ФК1» (Рыжко С.Н., 2022) применены УПД, где рукава монтировались на кронштейнах закрепленные на шпренгели и на шпренгели в средней части пролета. При этом расстояние между насадками увеличено до 3,3–3,5 м, на постоянной высоте 1,8 м от поверхности земли, а интенсивность дождя вдоль трубопровода уменьшилась на 25–65 % (рисунок 1.10). У данного УПД нет регулировки по высоте.

Известно техническое решение (патент № 184629; Рыжко С.Н., 2022), где предлагается на шпренгели устанавливать штанги на нижнем конце которого монтировать короткий рукав, переходник с насадкой и устройство регулировки. Однако данное устройство не было реализовано на практике, при этом нет точных значений конструктивных параметров труб, короткого рукава, сложно выставить точно дождевальные насадки вертикально, также высота их регулировки находилась в пределах 1,5–2,7 м, что недостаточно для высокостебельных культур.

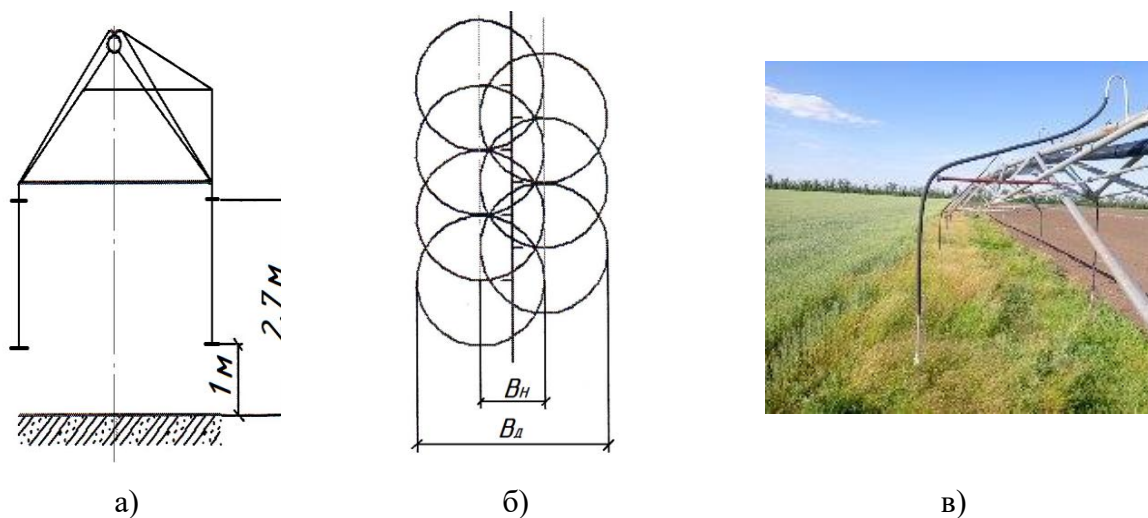


Рисунок 1.10 – Схема монтажа рукава УПО на шпренгели и открылки по второму варианту (а). Зона полива дождевальными насадками на УПО (б). Фото УПО при установке на шпренгеле и открылки (в)

Проведенный анализ технологий полива и устройств приповерхностного дождевания показывает, что необходимо доработать последнюю конструкцию, определить ее точные размеры в зависимости от места расположения на пролете при увеличении ширины расстановки поперек трубопроводу до 5–6 м, определить массу груза и длину короткого рукава для автоматической установки вертикального положения насадки при любой высоте, обеспечить высоту регулировки 1,5–3,5 м.

1.3 Дождеобразующие устройства на современных многоопорных дождевальными машинах ферменной конструкции

Был проведен анализ технических и научных данных по определению агротехнических параметров полива и описанию конструкций дождевальных форсунок, используемых в многоопорных дождевальных системах российского и зарубежного производства (Васильев С.М., 2005; Ольгаренко Г.В., Алдошкин А.А., 2006; Рязанцев А.И., Антипов А.О., 2016; Журавлева, Л.А., 2018; Рыжко Н.Ф., 2007; URL: <https://www.bauer-at.com/en/product/irrigation/sprinklers/>; URL: <https://www.senninger.com/product-line/pivot-spray-nozzles>; URL: <https://www.valleyirrigation.com/sprinklers>; URL: https://www.o2-e.ru/upload/REINKE_russian.pdf; URL: http://www.rkd.su/irrigation_systems.html; Каталог широкозахватных дождевальных машин, 2016). На основе этого анализа была создана классификация дождевальных устройств (рисунок 1.11), используемых в дождевальных системах.



Рисунок 1.11 – Классификация дождевателей применяемых на многоопорных ДМ

Секторные насадки применяются на многоопорной электрифицированной дождевальной машине «Кубань-ЛК1» (рисунок 1.12), которые монтируются под углом 15° к горизонту в штуцера. (Ольгаренко Г.В., 2015).



Рисунок 1.12 – Дождевальная насадка секторного полива ДМ «Кубань-ЛК1»

Насадки располагаются на трубопроводе, при этом уменьшается ширина захвата и повышается средняя интенсивность дождя, а потери на испарение и снос в летние дни имеют значительные величины 15–20 % и более.

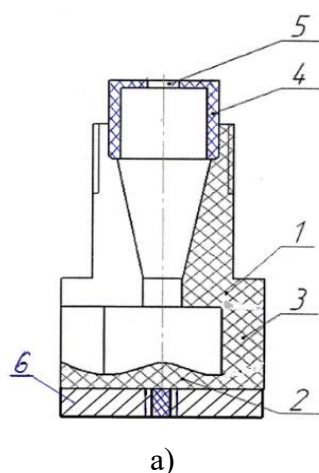
Также на ДМ «Кубань-ЛК» в ООО «Лидер» Волгоградской области внедрены дефлекторные насадки кругового полива (рисунок 1.13). Дождевое облако поднимается на высоту 5,5-6 м, потери оросительной воды на испарение и снос в летние дни имеют высокие значения.



Рисунок 1.13 – Дождевальная насадка кругового полива ДМ «Фрегат» и «Кубань-ЛК1»

За последние годы в ВолжНИИГиМ была разработана дождевальная форсунка с дефлектором «обратный конус» (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2016) (рисунок 1.14), она представляет собой корпус 1 с дефлектором в виде обратного конуса 2, закрепленного на двух опорах 3. Для ее настройки на необходимую пропускную способность и качественное распыление, в корпус 1 устанавливается сопло 4 с калибровочным отверстием 5. Коническая резьба в нижней части корпуса форсунки необходима для монтажа форсунки в муфту устройства для приземного полива (УПО). Использование таких форсунок позволит улучшить устройства для приземного дождевания.

Дождевальные насадки с обратным конусом, используемые на «Фрегате», создают мелкокапельное орошение. Однако, на дефлекторе возникает реактивный момент, который требует установки большого груза массой от 0,7 до 1 кг для сохранения вертикального положения (Карпова О.В., 2017). Это приводит к неравномерности распыления.



а)
 б)
 1-корпус насадки; 2-дефлектор насадки; 3-ножка дефлектора;
 5-дюза с калиброванным отверстием; 6-груз

Рисунок 1.14 – Схема (а) и фото (б) дождевальной насадки с дефлектором «обратный конус»

На дождевальной машине «Каскад» используются металлические насадки с обратным конусом в качестве дождевателей на устройствах приземного орошения (рисунок 1.15) (URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy).

Дождевальные насадки на ДМ «Каскад» требуют более сложных процессов изготовления, включая токарные и сварочные работы, что делает их более дорогими по сравнению с некоторыми другими типами насадок, однако надежность работы таких насадок высокая (Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., 2019; Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2019).



Рисунок 1.15 – Насадка с дефлектором «обратный конус» ДМ «Каскад»

Иностранные дождевальные машины часто комплектуются насадками от производителей, таких как Sinniger, Nelson и Komet (URL: <https://orsispivot.ru/catalog/katalog-komplektuyushchikh/raspyliteli-sprinklery-senninger-kontsevye-fan-spray/>; URL: <https://nelsonirrigation.com/ru/about>; URL: <https://irtec-cis.ru/articles/komet/komet-sprinklers>). Они имеют широкий диапазон модификаций, учитывающих конкретные условия эксплуатации (рисунки 1.16, 1.17). Различные дождеобразующие устройства применяются в зависимости от расположения на машине, вида культуры, фазы ее развития, почвенно-климатических условий и других факторов (Свиридов А.С., Катаев Ю.В. и др., 2021).

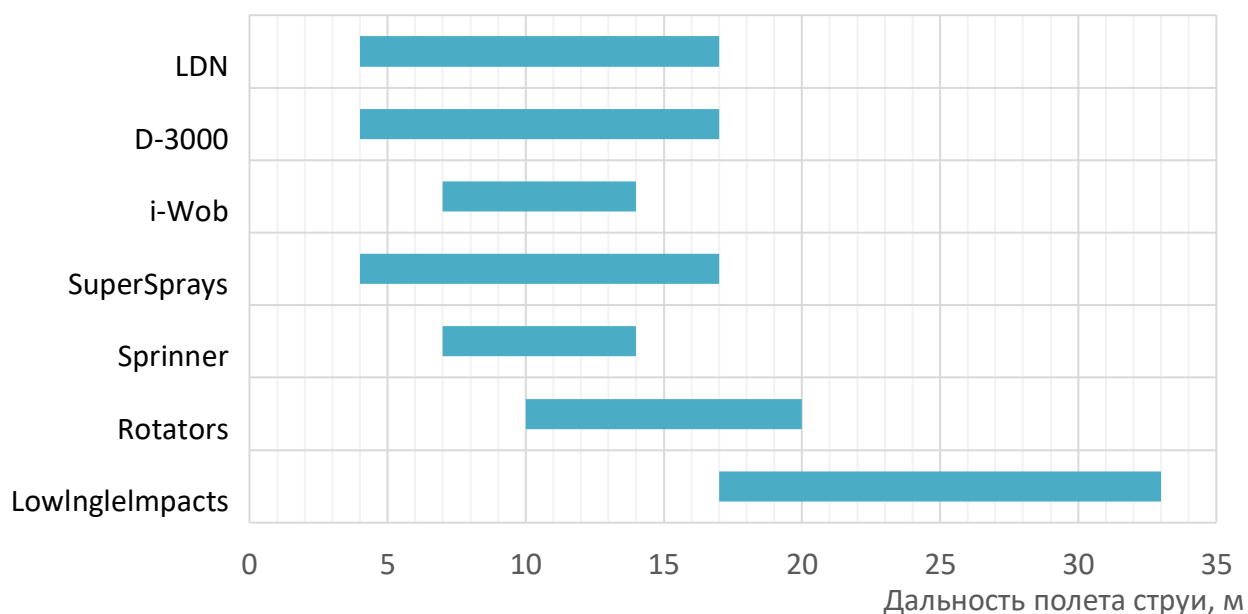


Рисунок 1.16 – Характеристики дождевателей различных типов

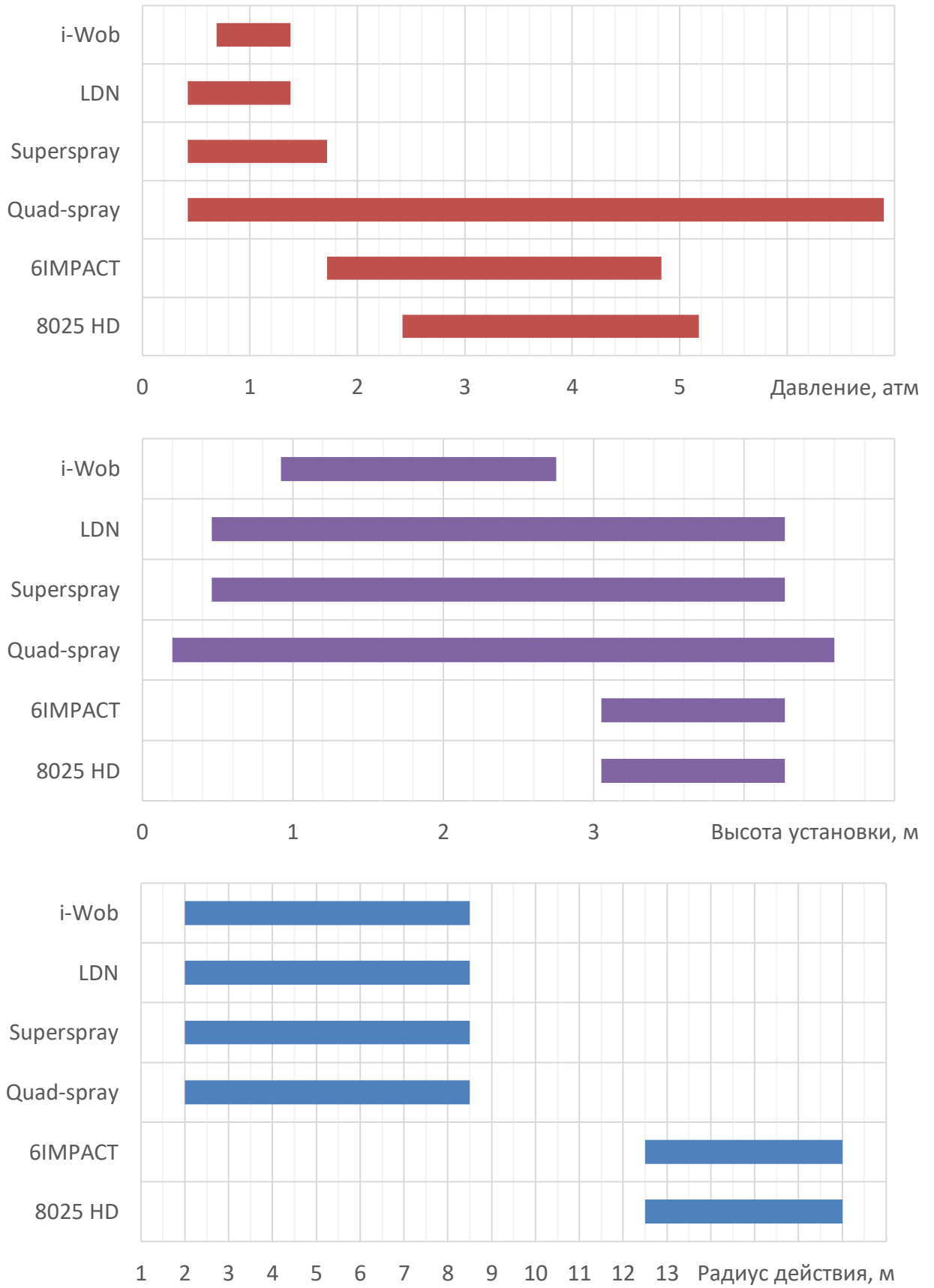


Рисунок 1.17 – Агротехнические характеристики дождевателей различных типов

Разбрызгивающее устройство R 3000 Rotator – это форсунка зарубежного производства, предназначенная для создания малой интенсивности дождя. Оно работает при давлении 1,0–3,4 атм и обеспечивает радиус разбрызгивания 7,6–11,3 м. Эта форсунка для систем ППД (рисунок 1.18 а)

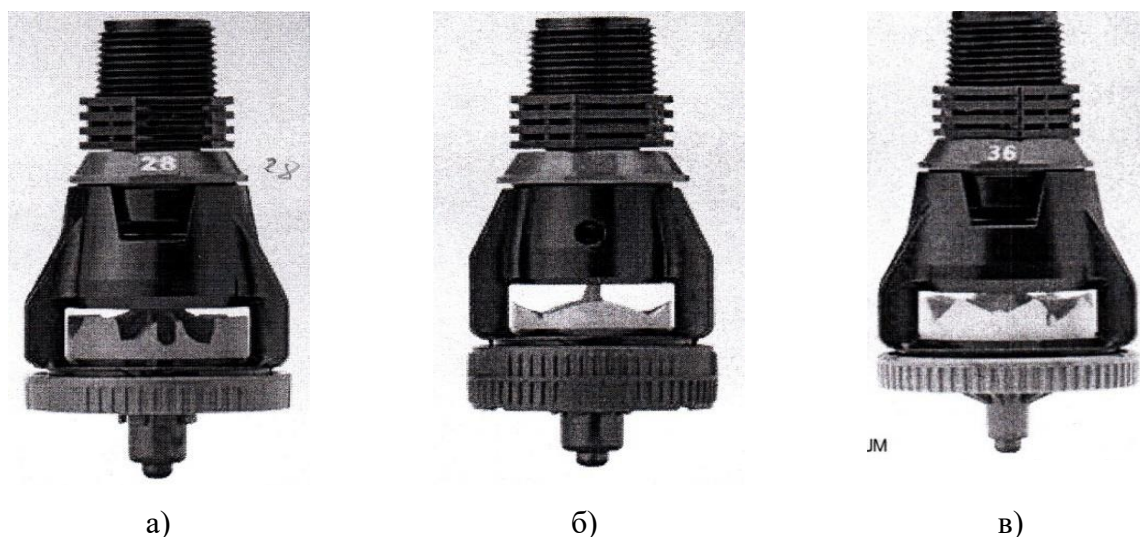


Рисунок 1.18 – Разбрызгивающие устройства R 3000 Rotator (а), А 3000 Accelerator (б) и S 3000 Spinner (в)

Дождеватель Nelson A3000 Accelerator – это устройство, предназначенное для дождевания стебельных культур. Оно имеет рабочее давление 0,4–1,0 атм и радиус разбрызгивания 4,5–8,5 м. Дождеватель обеспечивает самый низкий угол разбрызгивания при давлении 0,7 атм, когда направление струи практически горизонтальное (рисунок 1.18 б).

S 3000 Spinner – это свободно вращающийся дождеватель с рабочим давлением 0,7–1,4 атм и радиусом разбрызгивания 6,5–8,2 метра. Он имеет высокую равномерность полива и модифицирован для приземного дождевания (рисунок 1.18 в).

D 3000 Sprayhead используется для проращивания семян. Рабочее давление составляет 0,4–2,8 атм., а радиус разбрызгивания – 2,5–6,1 м.

T 3000 Trashbuster и T 3000 FC применяются без ограничения давления.

Распылители «i-Wob» оснащены вращающейся дефлекторной пластиной, имеют большой радиус полива и хорошее распределение воды (таблица 1.6, рисунок 1.19). Струя воды распыляется на мелкие капли, обеспечивая щадящую работу. Радиус действия составляет 3,7–7,62 м при давлении 0,07–0,35 МПа в зависимости от высоты установки и давления разбрызгивателя. Есть возможность смены дефлекторов, могут использоваться для полива больших площадей (I-Wob).

Анализ дождеобразующих устройств иностранной широкозахватной дождевальнoй техники показал, что они имеют различные модификации, имеют возможность смены дефлектора для различных задач. Все рассмотренные устройства спроектированы на работу при давлениях в системе – до 0,35 мПа.

Таблица 1.6 – Конструктивные параметры системы «i-Wob»

Параметры	Название модели			
	SA6G	SA9G	LA9G	LA6G
Размер, мм				
Min	3,57 (№ 10)	2,38(№ 6)	4,76(№ 12)	
Max	10,32(№26)			
Расход, л/ч				
Min	509	182	736	
Max	4811			
Расстояние между шлангами, м				
Подвески при расстоянии от земли 1,8 м	5,5	6,1	5,5	4,6
Рабочее давление, атм				
Min	0,69			
Max	1,36	1,38		



Рисунок 1.19 – Дождевальная насадка Senniger i-wob

Анализируя технические характеристики иностранных дождевателей, можно заключить, что они работают при низком давлении – 0,1–0,14 МПа, при котором образуется дождь с большими каплями среднего диаметра – 1,2–1,8 мм. Приводит к стокам и эрозии. Дождеватели также отличаются высокой стоимостью.

В отечественных дождевальных машинах типа «Казанка», «Кубань-С», «Аква Филд», «Орсис», «Ахтуба» и других обычно используются дождевальные форсунки Sinniger, Nelson или Komet. Исходя из этого, мы считаем важным направлением исследование и усовершенствование дождеобразующих устройств в целях повышения качества и однородности полива.

1.4 Оценка глубины колеи и проходимости многоопорных дождевальных машин

«Тележки дождевальной машины «Фрегат» движутся в зоне дождя, что может снизить твердость и несущую способность почвы. Это повышает вероятность образования глубоких и широких следов от колес» (Рязанцев А.И., 1991; Рязанцев А.И., 2019).

«По данным исследований Г.Н. Синеокова твердость почвы обыкновенного террасового чернозема снижается при изменении агрономического фона от 30–45 кг/см² до 4–15 кг/см²» (Синеоков Г.Н., 1965).

С изменением относительной влажности с 55 до 87 % несущая способность почвы (q , кПа) и коэффициент объемного смятия (K_0 , МПа/м) снижаются на всех изучаемых агрофонах и продискованных полях. (Алейничук Н.А., 1979).

Целина и почва под многолетними травами имеют более высокую твердость и несущую способность благодаря задернелости и корням растений. Вспаханные и обработанные поля, а также поля с посевами овощей имеют более низкие показатели. Исследования Рязанцева показывают, как меняется несущая способность почвы после полива в зависимости от агрофона (таблица 1.7).

Глубина колеи зависит от величины вертикального давления движителя машины на почву. Существующие методики теоретического обоснования глубины колеи основаны на эмпирических зависимостях и не полностью отражают физическую картину изменений в почве при проходах машин.

«Тяговое сопротивление качения колеса Q_x определяется по формуле Грандвуанде-Горячкина» (Крутиков Н.П., 1951):

$$Q_x = \sqrt{Q_z^4 / q D^2 v_0}, \quad (1.10)$$

где Q_z – вертикальная нагрузка на ось колеса, кг; q – коэффициент, характеризующий сопротивление почвы деформации, кг/см³; D, v_0 – диаметр и ширина обода колеса, см.

«Можно определить сопротивление качения и глубину колеи после прохода металлического колеса» (Рязанцев А.И., 1991):

$$P = 0,88 \sqrt{Q / P_0 B D^{1,5}} \quad (1.11)$$

$$H = 1,2 Q / P_0 B D^{0,5} \quad (1.12)$$

где Q – вертикальная нагрузка на ось колеса, Н; P_o – несущая способность почвы, Н/м²; D , B – диаметр и ширина обода колеса, м.

Таблица 1.7 – Средняя несущая способность почвы, коэффициента сцепления и коэффициента сопротивления качения от агрофона (Рязанцев А.И., 1991)

Агрофон	Ср. величина несущей способности почвы при поливной норме 400-600 м ³ /га, МПа (кг/см ²)	Коэф. сцепления (φ) между почвой и техникой		Коэф. сопротивления качения (f) между почвой и техникой	
		пневматические колеса	металлические колеса	пневматические колеса	металлические колеса
Вспаханное поле	0,03 (0,3)	0,43-0,51	0,25-0,33	0,15-0,21	0,24-0,33
Поле, подготовленное под посев	0,05 (0,5)	0,45-0,53	0,30-0,36	0,12-0,18	0,22-0,24
Поле со всходами растений	0,08 (0,8)	0,50-0,54	0,36-0,42	0,07-0,14	0,15-0,21
Стерня	0,12 (1,2)	0,55-0,64	0,52-0,64	0,06-0,11	0,13-0,18

Исследования В.П. Горячкина, А.К. Бируля (Бируля А.К., 1950; Бируля А.К. 1956), Г.Н. Синеокова (Синеоков Г.Н., 1965), Н.П. Крутикова (Крутиков Н.П., 1951), А.И. Рязанцева (Рязанцев А.И., 1991) и «анализ формулы показывают, что уменьшение глубины колеи может достигаться увеличением диаметра (D) и ширины обода (B) колеса, а также увеличения несущей способности почвы (P_o).» Аналогичные исследования приводятся в работах А.И. Рязанцева и Ю.Н. Егорова (ВНИИ «Радуга»), А.М. Салдеева (ВНИИОЗ) (Салдеев А.М., 1990), А.В. Колганова (Колганов А.В., 2000), ВолжНИИГиМ, СтавНИИГиМи др.

«Глубина колеи дождевальной машины «Фрегат» зависит от агрофона, нормы полива и числа проходов колес тележки. После первого прохода глубина колеи на стерне пшеницы составляет 5,9 см, на посевах пшеницы –

6,5 см, на пахоте – от 12,3 до 16,2 см. К четвертому проходу глубина колеи может достигать 26–30 см» (Рязанцев А.И., 1991).

Рязанцев А. И. и Егоров Ю. Н. обнаружили, что глубина колеи увеличивается в среднем на 20 % после каждого последующего прохода. «При втором проходе машины глубина колеи возрастает на 300–350 %, а при последующих проходах – в среднем на 30 %. В случае буксования колес глубина колеи может достигать 500 мм и более.» (Рязанцев А.И., 1991).

С целью уменьшения образования колеи после прохода многоопорных дождевальных машин (МДМ) разработан и испытан ряд технических решений. Классификация способов, повышающих проходимость МДМ приведена на рисунке 1.20.



Рисунок 1.20 – Классификация способов повышения проходимости многоопорных ДМ (МДМ)

Смещение водопроводного трубопровода машины от неподвижной опоры к опорным тележкам позволит улучшить проходимость вантовых машин. Между поворотной коленчатой неподвижной опорой и

водопроводным трубопроводом устанавливают вставку длиной 500–600 мм. Но это также может привести к образованию следов от колес. При этом к тому же увеличивается площадь заминания сельскохозяйственных растений. Этот способ применяют чаще на посевах многолетних трав (люцерна, козлятник восточный и др.), где дождевальная машина вынуждена через 2–3 года эксплуатации делать 15–25 проходов. А это приводит к частым буксованиям тележек и даже к поломке трубопровода (Рыжко Н.Ф., 2007).

Техническое решение, которое обеспечивает перемещение трубопровода машины от неподвижной опоры, было разработано В. М. Михеевым из ВНИИ «Прогресс».

Во ВНИИМИТП проводились исследования дождевальной машины «Фрегат» с пневматическими колесами низкого давления 15,5–38 Р (Рязанцев А.И., 1991). Исследования тележки ДМ «Фрегат» на пневматических шинах проводились в ОПХ «Полково» Мещерской ЗОМС Рязанской области. Выявлено, что установка пневматических шин уменьшает глубину колеи с 23 см (металлические колеса) до 7–10 см (при давлении в шине 0,0601 МПа), коэффициент сопротивления качению уменьшается с 0,26 до 0,16. Ширина колеи при этом остается примерно одинаковая 44 и 43 см.

В орошаемых полях Саратовской области и других регионах часто применяют спаренные металлические колеса на тележках, установленных в начале машины. Однако это не может полностью предотвратить образование следов от колес. На ДМ «Фрегат» будет эффективно применение сливных насадок гидропривода и подтележечного щитка.

Еще один способ уменьшить колею – использовать заравниватели. В России исследованиями и разработкой заравнивателей занимаются институты ВНИИ «Радуга» (А.И. Рязанцев, Ю.Н. Егоров), ВНИИОЗ (А.М. Салдеев, А.В. Колганов (Колганов А.В., 2000), СтавНИИГиМ (Цымбаленко), Саратовский ГАУ (Абдразаков Ф.К., Васильев В.В., 2005) и другие. Применение заравнивателей колеи на дождевальных машинах «Фрегат» и «Кубань-ЛК1» обеспечивает снижение глубины колеи с 26–30 см до 4–7 см.

Салдеев А.М (Салдеев А.М., 1990) показал, что применение заравнивателей колеи на ДМ «Кубань» уменьшает глубину колеи с 17–32 см (после 8 проходов машины) до 7–16 см. Одним из недостатков данного способа в том, что диски, при заравнивании колеи, дополнительно воздействуя на сельскохозяйственные растения, могут их повредить.

Исследования, проведенные в ВолжНИИГиМ (Чубиков Н. Е. и др., 1985), на ЭДМФ «Кубань», показали, что использование устройств приземного полива и секторных форсунок уменьшает попадание воды под привод и глубину следов на посевах овса с подсевом люцерны с 225 мм до 85 мм (после 15 прогонов). Однако этот метод не может полностью исключить попадание воды в зону привода тележек. Снижается эффективность применения секторных насадок при боковом ветре или совпадении направления ветра с движением машины, когда возможен снос дождя в зону движения тележек, что повышает влажность почвы в этой области.

Таким образом, приведенный анализ технических решений по уменьшению глубины колеи показал, что они не в полной мере отвечают современным требованиям и поэтому требуется продолжить исследования для повышения проходимости тележек ДМ «Каскад».

1.5 Особенности работы концевых дождевальных аппаратов для повышения площади полива машин кругового действия

Для ДМ кругового действия (Рязанцев, А. И., 1991; Ольгаренко Г.В., 2015) характерным является недополив угловых участков, а коэффициент земельного использования (КЗИ) обычно составляет 0,81–0,83 (Рыжко Н.Ф., 2007; Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г. и др., 2023), а с учетом примыкающих площадей и не симметричных участков поля может снижаться до 0,6–0,7 и менее. Для ДМ «Фрегат» с длиной трубопровода 453 м площадь неполных углов достигает 16 га. На неполивных углах урожайность обычно меньше в 2–5 раз, ниже качество продукции, а сроки созревания могут значительно

отличаться. В некоторых хозяйствах на неполивных углах выращивают менее ценные и засухоустойчивые культуры.

Увеличивая площадь полива дождевальными машин кругового действия, повышается эффективность их использования. Это во многом обеспечивается за счет использования концевых дождевальных аппаратов (Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г. и др., 2023).

Для высоконапорных ДМ «Фрегат», где в конце трубопровода давление составляет 0,42 МПа для полива угловых участков используется концевой аппарат «Фрегат»-5, расход воды которого составляет 8–10 л/с, а радиус захвата дождем составляет в среднем 25 м. На низконапорной ДМ «Кубань-ЛК1», где в конце трубопровода давление составляет 0,1–0,16 МПа используется концевой аппарат «Фрегат»-2, расход воды которого составляет 0,6–0,7 л/с, а радиус захвата дождем составляет в среднем 10–13 м. На таких машинах площадь неполивных углов увеличивается значительно (Esin A.I., Soloviev D. A., et al, 2022).

«Для увеличения площади полива высоконапорных ДМ «Фрегат» предлагается использовать дальнеструйные аппараты ДД-30. Расход воды составляет 20 л/с без отключения или с частичным отключением 4–6 последних среднеструйных аппаратов, а также 40–50 л/с с полным отключением всех аппаратов машины «Фрегат». Максимально возможная дополнительная площадь полива при непрерывной работе аппарата ДД-30 увеличивается на 5,29 га» (Рыжко Н.Ф., 2007).

«На ДМ «Кубань-ЛК1» для полива угловых участков применяли дальнеструйный аппарат ДМ-07.150 с расходом воды 8,4 л/с и радиусом полива 27,4 м. Дополнительная площадь полива составила 2,8 га, КЗИ повысился до 0,94» (Ольгаренко Г.В., 2007; Рязанцев А.И., 1991). Однако для повышения давления с 0,23 до 0,37 МПа необходимо использовать насос ЦВ-40/30 (напор – 30 м. в. ст.) с электродвигателем большой мощности 5,5 кВт, что требует увеличения сечения подводящих электрических кабелей.

На низконапорных иностранных дождевальных машин кругового действия, где в конце трубопровода давление составляет 0,07–0,1 МПа часто используется роторный распылитель R55 (рисунок 1.21), с расходом воды 1,16–6,55 л/с при давлении 0,1–0,4 Мпа, однако радиус захвата дождем небольшой и составляет 12–16,9 м (URL: <https://nelsonirrigation.com/products/end-of-pivot-products/r55-end-of-pivot-sprinklers>).



Рисунок 1.21 – Роторный распылитель R55

Для увеличения площади полива на низконапорных иностранных дождевальных машин часто используются дождевальные аппараты RainBirdKommet и др., а для увеличения давления перед концевым дождевальным аппаратом используется подкачивающий насос, который может быть установлен на конце трубы консоли (рисунок 1.22) или на последней тележке. На ДМ Zimmatic (Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2018) перед концевым дождевальным аппаратом используются подкачивающие насос мощностью 3,6 кВт с расходом воды 9,6 л/с и давлении менее 0,17 МПа, радиус полива 25 м при диаметре сопла 20–22 мм или насос с мощностью более 3,6 кВт при больших значениях расхода воды и давления.



Рисунок 1.22 – Дождевальная машина Zimmatic с подкачивающим насосом перед концевым дождевальным аппаратом

На многих российских дождевальных машинах кругового действия в качестве концевого используется двухсопловый аппарат R25S (рисунок 1.23) с расходом воды 1,47–10,8 л/с при давлении 0,2–0,6 МПа и радиусом захвата дождем – 18–39,5 м (URL: <https://agrosector23.ru/catalog/sprinkler/r25s/>).



Рисунок 1.23 – Дождевальный аппарат секторного полива R25S

Для дождевальной машины «Фрегат» было разработано техническое решение для полива угловых участков с помощью дополнительного трубопровода. Это решение защищено авторским свидетельством СССР № 745443 от 1980 года. В США аналогичная приставка используется на

электрифицированных машинах Valley. Данные разработки достаточно металлоемки и требуют разработки системы управления работы приставки (Фбдразаков Ф.К., Журавлева Л.А. и др., 2018).

Чтобы обеспечить на ДМ «Каскад» дополнительный радиус захвата дождем 25–28 м можно использовать односопловые российские секторные аппараты «Фрегат»-4 или «Роса»-2. Если дождевальная машина установлена в начале оросительной сети, то здесь можно использовать избыточное гидравлическое давление в сети 0,5–0,6 МПа. Это создаст давление перед концевым аппаратом 0,3–0,35 МПа и радиус полива 25–28 м. На удаленных машинах необходимо применять подкачивающий насос, при этом необходимо сделать расчеты конструкции аппарата, чтобы мощность электродвигателя была минимальной и не потребовала увеличения сечения медных электрических кабелей (Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., 2020; Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г. и др., 2023).

1.6 Технические особенности и технологические приемы проведения гидроподкормки с поливной водой

Внесение удобрений с поливной водой (фертигация) в настоящее время в растениеводстве имеет весьма успешный агротехнический прием.

Гидроподкормка – высокоэффективная операция, повышающая качество возделывания сельхозкультур (Пронько Н.А., Корсак В.В. и др., 2013; Ольгаренко Г.В., 2015; Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2017; Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2019; Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2020). Это достигается совместной подачей оросительной воды и удобрений. Растения получают растворенные удобрения, что усиливает их воздействие. При внесении удобрений с поливной водой снижаются материальные и трудовые затраты, так как подкормка производится автоматически при поливе дождевальной машины (Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2020; Журавлева Л.А., 2023; Журавлева Л.А., Анас А., 2024). При этом отпадает

необходимость использовать трактор с разбрасывателем. Подкормка может производиться в период, когда растения имеют большую высоту и проезд трактора возможен только по технологической колее.

Технология внесения минеральных удобрений вместе с поливной водой сейчас широко используется при различных способах полива.

При фертигации, которая применяется в РФ и за рубежом, можно использовать дождевальные машины (Сазонов М.В. и др., 2019; Анженков А.С., Емельяненко Д.А., 2023), различные системы для применения гидропонии (патент № 146223; патент № 144139), капельного орошения (Кузин А.И., 2020; Кизяев Б.М., Бородычев В.В., 2016), поверхностных способов полива (Налойченко А.О., Атаканов А.Ж., 2009).

Технология подачи с водой питательных элементов, применение удобрений при фертигации проводится небольшими дозами на протяжении основной части вегетационного периода в зависимости от потребности растений в минеральном питании (Карпова О.В., 2023).

Совмещение полива и внесение удобрений с использованием широкозахватных дождевальных машинах Valley позволяет исключить применение разбрасывающих машин и осуществлять бестарную транспортировку удобрений. Сокращаются потери питательных веществ на выщелачивание, не создается повышенной концентрации почвенного раствора (Сазонов М.В. и др., 2019).

Для проведения фертигации совместно с мобильными шланговыми дождевальными машинами применяются гидроподкормщики, предназначенные для введения в поливную воду растворов удобрений и препаратов. По способу приготовления раствора и подачи его в поток бывают гидроподкормщики с прямым использованием энергии водяной струи для получения раствора удобрений и введения его в поток поливной воды за счет использования скоростного напора и перепада давления, создаваемых специальными устройствами. На практике также применяют гидроподкормщики с отдельным приготовлением растворов высокой

концентрации и последующей подачей в напорную или всасывающую линии насосной станции (Анженков А.С., Емельяненко Д.А. и др., 2023).

Одним из направлений выращивания растений без почвы является малообъемная гидропоника, когда корневая система культур забирает питательные элементы из небольших объемов субстрата. В виде субстрата может использоваться пористый текстиль, минеральная вата, торф и др. Как правило, этот способ выращивания растений используется в защищенном грунте с использованием электроники и автоматики для нормированной подачи питательного раствора с капельным поливом. Так для оформления общественных территорий и внутренних интерьеров помещений учеными Саратовского аграрного университета на основе гидропоники было разработано несколько вариантов устройств автополива цветочных растений, выращиваемых в контейнерах (патент 144139; патент 146223).

Исследования (Кузин А.И., 2020), проводимые в экспериментальном саду ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» на посадках яблонь сорта «Жигулевское» показали, что при капельном орошении на фоне фертигации с нормой минерального питания $N_{10}P_{10}K_{30}$ получено 20,0 т/га яблоневого урожая, а без орошения с большей нормой минеральных удобрений $N_{70}P_{30}K_{150}$ получено 17,2 т/га, что меньше на 16 %. Внесение удобрений с поливной водой обеспечило достаточно высокую прибавку яблоневого урожая с меньшим количеством вносимых минеральных удобрений.

В своей работе ученые Б.М. Кизяев и В.В. Бородычев указывали, что современные технологии выращивания культур с использованием капельного орошения открывают возможность внесения удобрений с поливной водой (фертигация). На посевах сои сорта ВНИИОЗ 31 в Волгоградской области при получении урожайности не ниже 4 т/га использовалась система капельного орошения с поддержанием предполивного порога влажности почвы 70–80 % НВ с внесением жидких минеральных удобрений в дозе $N_{85}P_{80}K_{50}$ и $N_{110}P_{100}K_{70}$. При таком удобрительном орошении в сочетании факторов прибыль составила,

соответственно, 121960 и 167000 руб./га, что позволило окупить затраты на приобретение и монтаж системы капельного орошения за три года (Кизяев Б.М., Бородычев В.В., 2016).

Ученые из Кыргызского научно-исследовательского института ирригации создали универсальную установку для приготовления питательного раствора из сухих туков с целью использования в фертигации (Налойченко А.О., Атаканов А.Ж., 2009). Эта установка обеспечивает смешивание сухих туков, их отстой и нормированную подачу приготовленного питательного раствора заданной концентрации. Маточный раствор может готовиться прямо на орошаемом поле и затем вноситься в оросительную воду. Обогащенная питательными элементами вода распределяется по открытой распределительной сети и временным поливным бороздам или полосам. (Налойченко А.О., Атаканов А.Ж., 2009).

«Внесение минеральных удобрений вместе с поливной водой при многоопорном дождевании стабильно увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур в 1,2–2 раза (таблица 1.8), на это значительно оказывает влияние норма полива, доза подкормки, качество полива и интенсивность дождя.» (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2019).

Таблица 1.8 – Урожайность сельскохозяйственных культур (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2019) при поливе ДМ «Фрегат» (вариант 1 – без подкормки) и при гидроподкормке (варианты 2–4)

Место гидроподкормки	Культуры	Варианты	Фактически внесено, кг д.в/га		Ур-ть, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	Экономич. эффект, тыс. руб./га
			$P_{ов}$	$P_{г}$			
НС №2 Комсомольская ОС	Люцерна на 3. корм 2 укос ДМ№114	1	N ₆₀ P ₇₀	0	130,8	-	
		2	N ₆₀ P ₇₀	N ₆₀ P ₃₀	158,9	28,1	6,3
	Люцерна на сено 2 укос ДМ№114 А	1	N ₆₀ P ₇₀	0	40,6		
		2	N ₆₀ P ₇₀	N ₅₀ P ₂₀	64,0	23,4	9,3

Продолжение таблицы 1.8

Место гидроподкормки	Культуры	Варианты	Фактически внесено, кг д.в./га		Ур-ть, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	Экономич. эффект, тыс. руб./га
			$P_{ов}$	$P_{г}$			
НС №5 Комсомольская ОС	Кукуруза зерновая ДМ №67	1	0	0	42,0	-	
		2	0	N ₆₀	58,4	16,4	22,9
		3	0	N ₃₀	54,7	12,7	17,7
		4	0	N ₁₅	43,2	1,2	
	Кукуруза зерновая ДМ №72	1	0	0	44	-	
		2	0	N ₆₀₊ N ₄₀	51,9	11,9	16,6
		3	0	N ₆₀₊ N ₄₀	57,7	13,7	19,1
		4	0	N ₄₀	48,1	4,1	5,7
НС №2 Энгельсская ОС	Кукуруза на силос ДМ №5	1	0	0	200	-	
		2	0	N ₃₅	424	224,0	10,7
	Соя ДМ №15	1	N ₃₀	0	16	-	
		2	N ₃₀	N ₇₀	19,4	3,4	8,5

Примечание. $P_{ов}$ – В осенне-весенний период твердыми туками; $P_{г}$ – с поливной водой

Бобовые культуры, такие как люцерна и соя, которые обладают способностью к азотфиксации, меньше реагируют на дополнительную гидроподкормку. Однако и здесь прирост урожая достигал 55–65% (Бельшкіна М.Е., Кобозева Т.П. и др., 2023).

В таблице 1.9 представлены данные исследователей по урожайности сена люцерны: «Урожайность повысилась на 55,7 %, а в областях полива аппаратов №1 и №2 составляла 75–91 %. В конечной части машины, где норма подкормки и полива меньше, прибавка составила всего 10–40 %.» (Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2020).

Таблица 1.9 – Значения урожайности. Культура – люцерны вдоль ДМ «Фрегат» № 114а с учетом нормы полива, подкормки и удельной мощности дождя

Показатель	Значение						Среднее
	2-3 (1)	4-5 (2)	6-7 (3)	8-9 (3)	10-11 (4)	12-13 (4)	
Пролет между тележками (тип аппарата)							
Норма полива, м ³ /га (Норм. подкормки, кг/га)	775 (N ₈₀ P ₃₁)	600 (N ₆₁ P ₂₅)	464 (N ₄₇ P ₂₀)	320 (N ₃₃ P ₁₃)	464 (N ₄₇ P ₂₀)	300 (N ₄₇ P _{12,5})	485 (N ₅₀ P ₂₀)
Удельная мощность дождя, Вт/м ²	0,02	0,003	0,045	0,07	0,085	0,12	
<i>Урожайность люцерны на сено при гидроподкормке (ц/га)</i>							
Створ 1	86	69	58	49	71	39	
Створ 2	92	95	69	60	49	48	
Створ 3	99	70	56	40	62	45	
Среднее значение	92	78	61	50	61	44	64
<i>Урожайность люцерны на сено (ц/га) при поливе без внесения удобрений</i>							
Створ 4	56	46	54	23	50	42	
Створ 5	43	41	39	29	41	36	
Створ 6	46	48	37	26	36	39	
Среднее значение	48	45	43	26	42	39	40

Исследования показали, что снижение нормы полива с 77,5 до 30 мм в конечной части машины приводит к потере урожайности сена на 15,7 ц/га (48,6%). Увеличение удельной мощности дождя с 0,02 до 0,12 Вт/м² в той же части машины снижает урожайность до 6,6 ц/га (8,8 %). Применение гидроподкормки позволяет увеличить общий вес азота и фосфора с 42,5 до 111 кг д.в./га, что приводит к росту урожайности с 15 до 44 ц/га (с 56,6 до 91,6 %) (рисунок 1.24). Это указывает на высокую эффективность использования удобрений при поливе.

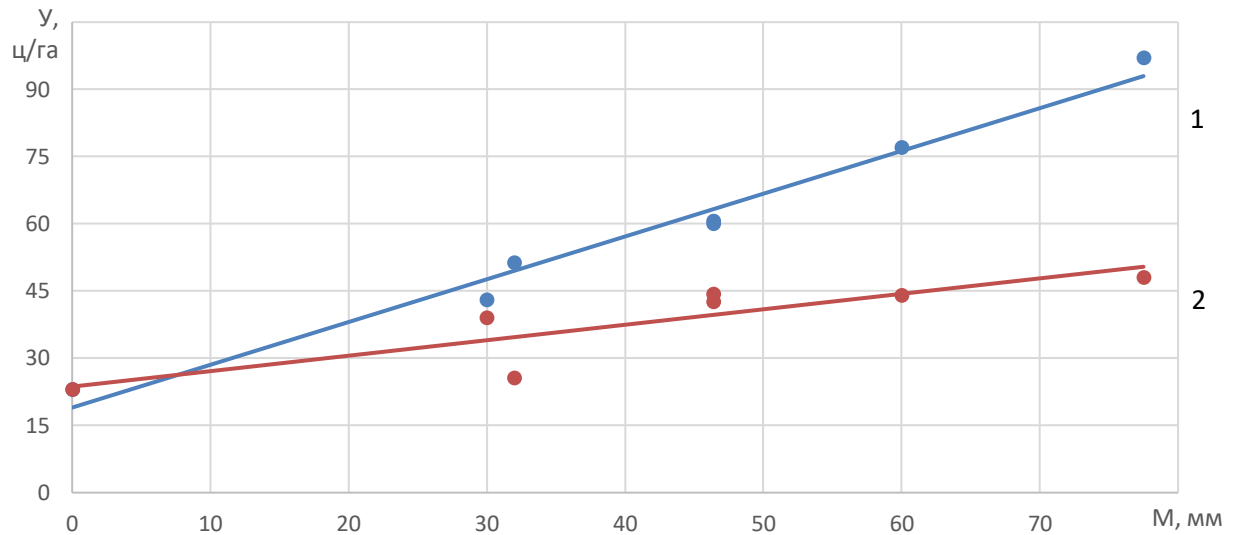


Рисунок 1.24 – Урожайность люцерны, ДМ «Фрегат» № 114а в зависимости от нормы полива (М): 1 – с подкормкой; 2 – без подкормки (Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2020)

Обработкой опытных данных получено уравнение регрессии для расчета урожайности (У) сена люцерны:

$$U = 22,48 + 0,376 \cdot m + 0,365 \cdot P - 40(N_y - 0,06), \quad (1.13)$$

где P – величина подкормки (суммарный вес азота и фосфора, $P = 42,5–111,0$), кг д.в./га; m – норма полива, $m = 30,0–77,5$ мм; N_y – удельная мощность дождя на данной точке машины, $N_y = 0,01–0,12$, Вт/м².

В таблице 1.10 представлены данные по урожайности зеленого корма люцерны вдоль трубопровода дождевальной машины «Фрегат» №114. «Подкормка в среднем по машине повышает урожайность на 21,4 %. В первой половине трубопровода (устройства № 2 и № 3) прибавка составляет 14–48,8 %, а в конечной части, где норма подкормки и полива наименьшая, максимальная прибавка составляет 0–26,1 %» (Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2020)

Таблица 1.10 – Урожайности люцерны на зеленый корм (2-й укос) ДМ «Фрегат» № 114 в зависимости от нормы полива и подкормки и удельной мощности дождя (Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2020)

Показатели	Значения						Среднее
	2-3 (2)	4-5 (3)	6-7 (3)	8-9 (3)	10-11 (4)	12-13 (4)	
Пролет между тележками (Тип аппарата)							
Норма полива, м ³ /га (норм. подкормки, кг/га)	700 (N ₃₀ P ₁₅)	700 (N ₃₀ P ₁₅)	635 (N ₂₇ P ₁₂)	340 (N ₁₅ P ₇)	340 (N ₁₅ P ₇)	330 (N ₁₅ P ₇)	507 (N ₂₂ P ₁₀)
Удельная мощность дождя, Вт/м ²	0,018	0,050	0,050	0,075	0,085	0,090	
Средний урожай, ц/га							
-при гидроподкормке	153,0	185,1	215,8	138,1	135,1	140,0	161,0
-без подкормки	130,1	160,0	145,8	111,8	137,8	110,0	132,5

Уравнение регрессии для расчета урожайности ($У$) зеленой массы люцерны примет вид:

$$У = 107 + 0,518 \cdot m + 0,872 \cdot P - 400(N_y - 0,05), \quad (1.14)$$

где P – величина подкормки (суммарный вес азота и фосфора, $P = 22-45$), кг д.в./га; m – норма полива, $m = 33-70$ мм/у – удельная мощность дождя на данном пролете машины, $N_y = 0,02-0,085$ Вт/м².

«Анализ урожайности кукурузы проведен на двух ДМ «Фрегат» – № 26 (ПНС № 4) и ДМ № 20 (НС № 2), где за сезон проведено по 4 полива. Результаты замеров урожайности и характеристики растений в зависимости от варианта подкормки удобрениями показаны в таблице 1.11 и рисунке 1.25» (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н., и др., 2017).

Таблица 1.11 – Урожайность кукурузы и характеристики растений в зависимости от вида подкормки удобрениями

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8
№ машины	Богара	20	20	26 Богара	26	26	26	26
Вариант подкормки	2	1	2	2	2	2	3	3
Высота растений, м	1,60	2,00	2,30	2,40	2,70	2,80	2,80	2,85
Вес початка, г	80	163	220	200	225	212	250	291

Продолжение таблицы 1.11

Вес зерна на початке, г	64,00	75,98	128,50	111,73	134,62	142,09	167,40	168,36
Вес зерна на стебле, г	64,00	75,98	154,20	111,73	168,20	177,62	209,30	210,50
Урожайность, ц/га	38,40	45,50	92,52	67,00	100,90	106,57	125,50	126,30

«Урожайность кукурузы на богаре составляет 38,4 ц/га, что в 2–2,5 раза меньше, чем на орошении. При внесении удобрений только перед посевом (вариант 1) на ДМ № 20 с четырьмя небольшими поливами (250–300 м³/га) урожайность составляет 45,5 ц/га» (Рыжко Н. Ф., Рыжко С. Н. и др., 2017).

«Внесение удобрений перед посевом и культивацией (вариант 2) повышает урожайность в 2–2,19 раза по сравнению с вариантом 1. В третьем варианте, где удобрения вносятся перед посевом, при культивации и в качестве подкормки с третьим поливом (ДМ № 26), урожайность составляет 125,5 и 126,3 ц/га (в среднем 125,9 ц/га). При этом наблюдается максимальное содержание азота, фосфора и калия в почве. Внесение удобрений в этом варианте повышает урожайность по сравнению с вариантом 2 на 22 ц/га или в 1,21 раза.» (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2017).

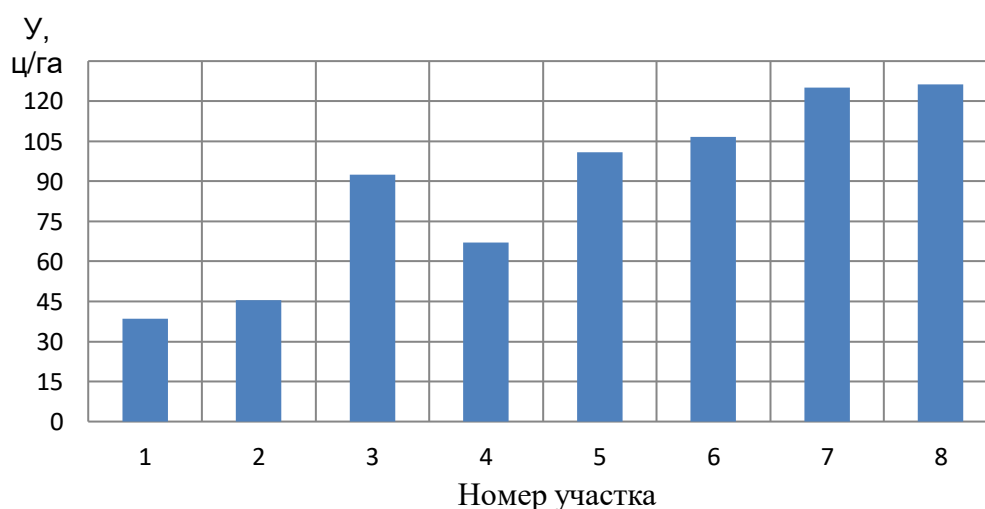


Рисунок 1.25 – Урожайность кукурузы в зависимости от вариантов внесения удобрений

Одним из недостатков существующих дождевальных машин является попадание химически активных веществ и удобрений в стальные трубопроводы при гидроподкормке. Для устранения этого недостатка необходимо усовершенствовать дождевальные машины, чтобы они использовали только полиэтиленовые трубы, устойчивые к коррозии, и улучшили систему приземного орошения. Использование дополнительного полиэтиленового трубопровода позволит также увеличить расход воды машины и снизить напор на ее входе и энергоемкость полива.

1.7 Исследования по выращиванию сои при поливе

В настоящее время политика импортозамещения направлена на развитие высокоэффективных технологий в сельском хозяйстве, производство поливной техники и продукции растениеводства, такой как соя и продукты ее переработки.

Соя широко распространена в мировом сельском хозяйстве благодаря своим выдающимся биологическим свойствам и высокой технологичности. «В настоящее время сою выращивают на всех континентах, и ни одно государство не остается в стороне от ее возделывания. Треть населения мира использует продукцию на основе сои в своем рационе.» (Дорохов А.С., Бельшкіна М.Е. и др., 2019).

«Благодаря биологической фиксации азота атмосферы, соя накапливает в растениях белок, что повышает урожайность и качество продукции последующих культур севооборота. Соя также способствует уменьшению выбросов парниковых газов и прерыванию цикла развития патогенов, характерных для полевых систем с большим насыщением зерновыми культурами.» (Мажуга Т.С., Мажуга М.Ф. и др., 2016; Бельшкіна М.Е., Загоруйко М.Г. и др., 2022).

«Необходимость дальнейшего увеличения производства растительного белка связана с ростом населения и его потреблением мяса и других

продуктов животноводства. Экономические прогнозы свидетельствуют о том, что тенденция роста потребления мяса и других продуктов животноводства на душу населения продолжится как в развитых, так и в развивающихся странах.» (Лукомец В.М., Кочегура А.В. и др., 2013; Муратов А.А., Оборская Ю.В., 2015; Гуреева Е.В., Фомина Т.А., 2016).

В последние годы наблюдается повышенный спрос на соевое зерно в России. Оно распространяется не только на Дальнем Востоке, но и в центральных регионах, а также на юге Западной Сибири, Урала и Алтая (Mamakhai A.K., Zagoruiko M.G., 2022; Бельшкіна М.Е., Загоруйко М.Г., 2022; Belyshkina M.E, Zagoruiko M.G., et al, 2023).

Однако общее производство этой культуры в России все еще недостаточно для удовлетворения потребностей народного хозяйства в высококачественном сырье, покрывая их только на 20–30 % (Левкина О.В., Васильев В.В., 2017).

Ни одно живое существо не может жить без белков (человеку необходимо ежедневно 90–100 г, тогда как в мире в среднем потребляется 60 г на человека), недаром белок называют протеином, что в переводе с греч. означает «самый важный». Мировая практика признала, что соевый белок является наиболее высококачественным, самым распространенным и дешевым источником растительного белка.

Соевый белок, благодаря своим физико-химическим свойствам, способен легко усваиваться, а продукты, полученные на его основе, близки по питательной ценности к продуктам из натурального молока. В последние годы возрастает роль сои как кормовой культуры, использование соевого шрота в приготовлении комбикормов повышает питательную и энергетическую ценность корма (Мякушко В.П., Баранов В.Ф., 1984; Бельшкіна М.Е., 2012; Петибская В.С., 2012; Бельшкіна М.Е., Загоруйко М.Г. и др., 2022; Загоруйко М.Г., Бельшкіна М.Е., 2023).

Соя используется как техническая культура в лакокрасочной, мыловаренной, химической, текстильной, топливной и других отраслях промышленности (Кобозева Т.П., Левшин А.Г. и др., 2021).

Благодаря высокой технологичности, соя может возделываться с использованием техники, предназначенной для зерновых культур. Способы возделывания сои в зависимости от региона прорастания и агрометеорологических условий вегетационного периода также различаются. Соя может высеваться обычным рядовым или широкорядным способами, с соответствующей шириной междурядий – от 7,5 см до 90 см. Современные сорта формируют высокое заложение нижних бобов и устойчивы к полеганию, что облегчает работу зерноуборочных комбайнов и способствует снижению потерь при уборке (Лукомец В.М., Кочегура А.В. и др., 2013; Зайцев Н.И., Бочкарев Н.И. и др., 2016; Бельшкина М.Е., Старостин И.А., Загоруйко М.Г., 2020; Зубарева К.Ю., 2020; Загоруйко М.Г., Бельшкина М.Е., Кобозева Т.П., 2023).

Традиционная соя произрастает на юго-востоке Китая (Свищева М.И., 2020). Благодаря интродукции культурных видов сои, она произрастает по всему миру. Наибольшие площади посевов сосредоточены в США, Аргентине, Бразилии и Канаде, которые по итогам 2022 г. обеспечили в совокупности ее валовый сбор в размере 287 млн т на уборочной площади 93,8 млн га, средняя урожайность составила 3,0 т/га (ФАОСТАТ, 2024).

Основная причина высокой урожайности сои в США и Канаде – благоприятные климатические условия с теплым и продолжительным вегетационным периодом и оптимальным распределением осадков в течение вегетационного периода.

В странах Западной Европы ключевым фактором высокой урожайности сои также является теплый и влажный климат, обусловленный течением Гольфстрим. В некоторых регионах Южной Европы при дефиците осадков летом применяется орошение (Зайцев Н.И., Бочкарев Н.И. и др., 2016).

Хотя территория России не относится к подходящим зонам для

выращивания сои по температурному режиму и влажности, глобальное изменение климата, особенно повышение среднегодовой температуры приземного воздуха, оказалось благоприятным для роста урожайности сои.

Потепление климата в центральной и северной частях европейской России позволяет расширить зону выращивания теплолюбивых и продуктивных сельскохозяйственных культур, таких как подсолнечник и соя (Лукомец В.М., Зеленцов С.В. и др., 2015).

Благодаря созданию сортов сои так называемого северного экотипа, в последние несколько десятилетий активно развивается возделывание этой культуры в Центральном Нечерноземье. Благодаря работе селекционеров, эти сорта способны произрастать в условиях длинного светового дня и произрастать на широте 56°. Эти сорта обладают небольшой суммой активных температур, необходимой для устойчивого созревания сои в регионе, которая составляет 1700–2200°С (Енкен В.Б., 1959; Лещенко А.К., Сичкарь В.И. и др., 1987; Бельшкина М.Е., 2012; Дорохов А.С., Бельшкина М.Е. и др., 2019).

«С другой стороны, результативная селекция на повышение засухоустойчивости позволяет расширить ареал промышленного возделывания отечественных сортов сои в сухостепные зоны Южного и Приволжского федеральных округов с коэффициентом гидротермического коэффициента (ГТК) 0,5–0,7.» (Лукомец В.М., Бочкарев Н.И. и др., 2012; Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., 2013).

Россия обладает существенными возможностями развития соевой отрасли: располагает агроклиматическими, земельными, водными ресурсами, уникальным сортовым потенциалом и многолетним опытом возделывания сои, и главную роль в формировании роста урожайности играет применение высококачественного семенного материала (Свищева М.И., 2020).

По данным ФАО (ФАОСТАТ, 2024), с 2016 г. площади посева под соей возросли в 1,6 раза, и составили к 2022 г. 3,4 млн га, валовый сбор – в 1,9 раза, и составил 6,0 млн т, урожайность – в 1,2 раза, и составила 1,8 т/га

(таблица 1.12)

Таблица 1.12 – Посевные площади, валовой сбор и урожайность сои в Российской Федерации (в хозяйствах всех категорий)

Показатели	Годы производства						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Посевы сои, млн га	2,1	2,6	2,7	2,8	2,7	3,0	3,4
Валовый сбор, млн т	3,1	3,6	4,0	4,4	4,3	4,8	6,0
Урожайность, т/га	1,5	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,8

За счет увеличения посевных площадей, посевы районированных сортов с продвижением посевов в более северные широты страны, значительно возрос сбор семян культуры. Из данной таблицы видно, что с 2016 по 2020 гг. сбор зерна сои в России увеличился в 1,4 раза или на 1 миллион 156 тыс. тонн.

В основном производством сои в России занимаются десять регионов (рисунок 1.26), которые располагаются в Дальневосточном федеральном округе, Центрально-Черноземном районе и Краснодаром крае. В 2019 г. на их долю пришлось 86,7 % всего урожая сои в стране и 83,5 % всей посевной площади.

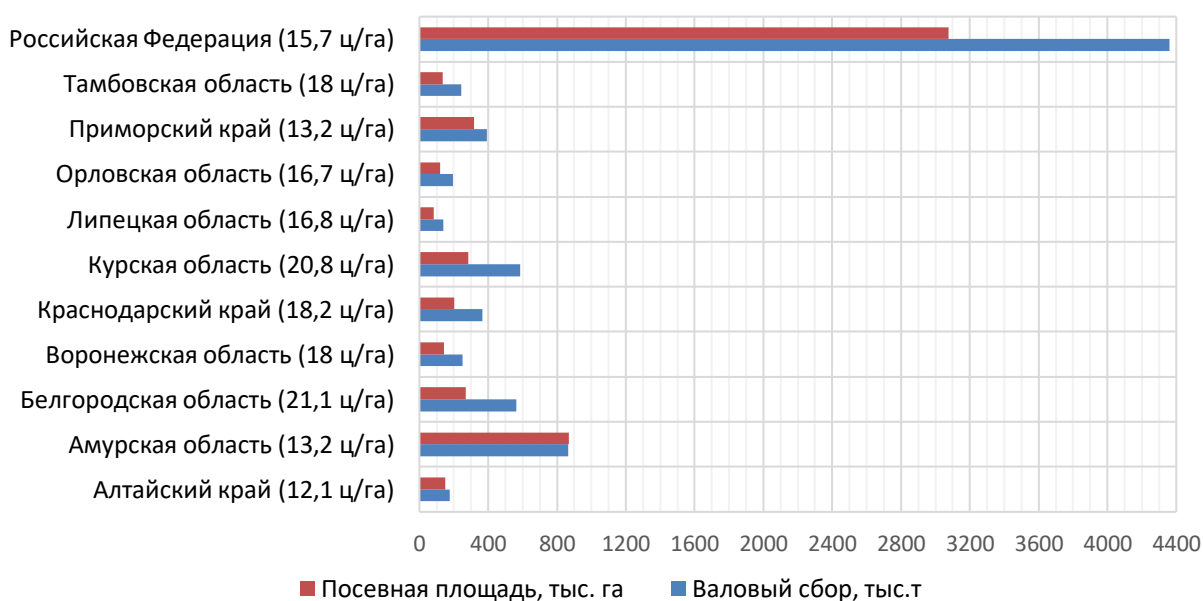


Рисунок 1.26 – Основные регионы – производители сои в России

Центральный федеральный округ охватывает 49 % производства сои в России, Дальневосточный – 31 %, а Южный федеральный округ – 10 %. Наибольшие площади посева 28,3 % и валовый сбор зерна сои был в Амурской области, где было собрано 19,8 % от общероссийского валового сбора (Расулова В.А., Мельник А.Ф., 2020).

В свою очередь, при анализе возможности увеличения площадей оценивались биоклиматические условия регионов, где до настоящего времени возделывание сои практически не осуществляется. В целом, общий резерв увеличения посевов сои по Российской Федерации составляет 3,67 млн га, что составляет 3,0 % от общей площади пахотных земель с учетом вовлечения в сельскохозяйственное производство неиспользуемых пахотных земель (Лукомец В.М., Зеленцов С.В. и др., 2015).

Однако урожайность культуры по России за последние годы практически оставалась без изменения и составляла в среднем порядка 14–16 ц/га, что говорит о необходимости дальнейшего изучения данной культуры и развития соеводства в Российской Федерации.

Первостепенное значение для достижения высоких урожаев зерна сои имеет широкое применение научных достижений и передовых практик в производстве. Благодаря использованию научных разработок, урожайность сои можно реально повысить на 30–50 %. Внедряются новые сорта и технологические разработки. На некоторых полях НИИ урожайность сои достигала 43–46 ц/га, что указывает на значительный потенциал для дальнейшего роста урожайности этой культуры (Лукомец В.М., Кочегура А.В. и др., 2013).

В Ростовской области, урожайность сои достигала от 2,5 до 5,5 тонн с гектара благодаря рекомендациям Всероссийского НИИ проблем мелиорации и оптимальному режиму орошения, высокому агрофону и учету конкретных условий каждого поля и применяемой поливной техники (Балакай Г.Т., Докучаева Л.М. и др., 2019; Минсельхоз России, 2020).

Соя характеризуется неравномерным водопотреблением по фазам развития растений. Для прорастания сое требуется 100–150 % влаги к массе семян, при этом влажность почвы должна составлять 75–95 % НВ. В первый период вегетации соя менее требовательна к влаге, так как усиленно развивает корневую систему и медленно наращивает вегетативную массу.

Многочисленные опыты в засушливых зонах страны показали, что для получения высокого урожая сои необходимо обеспечивать растения влагой непрерывно в течение всей вегетации. Если в начале вегетации возникает задержка с обеспечением влагой, то она не может быть компенсирована в последующие периоды роста и развития (Губанов П.Е., 1983; Енкен В.Б., 1959; Загоруйко М.Г., Бельшкина М.Е. и др., 2024).

Количество осадков и относительная влажность воздуха играют важную роль для сои в критические фазы цветения и налива зерна. Оптимальная влажность воздуха для сои составляет 70–80 %, суховеи, образующиеся в фазу цветения сои, могут привести к осыпанию цветков и завязей. Таким образом, для сои имеет равное значение влажность почвы и воздуха, особенно в генеративный период, когда происходит формирование будущего урожая (Губанов П.Е., 1983; Загоруйко М.Г., Бельшкина М.Е. и др., 2024).

Агротехнику сои необходимо планировать, исходя из условий влагообеспеченности в регионе возделывания. Для сои критичными являются как острозасушливые условия, так и условия избыточного увлажнения, в обоих случаях это приводит к гибели симбиотического аппарата на ее корневой системе. Необходимо применять эффективные агротехнические приемы, обеспечивающие получение стабильного урожая (Гайдученко А.Н., Оборский С.Л. и др., 2009; Abdrazakov F.K., Pankova T.A., et al., 2017; Пронько Н.А., 2022).

Одним из наиболее эффективных и зарекомендовавших себя на сое агротехнических приемов возделывания является орошение. В большинстве регионов нашей страны его применение рекомендуется при возделывании

сои. Существует прямая зависимость между поливом и возрастанием урожайности сои, особенно в период бутонизации – цветения – формирования бобов. При орошении в течение всей вегетации активно функционирует фотосинтетический и симбиотический аппарат растений сои, что способствует в том числе формированию большего количества белка в семенах (Шабалдас О.Г., Пимонов К.И. и др., 2020).

Многими исследователями в различных агроклиматических условиях РФ проводили опыты по установлению оптимальной влажности почвы при проведении поливных режимов на посевах сои с целью получения высоких урожаев культуры.

На опытных полях в условиях южной зоны Амурской области учеными было установлено, что наиболее оптимальным для сои являлся дифференцированный режим орошения при 70–80 % НВ: 70 % – от посева до фазы цветения, 80 % – с фазы цветения до формирования и налива бобов. При данном поливном режиме были получены самые высокие урожаи сои и составили 2,9 т/га. Это происходило за счет назначения времени проведения поливов, в начальный этап вегетационного периода отмечалась меньшая потребность сои в воде по сравнению с фазами цветения и бобообразования (Юст Н.А., Лященко Т.А., 2013).

На опытном поливном участке Волго-Донского стационара ГНУ ВНИИОЗ выполнялись исследования с сортом сои Волгоградка-1 при капельном поливе с поддержанием порога предполивной влажности почвы 70 или 80 % НВ. Наибольшая урожайность была 3,64 т/га при режиме орошения с предполивным порогом влажности 80 % НВ и увлажнением почвенного слоя 0,6 м. При этом оросительная норма составила 3150 м³ /га (Лобойко В.Ф., Дезорцев Н.Г., 2014).

На опытном участке Кубанского аграрного университета на рисовой почве проводились исследования по сравнению влияния капельного и внутрипочвенного орошения на урожайность сои сорта «Арлета». Влажность в слое 0,5 м. поддерживалось на уровнях 70, 80 и 90 % НВ. Урожайность сои

при капельном поливе составляла 2,77, 4,18 и 2,24 т/га, а при внутрипочвенном орошении была выше и составила 3,42, 4,72 и 2,64 т/га, что говорит о более продуктивной технике полива (Алматар А., Кузнецов Е.В., 2023).

На орошаемых обыкновенных и лугово-черноземных почвах Ростовской области проводились исследования выращивания различных сортов сои при капельном поливе и дождевальной машиной «Фрегат». Влажность почвы на посевах под «Фрегатом» и капельной системой поддерживалась на уровне 80–100 % НВ в слое почвы 0,6 м.

Исследователями было установлено, что возделывание перспективных сортов сои на орошаемых землях позволяет получать стабильные урожаи зерна на уровне 3,5–4,5 т/га. Так сорта сои Селекта 201, СК 158, Селекта 302, Селекта 301 при поливе системами капельного орошения обеспечили получение урожайности зерна данной культуры на уровне 3,71–4,61 т/га, а наибольшая урожайность сои при поливе дождеванием получена при возделывании сорта Славия – 3,22 т/га. (Балакай Г.Т., Докучаева Л.М., 2019; Балакай Г.Т., Селицкий С.А., 2019).

Почвенно-климатические ресурсы сухостепного Заволжья для выращивания теплолюбивой культуры сои характеризуются весьма благоприятным количеством тепла, продолжительным периодом вегетации, достаточно плодородными каштановыми почвами, но дефицит атмосферных осадков и недостаточное их выпадение в критические фазы роста, говорит о необходимости выращивания данной культуры при искусственном дополнительном увлажнении ее посевов – орошении.

Для получения гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур в природно-климатических условиях Нижнего и Среднего Поволжья стабильное развитие сельскохозяйственного производства будет более успешным при грамотной организации орошения (Belyshkina M.E, Zagoruiko M.G., et al. 2023). В этих условиях необходимо обеспечивать посевы влагой и регулировать почвенные влагозапасы, создавать для растения оптимальные

условия развития в различные периоды их роста, что в свою очередь дает значительные урожаи. Среди однолетних зерновых культур, выращиваемых в сухостепной зоне Заволжья, особое место занимает соя. Являясь представителем зернобобовых культур, она обеспечивает поступление азота и синтез органических веществ в агроландшафты.

Соя является очень отзывчивой на улучшение условий произрастания сельскохозяйственной культурой и в первую очередь, на применение орошения, способствующего увеличению зерновой продуктивности до 3–5 т/га зерна (Кашкарова Т.С., Толоконников В.В. и др., 2019).

Наряду с хорошей отзывчивостью посевов сои на орошение она довольно требовательна к питательным элементам. Данная бобовая культура на формирование урожая требует большое количество питательных веществ на неравномерную потребность по фазам развития и на способность ассимилировать азот из воздуха посредством симбиоза с клубеньковыми бактериями.

Соя особенно требовательна к обеспечению азотом, фосфором и калием, а также молибденом для активного бобово-ризобияльного симбиоза. Азотные подкормки в период налива семян способствуют повышению накопления белка в семенах (Загоруйко М.Г., Бельшкина М.Е. и др., 2023). Обеспеченность фосфором и калием важны в начале вегетационного периода (Беликов И.Ф., 1964; Даниличев С.Н., 1983).

В агротехнологическом аспекте для повышения продуктивности сои важно использовать факторы интенсификации, такие как орошение, удобрение, новая техника, пестициды и росторегуляторы. Также следует ускорить процесс сортосмены, выбирая более продуктивные и адаптивные сорта (Лукомец В.М., Кочегура А.В. и др., 2013).

Руководствуясь данными полезными советами, в своей работе мы уделили внимание изучению и совершенствованию определенной группе рекомендованных приемов повышения урожайности соевой продукции.

1.8 Проблематика, выводы, направления исследований

1. Оценка качественных показателей полива дождевальными машинами российского и иностранного производства показала, что интенсивность дождя во второй половине трубопровода значительно превышает допустимые значения и в большинстве случаев при монтаже на трубопроводе или на устройстве приповерхностного дождевания вдоль трубопровод составляет 0,6–1,4 мм/мин, а иностранные дождеватели работают при низком давлении (0,07–0,1 МПа) и формируют крупнокапельный дождь большой удельной мощности, что приводит к стоку и эрозии почв, перераспределения дождя по неровностям рельефа и вызывает пестроту и недобор урожая.

2. Тележки дождевательных машин перемещаются в зоне дождя, что приводит к образованию глубокой (15–20 см и более) и широкой (45–60 см) колеи, вызывает их буксование и перерасход электроэнергии на движение, снижает производительность машин, машинно-тракторных агрегатов и уборочной техники.

3. При увеличении скорости ветра наблюдается снижение равномерности полива дождевательных машин, в результате соударения струй соседних насадок, при работе насадок не в оптимальном режиме, а также при нахождении насадок в стеблестое растений большой высоты (кукуруза и др.). Высота расположения насадок как правило не регулируется по мере роста с.-х. культур. Необходима разработка методики расчета оптимальных параметров дождевательных насадок, также необходимо усовершенствование устройств приповерхностного дождевания для снижения интенсивности дождя и обеспечивающих регулирование высоты расположения дождевательной насадки по мере роста растений, а также усовершенствование конструкции дождевательных насадок, в том числе и для полива с заданным сектором и контуром для исключения попадания воды под колеса тележек. Необходимо теоретическое обоснование усовершенствованной конструкции

концевого дождевального аппарата для повышения площади полива при снижении энергоемкости подкачивающего насоса.

4. Для создания энергоэффективной дождевальной машины необходима разработка дополнительной системы со стойким к коррозии трубопроводом, по которому обеспечится внесение удобрений и агрессивных химических веществ, это также позволит повысить расход воды и производительность машин. Необходимо разработать методику расчета дополнительных трубопроводов и разработать систему гидроподкормки с использованием насосных агрегатов отечественного производства меньшей стоимости.

Как итог, необходимо теоретическое обоснование и разработка малоинтенсивной и почвощадящей технологии орошения многоопорными дождевальными машинами кругового действия с обоснованием оборудования для повышения качества полива, проходимости тележек и увеличения площади полива, а также для проведения гидроподкормки, что позволит оптимизировать использование водных, почвенных, энергетических и материальных ресурсов.

Результаты и обобщенная схема проведения исследований представлены на рисунке 1.27. Водные и земельные ресурсы должны экономиться за счет снижения потерь воды на испарение и снос, оптимизации высоты дождевого облака при расположении насадок 1,5 м над поверхностью земли и немного выше растений по мере их роста, а также за счет оптимизации распыла особенно в начале машины и исключения водяной пыли. Оптимизация диаметра капель дождя в пределах 0,5–1,0 мм и уменьшение интенсивности дождя при применении усовершенствованных устройств приповерхностного дождевания будет способствовать уменьшению эрозии, притоку воды и инфильтрационным потерям. Оптимизация расстояния между насадками поперек трубопровода будет способствовать снижению соударения струй, а расположение насадок выше растений способствует повышению равномерности полива.

Земельные ресурсы будут более эффективно использоваться при меньшей глубине колеи и при увеличении площади полива.

Энергетические ресурсы будут экономиться при работе ДМ «Каскад» в низконапорном режиме при давлении на входе машины 0,2–0,4 МПа и использовании на насосных станциях мало–энергоемких насосных агрегатов, работающих при давлении на выходе насосной 0,6–0,7 МПа вместо 1,0–1,1 МПа.

Использование дополнительных полимерных трубопроводов на ДМ «Каскад» позволит экономить материальные ресурсы за счет повышения расхода воды и снижения напора на входе в машину. Это достигается благодаря внесению активных веществ через инертный трубопровод и устройства приповерхностного дождевания.

Снижению трудовых ресурсов будет способствовать повышение расхода воды и производительности машин в том числе и при уменьшении буксования опорных тележек. Усовершенствованные устройств приповерхностного дождевания способствуют снижению трудовых затрат при проведении работ по регулированию высоты установки дождевальных насадок.

Финансовые ресурсы будут увеличиваться при внедрении малоинтенсивной и почвоохранной технологии, при снижении стока оросительной воды и повышении равномерности полива. Валовой сбор продукции будет повышаться при увеличении площади полива от применения усовершенствованных концевых аппаратов.

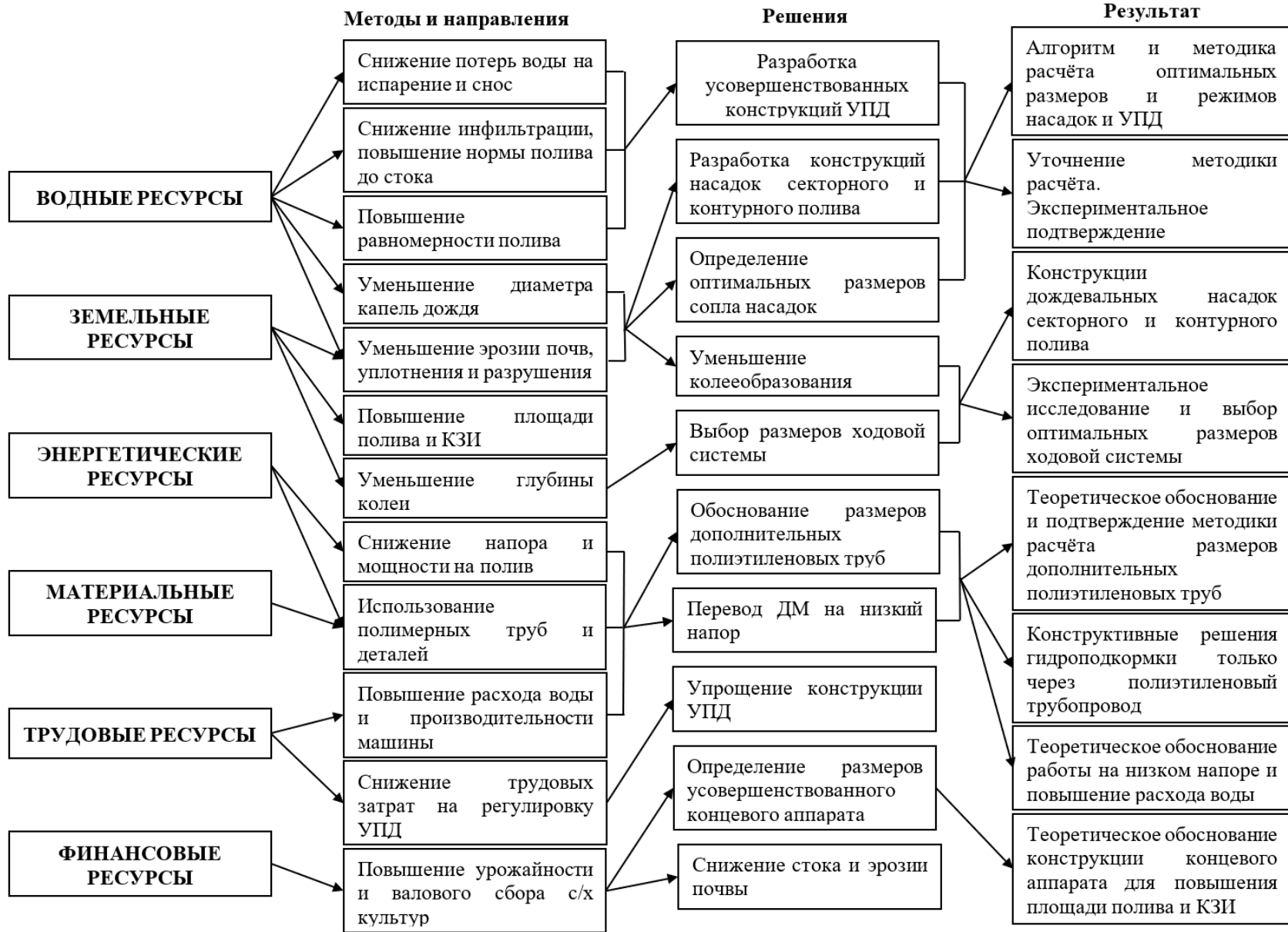


Рисунок 1.27 – Направления исследований

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1 Теоретическое обоснование малоинтенсивного и почвощающего орошения многоопорными дождевальными машинами и конструкции усовершенствованных устройств приповерхностного полива

Качественные показатели полива определяют эффективность работы дождевальных машин. Качество полива дождевальными машинами это интегральный показатель, который включает характеристики интенсивности, структуры и энергетики дождя и связанные с ними полнота впитывания оросительной воды в почву, норма полива до стока и величина перераспределения дождя по площади, эрозия, уплотнение и разрушение почвы, показатели равномерности полива, а также испарение в воздухе при поливе и снос дождя.

«Касаемо качества полива важно чтобы равномерность полива машин была на высоком уровне, коэффициент эффективного полива (по СТО АИСТ 11.1-2010) должна быть не менее 0,7, коэффициент вариации должен быть в пределах 10-15%» (Доспехов Б.А., 1973) Коэффициент равномерности полива по Б.М. Лебедеву (Лебедев Б.М., 1977) не менее 0,8, коэффициент Хрисиансена $CU=80-90$. Потери воды на испарение и снос 5–8 %, а расход воды близок к объему воды, поступившему в почву.

Средняя интенсивность дождя в i точке трубопровода ДМ определяется по формуле (Рыжко С.Н., 2022):

$$\rho_i = 60 \cdot q_i / (L_n \cdot B_i), \quad (2.1)$$

где q_i – расход воды i -ой насадки, л/с; L_n – расстояние между дождевальными насадками, м; B_i – ширина захвата дождем в i точке полива дождевальной машины, м.

Ширина захвата дождем машины с устройствами приземного орошения (B_i) определяем по формуле:

$$B_i = 2(R_i + L_i), \quad (2.2)$$

где L_i - длина до трубопровода, м; R_i - радиус полива, м.

Для ДМ кругового действия характерным является увеличение расхода воды дождевателей по мере удаления от центральной опоры. ДМ «Кубань – ЛК1» происходит увеличение расхода воды с 0,1 до 0,8 л/с, а интенсивность дождя с 0,1 до 0,7–1,4 мм/мин. Далее по длине машины, где наблюдается большая интенсивность дождя, разработки и совершенствования машин должны быть направлены на снижение интенсивности дождя, формирование мелкокапельной структуры, уменьшение удельной мощности дождя и оптимизация нормы полива до стока. Это можно добиться за счет применения устройства приземного орошения с открылками для увеличения ширины установки насадок поперек к трубопроводу и с использованием дефлекторных насадок.

Многочисленные исследования А. И. Штангея (1978), Г. М. Гаджиева (1976; 1977; 1979), В. А. Овчарова (1980), И. Д. Федоренко (1936; 1938), М.К. Мустафаевой (1962), В.Е. Хабарова (1980; 1982), М.С. Мансурова (1971), И.Н. Ожередова (1994), Н.Ф. Рыжко (2007) и др. показали, что количество воды, теряемой за счет испарения и унос ветром определяются параметрами дождевого облака, а также направление ветра относительно трубопровода машины (особенно для широкозахватных дождевальных машин).

Из статистической обработки экспериментальных данных получено выражение для расчета потерь воды на испарение и унос ветром ($E_{и.у}$, %), при поливе одним дождевателем, дождевальной насадкой и машиной или агрегатом (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2016):

$$E_{и.у} = 1,22 \frac{h^{0,6}(n+1)^{0,08}}{d^{0,6}\rho_c^{0,2}\rho_m^{0,1}} \left[t \left(1 - \frac{\varphi}{100} \right) (v_v + 1) \right]^{0,5} K_\alpha \quad (2.3)$$

где d – средний диаметр капель, мм; h – высота полета капель дождя, м; n – частота вращения механизма, мин⁻¹; ρ_c , ρ_m – средняя и мгновенная

интенсивность дождя, мм/мин; v_B – скорость ветра, м/с φ – относительная влажность воздуха, %; t – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$; K_α – коэффициент, учитывающий изменение величины испарения и уноса дождя в зависимости от угла α между трубопроводом машины и направлением ветра.

Коэффициент метеорологической напряженности климата (Φ) по В.Е. Хабарову (Хабаров В. Е., 1982) рассчитываем по формуле:

$$\Phi = t(1 - \varphi/100)(v_B + 1). \quad (2.4)$$

Исследования показывают, что впервой половине трубопровода, где формируется мелкокапельный дождь потери воды на испарение и унос ветром всегда выше, чем в конце машины и для снижения потерь здесь необходимо оптимизировать распыл дождевальных насадок для повышения устойчивости капель дождя к ветру. Для снижения потерь воды на испарение и унос ветром наиболее эффективно применение УПО, которые позволяют снизить высоту установки дождевальных насадок и уменьшать высоту подъема дождевого облака.

Так же установлено, что величина перекрытия струй (R/ℓ) имеют влияние на коэффициент вариации (KB) слоя дождя на пролетах с дефлекторными насадками, установленными как в стандартные штуцера ДМ «Фрегат», так и по учащенной схеме, который находится из выражения:

$$KB = 20,624V_\alpha^{0,0915}(R/\ell)^{-0,661}, \quad (2.5)$$

«где KB – коэффициент вариации слоя дождя на пролете при поливе дефлекторными насадками, $V_\alpha = V_B \cdot K_\alpha$ – скорость ветра с учетом коэффициента, учитывающего угол направления скорости ветра относительно трубопровода машины; R/ℓ – величина отношения радиуса полива к расстоянию между насадками %; $K_\alpha = 0,009 \cdot (90^\circ - \alpha)$; α – угол между направлением скорости ветра и трубопроводом машины, град»(Рыжко Н.Ф., 2007).

Для дождевальных машин с УПО необходимо учитывать, что близкое расположение насадок может вызвать соударение струй, а при нахождении

дождевальных насадок в стеблестое высокостебельных растений, которые препятствуют полету капель дождя равномерность полива резко снижается. Необходимо чтобы дождевальные насадки всегда были немного выше растений, и максимально устанавливать насадки поперек к трубопроводу машины, чтобы уменьшить соударение струй. Этому будет способствовать применение устройствами приземного орошения.

Для повышения равномерности полива необходимо применять УПО, которые позволят снизить высоту установки дождевальных насадок и уменьшат ветровую нагрузку, а также оптимизировать распыл дождевальных насадок для равномерного распределения дождя вдоль радиуса и на площади полива дождевальной насадки.

Для повышения качественных показателей полива дождевальных машин кругового действия необходимо учитывать все основные перечисленные выше показатели и определять оптимальные характеристики на основе расчета агротехнических показателей. Алгоритм расчета повышения качества полива и повышения эффективности использования оросительной воды показан на рисунке 2.1.

При расчетах необходимо выделение лимитирующих показателей и определять лучшие за счет изменения конструктивных размеров устройствами приземного орошения и оптимизации распыла дождевальных насадок. Используя данный алгоритм проведен расчет карт настройки дождевальных насадок для ДМ «Каскад», эксплуатируемые в ООО «Листеко», ООО «Время-91», ООО «Наше дело» Энгельсского района и др.

Для обеспечения малоинтенсивного и почвощающего орошения наиболее эффективным является применение на многоопорных дождевальных машинах устройств приповерхностного полива. Нами проведено усовершенствование дождевальной машины (патент № 210).

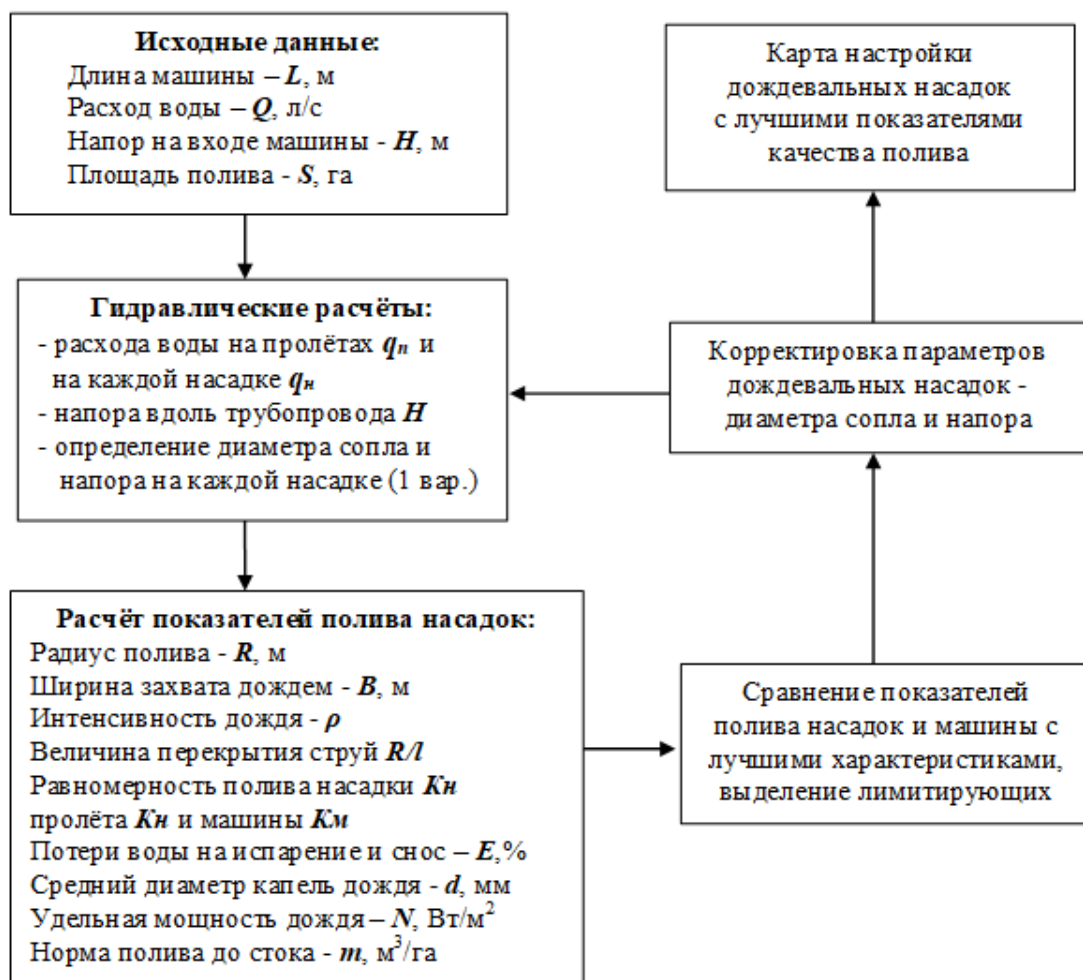


Рисунок 2.1 – Алгоритм расчета конструктивно-технологических параметров дождевальных насадок и агротехнических характеристик орошения многоопорными дождевальными машинами для обеспечения водосберегающей и почвоохраной технологии полива

Дождевальная машина ферменной конструкции (рисунки 2.2 и 2.3) состоит из неподвижной опоры 1, ферменных пролетов 2, опирающихся на тележки 3 с колесами 4 (заявка на полезную модель № 2024100838). Ферменные пролеты 2 включающие две крайние водопроводящие трубы 5, три и более водопроводящие трубы 6 в центральной части ферменного пролета 2, раскосы 7 и шпренгели 8. Устройства приповерхностного дождевания в центральной части ферменного пролета 2 (рисунок 2.4) включают напорный рукав 9, который соединяется со стальной трубкой 10 и водопроводящей трубой 6. Верхний конец трубки 10 монтируется на шпренгеле 8, а на нижнем конце через короткий напорный рукав 11

монтируется переходник 12 с дождевальной насадкой 13 кругового полива. В центральной части стальных трубок 10 закреплены кронштейны 14, которые тросо-цепочными фиксаторами 15, соединяются с водопроводящей трубой 6.

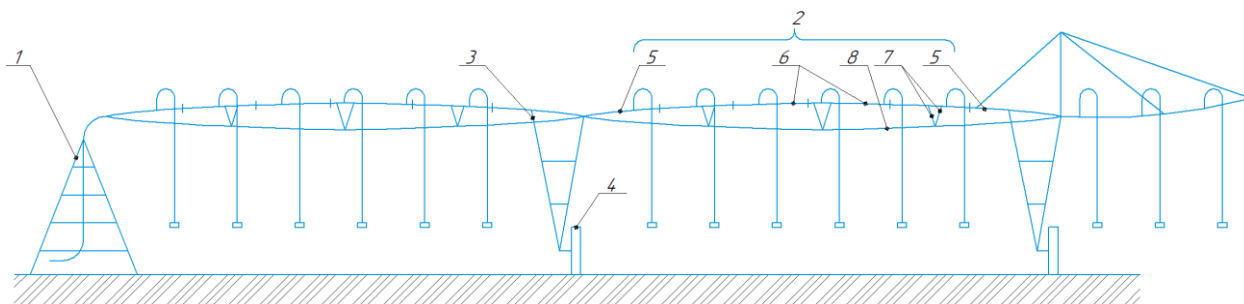


Рисунок 2.2 – Схема ДМ «Кубань-ЛК1» с устройствами приповерхностного дождевания

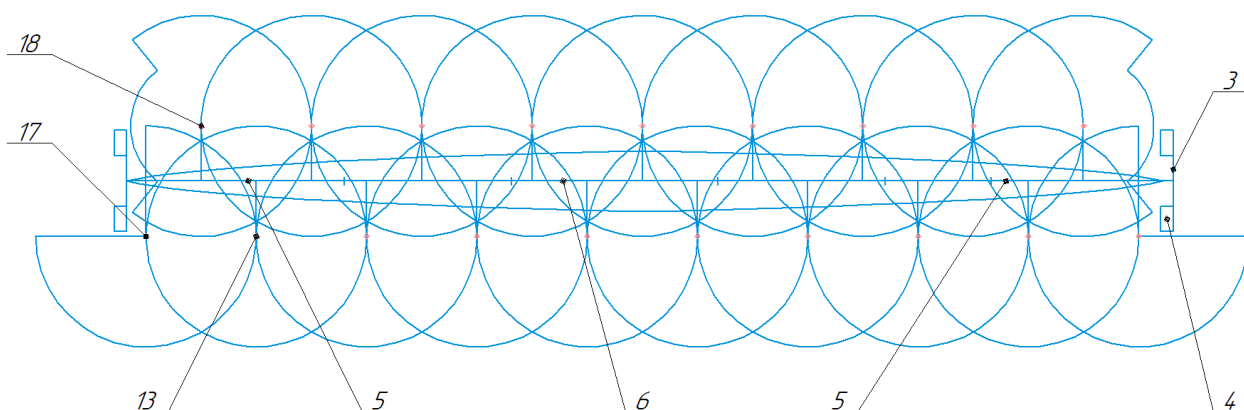


Рисунок 2.3 – Схема полива пролета ДМ «Каскад» с устройствами приповерхностного дождевания

На крайних водопроводящих трубах 5 (рисунок 2.5) примыкающих к тележке 3 на шпренгеле 8 монтируется фигурный кронштейн 16, на нижнем конце которого монтируется стальная трубка 10.

Напорный рукав 9 соединяет стальную трубку 10 с водопроводящей трубой 5. На нижнем конце стальной трубки 10 через короткий напорный рукав 11 монтируется переходник 12 с дождевальной насадкой 13 кругового полива, а на двух ближних к тележкам насадки секторного 17 и контурного 18 полива. (рисунок 2.3, 2.4, 2.6 и 2.7). На одной ножке 19 дождевальной

насадкой секторного полива 17 устанавливается вертикальный отражатель 20 с углом конуса 90° (рисунок 2.6), которая обеспечивает полив с углом 270° (рисунок 2.3).

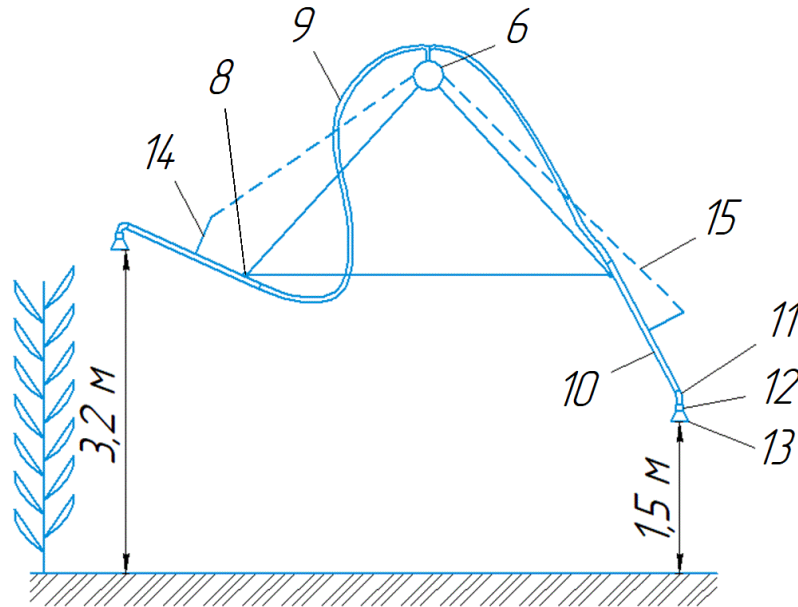


Рисунок 2.4 – Схема устройств приповерхностного дождевания в центральной части ферменного пролета

На одной ножке 21 дождевальной насадкой контурного полива 18 устанавливается отражательная пластинка 22 с углом 5° – 10° к горизонту (рисунок 2.7).

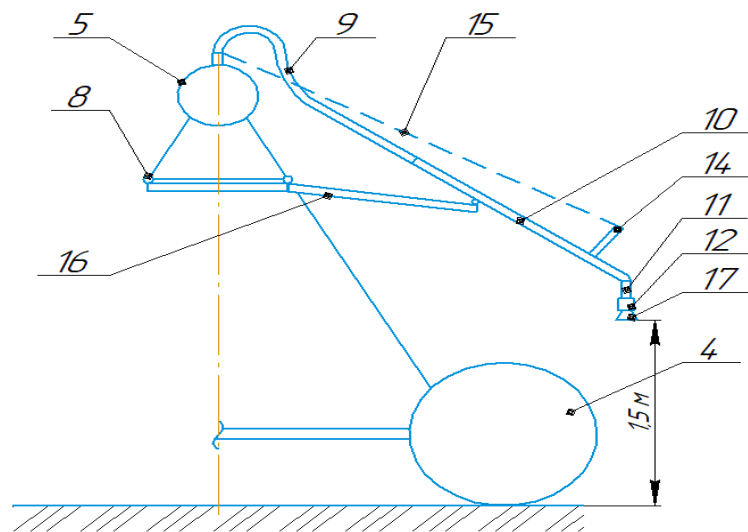


Рисунок 2.5 – Схема устройства приповерхностного дождевания в районе тележек

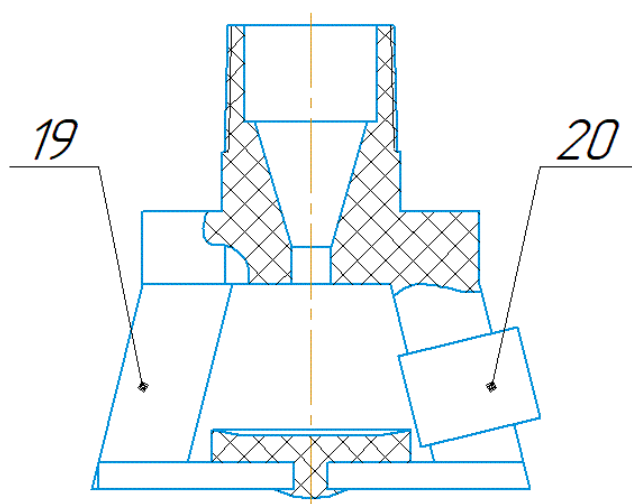


Рисунок 2.6 – Дождевальная насадка секторного полива

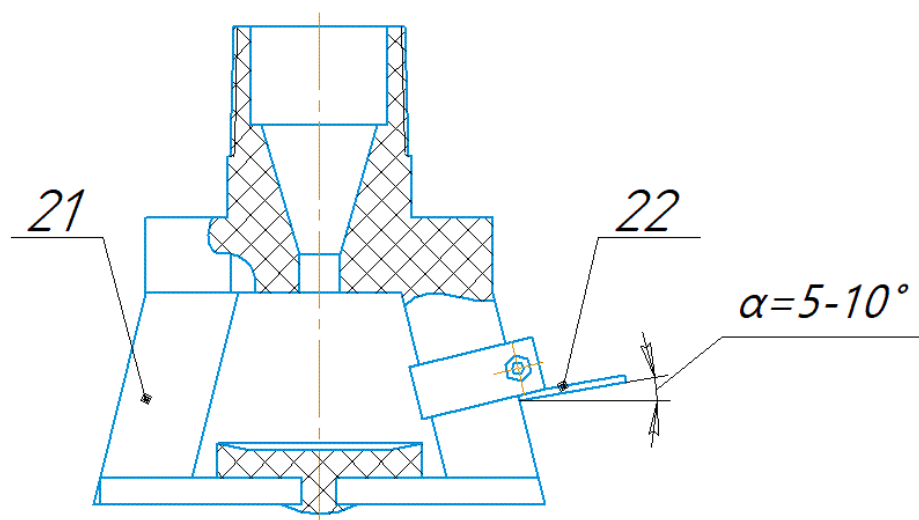


Рисунок 2.7 – Дождевальная насадка контурного полива

Вода подается под напором через неподвижную опору 1 в водопроводящие трубы 5 и 6, ферменных пролетов 2. Далее через напорные рукава 9 и стальные трубки 10 устройства приповерхностного дождевания поступает в дождевальные насадки 13, 17 и 18. Вокруг неподвижной опоры 1 передвигаются пролеты 2 при движении тележек 3 посредством колес 4. Тросо-цепочные фиксаторы 15 обеспечивают легкое регулирование высоты установки дождевальных насадок кругового полива 13 секторного 17 и контурного полива 18 по мере роста сельскохозяйственных культур,

стальных трубок 10, смонтированных на шпренгелях 8 в центральной части пролета 2.

«Преимущество дождевальной машины в том, что стальные трубки 10 на крайних трубах имеют небольшую длину – 1,5 м и примерно в 2 раза меньше массу, что обеспечивает меньшие трудовые затраты на регулировку высоты насадок. Стальные трубки 10 меньшей длины не имеют отклонений в горизонтальной плоскости. Устройства приповерхностного дождевания при помощи кронштейнов 14 с тросо-цепочными фиксаторами 15 обеспечивают легкое регулирование высоты установки дождевальных насадок 13, 17 и 18 по мере роста сельскохозяйственных культур и позволяют, увеличивая ширину расстановки насадок поперек трубопровода до 5–6 м, увеличивать площадь полива и снижать интенсивность дождя при поливе в 1,5–2 раза. При этом повышается норма полива до стока, снижается перераспределение оросительной воды в пониженные участки поля и повышается урожайность сельскохозяйственных культур» (Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2023).

Стальные трубки 10, смонтированные на шпренгелях 8 и на фигурных кронштейнах 16, при помощи тросо-цепочных фиксаторов 15 обеспечивают легкое регулирование высоты до 3,2 м и более, что повышает равномерность полива машины при поливе высокостебельных культур (например, кукурузу).

На устройствах приповерхностного дождевания в районе тележек монтируются дождевальные насадки секторного и контурного полива, которые уменьшают попадание дождя под колеса тележек и снижают глубину колеи в конце поливного сезона с 15–20 см до 5–9 см.

2.2 Выбор и обоснование основных размеров устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Каскад»

Длина гибкого напорного рукава (L_p) определяется как длина гипотенузы прямоугольного треугольника, основание которого равно

половине длины между шпренгелями, а высота равна расстоянию от горизонтальной линии до точки крепления рукава на водовыпуске из трубопровода (рисунок 2.8). По мере удаления водовыпуска от тележки к центру ферменного пролета длина гибкого напорного рукава увеличивается. Для насадки № 12 в центре пролета расстояние между шпренгелями 3,4 м, а его половина равна $\ell=1,7$ м. Высота от горизонтальной линии шпренгелей до водовыпуска равна $h=1,7$ м. Тогда длина гипотенузы или длина гибкого напорного рукава равна:

$$L_{p12} = (\ell^2 + h^2)^{0,5} = (1,7^2 + 1,7^2)^{0,5} = 2,4 \text{ м.} \quad (2.6)$$

Для насадки № 1 длина гибкого напорного рукава равна:

$$L_{p1} = (\ell^2 + h^2)^{0,5} = (0,3^2 + 0,3^2)^{0,5} = 0,4 \text{ м.} \quad (2.7)$$

Значения размеров треугольника и длина гибкого напорного рукава для различных насадок приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Длина гибкого напорного рукава, значения размеров треугольника фермы, длина стальной трубы, длина кронштейна и сила тяжести УПД с водой в зависимости от номера насадки на пролете

№ насадки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Высота h , м	0,3	0,4	0,7	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7
Основание, ℓ , м	0,3	0,4	0,7	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7
Длина рукава, L_p , м	0,4	0,6	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4
Длина трубы L_T , м	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,2	1,2	1,2
Длина кронштейна, L_k , м	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Сила тяжести УПД с водой, F , Н	57,8	55,2	52,6	51,1	47,8	47,8	43,0	46,5	45,5	40,0	40,0	40,0

Длина стальной трубы (L_{T12}) в центральной части пролета насадки № 12 определяется по разности высот от нижнего пояса шпренгеля $H_{ш} = 3,0$ м до оптимальной высоты установки дождевальной насадки ($h_n = 1,5$ м) в ее нижнем положении и за минусом длины насадки, переходника и короткого рукава $\ell_n = 0,3$ м

$$l_{T12} = H_{ш} - h_n - \ell_n = 3 - 1,5 - 0,3 = 1,2 \text{ м.} \quad (2.8)$$

Длина стальной трубы (L_{T12}) в начале пролета насадки № 1 определяется как длина гипотенузы прямоугольного треугольника, длина основания которого равно горизонтальному расстоянию от точки крепления трубы на шпренгеле до точки выноса насадки за колеса тележки $\ell_n = 2,7 - 0,3 = 2,4$ м. Высота треугольника равна разности между высотой крепления трубы ($H_{ш} = 3,5$ м) на шпренгеле и оптимальной высоты установки дождевальной насадки ($h_n = 1,5$ м), тогда $h = H_{ш} - h_n = 3,5 - 1,5 = 2$ м.

Длина стальной трубы для насадки №1 равна:

$$L_{T1} = (\ell_n^2 + h^2)^{0,5} = (2,4^2 + 1,5^2)^{0,5} = 2,8 \text{ м.} \quad (2.9)$$

Значения внутреннего размеров напорного рукава и стальной трубы определяет из максимального расхода воды насадок на последнем пролете и консоли машины. Значения расхода воды насадки на консоли определяем исходя из удельного расхода воды q_y на площадь полива машины $S_m = 732527$ м²

$$q_y = Q/S_m = 70/732527 = 9,556 \cdot 10^{-5} \text{ (л/с)/м}^2 \quad (2.10)$$

Расход воды насадки q_n на консоли равен произведению удельного расхода воды q_y на площадь полива данной насадки:

$$S_n = 3,14(449,23^2 - 447^2) = 6275,5 \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

$$q_n = q_y S_n = 9,556 \cdot 10^{-5} \cdot 6275,5 = 0,6 \text{ л/с} \quad (2.12)$$

Значения внутреннего размеров напорного рукава и стальной трубы определяем из допустимой скорости воды в трубе $V = 3,0$ м/с

$$d = (10q_n/0,785V)^{0,5} = (10 \cdot 0,6/0,785 \cdot 3)^{0,5} = 15,9 \text{ мм.} \quad (2.13)$$

Для устройств приповерхностного дождевания принимаем напорный рукав, внутренний диаметр которого равен 18 мм и стальную трубу ГОСТ 3262-75 (наружный диаметр 21,3 мм, толщина стенки – 2,8 мм, внутренний диаметр 15,7 мм).

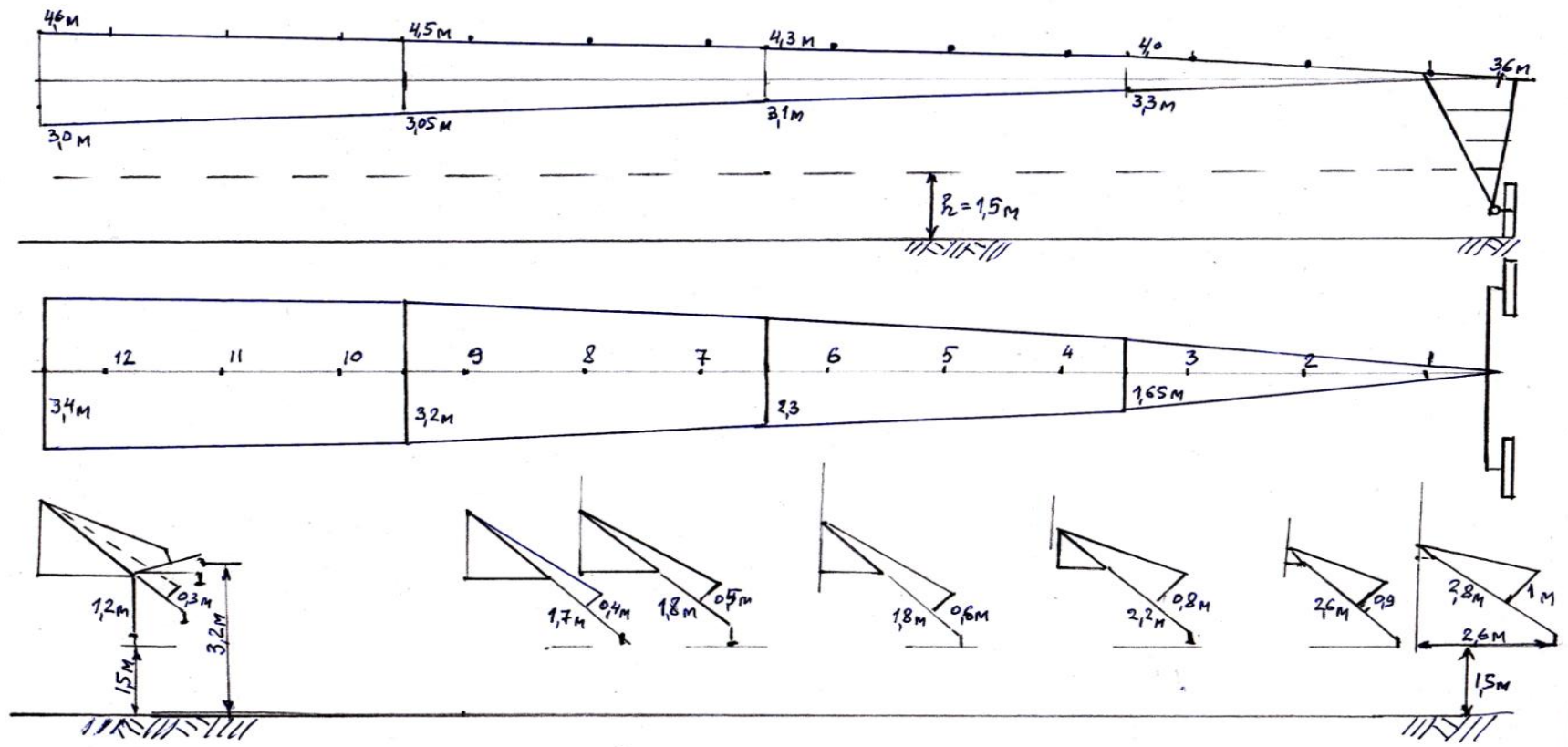


Рисунок 2.8 – Схема пролета ДМ «Каскад» и размер УПО

Длину кронштейна, который приваривается к стальной трубе для устойчивого ее удержания определяем из условия, чтобы линия крепежного троса была выше центра тяжести УПД. Для насадки №12 длина кронштейна равна $L_k = 0,3$ м, для насадки № 1 – $L_k = 1,0$ м. Значения длин кронштейна в зависимости от номера насадки приведены в таблице 2.1.

Сила тяжести устройств приповерхностного дождевания определяется массой напорного рукава (t_p) и воды ($t_{вp}$) в нем, массой стальной трубы (t_T) и воды в ней ($t_{вT}$), массой кронштейна t_k , насадки t_n и короткой трубы ($t_{кT}$).

$$F = (t_p + t_{вp} + t_T + t_{вT} + t_k + t_n + t_{кT})g \quad (2.14)$$

Для насадки №12:

$$\begin{aligned} F &= ((0,3 + 0,254)2,4 + (1,28 + 0,2)1,2 + 0,79 \cdot 0,3 + 0,05 + 0,7)9,8 = \\ &= (1,33 + 1,77 + 0,24 + 0,75)9,8 = 40 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Для насадки №1

$$\begin{aligned} F &= ((0,3 + 0,254)0,4 + (1,28 + 0,2)2,8 + 0,79 \cdot 1 + 0,05 + 0,2)9,8 = \\ &= (0,22 + 4,14 + 0,79 + 0,75)9,8 = 57,8 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Сила тяжести УПД в зависимости от номера насадки приведены в таблице 2.1.

Статистические показатели ферменного пролета изменяются незначительно, так как несущественно изменяется масса дождевальной машины.

Масса машины «Каскад» без воды 21000 кг, с водой 33 700 кг. Масса, приходящая на одну тележку машины – 3370 кг. Масса тележки – 700 кг. Масса ферменного пролета – 2670 кг. Масса разбрызгивателей на пролете – 24 шт. – 102 кг. Увеличение массы пролета до 2772 кг незначительное или на 3,7 %.

2.3 Обоснование конструкции дождевальных насадок кругового, секторного и контурного полива

Для осуществления дождевания на машинах приповерхностного орошения установлены дождеватели, которые позволяют равномерно распределить дождь по длине поля и таким образом обеспечить эффективный уход за посевами.

Разработанная дождевальная насадка (рисунок 2.9) состоит из корпуса, в нижней части которого установлены сменные сопла для регулирования расхода воды. Эти сопла позволяют изменять интенсивность полива, что может быть полезно в различных условиях.

Дефлектор насадки выполнен в виде вогнутой чаши диаметром 50 мм. Эта чаша служит для направления воды в нужном направлении, предотвращая ее разбрызгивание и повышая эффективность полива. Благодаря своей конструкции, насадка позволяет равномерно распределять воду по всей площади полива, обеспечивая более качественный и эффективный полив (Митяева Л.А., Домашенко Ю.Е. и др., 2017).

Грузило, установленное на дождевальной насадке, предотвращает ее колебания под воздействием ветра, что обеспечивает более равномерный полив и повышает его эффективность. Целью разработки было снижение себестоимости насадки, упрощение ее конструкции и повышение надежности работы. Благодаря использованию сменных сопел можно регулировать расход воды, что позволяет адаптировать насадку к различным условиям полива.

При разработке дефлекторных насадок для дождевальных машин «Каскад» учитывались следующие требования: обеспечение качественного распыления воды в широком диапазоне расходов (от 0,1 до 0,8 л/с), простота конструкции и низкая стоимость (без использования цветных металлов).

Основы расчета дефлекторных насадок были разработаны в работах Лебедева Б.М. (Лебедев Б.М., 1977), А. П. Исаева (Исаев А.П., 1973) и других

ученых. Они предложили использовать вогнутые дефлекторы для направления воды и предотвращения ее разбрызгивания.

В результате была разработана насадка, которая обеспечивает равномерное распределение воды по всей площади полива и повышает эффективность полива. Ее использование позволяет снизить затраты на полив и повысить качество ухода за посевами.

Средний диаметр сопла $D_c = 7$ мм, может варьироваться от 2 до 12 мм.

Дефлекторные насадки, согласно исследованиям Б.М. Лебедева (Лебедев Б.М., 1977), А.П. Исаева (Исаев А.П., 1973) и др. в работе имеют выход воды в виде тонкой пленки, которая зависит от конструктивно-геометрических особенностей дефлектора, скорость потока воды на этот процесс не влияет (рисунок 2.9). Конструктивно-геометрические особенности дефлектора (Рисунок 2.9 а) определяются его диаметром (D_d) и диаметром сопла (D_c):

$$a = D_c^2 / 4D_d, \quad (2.17)$$

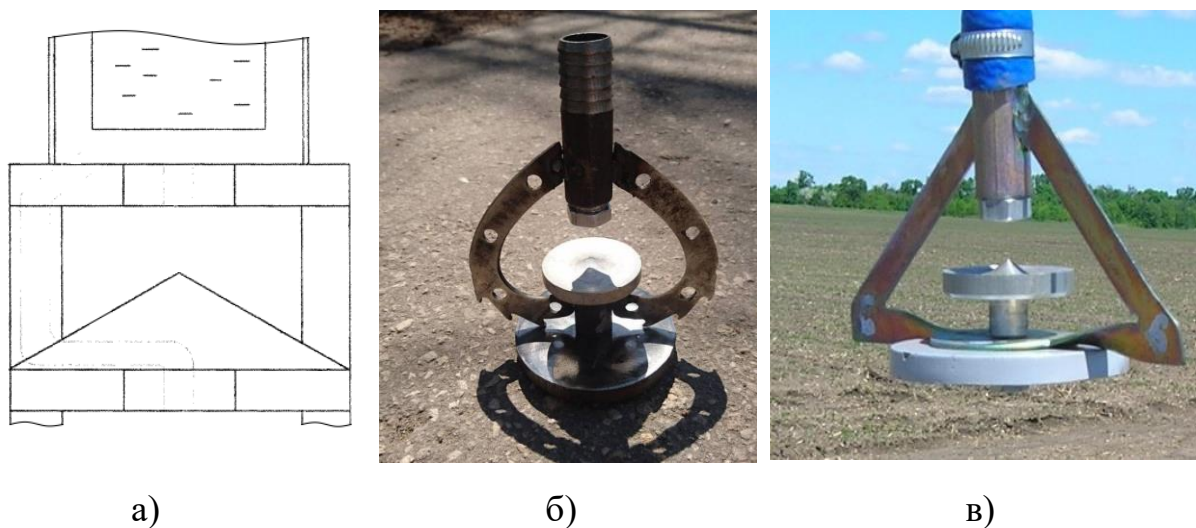


Рисунок 2.9 – Дождеватель кругового полива
а) – схема дефлектора; б), в) – общий вид дефлекторных насадок

Диаметр дефлектора для образования мелкодисперсного дождя находят:

$$D_d = 4D_c, \quad (2.18)$$

где $D_c = 7$ мм – средний диаметр сопла дефлекторной насадки, мм.

Если принять диаметр дефлектора равным 30 мм, то толщина образующейся пленки будет варьироваться от 0,03–1,2 мм. Такой выход пленки будет мелкодисперсным, будет создавать мягкий дождь, который снижает давление на почву.

Подбору основных параметров дождевателей посвящены работы многих ученых (Лебедев Б.М., 1977; Исаев А.П., 1973; Рыжко Н.Ф., 2007; Журавлева, Л.А., 2018; Рыжко С.Н., 2022) и др.

Радиус захвата дождем дефлекторными насадками при $0,2 < H_d/d_d < 2,0$ найдем из выражения Б.М. Лебедева (Лебедев Б.М., 1977) и Рыжко Н.Ф. (Рыжко Н.Ф., 2007) и др

$$R' = H_{ВХ} / \left(0,43 + 1,4 \frac{H_{ВХ}}{d_0} \right), \quad (2.19)$$

где H_d – напор перед дождевателем, м вод.ст; R' – радиус захвата дождем, м; d_0 – диаметр сопла дождевателя, мм.

Также, можно выразить по расходу через отверстие расход воды, м³/с (Штепа Б.Г. и др., 1979; Альтшуль А.Д., 1985):

$$Q_H = \mu \omega_0 \sqrt{2gH_{ВХ}}, \quad (2.20)$$

где ω_0 – площадь сечения сопла; μ – коэффициент расхода.

Напор воды, геометрические параметры сопла, форма дефлектора и угол схода воды с дефлектора будет оказывать влияние на расход воды и радиус полива.

Начальная скорость выхода воды (скорость струи), м/с, определяется выражением (Штепа Б.Г. и др., 1979; Альтшуль А.Д., 1985):

$$V_0 = \phi \sqrt{\frac{2(P_D - P_0)}{\rho_B}}, \quad (2.21)$$

где P_D – давление на выходе дождевателя, МПа; P_0 – давление атмосферы, МПа; ρ_B – плотность жидкости, кг/м³; ϕ – коэффициент скорости истечения.

Для уменьшения влияния ветра на процесс полива необходимо также изменять угол наклона струи воды к горизонтальной плоскости. Если струя направлена против ветра, то угол наклона должен быть меньше 30 градусов, что соответствует результатам исследований (Бредихин Н.П., 1966, 1969; Калашников А.А., 1973; Лямперт Г.П., 1980; Рыжко Н.Ф., 2007).

Соседние дождеватели определяют равномерность полива взаимным перекрытием осадков (Лебедев Б.М., 1977; Казаков С.П., 1953).

«Согласно методике, необходимо регулировать расстояние между размещением дождевателей в зависимости от ветровых режимов:

$$L_{д} = 1,42\varepsilon R', \quad (2.22)$$

где $L_{д}$ – расстояние между отводами под дождеобразующие устройства, м; R' – радиус, м; ε – коэффициент сужения» (Лебедев Б.М., 1977).

«Рациональным расстоянием между дождевателями является 2,9-3,5 м., расстояние между отводами дождевателей увеличивается с возрастанием напора» (Лебедев Б.М., 1977).

«Для работы дождевальных машин на уклонах необходимо учитывать колебания гидравлических характеристик потока в трубопроводе:

$$L_{д.ук} = 1,42\varepsilon' R', \quad (2.23)$$

где ε' – коэффициент, учитывающий уменьшение радиуса полива при колебании расхода на уклонах. Для уточнения требуется проведение экспериментальных исследований» (Лебедев Б.М., 1977).

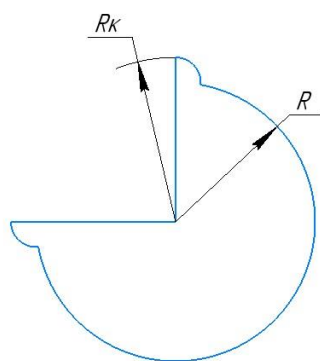
Согласно проведенным исследованиям (Рыжко Н.Ф., 2007; Шереметьев А.В., 2009; Журавлева, Л.А., 2018; Журавлева, Л.А., Соловьев В.А. и др., 2019) разница по расходу может достигать 20 %, и коэффициент ε' может составлять 0,8.

На устройствах приповерхностного дождевания в районе тележек монтируются дождевальные насадки секторного полива (рисунок 2.10), которые состоят из металлического клина, который болтом крепится на ножке насадки. При попадании струй на клин пластины изменяют направление полета и обеспечивают зону с углом порядка 90° свободную от

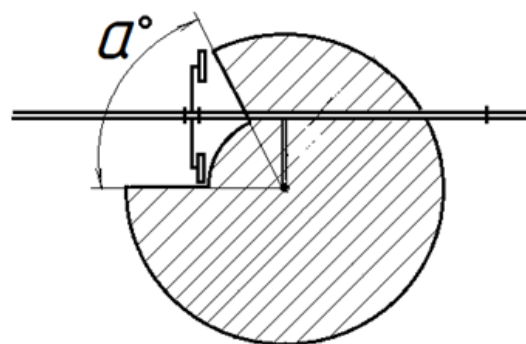
дождя (рисунок 2.11 *а*). При отводе струй уменьшают попадание дождя под колеса тележек и должна снизить глубину колеи в конце поливного сезона. Насадка контурного полива снабжается отражательной пластиной (рисунок 2.11 *б*) с возможностью изменения угла вылета струи от 0 до 20 градусов к горизонту.



Рисунок 2.10 – Дождевальная насадка секторного и контурного полива в районе тележек



а)



б)

Рисунок 2.11 – Схема орошения дождевальными насадками секторного и контурного полива

а) – секторный полив; *б*) – контурный полив; R – радиус полива; R_k – радиус сектора без полива

Дождевальные насадки могут быть легко отрегулированы по высоте в соответствии с ростом сельскохозяйственных культур благодаря использованию гибкого напорного рукава. Высота установки насадок может изменяться от 1,5 до 3,5 м. Это обеспечивает равномерный и эффективный полив растений на разных стадиях их роста. Увеличивается ширина захвата дождем в 1,5–2 раза благодаря максимальной высоте подъема дождевальных насадок, расстояние между которыми по линии перпендикулярной трубопроводу возрастает до 5–6 м, и как результат снижается средняя интенсивность дождя и повышается норма полива до стока.

Монтаж УПД на ДМ «Каскад» показан на рисунках 2.12-2.15.



Рисунок 2.12 – Монтаж устройства приповерхностного дождевания в центральной части пролет (высота установки насадки 1,5 м и 2,5 м)



Рисунок 2.13 – Монтаж устройства приповерхностного дождевания в районе тележки (высота установки насадки 2 м от поверхности земли)



Рисунок 2.14 – Монтаж устройства приповерхностного дождевания в районе тележки (высота установки насадки 2,5 м от поверхности земли)



Рисунок 2.15 – Монтаж устройства приповерхностного дождевания в районе тележки (высота установки насадки 1,5 м от поверхности земли)

Таким образом, обоснованы конструкции и параметры устройства приповерхностного дождевания в центральной части пролета и устанавливаемые на крайние трубы, примыкающие к тележкам, а также дождевальные насадки для кругового, секторного и контурного полива. На

основе полученных зависимостей можно определить геометрические параметры струй воды при модернизации дождевальных насадок. Однако для оценки эффективности модернизации необходимо провести экспериментальные исследования.

2.4 Теоретическое обоснование повышения проходимости ходовых систем на пневмоходу ЭДМКД

Основными системами управления машиной, обеспечивающими ее перемещение, являются системы стабилизации и синхронизации движения. Наиболее сложная – система управления по направляющей (стабилизация движения машины вдоль поля) (Абдразаков Ф.К., Журавлева Л.А., Лонькин А.В. и др., 2018).

Один из наиболее важных факторов обеспечения сложной работы системы стабилизации это проходимость машины и минимальное повреждение сельскохозяйственных культур, что достижимо 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 (Жарницкий В.Я., Силкин А.М. и др., 2014).

Так при изучении взаимодействия колесного движителя с почвой рассматриваются режимы силового нагружения движителя, сопротивления качению, сцепные свойства. В общем виде уравнение движения имеет вид:

$$P = W_B + \sum G_K f + i_0 \sum G_K + \sum G_K j \quad (2.24)$$

где P – тяговое усилие, Н; W_B – сопротивление воздуха, Н; G_K – нагрузка на колесо, Н; f – коэффициент сопротивления перекачиванию колеса; i_0 – продольный уклон местами, рад; j – ускорение движения, м/с².

Для дождевальных машин сила тяги определяется условиями сцепления движителей с почвой:

$$F \geq m_H \varphi_{сц} \sum G_K, \quad (2.25)$$

где $\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления по макс. мощности двигателя; m_H – коэффициент, учитывающий часть нагрузки, передающейся на ведущие колеса.

«Наиболее оптимальной при определении тяговых характеристик колес многоопорных дождевальных машин является выражение:

$$F_c = G_K \xi^{2\mu+1} \sqrt{G_K / v c D_k^\mu}, \quad (2.26)$$

$$\xi = 1 / (1 + \mu) \left(1 - \frac{\mu^{2\mu+2}}{3} \right), \quad (2.27)$$

где F_c – сопротивление перекачиванию колеса, Н; D_k – диаметр колеса, м; v – ширина обода колеса, м; близкой к пределу текучести; $\mu=0,5$ при влажности, близкой к капиллярному насыщению; μ – безразмерный коэффициент, характеризующий влажность грунта и загрузку колесного движителя (по данным источников $\mu=0$ при влажности грунта, $\mu=1$ при незначительной влажности грунта); c – коэффициент осадки грунта.

Безразмерный коэффициент μ можно находим из выражения:

$$\mu = \frac{S_r}{\Delta - S_r} \left(1 - \frac{\omega_r}{\omega_T} \right), \quad (2.28)$$

где S_r – средняя плотность скелета грунта; ω_T – верхний предел пластичности грунта. Δ – плотность грунта; ω_r – весовая влажность грунта.» (Бируля А.К., 1950, 1956)

Вышеприведенная формула (2.26) главным образом определяет тяговые характеристики колес многоопорных дождевальных машин на колесных тележках. При изменениях условий работы машины, связанных с прочностью грунта, характером нагрузки может возникать необходимость некоторых уточнений, введения поправочных коэффициентов и более детального рассмотрения кинематики и динамики непосредственно колеса движителя. Так, в частности, необходимо учесть режимы силового нагружения колесного движителя, сцепные свойства, сопротивление качению и влияние факторов на взаимодействие колеса с грунтом.

Рассмотрим схему пневматического колеса, для составления математической модели (рисунок 2.16) (Годжаев З.А., Лавров А.В. и др., 2021). В ней представлены упругие связи, механизм демпфирования и проскальзывание элементов шины (Смирнов Г.А., 1990). Принимаем, что проскальзывание, трение и все виды деформаций в шине приведены и принятым в модели связями.

Для расчета необходимо определить потери на сопротивление качению, при условии деформации колеса от нормальной нагрузки, т.е. в радиальном- направлении. Условимся, что работа трения-скольжения в контакте колеса, приводится к работе сил внутреннего трения радиально деформирующихся элементов шины (Башмаков И.А., Рыбалкин Д.А. и др., 2022).

Под действием силы G_k колесо деформируется в зоне контакта с перемещением его элементов на величину ξ в радиальном направлении.

Согласно рисунку 2.16:

$$\xi = r_c - \frac{r_c - h_z}{\cos \alpha}, \quad (2.29)$$

где α – текущее значение угла; h_z – наибольшая величина радиальной деформации колеса (Агейкин Я.С., 1972; Смирнов Г.А., 1990).

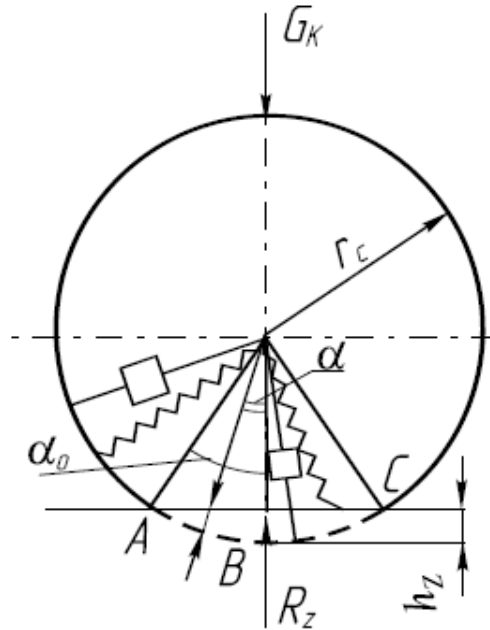


Рисунок 2.16 – Модель пневматического колеса

Работа сил внутреннего трения при перемещении (деформации) частей колеса к центру и в обратном направлении

$$A = 2k\xi, \quad (2.30)$$

где k – удельная сила внутреннего трения.

Следовательно, работа всех частей пневматического колеса при сжатии возврате в исходное положение

$$A_{\Sigma} = \int_{-\alpha_0}^{+\alpha_0} A d\alpha = k \int_{-\alpha_0}^{+\alpha_0} \xi d\alpha, \quad (2.31)$$

Коэффициент нормальной жесткости $C_{ш}$ в наибольшей степени будет зависеть от внутреннего давления воздуха в шине $P_{ш}$.

Здесь $h_z = f(G_K)$ и $C_{ш} = f(P_{ш})$, в данном случае $G_K = R_z$, где R_z – нормальная реакция дороги; r_c – свободный радиус.

$$r_c = 0,5D, \quad (2.32)$$

где D – наружный диаметр шины.

При действии вертикальной (нормальной) нагрузки на колеса определяем статистический радиус $r_{см}$:

$$r_{см} = \lambda_p D / 2, \quad (2.33)$$

где λ_p – коэффициент, учитывающий деформацию шины.

Также статистический радиус можно определить из выражения:

$$r_{\text{см}} = r_c - h_2, \quad (2.34)$$

где h_2 – справочная величина для шин при статической нагрузке на колесо, при линейной зависимости между нагрузкой и деформацией шины.

Коэффициент нормальной жесткости

$$C_{\text{ш}} = \Delta R_2 / \Delta h_2, \quad (2.35)$$

Конкретно в нашем случае на влажных почвах при сильно деформируемом грунте величина h_2 определяется эквивалентной жесткостью $C_{\text{к-д}}$ связи «пневматическое колесо – деформируемая почва»

$$C_{\text{к-д}} = \frac{C_{\text{ш}} C_{\text{зр}}}{C_{\text{ш}} + C_{\text{зр}}}, \quad (2.36)$$

где $C_{\text{зр}}$ – жесткость деформируемой почвы.

Он зависит от скорости движения и величины крутящего момента. С увеличением скорости радиус r_d возрастает, но при росте тангенциальной нагрузки R_x и крутящем моменте величина r_d несколько уменьшается из-за деформации колеса (рисунок 2.17) (Кравченко, В.А., Оберемок В.А., 2016).

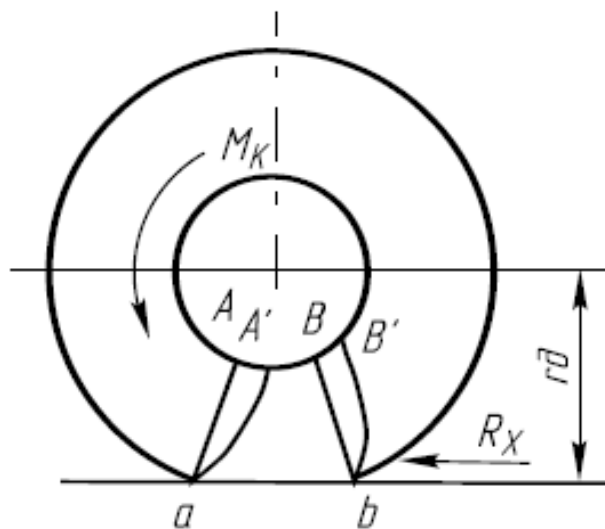


Рисунок 2.17 – Тангенциальная деформация шины

Здесь r_d - динамический радиус.

Недеформирующаяся часть колеса представляет собой радиус качения колеса r_K .

$$r_K = V_x / \omega_K \quad (2.37)$$

и характеризует собой путь, пройденный колесом за один оборот. Радиус качения является переменной величиной и зависит от ряда факторов, таких как крутящий момент, тангенциальная реакция, скорость движения, тангенциальная эластичность шины. Так зависимость продольной силы P_K от радиуса качения имеет вид: $P_K = M_K / r_K$ и показана на рисунке 2.18.

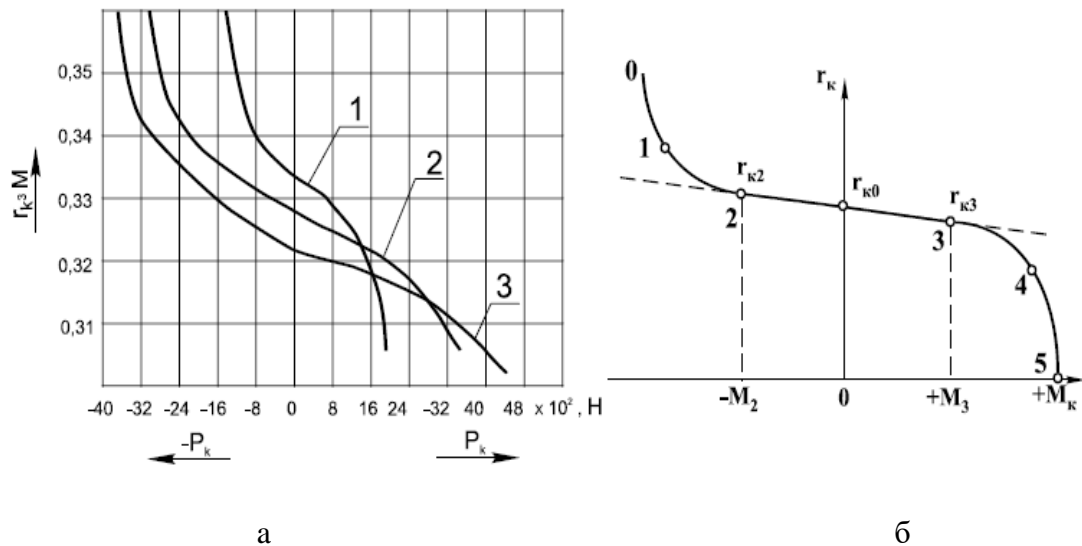


Рисунок 2.18 – Зависимость радиуса качения колес от: а) продольной силы при нормальной нагрузке; б) от крутящего момента на колесе

Нас интересует случай полного скольжения в условиях влажных почв. Так мы видим на рисунке 2.18, б участки 0-1 и 4-5 при положительном крутящем моменте произойдет пробуксовывание $r_K \rightarrow 0$, что показывает на остановку движителя.

Рассмотрим линейный участок 2-3, здесь обозначим $r_{k2}M_2$ и $r_{k3}M_3$ соответственно тогда коэффициент тангенциальной эластичности колеса будет равен:

$$\lambda_M = \frac{r_{k2} - r_{k3}}{|M_2| - |M_3|}, \quad (2.38)$$

А радиус качения, зависящий от продольной силы P_x приложенной к ведущему колесу примет вид

$$r_k = r_c - \gamma P_x, \quad (2.39)$$

где γ – коэффициент продольной эластичности шины (м/Н); $P_x = P_k$ – тяговое усилие.

Так при проведениях тяговых расчетов обычно принимают равенство статистического, динамического и кинематического радиусов.

Рассматривая вопросы кинематики движителя, есть понимание, что абсолютная скорость любой точки будет складываться из сумм абсолютных и относительных скоростей, а расположение мгновенного центра скоростей будет определять режим работы колеса катится оно скользит или стоит на месте (Агейкин Я.С., 1972; Павлов В.В., Кувшинов В.В., 2011).

В нашем случае, в условиях работы на влажных почвах наиболее распространенным будет буксование, что связано с режимом силового нагружения колеса движителя.

Существуют различные режимы силового нагружения колеса, связаны они с направлением сил и моментов действующих на него в общем случае, когда колесо двигателя или стоит на месте (рисунок 2.19).

При движении нормальная реакция смещается по ходу движения колеса с увеличением. Внутри колеса действуют элементарные силы внутреннего трения, обратные деформации. Благодаря этому равнодействующая N_z имеет смещение в сторону движения, а эпюра нормальной реакции принимает эллиптическую форму (рисунок 2.19). Такая форма обусловлена суммированием нормальных реакций с силами внутреннего трения в передней части колеса по ходу движения, и разности в задней.

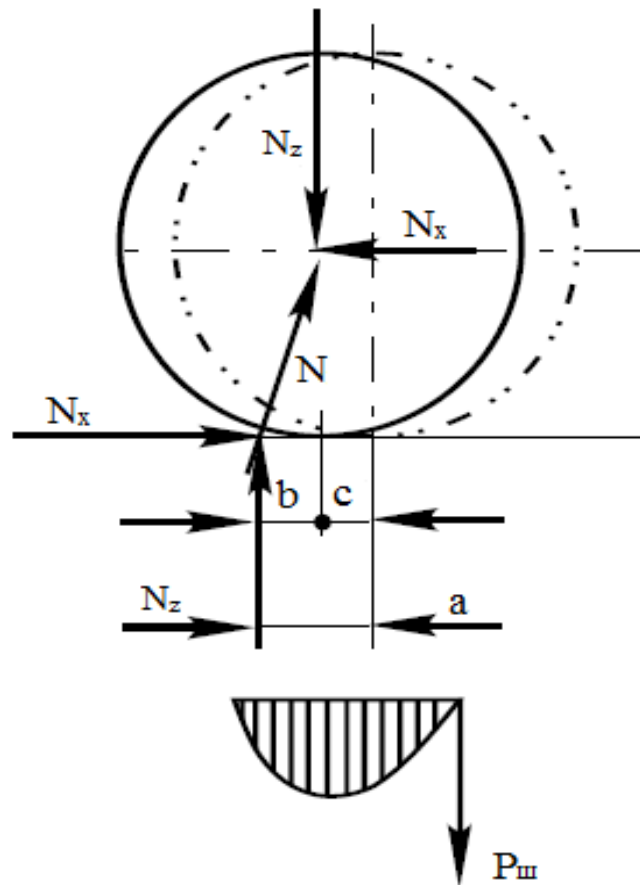


Рисунок 2.19 – Схема сил, действующих на колесо:

N_z – нормальная нагрузка на колесо; N_x – продольная сила; N_z – нормальная реакция опорной поверхности; N_x – продольная реакция дороги; N – равнодействующая нормальной и продольной реакций и дороги; $P_{ш}$ – давление колеса на дорогу; a – продольный снос нормальной реакции; b, c – смещения соответственно нормальной реакции и оси колеса

Сила нормальной реакции смещается на расстояние a по ходу движения, которые будем считать плечом силы сопротивления качению. Силы и моменты с малыми значениями обычно не учитывают (Фомин В.М., 2008). Существуют пять основных режимов силового нагружения, оказывающих влияние на характер взаимодействия колеса с почвой (рисунок 2.20).

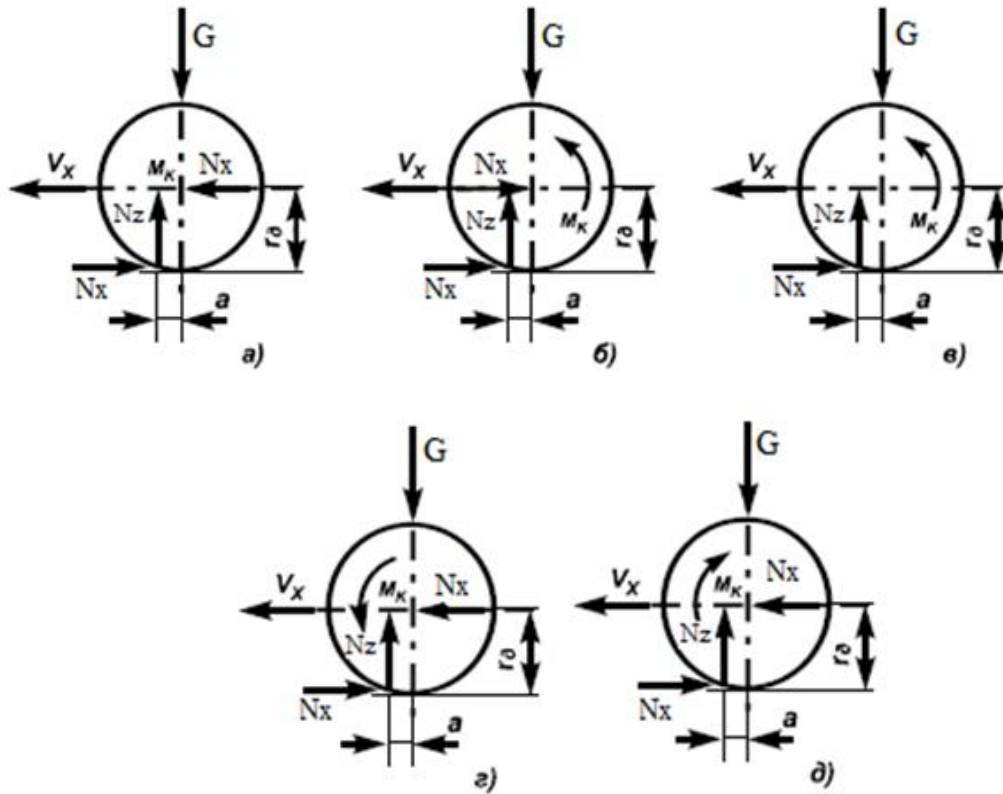


Рисунок 2.20 – Режимы силового нагружения колес: а) ведомый; б) ведущий; в) свободный; г) нейтральный; д) тормозной

Для обеспечения слаженной работы системы стабилизации движения поливной машины наибольший интерес для анализа и исследования динамики представляют ведущий, ведомый и тормозной режимы работы движителя.

При ведущем режиме на рисунке 2.20, б показано на колесо действует крутящий момент M_K , продольная реакция дороги N_x , уравновешивающая эту реакцию продольная сила P_x и нормальная реакция N_z . Запишем уравнение моментов относительно оси вращения:

$$M_K = N_x r_K + N_z a, \quad (2.40)$$

где a – плечо нормальной реакции от оси симметрии колеса.

Преобразуем выражение (2.40), разделим левую и правую части на r_K . Введем понятие полной окружной силы $F_{OK} = M_K / r_K$, а также $F_c = \frac{N_z a}{r_K}$ – сила сопротивления качению колеса. Так как $N_x = P_x$:

$$F_{OK} = P_x + F_c, \quad (2.41)$$

$$P_x = F_{OK} - F_c. \quad (2.42)$$

Из выражения (2.42), следует, что часть можно заменить тангенциальной реакцией N_x . Также окружную силу $F_{ок}$ считают силой тяги и обозначают F . Так как все силы приводят к оси колеса перенесем нормальную реакцию N_2 в центр, получим эквивалентную схему (рисунок 2.21), добавив при этом к колесу момент сопротивления качению.

$$M_c = N_z b = F_c \cdot r_K, \quad (2.43)$$

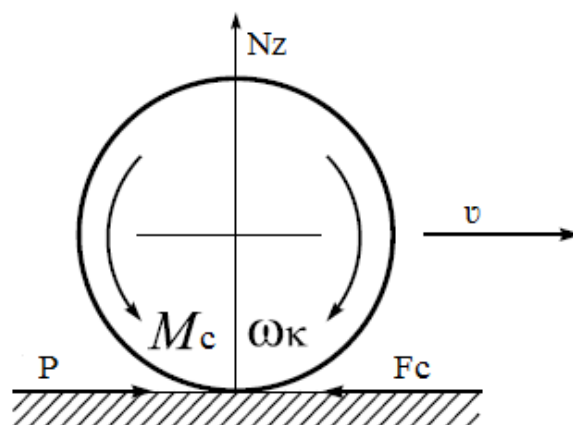


Рисунок 2.21 – Силы и моменты, действующие на ведущее колесо

Для ведомого режима сила $F_{OK} = 0$, тогда на основании выражения (2.43) имеем только силу сопротивления качению F_c , которая рассчитывается аналогично вышеизложенному. При этом коэффициент сопротивления качению отличается от коэффициента в ведущем режиме, но иногда их приравнивают при некоторых допущениях (Тверсков Б.М., 2000).

При действии на движитель отрицательных касательных реакций R_t происходит торможение (рисунок 2.22).

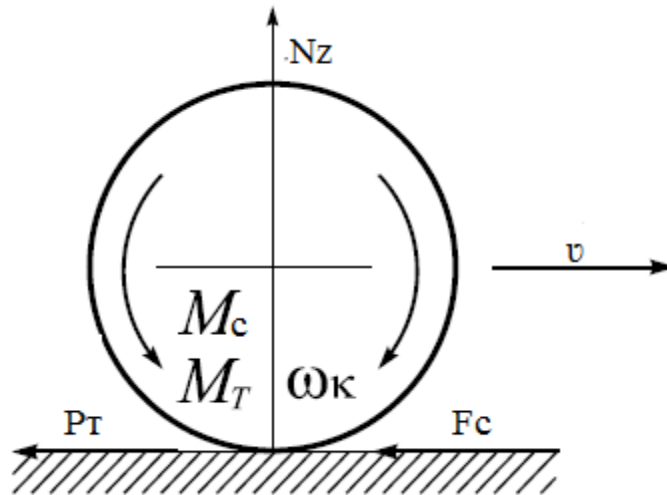


Рисунок 2.22 – Схема сил и моментов при торможении колеса

На колесо действует тормозной момент M_T , направленный в обратную сторону вращения колеса. Уравновешивается он тормозной силой $R_T = M_T / r_K$.

Представленная схема рассматривается в случае движения колеса без полной блокировки, где помимо тормозного момента действует момент сопротивления качению (Фомин В.М., 2008).

Таким образом, рассмотренные принципы составления математических моделей движения могут лечь в основу определения характеристик и геометрических параметров колесных движителей, обеспечивающих для заданных грунтовых условий минимальное сопротивление перемещению.

Многочисленные проходы дождевальной техники по полю вызывают деформацию почвы, которая приводит к ее чрезмерному уплотнению, что влечет за собой ухудшение условий формирования фотосинтетического и симбиотического аппаратов сельскохозяйственных культур.

Влажность почвы, также оказывает влияние на уплотнение почвы при орошении культур. Воздействие дождевальной техники ходовой системой на почву при оптимальной влажности может привести к значительным деформациям почвы. Высокие механические нагрузки разрушают сложение почвы, почвенные частицы сближаются, происходит уменьшение пор и их более плотная упаковка. Количественные значения уплотнения почвы

зависят от механического и структурного состава, влажности почвы и нагрузки на почву.

Площадь уплотнения почвы движителями дождевальных машин зависит от типа движения машины, в частности для фронтального движения определяется выражением:

$$S_{\text{дм}} = B_{\text{двм}} n l_{\text{п}}, \quad (2.44)$$

где $l_{\text{п}}$ – длина поля, м; $B_{\text{двм}}$ – ширина движителя дождевальной машины, м; n – количество опорных тележек дождевальной машины, шт.

Площадь уплотненной почвы движителями машины движущихся по кругу, определится выражением:

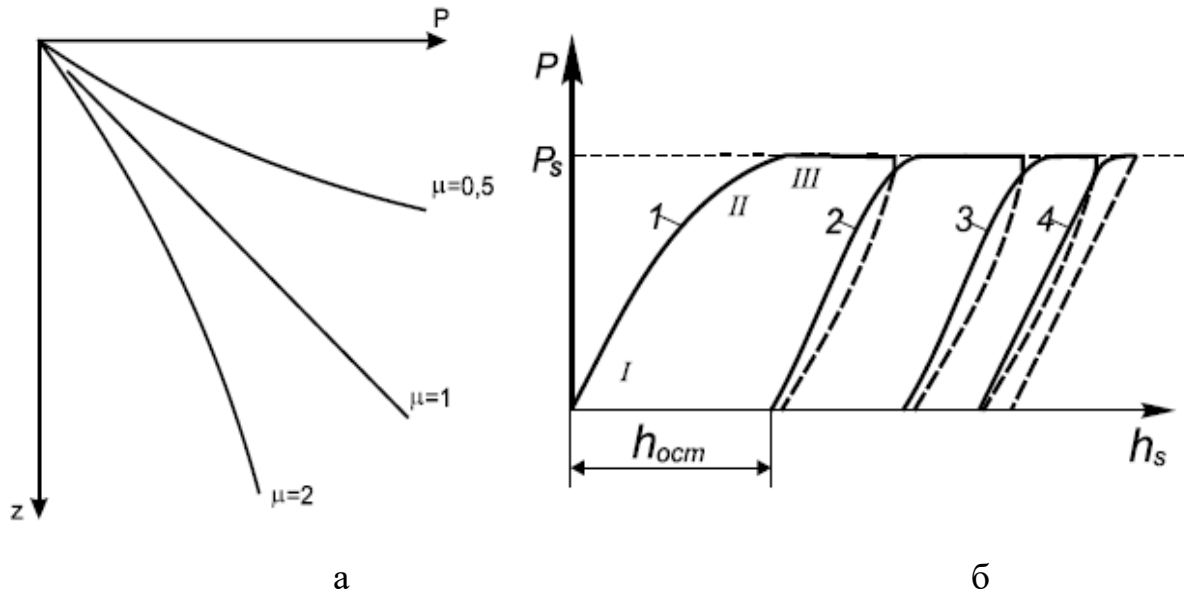
$$S_{\text{дм}} = \sum_{i=1}^n 2\pi R_i B_{\text{двм}}, \quad (2.45)$$

где R_i – расстояние от i -той тележки от поворотной опоры машины, м.

Выражения (2.44) и (2.45) показывают, что площадь уплотнения почвы поля движителями дождевальной машины фронтального действия составляет 0,41 га или 5 % от всей площади поля, для кругового действия: 0,13 га и 0,49 га соответственно для 8-ми и 16-ти опорной машины, что составляет 6,5 % и 4,9 % соответственно от всей площади поля.

Одним из наиболее важных для изучения движения привода дождевальных машин является процесс взаимодействия их движителей с опорной средой. Направление и величина сил, действующих со стороны опорной поверхности на движитель, непосредственно влияют на характер движения машины. Действие указанных сил зависит от конструктивных особенностей и приемов управления машиной (Башмаков И.А., Загоруйко М.Г., 2023).

В основе изучения процессов взаимодействия движителя с грунтовой поверхностью лежат законы изменения напряжений в грунте. Это видно при рассмотрении зависимостей, различных моделей грунта посредством которых можно описать математические процессы его деформации в различных плоскостях (рисунок 2.23) (Павлов В.В., Кувшинов В.В., 2011).



$h_{ост}$ – участок действия зависимости определения изменения нормального давления

Рисунок 2.23 – Зависимость деформации грунта от нормального давления и параметра грунта μ : а) однократное нагружение грунта; б) многократное нагружение

Как правило характеристики и параметры грунтов определяются экспериментально. К параметрам грунтов относят:

- весовую плотность;
- модуль деформации E (Па);
- модуль сдвига E' (Па);
- угол внутреннего трения φ_0 (рад, град);
- внутреннее сцепление частиц грунта C_0 (Па);
- несущую способность грунта P_s (Па) и др.

При моделировании изменения деформации грунта от движителя можно использовать зависимость (2.44) определения изменения нормального давления в Мпа (ρ), полученную В.П. Горячкиным и М.Н. Летошневим (Летошнев М.Н., 1929):

$$\rho = 10^2 C(h/h_0)^\mu, \quad (2.46)$$

где C – параметр, характеризующий реактивное сопротивление грунта вдавливанию штампа на 1 см. (коэффициент усадки грунта); h – нормальная

деформация грунта, см.; $h_0 = 1,0$ – единичная осадка, см.; μ – степень, характеризующая закон изменения сопротивления грунта вдавливанию.

На рисунке 2.23 показаны графики для различных условий грунта: $\mu > 1$ (уплотняемый грунт); $\mu < 1$ (не уплотняемый, разрушаемый грунт); $\mu \approx 1$ – рыхлый сухой грунт.

Следует отметить, что зависимость (2.28) не учитывает все параметры грунта, а как следствие не может дать качественную оценку происходящих процессов. К примеру, соответствие между напряжением p и деформацией грунта h может быть до определенного предела, после наступления которого изменение давления не подчиняется зависимости (2.46), происходит сдвиг соседних частиц грунта. На рисунке 2.23 б грунт не уплотняется, а перемещается, вытесняя в стороны прилегающие массы. Таким образом несущая способность грунта зависит от его плотности, влажности и сцепных свойств между частицами грунта (рисунок 2.24).

При движении дождевальная машины по влажному грунту проявляется гидростатический эффект, который проявляется в том, что вода не успевает выжиматься из пор грунта.

С увеличением влажности сопротивляемость грунтов при достижении предела текучести уменьшается.

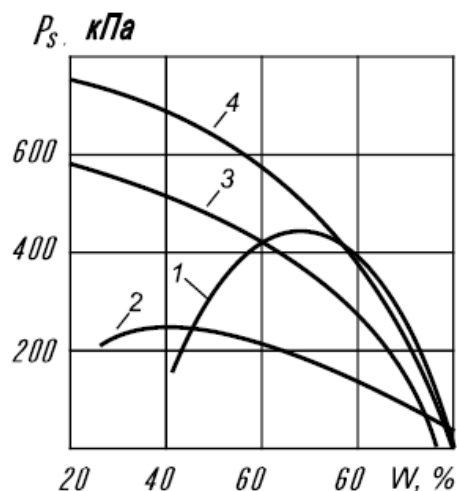


Рисунок 2.24 – Зависимость несущей способности p_s грунта от влажности:
1 – песчаный грунт; 2 – супесь; 3 – суглинок; 4 – глина

Максимальные касательные напряжения (предел текучести) прямо пропорционально нормальному давлению. Сопротивлению сжатию и другие показатели грунта связаны с сопротивлением грунта тангенциальным нагрузкам. Внутреннее трение в грунте определяет сдвиг и подчиняется закону Кулона – Мора (условие прочности Кулона) на рисунке 2.25 показаны характеристики грунтов (Петраков А.А., Яркин В.В. и др., 2004).

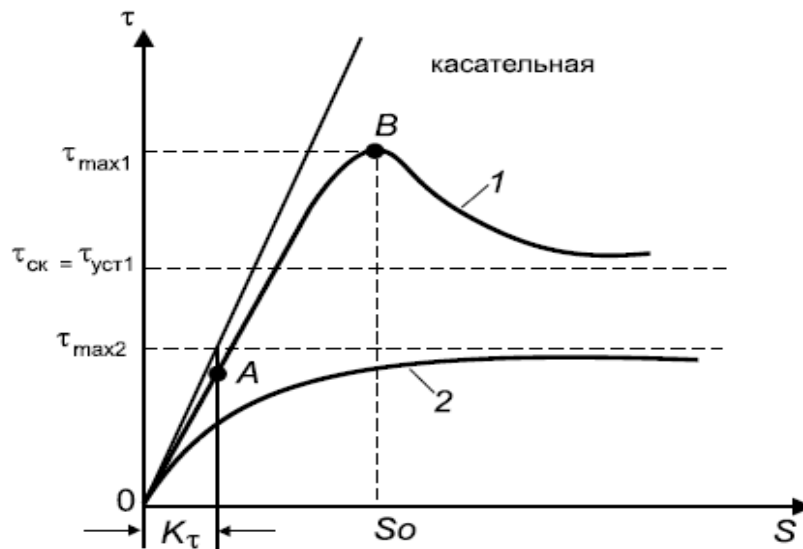


Рисунок 2.25 – Вид «кривой сдвига» для различных грунтов: 1 – связный грунт; 2 – несвязный грунт

Закон Кулона – Мора в зависимости от параметров грунта определяет максимальные напряжения при сдвиге грунта (Петраков А.А., Яркин В.В. и др., 2004):

$$\tau_{max} = c_0 + \rho \operatorname{tg} \varphi_0, \quad (2.47)$$

где c_0 – внутреннее сцепление частиц, Па; ρ – несущая способность, МПа;

φ_0 – угол внутреннего трения, рад.

Зависимость между нормальной нагрузкой и максимальным сдвигающим напряжением носит нелинейный характер, тогда как угол внутреннего трения φ_0 определяется по углу наклона касательной к данной кривой при нулевой нагрузке. Величина параметра c_0 между частицами грунта присущи связным грунтам. Для несвязанных грунтов молекулярные

силы и внутреннее сцепление c_0 может совсем отсутствовать, но здесь обычно присутствуют значительные силы трения. С повышением нормального давления на грунт внутреннее трение увеличивается.

Механические свойства грунтов при высокой влажности оказывают существенное влияние на движение колеса по грунту. Так при повышенной влажности, несущая способность связанных грунтов, значения $P_s = 0,3-0,7$ МПа, $c_0 = 0,035-0,19$ Мпа, $\varphi_0 = 17-21^\circ$, модуль деформации $E = 25-50$ Мпа. При дальнейшем повышении влажности данные значения параметров становятся значительно меньше (Петраков А.А., Яркин В.В. и др., 2004; Soloviev D.A., et al. 2022).

Выражением Джаноси-Ханамото аппроксимируют кривую сдвига (рисунок 2.25):

$$\tau = \tau_{\max} \left(1 - e^{-\frac{s}{k_\tau}} \right), \quad (2.48)$$

где τ_{\max} – максимальное сопротивление грунта сдвигу, Па; s – горизонтальная деформация грунта, м; k_τ – параметр грунта (модуль деформации грунта), м.

Модуль деформации грунта определяется:

$$\text{при } s = 0 \left. \frac{d\tau}{ds} \right| = \frac{\tau_{\max}}{k_\tau} \cdot e^{-\frac{s}{k_\tau}} \Big|_0 = \frac{\tau_{\max}}{k_\tau}. \quad (2.49)$$

По сути, эта величина характеризует интенсивность начального изменения напряжений в грунте при его сжатии.

Для несвязных грунтов хорошо описывает кривые сдвига выражение (2.47). Кривая 1 на рисунке 2.25 показывает более сложную зависимость для связанных грунтов, имеющих максимальное значение при сдвиге s_0 .

Значение законов механических характеристик и моделирование грунтов позволяет проводить математическое моделирование процесса движения поливальных машин.

Анализ существующих законов и математических моделей позволяет прорабатывать ситуации работы дождевальных установок на пневматических колесных опорах 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.

Колесные дождевальные машины просты по конструкции, легки в управлении и как показывает практика достаточно экономичны и эффективны в плане сбережения посевов от повреждения. Наряду с этими преимуществами установки на колесных опорах имеют существенную проблему – искривление трубопровода при перекачивании, что вызывается причинами конструктивного характера, также особенностям состояния грунта. Авторы многих исследований данного вопроса предлагают в той или иной степени осуществимые способы решения этого вопроса (Кравчук А.В., Бельтиков Б.Н. и др., 2022). На наш взгляд, эту проблему можно решить, принимая во внимание при проектировании вышеизложенные теоретические исследования при опорно-тяговой проходимости приводных тележек, а также учитывать их воздействие на посевной материал. Это в свою очередь позволит рассредоточить привод по отдельным группам колес, чтобы выровнять величину крутящего момента по длине трубопровода (Гусейн-Заде С. Х., 1984).

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, кроме того, на каждой самоходной

тележке опорные пневмоколеса устанавливаются таким образом, чтобы при взгляде на них сверху, острие елочки 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:

$$P_{ш} = m_n / n_k k_p, \quad (2.50)$$

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 круговoгo 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, острие елочки протекторного 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.

Также предлагается опорные пневмоколеса самоходных тележек оснащать сельскохозяйственными шинами высокой проходимости. При этом грузоподъемность используемых шин должна учитывать полную массу

ферменного пролета с водой. Применение шин с меньшей нормой слойности будет приводить к их быстрому износу и выходу из строя, вызывая при этом аварийные ситуации. Использование предлагаемого способа позволит повысить проходимость дождевальных машин кругового действия на участках со сложным рельефом, за счет увеличения сцепления опорных пневмоколес с почвой, также применение данного способа будет способствовать снижению нагрузки на ходовые системы машины.

Способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом поясняется графическими материалами (рисунки 2.26-2.28).

Многоопорная дождевальная машина кругового действия представляет собой перемещаемый вокруг неподвижной опоры водопроводящий трубопровод, состоящий из последовательно шарнирно сочлененных между собой ферменных пролетов (рисунок 2.26). Каждый пролет выполнен в виде шпренгельной фермы с трубопроводом, один конец которой размещен на самоходной тележке, снабженной электроприводом и опорными пневмоколесами. На крайнем пролете машины дополнительно может быть смонтирована консоль. Ферменные пролеты могут иметь различную длину и массу. А полная масса пролетов тяжелого класса может составлять до 4,2 т. В процессе полива дождевальная машина кругового действия может перемещаться вокруг неподвижной опоры в одном из двух направлений, либо по часовой стрелке, либо против часовой стрелки.

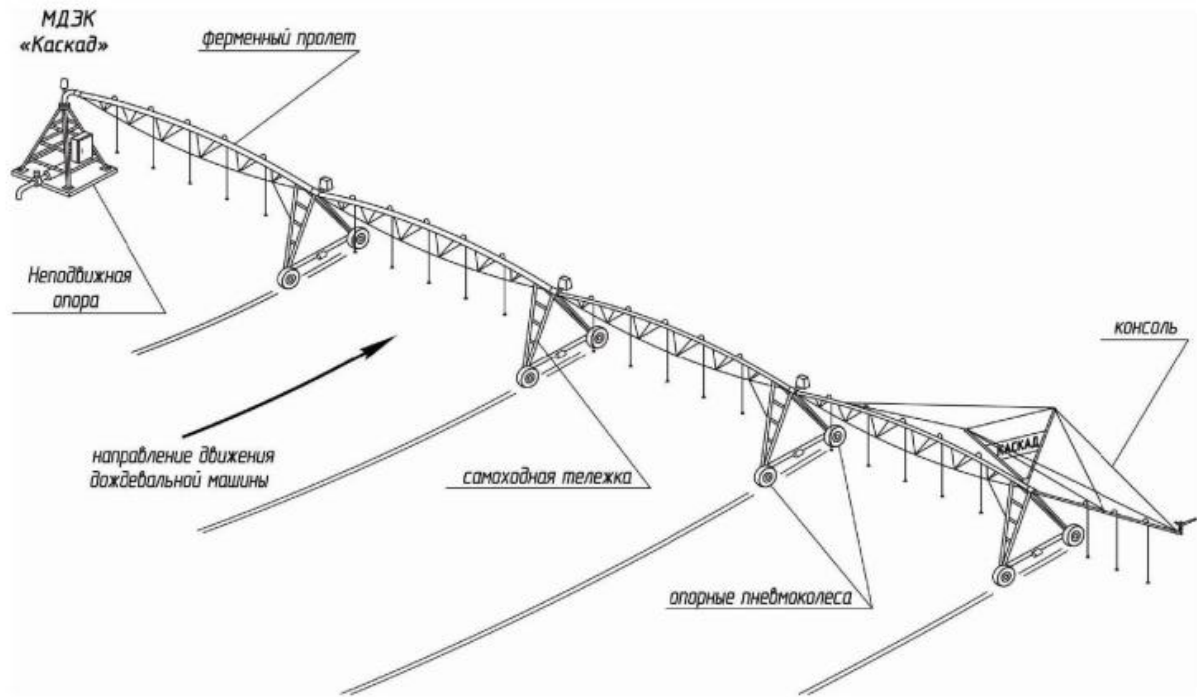


Рисунок 2.26 – Аксонометрическая проекция многоопорной дождевальной машины кругового действия

В ряде случаев дождевальные машины размещают на участках со сложным рельефом, где могут присутствовать резкие перепады высот, существенные возвышенности, низменности и уклоны поля. Способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом осуществляют следующим образом. Вначале, анализируя линии превышения высот на топографической карте орошаемого участка, выбирают направление движения дождевальной машины вокруг неподвижной опоры, при котором подъем машины на возвышенности происходит по наиболее пологим склонам (рисунок 2.27). При таком перемещении машины по орошаемому участку снижается нагрузка на ее ходовые системы. Дождевальная машина перемещается вокруг неподвижной опоры при помощи самоходных тележек, снабженных электроприводом и опорными пневмоколесами. В процессе эксплуатации машины, ее перемещают по орошаемому участку, только в одном предварительно выбранном направлении.

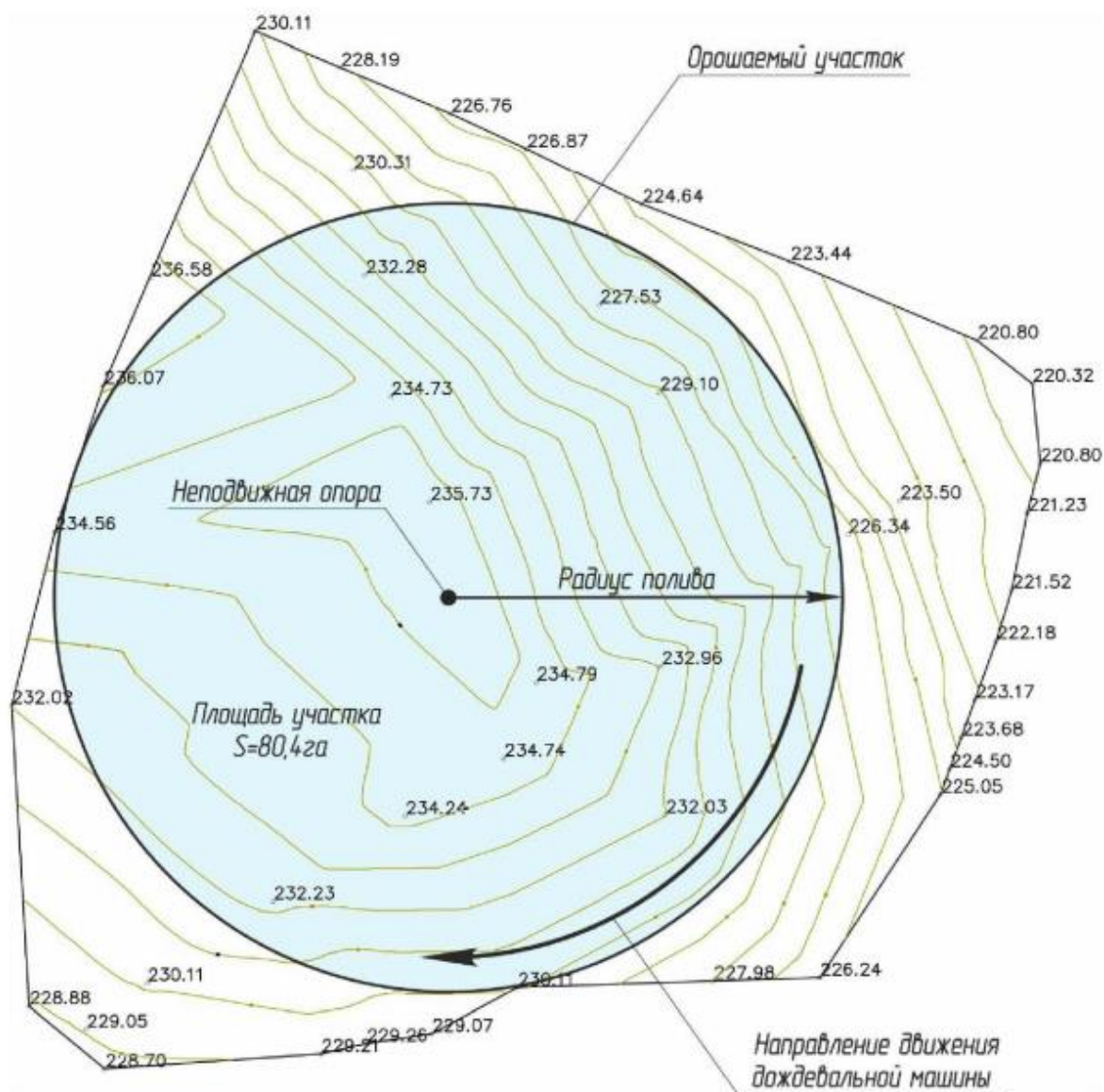
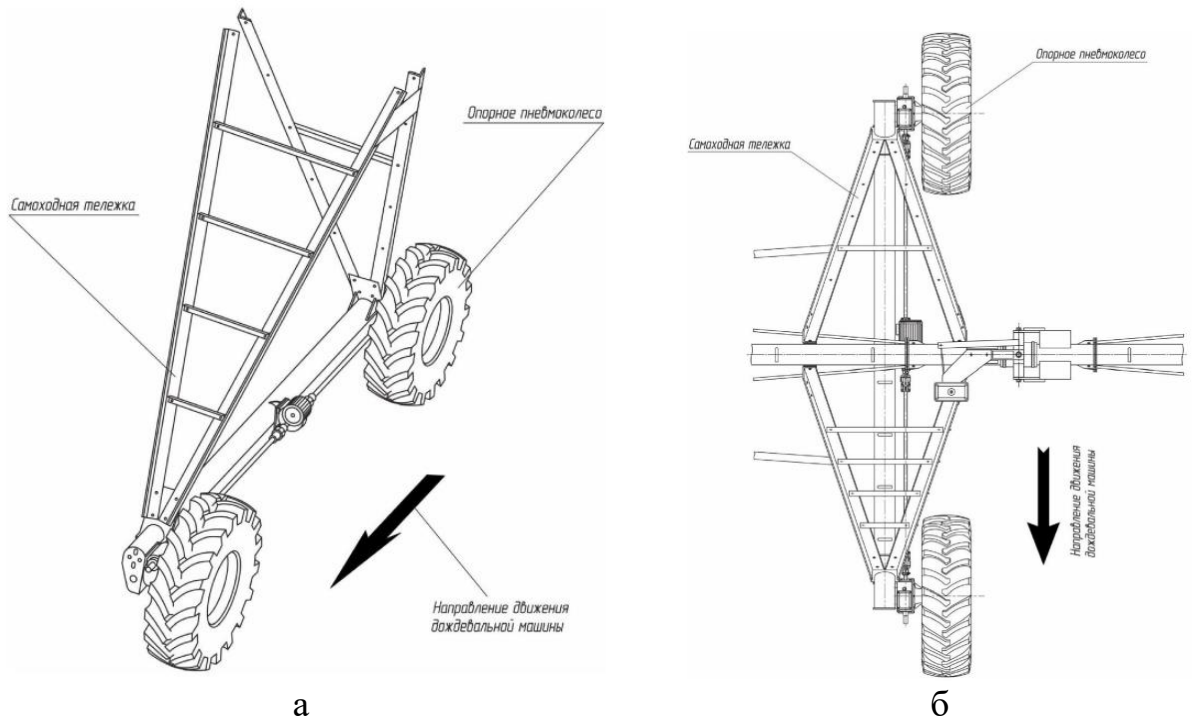


Рисунок 2.27 – Топографическая карта орошаемого участка, на основе анализа которой выбирают направление движения круговой дождевальной машины

Так как направление передвижения машины будет всегда оставаться неизменным, то на каждой самоходной тележке оба опорных пневмоколеса можно сделать тяговыми. На каждой самоходной тележке опорные пневмоколеса устанавливают таким образом, чтобы при взгляде на них сверху, острие елочки протекторного рисунка шин совпадало с направлением движения машины (рисунок 2.28).



а – Аксонометрическая проекция; *б* – Вид сверху

Рисунок 2.28 – Схема установки опорных пневмоколес самоходной тележки, при движении дождевальной машины только в одном предварительно выбранном направлении

Такая схема установки опорных пневмоколес увеличивает их сцепление с почвой, что уменьшает буксование и повышает проходимость машины. А это в свою очередь снижает вероятность возникновения локальных переполивов, уменьшает износ шин и сокращает число срабатываний систем аварийной защиты дождевальной машины. Кроме того, опорные пневмоколеса самоходных тележек оснащают сельскохозяйственными шинами высокой проходимости. Также опорные пневмоколеса снабжают шинами, имеющими индекс грузоподъемности, соответствующий максимально допустимой нагрузке на шину, которую определяют по формуле (2.50).

Использование предлагаемого способа позволит повысить проходимость многоопорных дождевальных машин кругового действия на участках со сложным рельефом, за счет увеличения сцепления опорных пневмоколес с почвой, также применение данного способа будет

способствовать снижению нагрузки на ходовые системы машины. (Патент № 2810574).

2.5 Расчет водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия

Водопроводящий трубопровод – важный элемент дождевальной машины. Его длина и диаметр труб влияют на технические, энергетические и агротехнические характеристики. К ним относятся расход воды, потери напора по длине трубопровода, напор в начале и конце трубопровода, а также напор воды перед дождевателем и его расход. Эти параметры определяют агротехнические характеристики: интенсивность дождя, средний диаметр капель, норму полива до стока, глубину промачивания, уплотнение и разрушение почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Расход воды дождевальной машины определяется длиной машины, площадью полива, а также видом выращиваемой сельскохозяйственной культуры и характеристиками почвы и рельефа орошаемого участка.

Ранее, когда площади на оросительных системах засеивали в основном зерновыми культурами (55–65 % – озимая и яровая пшеница, ячмень, просо и др.), у которых потребность в оросительной воде была не высокая, а гидромодуль орошаемых участков при строительстве закладывался невысокий и составлял $q = 0,46–0,67$ л/с на 1 га (Дмитрюк В.А., 1985). Укомплектованный график гидромодуля орошаемого участка позволяет определять последовательность поливов дождевальных машин в течение вегетационного периода при выращивании сельскохозяйственных культур. Зная гидромодуль (q) и площадь полива (S) дождевальной машины можно определить ее расход воды (Q):

$$Q = q \cdot S. \quad (2.51)$$

При гидромодуле $q = 0,5–0,7$ л/с на 1 га и средней площади полива 70 га расход воды дождевальной машины должен быть 35–50 л/с. В начальный

период развития мелиорации в нашей стране при выращивании зерновых культур, когда расход воды дождевальных машин был значительно выше, чем по гидромодулю и составлял 80–100 л/с, то рассматривался вопрос о двухпозиционной эксплуатации машин типа «Фрегат».

В последующие годы при обосновании расхода воды машины учитывается слой дождя (h) за проход машины, который зависит от нормы полива (m) и рассчитывается по формуле:

$$h = \frac{m}{10}. \quad (2.52)$$

Он (h) определяется по зависимости Б.П. Фокина, А.К. Носова (2011), зная расход воды (Q , л/с) и площадь полива (S , м²) за 24 часа:

$$h = Q \cdot 3600 \cdot \frac{24}{S}. \quad (2.53)$$

Задаваясь слоем дождя (например $h = 11$ мм) за сутки (24 часа) и площадь полива ($S = 70$ га = 700000 м²) можно определить требуемый расход воды дождевальной машины ($Q = 89$ л/с) по следующей формуле

$$Q = \frac{h \cdot S}{24 \cdot 3600}. \quad (2.54)$$

При выборе основных параметров водопроводящего трубопровода необходимо учитывать климатические условия орошаемого участка и вид выращиваемой сельскохозяйственной культуры. При более жестких метеорологических условиях (жара, знойный ветер) и отсутствии достаточного количества осадков в летний период (низкий коэффициент увлажнения), что характерно для Астраханской и Волгоградской области, республики Калмыкия, Дагестан и других аридных зон страны ($K_u = 0,33$), тем больше должен быть расход. Для гумидной зоны страны – Северо-Западный и Центральный район Европейской части, где коэффициент увлажнения высокий $K_u = 0,77–1,33$ расход воды машины должен быть ниже. Если дождевальная машина проводит полив влаголюбивых культур, таких как люцерна, соя или овощных культур (огурец, томат, капуста и др.), то расход воды должен быть также высокий.

Нужно учитывать почвенные и рельефные условия орошаемого участка. Согласно исследованиям Колесникова Ф.И., Ерхова Н.С. и др., при дождевании легких песчаных почв, которые имеют высокую впитывающую способность, допускается полив с высокой интенсивностью дождя, а это позволит увеличивать расход воды машины. Исследованиями Ерхова Н.С. и др. установлено, что чем больше уклон поверхности поля, тем меньше норма полива до стока и расход воды дождевальной машины, то есть интенсивность дождя необходимо снижать (рисунок 2.29, 2.30).

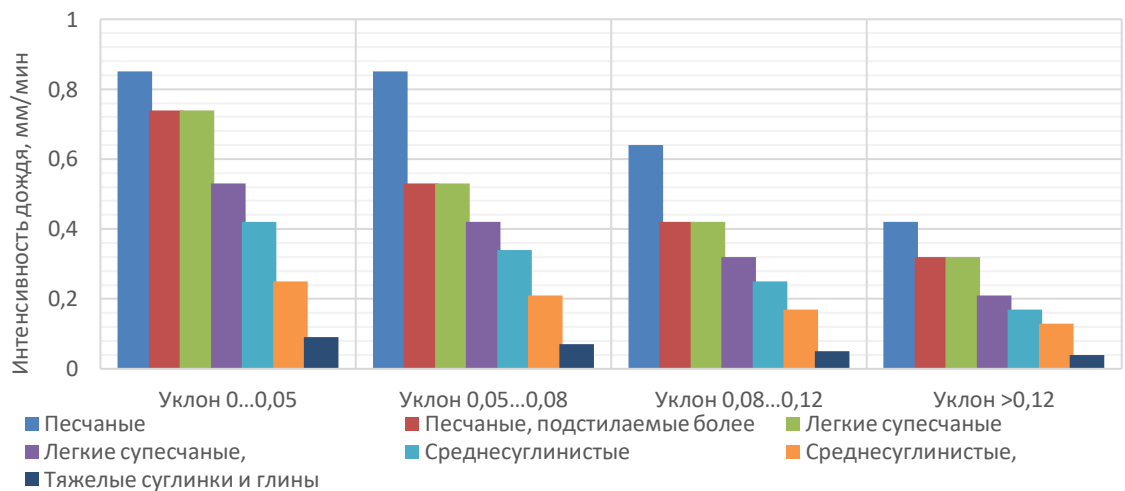


Рисунок 2.29 – Допустимая интенсивность дождя на участках, занятых с.-х. культурами

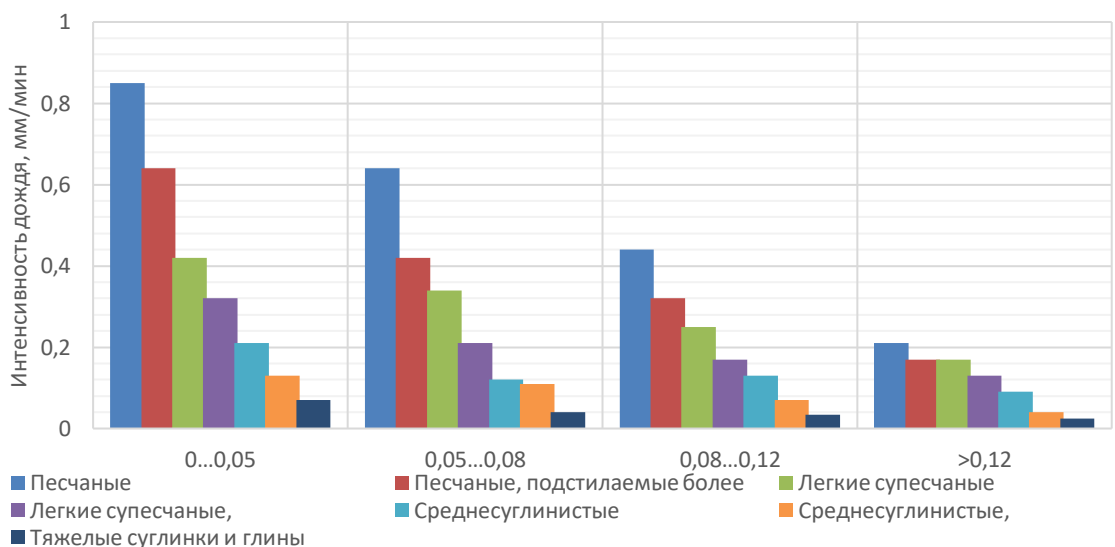


Рисунок 2.30 – Допустимая интенсивность дождя на участках без с.-х. культур

К техническим параметрам работы машины относится надежность ее работы, коэффициент использования времени смены. Из опыта эксплуатации известно, что дождевальные машины «Фрегат», имеющие значительный срок службы, имеют частые отказы и низкую надежность работы, наблюдаются большие их простои в ожидании ремонта, особенно если отказ произошел в ночной период. Поэтому ДМ «Фрегат» даже имея большой расход воды (80–90 и даже 100 л/с) не всегда позволяют выдержать оптимальный режим увлажнения сельскохозяйственных культур. Наоборот, электрифицированные дождевальные машины ферменной конструкции отличаются высокой надежностью работы (у них практически отсутствуют отказы), имеют высокий коэффициент использования времени смены и обеспечивают круглосуточный полив, то имея несколько меньший расход воды, позволяют выдерживать оптимальный режим увлажнения почвы (Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г. и др., 2022).

К организационным хозяйственным условиям относятся организация эксплуатации, которая во много определяется площадью орошаемого участка, общим количеством дождевальных машин, наличием звеньев или бригад орошения, организацией доставки запчастей и горячего питания, групповым методом ремонта, круглосуточным наблюдением за работой машин, своевременным проведением технического обслуживания, наличием сотовой связи и др. (Васильев С.М., 2017; Горюнов Д.Г., Загоруйко М.Г. и др., 2023).

Перечисленные выше условия эксплуатации формируют алгоритм расчета расхода воды и размеров водопроводящего трубопровода дождевальной машины (рисунок 2.31)

Длина дождевальной машин кругового действия определяется размерами поля квадратной формы. Из условия максимальной площади полива квадратного участка и полив угловых участков с использованием концевого дождевального аппарата, длина машины (L_M) должна быть равна половине длины стороны квадрат поля (B):

$$L_M = \frac{B}{2}. \quad (2.55)$$



Рисунок 2.31 – Алгоритм расчета оптимальных параметров водопроводящего трубопровода многоопорной дождевальной машины кругового действия

Размер машины (L_M) определяется как сумма длин пролетов (L_{Π}) и длины консоли (L_K):

$$L_M = n \cdot L_{\Pi} + L_K. \quad (2.56)$$

Радиус полива дождевальной машины (R_{Π}) определяется длиной машины (L_M) и радиусом полива концевого дождевального аппарата (R_K):

$$R_{\Pi} = n \cdot L_M + R_K \quad (2.57)$$

Площадь полива машины (S) равна площади круга с радиусом (R_{Π}) и определяется по формуле:

$$S = \pi \cdot R_{\Pi}^2. \quad (2.58)$$

Расход воды дождевальной машины определяется исходя из гидромодуля орошаемого участка или из слоя осадков за проход машины. Дождевальные насадки монтируются с различным интервалом $\ell = 2; 2,3$ и $3 \dots 6$ м. Задаваясь интервалом расположения насадок (ℓ), определяется их общее количество на трубопроводе машины (n):

$$n = \frac{L}{\ell}. \quad (2.59)$$

Зная интервал расположения насадок и радиусы их расположения (R_i и R_{i-1}) от неподвижной опоры, определяется площадь полива i -ой насадки (в виде кольца):

$$S_i = \pi(R_i^2 - R_{i-1}^2). \quad (2.60)$$

Расход воды i -ой дождевальной насадки определяется из общего расхода воды машины и площади полива машины данной насадки по формуле:

$$Q_i = Q \cdot \frac{S_i}{S_M}. \quad (2.61)$$

Движение жидкости с изменением массы вдоль пути впервые рассмотрено в работах Хайндса (1926) и Фавра (1933). В последствии идеи Хайндса и Фавра уточнены в работах Петрова Г.А. (1964), Bresler El. (1978), Hazen A. (1978), Keller J. (1972), Solomon K. (1978). Все указанные авторы использовали формулу Хазена – Вильямса (Hazen A. et al, 1920), которая дает в расчетах при непрерывном отводе воды на орошение значительные погрешности.

«Дифференциальное уравнение установившегося движения воды с переменной массой в трубопроводе постоянного сечения при наличии отбираемого расхода – получено И.М. Коноваловым» (Петров Г.А., 1964; Favre H., 1933):

$$\frac{a_0''(a_2 - 2)Q}{g\omega^2} \frac{dQ_2}{ds} + \frac{dH}{ds} + \frac{Q^2}{K^2} = 0, \quad (2.62)$$

где a_0'' – коэффициент Буссинеска; a_2 – коэффициент отвода расхода воды;

H – гидродинамический напор; Q – расход в произвольном сечении потока, K – модуль расхода в произвольном сечении; g – ускорение свободного падения; ω – площадь живого сечения потока.

«Проинтегрировав уравнения (2.62) получим уравнение пьезометрической линии для трубопровода машины кругового действия» (Эйлер, Т., 1934; Митрюхин А.А, 1971):

$$H = -L_M \frac{\bar{s}}{K^2} \left(1 - \frac{2}{3} \bar{s}^2 + \frac{1}{5} \bar{s}^4 \right) Q_M^2 + a_0'' \frac{a_2 - 2}{2g\omega^2} \bar{s}^2 (2 - \bar{s}^2) Q_M^2, \quad (2.63)$$

где $\bar{s} = s/L_M$ – относительная координата; Q_M – расход ДМ.

Полная потеря напора по длине трубопровода составляет:

$$H_{\text{поля}} = \left(\frac{8}{15} \frac{L_M}{K^2} - a_0'' \frac{a_2 - 2}{2g\omega^2} \right) Q_M^2. \quad (2.64)$$

Выводы по решению (2.62), (2.63) говорят о том, что:

«1) модуль расхода K и коэффициент отсоединения расхода a : не зависят

от координаты s ;

2) отбор расхода Q_M по длине трубопровода происходит непрерывно, тогда как модуль расхода K и коэффициент отвода расхода a_2 изменяются по длине трубопровода, а отбор расхода Q_M происходит дискретно» (Favre Н., 1933; Соловьев Д.А., Елисеев М.С., 2017).

Для более точного расчета необходимо определять расход воды и скорость потока воды на каждом участке трубопровода:

$$V_i = \frac{0,785 Q_i}{D_B^2}. \quad (2.65)$$

По формуле А.Ф. Шевелева определим потери напора на данном участке трубопровода:

$$h_{\text{ист}} = 0,00107 \cdot l_i \frac{V^2}{d_{\text{ВН}}^{1,3}}. \quad (2.66)$$

Общие потери по длине трубопровода равны сумме потерь на каждом участке:

$$h_c = \sum h_i. \quad (2.67)$$

Напор на входе дождевальной машины складывается из суммы потерь напора по длине трубопровода (h_c) и напора перед концевой дождевальной насадкой (H_k):

$$H_{вх} = h_c + H_k. \quad (2.68)$$

Напор перед насадкой сопла диаметром 8–10 мм должен быть в пределах 5–10 м вод. ст. для обеспечения распыла дождевальной насадкой и формирования среднего диаметра капель 1–1,5 мм.

Учитывая приведенные выше положения нами проведены расчеты параметром дождевальных насадок для дождевальной машины «Каскад» длиной 434 м и с расходом воды 53,73 л/с для трубопровода диаметром 159 мм с толщиной стенки 3 мм и внутренним диаметром трубы 153 мм. Значение параметров дождевальных насадок и их расхода воды, скорость потока и потерь напора показаны на рисунках 2.32–2.35.

В таблице 2.2 приведены карты настройки дождевальных насадок ДМ «Каскад» в ООО «Листеко» Энгельсского района: – ДМ № 1 и 2, длина машины соответственно 475 и 452 м. В расчетах карт настройки величина напора перед концевым аппаратом составляет 10 м вод. ст.

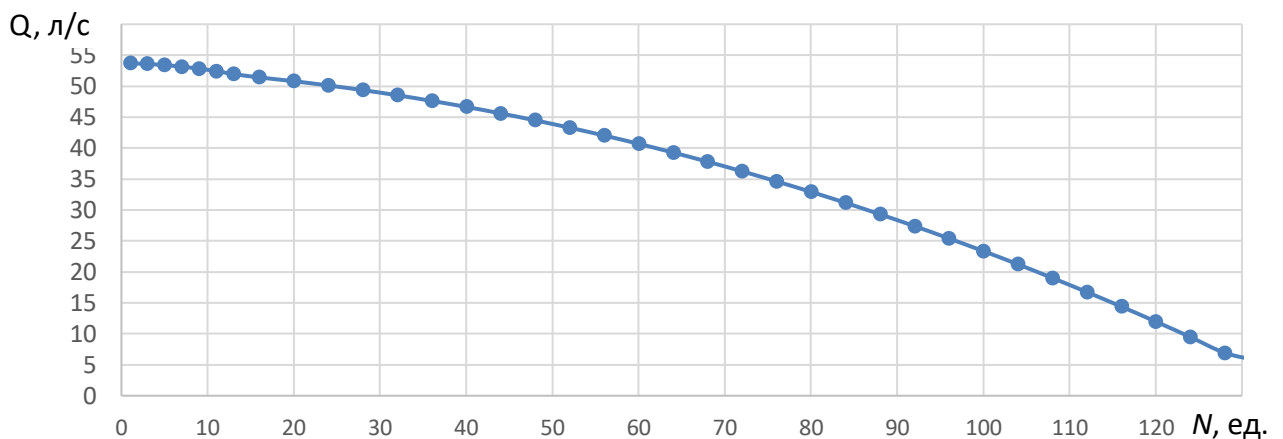


Рисунок 2.32 – Изменение расхода воды на участках ДМ «Каскад» расход воды – $Q = 53,73$ л/с; длина машины – 434 м

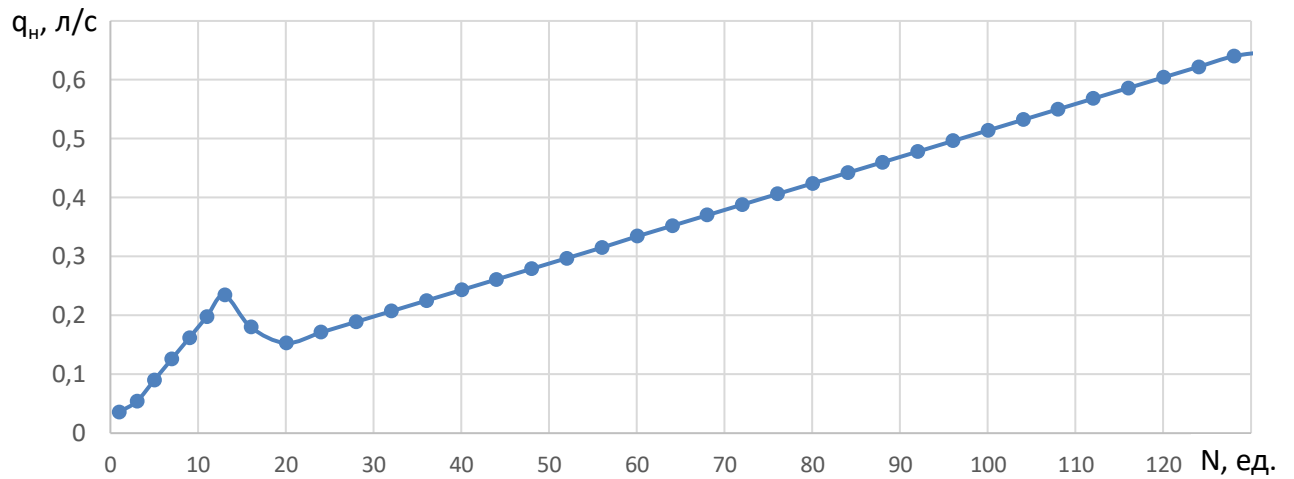


Рисунок 2.33 – Изменение расхода воды насадок вдоль трубопровода ДМ «Каскад» расход воды – $Q = 53,73$ л/с; длина машины – 434 м

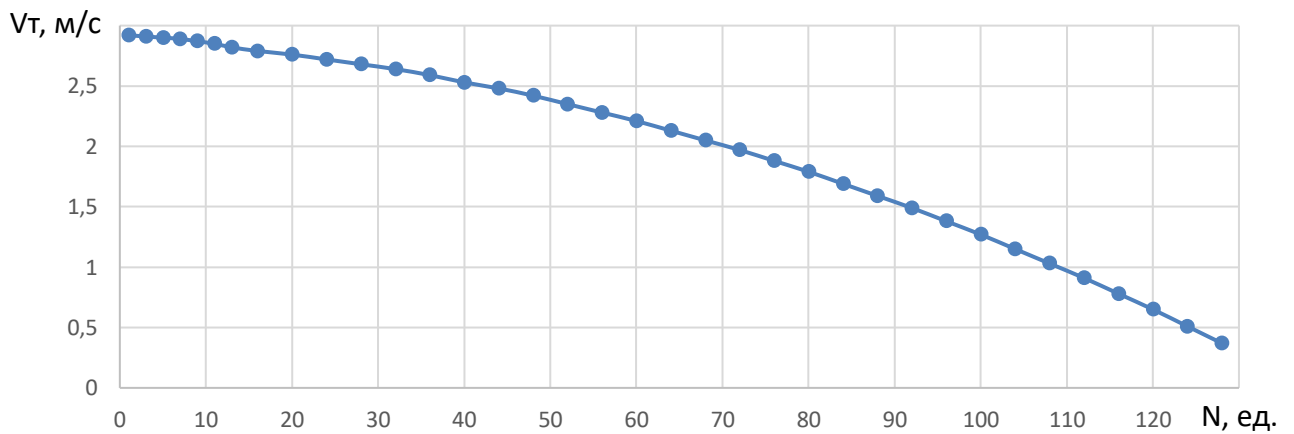


Рисунок 2.34 – Изменение скорости воды вдоль трубопровода ДМ «Каскад» расход воды – $Q = 53,73$ л/с; длина машины – 434 м

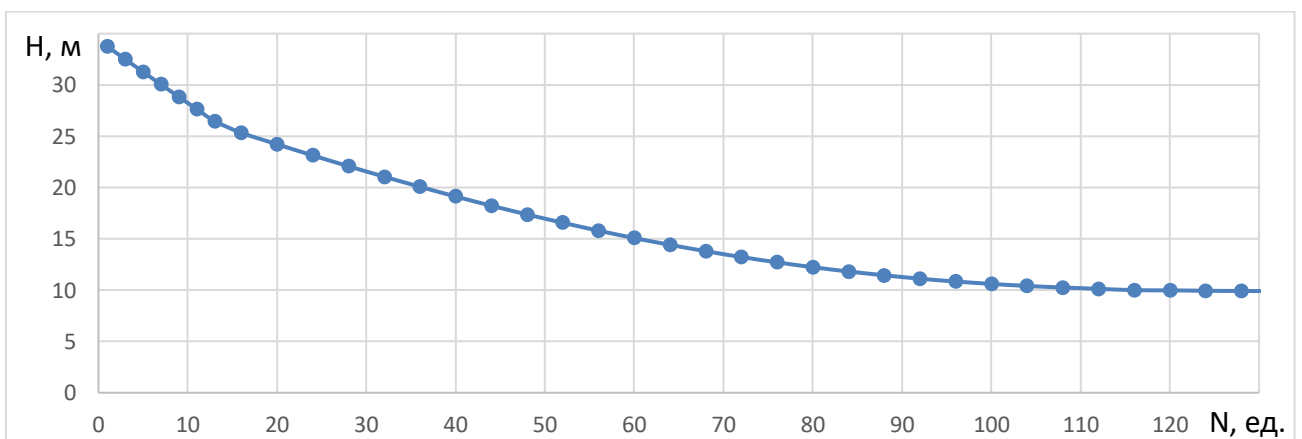


Рисунок 2.35 – Изменение напора вдоль трубопровода ДМ «Каскад» расход воды – $Q = 53,73$ л/с; длина машины – 434 м

Таблица 2.2 – Карты настройки ДМ «Каскад» № 3 в ООО «Листеко» (расход воды – $Q = 53,73$ л/с; длина машины – 434 м; длина пролета – 59,5 м; длина консоли – 18 м, напор на входе – $H_{вх} = 35$ м вод. ст.)

№ тел.	q_T , л/с	Q_T , л/с	V_T , м/с	q_H , л/с	h , м	H , м	D_c , мм
НО	0,036	53,69	2,92	0,036	1,247	33,75	1,47
	0,108	53,58	2,91	0,054	1,242	32,50	1,82
	0,180	53,40	2,90	0,090	1,234	31,27	2,37
	0,252	53,15	2,89	0,126	1,222	30,05	2,84
1	0,324	52,82	2,87	0,162	1,207	28,84	3,25
	0,397	52,43	2,85	0,198	1,189	27,65	3,63
	0,469	51,96	2,82	0,234	1,168	26,48	3,99
	0,541	51,41	2,79	0,180	1,144	25,34	3,54
	0,613	50,80	2,76	0,153	1,117	24,22	3,30
2	0,686	50,11	2,72	0,171	1,087	23,13	3,53
	0,758	49,36	2,68	0,189	1,054	22,08	3,75
	0,830	48,53	2,64	0,207	1,019	21,06	3,97
	0,902	47,62	2,59	0,225	0,981	20,08	4,19
	0,974	46,65	2,53	0,243	0,942	19,13	4,41
3	1,047	45,60	2,48	0,261	0,900	18,23	4,63
	1,119	44,48	2,42	0,279	0,856	17,38	4,84
	1,191	43,29	2,35	0,297	0,811	16,57	5,06
	1,263	42,03	2,28	0,315	0,764	15,80	5,27
	1,336	40,69	2,21	0,334	0,716	15,08	5,48
4	1,408	39,28	2,13	0,352	0,668	14,42	5,69
	1,480	37,80	2,05	0,370	0,618	13,80	5,90
	1,552	36,25	1,97	0,388	0,568	13,23	6,11
	1,624	34,62	1,88	0,406	0,519	12,71	6,30
	1,697	32,93	1,79	0,424	0,469	12,24	6,51
5	1,769	31,16	1,69	0,442	0,420	11,82	6,70
	1,841	29,31	1,59	0,460	0,372	11,45	6,90
	1,913	27,40	1,49	0,478	0,325	11,12	7,08
	1,986	25,41	1,38	0,496	0,279	10,84	7,26
	2,058	23,36	1,27	0,514	0,236	10,61	7,43
6	2,130	21,23	1,15	0,532	0,195	10,41	7,59
	2,202	19,02	1,03	0,550	0,156	10,26	7,75
	2,274	16,75	0,91	0,568	0,121	10,13	7,90
	2,347	14,40	0,78	0,586	0,089	10,0	8,04
	2,419	11,98	0,65	0,604	0,062	9,98	8,18
7	2,491	9,49	0,51	0,622	0,039	9,94	8,31
	2,563	6,93	0,37	0,640	0,020	9,92	8,43
	1,297	5,63	0,30	0,648	0,013	9,91	8,49
КДА	5,62	0,006	0,0003	5,62	$\sum h-25.0$		

Примечание: q_T – расход воды, поступающий в насадки на i -ой трубе, л/с; q_H – расход воды i -ой насадки, л/с; Q_T – расход воды на i -ой трубе, л/с; V_T – скорость воды в i -ой трубе, м/с; h_P – потери напора на i -ой трубе, м; H – напор в i -ой трубе, м; D_c – диаметр сопла i -ой насадки, мм.

2.6 Разработка математической модели водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин для проведения гидроподкормки. Обоснование конструкции дождевальной машины для внесения удобрений и химических веществ через полиэтиленовый трубопровод

Гидроподкормка позволяет растениям получать необходимые питательные вещества в доступной форме, что способствует их быстрому усвоению и улучшению роста и развития. Это особенно важно в условиях ограниченного доступа к питательным веществам из почвы, например, на бедных почвах. Кроме того, гидроподкормка обеспечивает равномерное распределение удобрений по всей площади поля, что снижает риск возникновения локальных недостатков питательных веществ. Это также упрощает процесс внесения удобрений и контроль за их дозировкой. В целом, использование гидроподкормки является эффективным и экологически безопасным способом повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур (Васильев М.М., 2006; Ольгаренко Г.В., 2015; Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2019; Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В. и др., 2020; Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. и др., 2017).

К недостаткам современных дождевальных машин относится коррозия стальных частей из-за поступления химически активных веществ и удобрений через стальной трубопровод. Использование полиэтиленовых трубопроводов может снизить коррозию и увеличить срок службы машин. Это позволит сэкономить на замене и обслуживании оборудования, а также повысить эффективность гидроподкормки. Однако, при использовании полиэтиленовых труб необходимо учитывать их свойства и ограничения. Полиэтиленовые трубы могут быть менее прочными и устойчивыми к механическим повреждениям, чем стальные. Кроме того, они могут не подходить для некоторых видов агрессивных химических веществ из-за различий в химической стойкости материалов.

«Дождевальная машина (патент № 180447) (рисунок 2.36, 2.37) состоит из неподвижной опоры 1, стальные фермы 2, включающие стальной трубопровод 3, раскосы 4 и шпренгели 5, установленные на тележках 6 с колесами 7. Снизу трубопровода 3 установлен полиэтиленовый трубопровод 8, который хомутами 9 закреплен на трубопроводе 3. Для полива используются устройства приземного орошения 10, в нижней части которых установлены дождевальные дефлекторные насадки 11. В средней части машины (на третьей и второй ферме от конца машины) прокладываются дополнительные полиэтиленовые трубопроводы 12 малого диаметра, в которые через переходники 13 поступает вода из стального трубопровода 3. В основной полиэтиленовый трубопровод 8 вода подается из поворотного колена 14 неподвижной опоры 1 через переходник 13. За последним переходником 13 смонтирована заглушка 15, которая перекрывает подачу воды в концевую часть стальных труб 3 последней фермы 2. На конце основного полиэтиленового трубопровода 8 установлен концевой дождеватель 16. Устройства приземного орошения 10 подключены только к полиэтиленовым трубопроводам 8 и 12 посредством седелок 17.

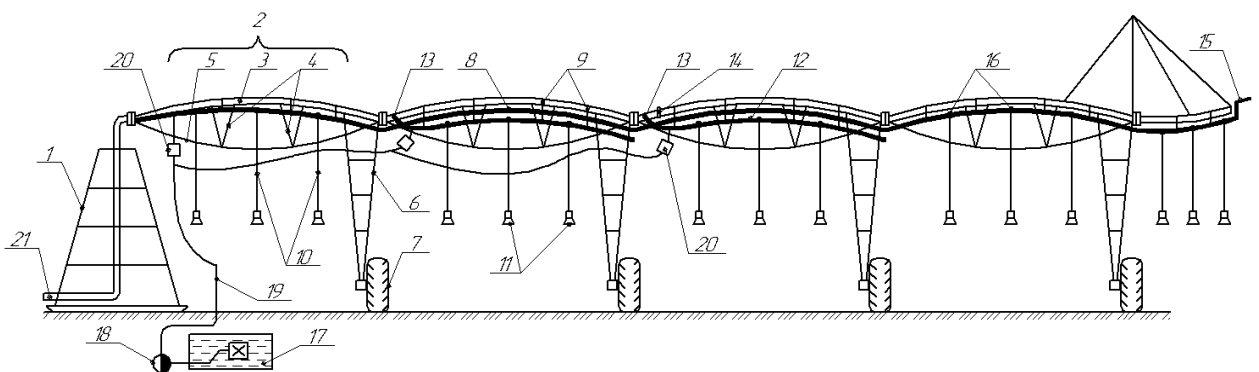


Рисунок 2.36 – Схема дождевальной машины для внесения удобрений и химических веществ через полиэтиленовый трубопровод

Возле неподвижной опоры установлена емкость 18 с раствором удобрений и гидродокормщик 19, который по удобрительной трубке 20 подает концентрированный раствор в основной полиэтиленовый

трубопровод 8 и в дополнительные полиэтиленовые трубопроводы 12 малого диаметра.» (Рыжко С.Н., Рыжко Н.Ф. и др., 2021).

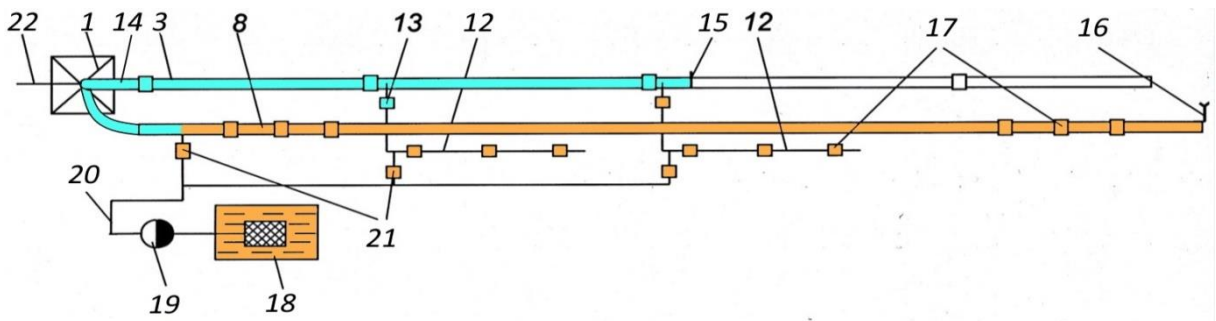


Рисунок 2.37 – Схема стального и полиэтиленового трубопровода на машине при подаче удобрений с поливом

Нами рассмотрены три варианта внесения удобрений с использованием дополнительного полиэтиленового трубопровода. В первом варианте расход воды и рабочий давление на входе в машину не изменяется и составляет 0,35–0,46 МПа при расходе воды 53,7–63,6 л/с с длиной машины 434–475 м. Во втором варианте расход воды машины увеличивается до 75 л/с и рабочий давление на входе в машину составляет 0,35 МПа. В третьем варианте расход воды машины увеличивается до 90 л/с и рабочий давление на входе в машину составляет 0,35 МПа. Для первого варианта возле неподвижной опоры машины устанавливается технологическая емкость с концентрированным раствором удобрений или 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

Исходя из расхода воды на пролете, а также для снижения числа переходников определим размеры полиэтиленовых труб на каждом пролете.

Для расчета потерь напора на полиэтиленовых и стальных трубах используем формулы Ф.А. Шевелева (Шевелев Ф. А., 1984; Шевелев Ф. А., 2007).

$$h_i = 0,685 \cdot l_i \frac{V^{1,774}}{d_{\text{вн}}^{1,226}}, \quad (2.69)$$

$$h_i = 1,07 \cdot l_i \frac{V^2}{d_{\text{вн}}^{1,3}}, \quad (2.70)$$

где V – Скорость воды на i -ОМ участке трубы, м/с; $d_{\text{вн}}$ – внутреннего диаметра трубы, см.

Скорость воды на i -ОМ участке трубы (V) зависит от расхода воды (q), внутреннего диаметра трубы ($d_{\text{вн}}$) и определяется по формуле:

$$V = \frac{10 \cdot q}{0,785 \cdot (d_{\text{вн}})^2}. \quad (2.71)$$

В качестве примера рассмотрим расчет полиэтиленовых труб и расход воды на пролетах для ДМ «Каскад» длиной 434 м, напор на входе 35 м, общий расход воды машины – 53,7 л/с (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Расход воды на пролетах для ДМ «Каскад» длиной 434 м и напор на тележке

№ тележки	$L_{\text{пр}}$, м	L от опоры, м	Относительная площадь от опоры, м ²	Относительная площадь пролета, м ²	Расход воды на пролете, л/с	Напор на тележке, м.в.ст.
1	59,5	59,5	3540,25	3540,2	0,899211	28,8
2	59,5	119	14161	10620,75	2,697671	23,1
3	59,5	178,5	31862,25	17701,25	4,496118	18,2
4	59,5	238	56644	24781,75	6,294565	14,4
5	59,5	297,5	88506,25	31862,25	8,093012	11,8
6	59,5	357	127449	38942,75	9,891459	10,4
7	59,5	416,5	173472,3	46023,25	11,68991	10
Консоль	18	434,5	188790,3	15318	3,890772	10
КДА	25	459,5	211140,3	22350	5,6769	

Примечание. $L_{\text{пр}}$ – длина пролета.

Пример расчета диаметра полиэтиленовых труб, потерь напора и напора перед дождевальной насадкой. На последнем водовыпуске возле тележки № 2 устанавливается первый переходник для подачи воды в полиэтиленовую трубу диаметром 40*2,4 мм. Общий расход воды на двух пролетах равен $q = q_2 + q_1 = 2,697 + 0,898 = 3,596$ л/с. Расход воды 4-х насадок на первой трубе от переходника равен $0,171 * 4 = 0,686$ л/с. Расход воды на конце первой трубы будет равен $3,596 - 0,686 = 2,912$ л/с. Средний расход воды на трубе равен $(3,596 + 2,912) / 2 = 3,248$ л/с. Внутренний диаметр полиэтиленовой трубы равен $40 - 2 * 2,4 = 35,2$ мм. Средняя скорость на первой трубе равна 3,341 м/с, а потери напора на участке длиной 11,9 м равно 4,2 м. В начале трубы напор равен 23,1 м, в конце $23,1 - 4,2 = 18,76$ м. Расчет по остальным 9-и трубам приведен в таблице 2.4. На последнем водовыпуске в 10-й полиэтиленовой трубе напор будет равен 11,9 м.в.ст.

Расчет расхода воды на каждой трубе второго и первого пролета, скорости и потерь напора по длине трубы приведен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Расчетные характеристики на дополнительном полиэтиленовом трубопроводе на 1 и 2 пролетах ДМ «Каскад»

№ пролета	№ трубы	$Q_{пз}$, л/с	V_T , м/с	h_T на 1000м, м	$h_{п}$ на 12 м, м	Напор в конце трубы
	Тележка 2					
2	1	3,248	3,341	352,5	4,23	18,769
	2	2,6	2,674	237,5	2,85	15,91
	3	2,024	2,082	152,3	1,82	14,09
	4	1,524	1,567	92,08	1,10	12,98
	5	1,096	1,127	51,30	0,61	12,37
	Тележка 1					
1	1	0,736	0,757	25,31	0,303	12,06
	2	0,448	0,460	10,49	0,125	11,94
	3	0,232	0,238	3,265	0,039	11,90
	4	0,054	0,055	0,245	0,0007	11,9
	5	0,036	0,026	0,067	0,0002	11,9
	но					

Примечание. $Q_{пз}$ и V_T – расход воды и скорость воды на полиэтиленовой трубе; h_T и $h_{п}$ – потери напора на длине 1000 м и 12 м.

Второй и третий переходники установлены на третьем пролете с общим расходом воды 4,494 л/с устанавливаются с расходом воды 2,484 л/с на три трубы и с расходом воды 2,012 л/с на две трубы. Напор на пролете уменьшается с 23,1 до 18,2 м.в.ст. Здесь используем полиэтиленовые трубы 40*2,4 мм. Расчет скорости и потерь напора приведен в приложении Б.

На четвертом пролете с общим расходом воды 6,294 л/с устанавливаются два водовыпуска с расходом воды 2,484 л/с на три трубы и с расходом 2,012 л/с на две трубы. Напор на пролете уменьшается 18,2 до 14,4 м.в.ст. Здесь также используем полиэтиленовые трубы 40*2,4 мм.

В пятом с общим расходом воды 8,09 л/с располагают пять водовыпусков на каждой трубе. Расход воды увеличивается с 1,48 до 1,769 л/с. Напор на первой трубе 13,8 м при использовании полиэтиленовые трубы 40*2,4 мм потери напора на участке длиной 2,95 м с расходом воды 0,74 л/с равны 0,075 м, а на втором участке с расходом воды 0,37 л/с на трубе длиной 2,95 м равны 0,02 м Напор на насадке будет равен $13,8 - 0,075 - 0,02 = 13,7$ м. На пятой трубе напор равен 11,9 м, при использовании полиэтиленовой трубы 40*2,4 мм потери на участке длиной 2,95 м с расходом воды 0,88 л/с равны 0,12 м, а на втором участке с расходом воды 0,44 л/с на трубе длиной 2,95 м потери равны 0,03 м. Напор на насадке будет равен $11,9 - 0,12 - 0,03 = 11,75$ м.

На шестом пролете с общим расходом воды 9,89 л/с устанавливаются пять водовыпусков на каждой трубе. Расход воды на каждой трубе увеличивается с 1,84 до 2,13 л/с. Напор на первой трубе 11,7 м при использовании полиэтиленовой трубы 40*2,4 мм потери напора на участке длиной 2,95 м с расходом воды 0,92 л/с равны 0,13 м, а на втором участке с расходом воды 0,46 л/с на трубе длиной 2,95 м равны 0,03 м Напор на насадке будет равен $11,7 - 0,13 - 0,03 = 11,54$ м. На пятой трубе напор равен 10,5 м, при использовании полиэтиленовые трубы 40*2,4 мм потери на 2,95 м с расходом воды 1,06 л/с равны 0,13 м, а на втором участке с расходом

воды 0,53 л/с на трубе длиной 2,95 м равны 0,04 м Напор на насадке будет равен $10,5 - 0,13 - 0,04 = 10,33$ м.

На седьмом пролете с общим расходом воды 11,68 л/с устанавливаются шесть водовыпусков на первых двух трубах по одному водовыпуску на 4 насадки, а на следующих трех трубах один водовыпуск на 3 насадки. Расход воды на первых трубах составляет 2,2 и 2,27 л/с. Напор на первой трубе 10,4 м при использовании полиэтиленовой трубы 40*2,4 мм потери напора на участке длиной 2,95 м с расходом воды 1,1 л/с равны 0,14 м, а на втором участке с расходом воды 0,55 л/с на трубе длиной 2,95 м равны 0,04 м Напор на насадке будет равен $10,4 - 0,14 - 0,04 = 10,22$ м

На консоли длиной 18 м устанавливаются две полиэтиленовые трубы, на которые через седелки устанавливаются по 3 УПД с ДН со средним расходом воды 0,65 л/с. Располагают 2 водовыпуска с расходом воды – 1,95 л/с. На двух трубах слева и справа от центрального водовыпуска расход воды – 0,65 л/с. Здесь применяем полиэтиленовые трубы 40*2,4 мм потери на 2,95 м составляют 0,06 м. Напор на насадке будет равен 10 м.

Результаты расчетов на всех пролетах приведены сведены в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристики полиэтиленовых труб и напора на ДМ «Каскад» $L=434$ м; $Q_M=53,7$ л/с; $H_M=35$ м.в.ст.

№ тележки	НО	П1	Т1	П2	Т2	П3	Т3	П4	Т4
Qст, л/с	53,7		53,76		50,14		45,64		39,351
Qп, л/с		0,899		2,69		4,496		6,294	
Дп, мм		40		40-1*		40-2*		40-2*	
hп, м		6,2		5,7		4,9		3,8	
Нтр, м	35		28,8		23,1		18,2		14,4

Продолжение таблицы 2.5

№ тележки	П5	Т5	П6	Т6	П7	Т7	консоль	кда
Qст, л/с		31,227		21,336		9,647		
Qп, л/с	8,124		9,891		11,689		3,89	5,69
Дп, мм	40-5*		40-5*		40-6*		40-2*	
hп, м	2,6		1,4		0,4	0	0	
Нтр, м		11,8		10,4		10	10,0	10,0

Примечание. * – число водовыпусков на трубе; НО – неподвижная опора

Во втором варианте модернизации ДМ «Каскад» расход воды машины увеличивается до 75 л/с. В данной конструкции ДМ кроме основного металлического трубопровода диаметром 159×3 мм используются полиэтиленовые трубопроводы диаметром 110, 90 и 63 мм. Расход воды на стальном трубопроводе принимаем 50 л/с, а на полиэтиленовой трубе 25 л/с. Определяем расход воды на каждом пролете, консоли и концевом аппарате, которые приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расход воды на пролетах для ДМ «Каскад» длиной 434 м с общим расходом воды 75 л/с

Пролет	1	2	3	4	5	6	7	консоль	КДА
Q про- лета, л/с	1,255	3,765	6,275	8,786	11,29	13,80	16,31	5,43	7,92

Параллельно стальному трубопроводу прокладывается основной полиэтиленовый трубопровод, подключенный к неподвижной опоре, и дополнит полиэтиленовые трубы на отдельных пролетах с запиткой из водовыпусков.

Используя формулу Ф.А. Шевелева (2.71) определяем потери напора на отдельных пролетах и определяем значения диаметров полиэтиленовые трубы и напора в трубопроводе и на дождевальных насадках.

Полив из основного полиэтиленового трубопровода через УПД и ДН производился на 2, 5 и 7 пролетах. Общий расход воды на полиэтиленовом трубопроводе равен $Q_{пэ} = 3,765 + 11,29 + 9,939 = 25$ л/с.

Полив из стального трубопровода через УПД и ДН производился на 1, 3, 4, 6 и 7 пролетах, на консоли и концевым аппаратом:

$$Q_c = 1,255 + 6,275 + 8,786 + 13,8 + 6,378 + 5,43 + 7,924 = 50 \text{ л/с} \quad (2.72)$$

Расчет потерь напора на стальной трубе на первом пролете. Расход воды на трубе уменьшается с 50 до 48,74 л/с. Средний расход воды на первом

пролете равен – 49,375 л/с. Скорость воды в трубе диаметром 159×3 мм равна 2,686 м/с. Потери напора на участке длиной 59,5 м равны 5,27 м.

Расчет потерь напора на полиэтиленовой трубе. На первом пролете расход воды на трубе постоянный и равен 25 л/с. Скорость воды в трубе диаметром 110×3 мм равна 3,085 м/с. Потери напора на участке длиной 59,5 м равны 4,71 м.

Результаты расчетов на остальных пролетах приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Характеристики ДМ «Каскад» L=434 м, Q_м=75 л/с Н_м=35 м.в.ст.

№г	НО	П1	Т1	П2	Т2	П3	Т3	П4	Т4
Q _{ст}	50		48,74		48,74		42,47		33,674
Q _п		1.25		-		6,27		8,796	
D _п		40-1*		-		40-3*		40-5*	
h		5,27		5,143		4,50		3,13	
H	35		29,73		24,587		20,087		16,957
Q _{пэ}	25		25		21,24		21,23	-	21,23
Q _п		-		3.76		-			
D _п		110		110		110		110	
h		4.71		4,32		3,72		3,72	
H	35		30,29		25,97		22,25		18,53

Продолжение таблицы 2.7

№г	П5	Т5	П6	Т6	П7	Т7	консоль	кда
Q _{ст}		33,674		19,867		13,48		
Q _п	-		13,80		6,378		5,43	7,924
D _п			40-5*		63-3*		63-2*	
h	2,45		1,55		0,6			
H		14,507		12,957		12,35	12,1	12,1
Q _{пэ}		9,939	-	9,939		0		
Q _п	11,296				9,939			
D _п	90		90		90-63			
h	5,64		2,54		0			
H		12,89		10,35				

Примечание. * – число водовыпусков на трубе

Дождевальная машина «Каскад» при модернизации по второму варианту с трубами размеров 110, 90 и 63 мм обеспечивает не только подачу воды 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 м³ воды снижается с 450 до 343 кВт (в 1,31 раз).

В третьем варианте расход воды машины увеличивается до 90 л/с. Расход воды на стальном трубопроводе принимаем 53 л/с, а на полиэтиленовые трубы 37 л/с. Определяем расход воды на каждом пролете, консоли и концевом аппарате приведен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Расход воды на пролетах для ДМ «Каскад» длиной 434 м с общим расходом воды 90 л/с

Пролет	1	2	3	4	5	6	7	консоль	КДА
Q пролета, л/с	1,505	4,518	7,53	10,54	13,55	16,56	19,58	6,51	9,5

Полив из основного полиэтиленового трубопровода через УПД и ДН производится на 2, 5 и 7 пролетах.

$$Q_{пз} = 3,765 + 11,29 + 9,939 = 25 \text{ л/с} \quad (2.73)$$

Полив из стального трубопровода через дополнительные полиэтиленовые трубы и УПД с дождевальными насадками производится на 1,3, 4, 6 и 7 пролетах, на консоли и концевым аппаратом. Общий расход воды, проходящий через стальной трубопровод и дополнительные полиэтиленовые трубы равен:

$$Q_{ст} = 1,5 + 7,53 + 10,54 + 9,56 + 7,645 + 6,517 + 9,508 = 53 \text{ л/с}. \quad (2.74)$$

Расчет потерь напора на стальной трубе на первом пролете. Расход воды на трубе уменьшается с 53 до 51,5 л/с. Средний расход воды на первом пролете равен – 52,25 л/с. Скорость воды в трубе диаметром 159х3 мм равна 2,843 м/с. Потери напора на участке длиной 59,5 м равны 5,9 м.

Расчет потерь напора на полиэтиленовой трубе. На первом пролете расход воды на трубе постоянный и равен 37 л/с. Скорость воды в трубе диаметром 125×4,8 мм равна 3,532 м/с. Потери напора на участке длиной 59,5 м равны 5,41 м.

Результаты расчетов на остальных пролетах сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Характеристики ДМ «Каскад» L=434 м, Q_м=90 л/с Н_м=35 м.в.ст.

№г	НО	П1	Т1	П2	Т2	П3	Т3	П4	Т4
Q _{ст}	53		51,5		51,5		43,97		33,427
Q _п		1.506		-		7,53		10,54	
D _п		40-1*		-		40-3*		40-5*	
h		5,9		5,74		4,93		3,24	
H	35		29,1		23,36		18,43		15,19
Q _{пэ}	37		37		32,49		32,49	-	32,49
Q _п		-		4,51		-			
D _п		125		125		125		125	
h		5,41		4,69		4,01		4,01	
H	35		29,59		24,9		20,89		16,88

Продолжение таблицы 2.9

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				

Примечание. * – число водовыпусков на трубе

Дождевальная машина «Каскад» при модернизации по третьему варианту с использованием полиэтиленовые трубы 125, 110, 90 и 63 мм обеспечивает не только подачу удобрений и воды через полиэтиленовые трубы, но и увеличивает расхода 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 м³ воды снижается с 450 до 343 кВт (в 1,31 раз).

2.7 Обоснование конструктивных и технологических параметров концевого дождевального аппарата для увеличения площади полива машины

Для повышения площади полива на конце дождевальной машины устанавливаются концевые аппараты. При расчете конструктивных и технологических параметров концевого аппарата необходимо исходить из выполнения ряда условий:

- норма полива под пролетами машины и под концевым аппаратом должны быть одинаковые.
- требуемые значения радиуса полива должны быть получены при минимальных энергетических и материальных затратах.
- качественные показатели и равномерность полива должны соответствовать агротехническим требованиям.

Гидравлические расчеты водопроводящего трубопровода ДМ «Каскад» различной модификации и концевого дождевального аппарата приведены в таблице 2.10. Для представленных модификаций машин расход воды концевого дождевального аппарата с радиусом полива 25 м изменяется от 3,39 до 6,48 л/с.

Чтобы обеспечить радиус полива концевым дождевальным аппаратом порядка 25–28 м необходимо, согласно исследованиям Б.М. Лебедева (1977), В.М. Марквартде (1966) и др., а также фирм Kommet, Rain Bird и др. чтобы диаметр сопла аппарата находился в пределах 11–12 мм, а при давлении 0,3–0,35 МПа расход воды должен составлять 2,5–2,8 л/с.

Так как в конце трубопровода давление составляет обычно 0,1–0,05 МПа, то для повышения давления перед струйным концевым дождевальным аппаратом на последней тележке необходимо смонтировать подкачивающий консольный насос К 50-32-160а (К50-32-125), который обеспечивает расход воды 2,6–2,8 л/с (9,36–10,08 м³/ч) при давлении 0,25 МПа (таблица 2.10, рисунок 2.38, 2.39). Если в конце трубопровода давление будет $P_{тр}=0,1$ МПа,

то перед концевым дождевальным аппаратом давление увеличится и составит:

$$P_{\text{кда}} = P_{\text{н}} + P_{\text{тр}} = 0,25 + 0,1 = 0,35 \text{ МПа.} \quad (2.75)$$

Таблица 2.10 – Технические характеристики ДМ «Каскад» и концевого дождевального аппарата (КДА) в зависимости от ее модификации

Число опор машины, шт.	4	7	7	7	8	
Длина машины, м	256	434	452	475	520	
Расход воды, л/с	20	53,7	57,9	63,6	64,0	
Расход воды на пролете, л/с	1	0,895	0,899	1,077	1,115	0,836
	2	2,687	2,697	3,232	3,346	2,509
	3	4,478	4,496	4,847	5,577	4,182
	4	6,269	6,294	6,653	7,807	5,855
	5		8,093	8,458	10,038	7,528
	6		9,891	10,26	12,269	9,202
	7		11,689	12,069	14,500	10,875
	8					12,548
Расход воды на консоли, л/с	2,249	3,890	5,379	5,917	5,056	
Расход воды КДА, л/с	3,396	5,67	5,916	6,487	5,509	
Расход воды струйного аппарата диаметром сопла 11,1 мм при давлении 0,35 МПа	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	
Радиус полива машины при радиусе захвата КДА 25 м, м	281	459	477	500	545	
Площадь полива машины, га	24,7	66,3	71,5	78,5	93,2	
Расход воды дополнительных насадок, подающих воду в зону полива с КДА, л/с	0,79	3,07	3,316	3,88	2,9	
Диаметр сопла насадки с плоским отражателем при давлении 0,1 МПа	9,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Диаметр дополнительного струйного сопла при давлении 0,1 МПа	нет	10,3	9,5 и 6,3	10,3 и 8,3	9,5	
Радиус захвата дождем дополнительных насадок, м	10	14	9-11	10...14	11,0	
Дополнительная площадь полива с КДА, га	2,5	4,4	4,5	4,7	5,0	

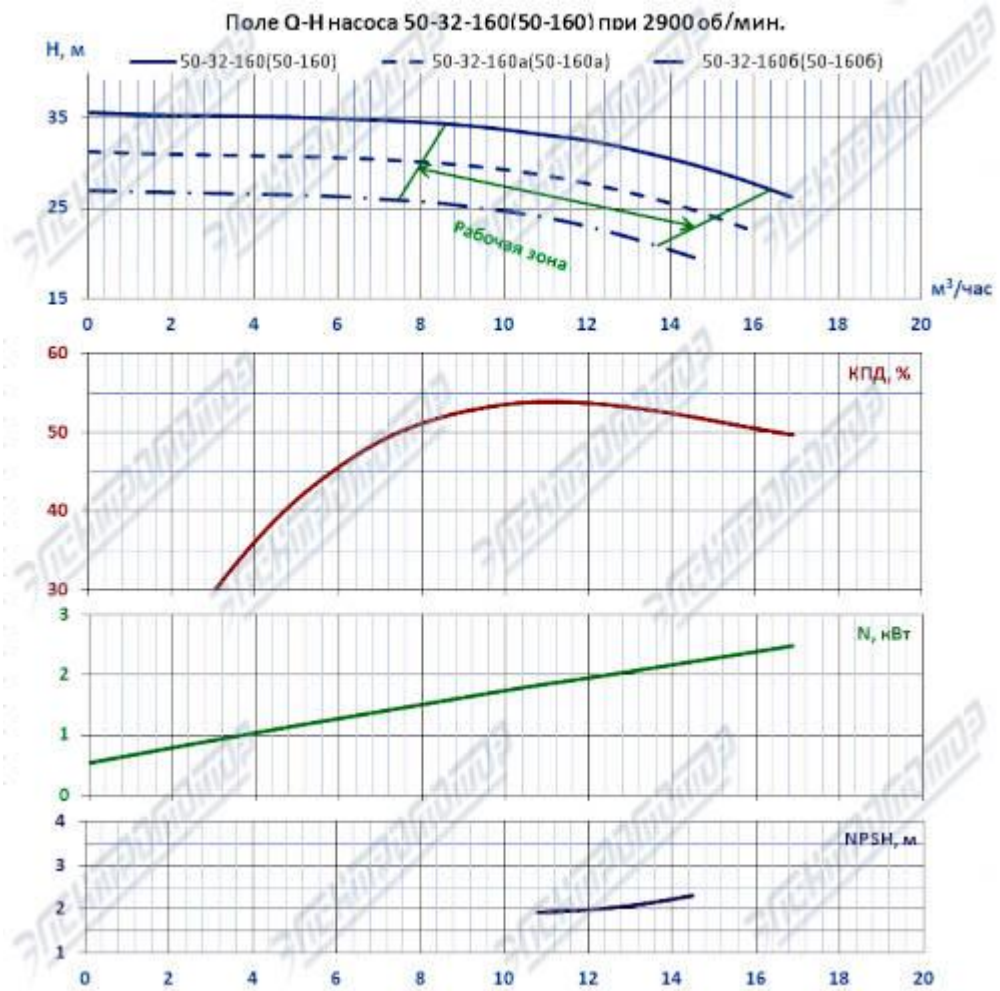


Рисунок 2.38 – Расходно-напорные характеристики насосов К50-32-160



Рисунок 2.39 – Насосный агрегат с насосом К50-32-160

В качестве основного концевой дождевального аппарата можно использовать секторные аппараты отечественного производства «Фрегат»-4 марки ДМ-07.140 или аппарат «Роса»-2, (рисунок 2.40), или аппараты иностранного производства Kommet, Rain Bird (рисунок 2.41) и др., которые

монтируются на концевом фланце полиэтиленовом трубопроводе диаметром 63 мм.

Чтобы обеспечить требуемый расход воды в зоне полива концевой дождевальной аппарата мы предлагаем использовать дополнительные дождевальную насадку с плоским отражателем (например, для 4-х опорной ДМ можно использовать насадки с диаметром сопла 9,0 мм) или набор из насадку с плоским отражателем и струйные насадки (для 7-и опорной ДМ насадка с плоским отражателем диаметром 14 мм и расходом воды – 1,93 л/с и две струйные насадки диаметром 10,3 мм и 8,3 мм которые при давлении 0,1 МПа обеспечат расход воды – 1,94 л/с). Дополнительные насадки должны подавать оросительную воду в сектор полива концевой дождевальной аппарата.



Рисунок 2.40 – Дождевальный аппарат секторного полива «Фрегат»-4 и «Роса»-2



Рисунок 2.41 – Дождевальные аппараты секторного полива Kommet R25S и Rain Bird

Дополнительные насадки с плоским отражателем и струйные насадки также монтируются на фланце в конце другого полиэтиленового трубопровода диаметром 63 мм. Схема монтажа основного секторного концевой аппарата и дополнительных концевых насадок с плоским отражателем и струйными насадками показана на рисунке 2.42.



Рисунок 2.42 – Дождевальная насадка секторного полива с плоским отражателем

Таким образом применение на ДМ «Каскад» секторного концевой аппарата с радиусом захвата дождем 25–28 м позволит дополнительно полить от 2,5 до 5,0 га и более в зависимости от длины и модификации машины. Это позволит ежегодно получать продукции на сумму до 100–200 тыс. рублей. Нами предложено использование основного секторного концевой дождевального аппарата с одним соплом работающем при давлении 0,3–0,35 МПа и дополнительные концевые насадок с плоским отражателем и струйными насадками, которые подают воду в зону полива основного секторного аппарата. Это позволит обеспечить радиус полива 25–28 м при небольшой мощности дополнительного подкачивающего насоса ($N_{\text{нас}} = 1,1–1,7$ кВт), мощность электродвигателя 2,2 кВт. При использовании традиционного концевой аппарата с расходом 4–6 л/с необходим насос марки К65-50-160 с электродвигателем мощностью 5,5 кВт (больше в 2,5 раза).

Одним из способов повышения площади полива ДМ «Каскад» (2 вариант) является использование напора на гидранте перед машиной, если

она смонтирована в начале оросительной сети, не далеко от насосной станции. В этом случае на гидранте может быть давление порядка 0,7–0,72 МПа (ООО «Листеко»), 0,75–0,8 МПа (орошаемый участок от НС № 3 в ООО «Время–91») или даже 0,8–0,9 МПа (насосная станция №4 Энгельсской ОС в ООО «Наше дело»). При монтаже перед дождевальными насадками регуляторов давления расход воды машины на основном трубопроводе не будет изменяться, а напор перед концевым аппаратом будет увеличиваться по следующей зависимости:

$$H_{\text{кда}} = H_{\text{вх}} - h_{\text{п}}, \quad (2.76)$$

где $H_{\text{вх}}$ – напор на входе в машину, м.в.ст; $h_{\text{п}}$ – потери напора по дине трубопровода, м.в.ст.

У низконапорных машин «Каскад» напор на входе равен 23–45 м.в.ст., а напор в конце трубопровода 10 м.с.ст., то при увеличении напора на входе машины до 70–86 м.в.ст. напор в конце машины увеличиться до 24–50 м.в.ст. и более в зависимости от длины машины. Это позволит использовать концевые аппараты, которые обеспечат радиус полива 22–45 м и более.

Гидравлические расчеты, проведенные для двух ДМ «Каскад» длиной 520 м, в ООО «Время-91», где расход воды машины при напоре на входе $H_{\text{вх}} = 48$ м.в.ст. равен 64 л/с. На насосной станции №3 Энгельской ОС насос 200Д90 при таком расходе воды создает напор 100 м. Потери напора по длине полиэтиленового трубопровода диаметром 280×16,6 мм длиной к ДМ «Каскад» № 1 и 2 соответственно 2360 м и 3470 м составляют 16,5 и 24,3 м.в.ст. С учетом геоэзического перепада высот $h_{\text{г}} = +5$ м, напор на входе в машину №1 при частично открытой задвижке на гидранте будет равен 48 м.в.ст, а при полном открытии задвижки – $H_{\text{кда}} = H_{\text{вх}} - h_{\text{п}} + h_{\text{г}} = 100 - 16,5 + 5 = 88,5$ м.в.ст. Напор перед концевым дождевальным аппаратом будет равен 50 м.в.ст. Напор на входе в машину №2 при частично открытой задвижке на гидранте будет равен 48 м.в.ст., а при полном открытии задвижки – $H_{\text{кда}} = H_{\text{вх}} - h_{\text{п}} + h_{\text{г}} = 100 - 24,3 + 5 = 80,7$ м.в.ст. Напор перед концевым дождевальным аппаратом будет равен 42,7 м.в.ст. При использовании в качестве концевого

дождевального аппарата на ДМ № 1 односопловый аппарат ДМ-07.150 с диаметром сопла 17,7 мм при напоре 50 м радиус полива составит 40,6 м, а расход воды 7,94 л/с (таблица 2.11). При использовании в качестве концевого дождевального аппарата на ДМ № 2 односопловый аппарат ДМ-07.150 с диаметром сопла 17,7 мм при напоре 42,7 м радиус полива составит 38 м, а расход воды 6,94 л/с. Такие характеристики на машине могут быть получены также, если использовать регулировочные дюзы и произвести расчет диаметра сопла и дюз на требуемый расход воды при более высоком напоре на входе в машину.

Гидравлические расчеты, проведенные на орошаемом участке в ООО «Наше дело» где смонтированы десять ДМ «Каскад» длиной 452 м, а расход машины при напоре на входе $H_{вх} = 39$ м.в.ст. равен 64 л/с. На насосной станции №4 Энгельской ОС насос Д1250-125 поддерживается рабочий напор 100 м. Потери по длине стального трубопровода 10 и 15 м.в.ст., и на входе в машину №18 и 21 напор составит – 90 и 85 м.в.ст. Напор перед концевым дождевальным аппаратом будет равен 55 и 60 м.в.ст. При использовании в качестве концевого дождевального аппарата на ДМ № 18 односопловый аппарат ДМ-07.150 с диаметром сопла 20,3 мм при напоре 60 м радиус полива составит 47,2 м, а расход воды 10,9 л/с (таблица 2.11). При использовании в качестве концевого дождевального аппарата на ДМ № 21 односопловый аппарат ДМ-07.150 с диаметром сопла 20,3 мм при напоре 55 м радиус полива составит 45 м, а расход воды 10,4 л/с (Горюнов Д.Г., Загоруйко М.Г. и др., 2023).

Гидравлические расчеты, проведенные на орошаемом участке в ООО «Листеко», где на ДМ «Каскад» №1 длиной 475 м, расход машины при напоре на входе $H_{вх} = 46$ м.в.ст. равен 64 л/с. На насосной станции №10 Энгельской ОС насос 300Д70 поддерживается рабочий напор 72 м. Потери по длине полиэтиленового трубопровода 2 м.в.ст., и на входе в машину №1 напор равен – 70 м.в.ст. Давление в начале при частично открытой задвижке будет равен 10 м.в.ст. и 34 м.в.ст. при полном открытии задвижки. При

использование в качестве концевой дождевальной аппарата на ДМ № 1 односоплового аппарата ДМ-07.150 с диаметром сопла 17,7 мм при напоре 34 м.в.ст радиус полива составит 35 м, а расход воды 6,3 л/с (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Характеристики полива концевой аппарата ДМ «Каскад»

Хозяйство, № НС	№ ДМ	Насос	H_{nc}	$h_{п}$	$h_{г}$	L, м	$H_{вх}$, м	$H_{кда}$, м	R, м	q, л/с
ООО «Время91» 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
	2		100	24,3	5	520	48*	10	13	
	2		100	24,3	5	520	80,7	42,7	38	6,9
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
	21		100	15	0	452	39*	10	13	
	21		100	15	0	452	85	55	45	10
ООО «Листеко»	1	300Д70	72	2	0	475	46*	10	13	
	1		72	2	0	475	70	34	35	6,3

Примечание. * – напор на входе машины снижен при неполном открытии задвижки на гидранте машины.

Таким образом обосновано использование подкачивающего насоса небольшой мощности 1,1 кВт для подачи воды в концевой дождевальный аппарата (Фрегат-4, Роса-2) с диаметром сопла 11–12 мм при давлении 0,35 МПа, обеспечивающего радиус захвата дождем 25–28 м. В зону полива секторного концевой аппарата, кроме основного односоплового аппарата с диаметром сопла 11–12 мм при давлении 0,35 МПа, обеспечивают подачу воды насадки секторного полива с плоским отражателем и дополнительные струйные насадки или аппараты с отражательной пластикой, работающие при давлении 0,1 МПа.

Будет обоснован излишек напора (70–85 м.в.ст) в закрытой сети на машинах расположенных в начале оросительной сети, недалеко от насосной станции для повышения напора перед концевым аппаратом до 34–60 м.в.ст.. При этом радиус полива концевой аппарата может достигать 35–47 м, а дополнительная площадь полива увеличивается до 6,5 га. При этом перед дождевальными насадками должны быть установлены регуляторы давления

или использовать регулировочные дюзы и произвести расчет диаметра сопла и дюз на требуемый расход воды при более высоком напоре на входе в машину

2.8 Обоснование роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке

В последнее десятилетие в сельском хозяйстве произошел ряд технологических преобразований, которые стали более индустриализированными и технологичными. Интеллектуальные технологии, применяемые в цифровом сельском хозяйстве, включают дистанционное зондирование, Интернет вещей (IoT), облачные вычисления и анализ больших данных (Big Data) (Блохина С.Ю., 2020; Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2019; Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2020; Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. и др., 2019).

Дистанционное зондирование с помощью спутников, самолетов и беспилотных воздушных судов (БВС) является необходимым инструментом по сбору данных о биообъектах в цифровом сельском хозяйстве (рисунок 2.43). Данные дистанционного зондирования позволяют получать актуальную информацию тогда, когда она необходима покрывая большие территории, так же включающие зоны, недоступные для исследования человеком. (Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2019; Соловьев Д.А., Камышова Г.Н. и др., 2020; Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. и др., 2019; Загоруйко М.Г., Бельшкіна М.Е. и др., 2021).

Интернет вещей обеспечивает агропроизводителей актуальной информацией о динамических сельскохозяйственных процессах, таких как прогнозы погоды, влажность почвы, состояние растений, посадка, сбор урожая, качество почвы (рисунок 2.44), в то время как облачные вычисления используются для сбора, хранения, предварительной обработки и

моделирования огромных объемов данных, поступающих из различных источников.



Рисунок 2.43 – Умное сельское хозяйство

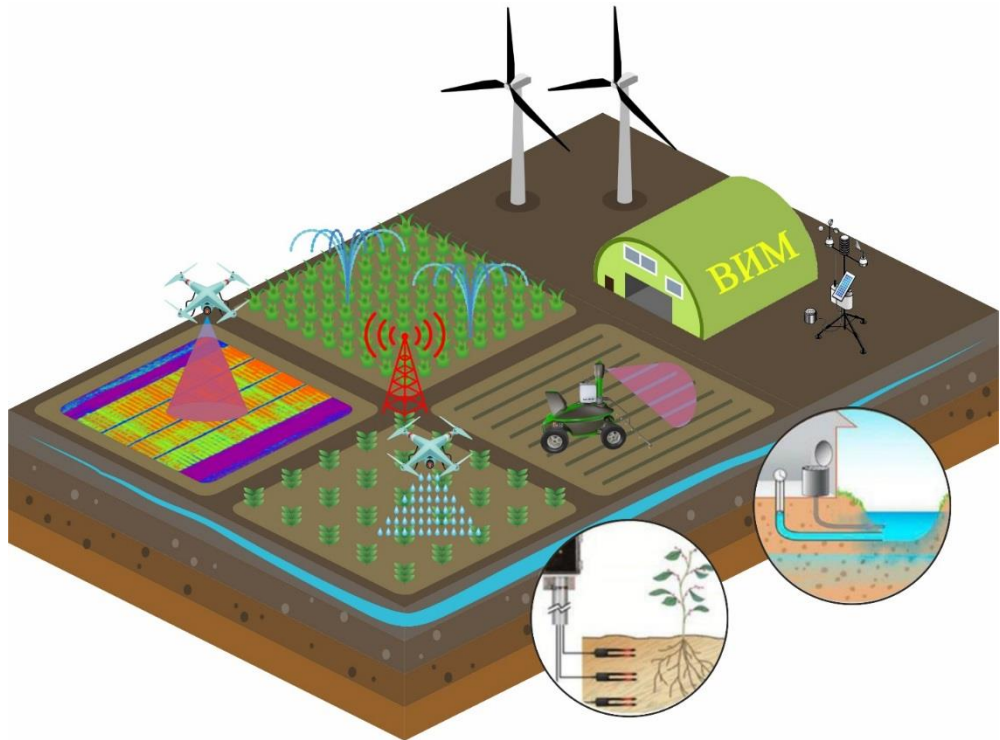


Рисунок 2.44 – IoT в сельском хозяйстве

Технологии обработки больших данных и облачные вычисления используются для высокоточного прогнозирования, основываясь на статистике из огромного массива данных, хранящихся в облаке. (Waga D, Rabah K., 2014; Kamilaris A., Gao F. et al., 2016).

Технологии дистанционного зондирования, интернет вещей, облачных вычислений и обработки больших данных поднимают на новый уровень цифровые сервисы и услуги, тем самым значительно повышается продуктивность технологических процессов и сокращаются риски потерь продукции (Балакай Г.Т., Васильев С.М. и др., 2017; Ольгаренко Г.В., 2017; Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., 2019).

Большой массив данных, собранных с помощью дистанционного зондирования и IoT, включает в себя изображения. Изображения предоставляют полную картину сельскохозяйственных биообъектов, а анализ этих изображений решает множество проблем (Liaghat S., Balasundram S.K., 2010; Ozdogan M., Rodell M. et al., 2010).

Следовательно, распознавание огромного массива изображений является важной областью исследований в сельском хозяйстве, а в последние годы сверточные нейронные сети глубокого обучения успешно применяются для обработки изображений высокого разрешения (Антонова Н.А., Домашенко Ю.Е. и др., 2017; Васильев С.М., 2017).

С помощью средств воздушного мониторинга на базе различных типов БВС собираются огромные массивы мультиспектральных и RGB данных. На основе этих данных агропроизводители способны формировать цифровые карты, оценивать состояние сельскохозяйственных культур, выполнять контроль технологических операций, вносить средства защиты растений и в конечном итоге строить прогнозирование урожайности. Это дает возможность более эффективно принимать решения на всех этапах технологических процессов сельскохозяйственного производства. При увеличении количества получаемых данных, увеличивается время, затрачиваемое на анализ цифровых карт. В то время как сверточные

нейронные сети глубокого обучения могут за считанные секунды обработать и проанализировать массив данных (Загоруйко М.Г., Бельшкіна М.Е., 2021; Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г. и др., 2023).

При работе с массивом данных с БВС наиболее популярными направлениями развития и разработки CNN являются обнаружение болезней растений, классификация растительного покрова, распознавание растений, подсчет плодов и идентификация сорняков.

С технической точки зрения используются популярные архитектуры CNN, такие как LeNet, AlexNet, NIN, ENet, ZFNet, GoogleLeNet, Inception, ResNet, CaffeNet, DenseNet and VGG 16.

Для обнаружения плодов (миндаль, яблоки, манго, сладкий перец, дыня) использовалась архитектура VGGNet. Также данная архитектура использовалась для идентификации морд свиней и классификации сорной растительности среди 22 видов сельскохозяйственных культур.

AlexNet используется для распознавания различных видов растений и выявления препятствий при выращивании пропашных культур и скашивании травы. AlexNet в комбинации с GoogLeNet способствовала определению различных видов сельскохозяйственных культур и болезней.

Архитектуры CaffeNet и LeNet использовались для обнаружения заболеваний листьев растений. DenseNet для определения чертополоха на изображениях озимой пшеницы и ярового ячменя. GoogLeNet для обнаружения и классификации критичности фузариозного увядания редиса. Deep ResNet для автоматической диагностики болезней растений при ранних симптомах заболевания.

Комбинированные архитектуры GoogLeNet + ResNet и Inception + ResNet использовались для подсчета количества плодов, например, томатов. Комбинация AlexNet и GoogLeNet для выявления инвазивных растений.

К основным недостаткам разработки CNN относится длительный процесс обучения и сложности при подготовке датасетов. Процесс обучения CNN иногда может занимать много времени. Однако после обучения их

эффективность по времени тестирования намного быстрее, чем при использовании других методов распознавания изображений. Для обучения CNN требуются тщательно подготовленные датасеты, состоящие из изображений надлежащего качества и имеющие необходимую разметку, например, выделены области произрастания сорной растительности. Количество таких изображений исчисляется тысячами.

При этом использование CNN в сельском хозяйстве также имеет ряд преимуществ такие как, время, затрачиваемое на анализ массива данных, высокая точность анализа. При использовании микропроцессоров на борту БВС возможно получать проанализированные данные в режиме реального времени.

В орошаемом земледелии преобладает групповая эксплуатация дождевальных машин (от 10 до 40 ед.), которые работают от стационарной насосной станции и закрытой оросительной сети. Важно разработать оросительный комплекс, который оптимизировал их работу при возделывании сельскохозяйственных культур (Ольгаренко Г.В., Турапин С.С., 2016). Роботизированный оросительный комплекс предназначен для эффективного использования дождевальных машин и насосных станции на орошаемом участке с целью получения высоких урожаев при обеспечении агроэкологических требований на полив, сохранения плодородия почв, а также для рационального использования водных, земельных, энергетических и трудовых ресурсов.

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 2.45. 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 дождевальными машинами, насосной станции и диспетчеру машинно-тракторной бригады.

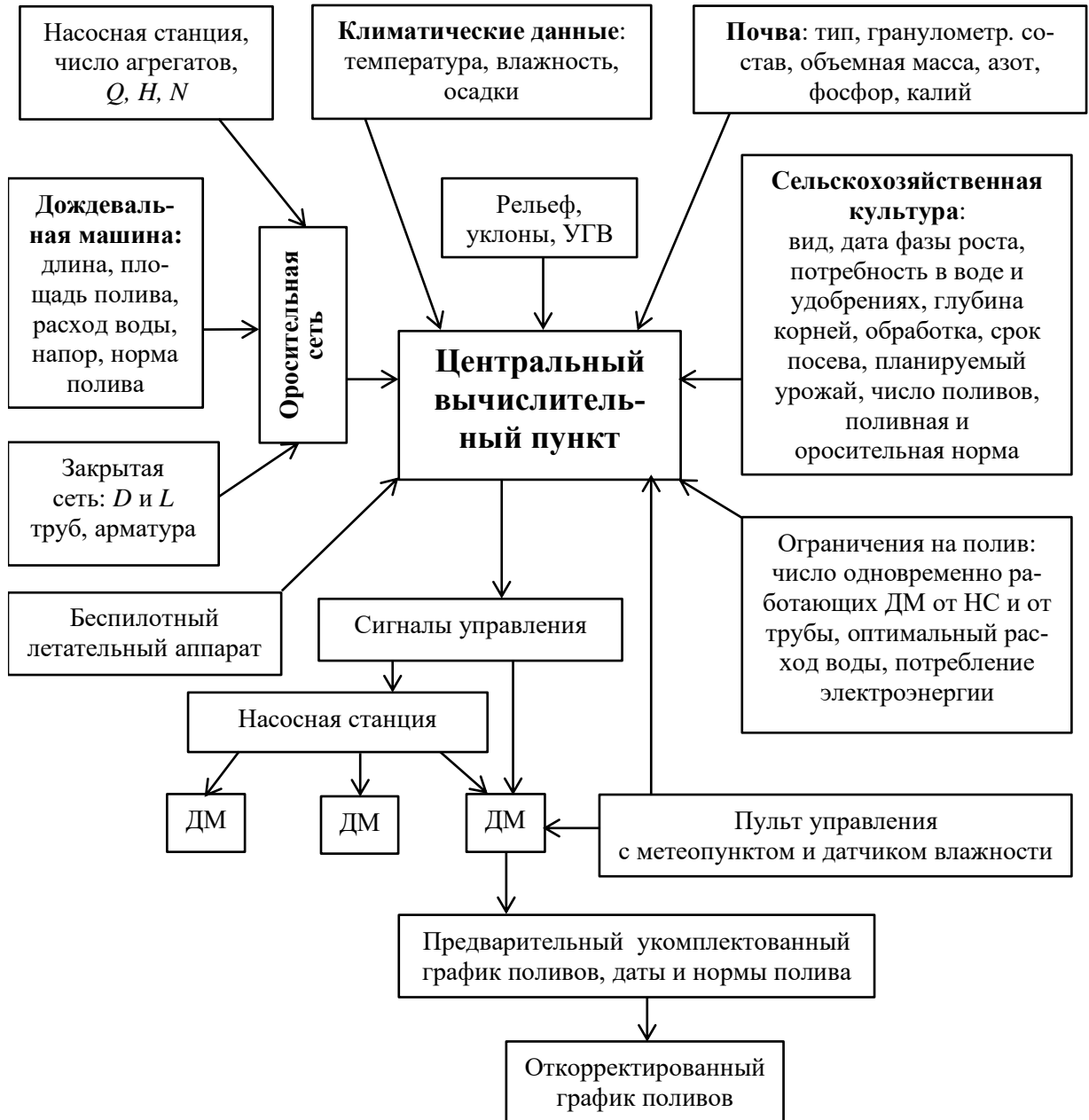


Рисунок 2.45 – Схема роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке

Центральный вычислительный пункт имеет ряд приложений и баз данных:

1. База данных орошаемого участка включает данные и схему орошаемого массива с расположением на нем дождевальных машин,

насосной станции и закрытой оросительной сети с указанием диаметров и длин наружных и подземных труб, запорной и регулирующей арматуры. Данные по насосной станции включает число насосных агрегатов, расход воды и напор, марка и мощность электродвигателя, удельный расход электроэнергии на подачу 1000 м³ воды, оптимальное число одновременно работающих ДМ. На насосной устанавливается датчик давления в коллекторе насосной и датчик уровня воды в канале.

Данные по каждой дождевальнoй машине включают – длину и площадь полива, расход воды и напор на входе в машине, таблица норма полива, скорость движения последней тележки и время полива участка орошения, а также данные сим –карты для связи с пультом управления машины.

2. База данных по сельскохозяйственным культурам выращиваемым на орошаемых участках под каждой ДМ включающая – вид культуры, сроки посева, усредненные данные по фазам роста и требования к влажности почвы в каждый период ее развития, плановая урожайность и потребность в удобрениях, вид и способ внесения сухих и жидких удобрений, глубина корневой системы, общая кратность полива за сезон, поливные нормы и оросительная норма за период вегетации.

3. База данных климатических параметров орошаемого участка - температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость ветра и слой осадков подекадно в течение вегетационного периода, средняя дата начала вегетации.

4. База данных почв орошаемого участка включает – тип и механический состав, объемная масса, средние содержание азота, фосфора, калия и гумуса в почве, влажность и влагоемкость почвы, засоление почвы и др. Фактические данные анализа почв заносятся после периодического отбора проб и химанализа.

5. База данных рельефа орошаемого участка включают- высотные значения гидрантов и крайней тележки машин, величины уклонов по секторам поля, величина уровня грунтовых вод и др.

6. База данных по организации поливов и уходу на орошаемом участке включает расчет укомплектованного графика поливов на орошаемом участке, где указывается число поливов, норма поливов, дата и время каждого полива. Определяется оптимальное число одновременно работающих машин.

7. Дождевальные машины должны комплектоваться блоками управления, включающими пульта ручного и автоматического управления (открыть и закрыть задвижку, пуск и остановка машины, установка скорости движения и нормы полива, пуск и отключение концевого аппарата), датчики контроля давления на входе и в конце машины, датчик движения и др. К блоку управления подключен метеопункт, фиксирующий температуру и относительную влажность воздуха, скорость ветра и слой осадков, а также влажность почвы на отдельных секторах поля. Данные состояния машины, климата и почвы передаются на центральный пункт для контроля, анализа и выработки решения управления. Для контроля текущего состояния влажности почвы после выпавших осадков используется беспилотный летательный аппарат (БЛА) с видеокамерами или съемки со спутника, который позволяет также провести обследование состояние растений.

С началом проведения поливов с учетом выпавших осадков или при их отсутствии, и при наступления засушливого периода производится корректировка поливных норм и сроков полива. С наступлением жары, суховея и при отсутствии осадков норма полива увеличивается, а дата начала полива становится более ранней. Наоборот, при похолодании или после обильных осадков норма полива уменьшается, а дата начала полива отодвигается на более поздний срок. Корректировка поливов производится с учетом возможного числа одновременно работающих машин в оптимальном режиме насосной станции, а также пропускной способности отдельных

участков закрытой оросительной сети при минимальных затратах электроэнергии на полив.

Внедрение роботизированного оросительного комплекса на орошаемом участке позволит снизить водные и энергетические затраты на полив, обеспечит поддержание влажности почвы в оптимальных пределах, что обеспечит получение стабильно высоких урожаев не зависимо от объема осадков и климатических условий.

2.9 Выводы по 2-й главе

1. Проведено обоснование малоинтенсивной, водосберегающей и почвоохранной технологии полива многоопорными дождевальными машинами и разработан алгоритм расчета основных конструктивных и технологических параметров дождевальных насадок и агротехнических показателей полива машины. Обоснована конструкция и геометрические размеры усовершенствованных устройств приповерхностного полива (заявка на полезную модель № 2024100838, получено положительное решение), которые обеспечивают легкое регулирование высоты установки дождевальной насадки от 1,5 до 3,2 м, увеличивают ширину расстановки насадок поперек трубопровода до 5–6 м и снижают интенсивность дождя в 1,23–1,65 раза. Дождевальные насадки всегда расположены выше растений и обеспечивают повышение равномерности полива и минимизируют потери воды на испарение и снос ветром.

2. Проведено обоснование конструкции дефлекторной насадки, формирующей мелкокапельный дождь, а также приспособлений к ним для обеспечения секторного и контурного полива в зоне передвижения опорных тележек машины (Положительное решение на заявку № 2024100838).

3. Уточнена теория расчета и параметры пневматических колес дождевальных машин. Обосновано повышение проходимости опорных тележек и уменьшение колееобразования, путем установки на устройство

приповерхностного полива в районе тележек дождевальных насадок секторного и контурного полива (Положительное решение на заявку № 2024100838).

4. Уточнена теория расчета водопроводящего трубопровода с концевым дождевальным аппаратом для многоопорных дождевальных машин. Обоснована конструкция и технология полива концевого аппарата обеспечивающего радиус захвата дождем 25–28 м при снижении мощности электродвигателя на подкачку давления. В зону полива секторного концевого аппарата, кроме основного односоплового аппарата с диаметром сопла 11–12 мм при давлении 0,35 МПа, обеспечивают подачу воды насадки секторного полива с плоским отражателем и дополнительные струйные насадки или аппараты, работающие при давлении 0,1 МПа.

Излишек напора (70–85 м.в.ст) в закрытой сети на машинах расположенных в начале оросительной сети недалеко от насосной станции обоснован, необходимо повышение напора перед концевым аппаратом до 34–60 м.в.ст. При этом радиус полива концевого аппарата может достигать 35–47 м, а дополнительная площадь полива увеличивается до 6,5 га. При этом перед дождевальными насадками должны быть установлены регуляторы давления или использованы регулировочные дюзы, произведен расчет диаметра сопла и дюзов на требуемый расход воды при более высоком напоре на машине.

5. Обоснована конструкция многоопорной дождевальной машины, обеспечивающая внесение агрессивных удобрительных растворов только через дополнительные полиэтиленовые трубопроводы. Разработан алгоритм и методика расчета диаметров и длин полиэтиленовых трубопроводов без увеличения общего расхода воды машины (1 вариант), а также при увеличении расхода воды до 75 л/с и снижении давления на входе машины с 0,43 до 0,35 МПа (2 вариант) и при увеличении расхода воды ДМ «Каскад» до 90 л/с при давлении на входе 0,35 МПа (3 вариант).

6. Обоснована схема и основные блоки роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур (сои и др.) на орошаемом участке (патент РФ № 2022620836) и разработан алгоритм взаимосвязи и выполнения операций сбора данных, расчета, контроля и управления.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

1. Определить и дать оценку качественным показателям и характеристикам агротехнологических значений. Определить среднюю и мгновенную интенсивности дождя, размер капель и их распределение по радиусу и площади полива для

2. Проанализировать работу регулировочной дюзы, в плане влияния на усилия выхода струи секторных дефлекторных насадок и дождевальных аппаратов. Рассчитать значения настроек секторных дефлекторных насадок и пластиковых дождевальных аппаратов разных модификаций.

3. Проанализировать работу дефлекторных насадок. Дать экономическую оценку использования секторных дефлекторных насадок и пластиковых дождевальных аппаратов на ДМ «Фрегат» и «Каскад». Рассмотреть потерю воды на испарение и снос.

4. Охарактеризовать рабочие показатели низконапорных дождевальных машин «Фрегат» и «Каскад». Для последней тележки определить максимальную цикличность гидропривода. Оценить экономическую эффективность внедрения усовершенствованных технических средств и ресурсосберегающих технологий полива с использованием машин «Фрегат» и «Каскад».

5. Провести исследования сравнения качественных показателей дождя стандартного аппарата «Роса» ДМ «Фрегат» и дождевальной насадки с УПО (устройствами приземного орошения) при проведении поливного режима сои досточковыми поливными нормами на темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья.

3.2 Лабораторные исследования

Работа велась согласно РД 70.11.1-89 на стенде (рисунок 3.1), состоящем из электродвигателя и центробежного насоса 1, емкости 2, подающего напорного трубопровода 3. На устройстве, регулирующем высоту дождевания 7, установленном на кронштейне 6, размещали полимерные аппараты (рисунок 3.2), дефлекторные насадки секторного и кругового полива (рисунок 3.2, 3.3). Далее: центробежным насосом 1 подавали воду из бассейна 2 в трубопровод 3 и напорный рукав 10. Манометрами 4 ГОСТ 6521-60 измеряли давление в трубопроводе 3. Расход воды определялся объемным методом (рисунок 3.3). Краном 11 устанавливалось давление на выходе струи, которое замерялось путем ввода в струю трубки Пито на расстоянии 3-5 мм от края насадки (рисунок 3.3). На насадку устанавливали заборный колпак со шлангом и наполняли бак 40л, а также засекали время наполнения Секундомером ГОСТ 1197-70.

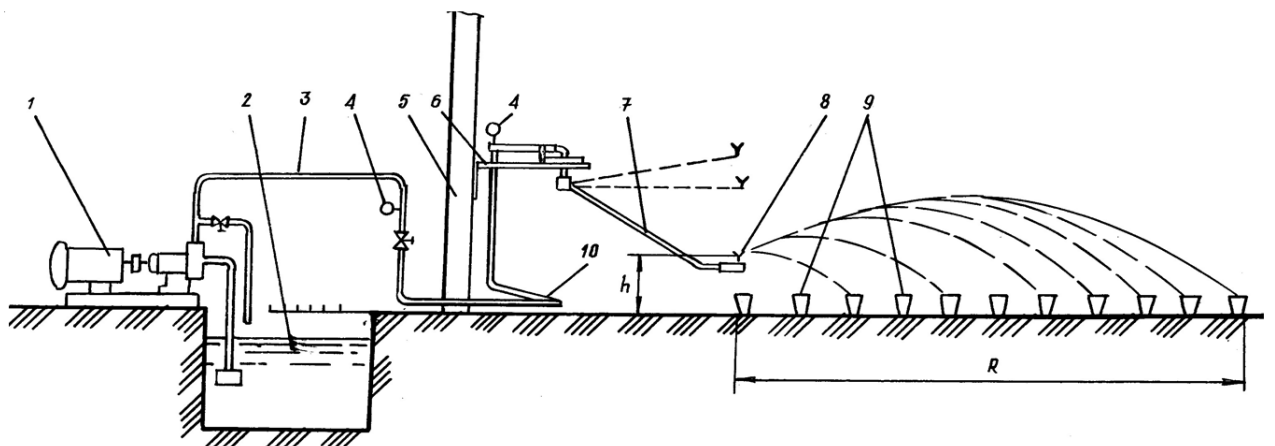


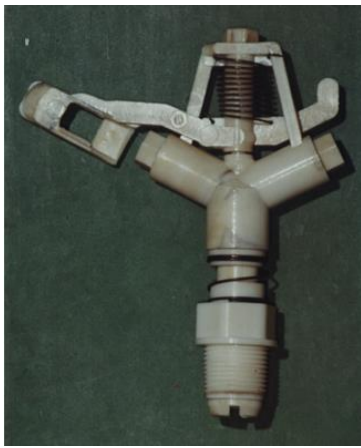
Рисунок 3.1 – Стенд для испытаний оборудования, регулирующего высоту дождевания: 1 – центробежный насос; 2 – емкость для воды; 3 – напорный трубопровод; 4 – манометр образцовый; 5 – стена лаборатории; 6 – кронштейн; 7 – оборудование, регулирующее высоту дождевания; 8 – испытываемый рабочий орган; 9 – дождемеры; 10 – напорный рукав

«Расход воды аппарата и дефлекторной насадки определялся по формуле» (Рыжко Н.Ф., Шушпанов И.А. и др., 2014; Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2015):

$$q = V/t, \quad (3.1)$$

где V – объем воды, л; t – время наполнения бака, с.

Дождевальное устройство или дефлекторная насадка (рисунок 3.1) устанавливались на вертикальной стойке 0,6–2,5 метра от поверхности поля для определения R_{MAX} захвата дождя. Значения ветра при проведении эксперимента были нулевые.



а



б



в



г

Рисунок 3.2 – Дождевальное устройство: а – из полимерного материала; б – с переходником для снижения угла наклона струи; в – с отражательными пластинами; г – секторная дефлекторная насадка

Диаметр сопла дефлекторной насадки был 4–16 мм, давление на выходе струи 0,07–0,58 Мпа.

Давление на выходе струи 0,07–0,58 Мпа, а диаметр сопла дождевального аппарата изменялся 2,4–11,9 мм.



Рисунок 3.3 – Замер расхода воды дефлекторной насадки а) – объемным методом; б) – замер динамического напора на выходе струи из дефлекторной насадки трубкой Пито

Частота вращения аппарата:

$$n = 60/t, \quad (3.2)$$

где t_o - время вращения аппарата, с.

Средняя интенсивность дождя струи или дефлекторной насадки ρ_d :

$$\rho_d = \frac{60 \cdot q}{\Pi_c} = \frac{60 \cdot q}{0,785 \cdot R \cdot B}; \quad (3.3)$$

$$\rho_d = \frac{60 \cdot q}{\Pi_n} = \frac{60 \cdot q}{\pi \cdot R^2}; \quad (3.4)$$

где R – радиус полива струи, м; q – расход воды, л/с; B – макс. ширина захвата струи, м.

Максимальный объем дождя соответствовал максимальной ширине захвата струи B .

Для выявления соответствия между отпечатками капель и их диаметром пользовались обеззоленными бумажными фильтрами, покрытыми чернильным порошком. (рисунок 3.4). (Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2015).

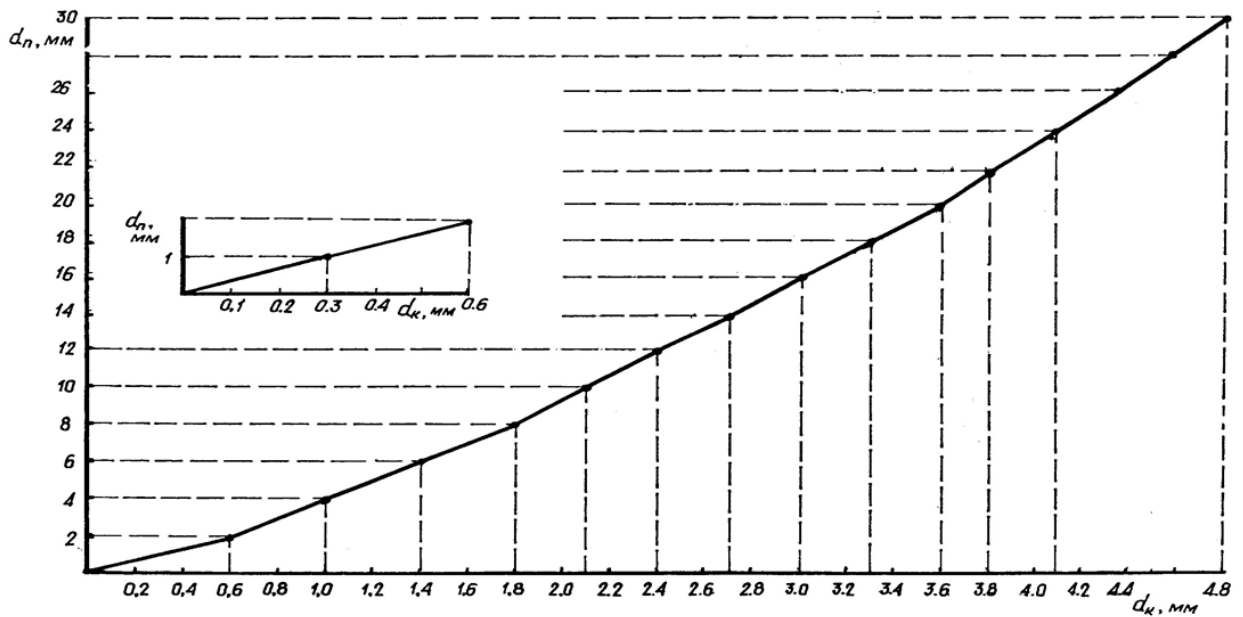


Рисунок. 3.4 – Тарировочная кривая для определения диаметра капли дождя по диаметру пятна на фильтровальной бумаге

Далее определяли распределения интенсивности (слоя) дождя (рисунок 3.5), а также в рядах по углам квадрата с интервалом от 0,5–1 метра (рисунок 3.6).

Нормативная интенсивность дождя в i -ой точке:

$$\rho' = \rho_i / \rho_c, \quad (3.5)$$

где ρ_i – интенсивность дождя в i -ой точке радиуса захвата дождя, мм/мин; ρ_c – средняя интенсивность дождя вдоль радиуса захвата дождя, мм/мин.

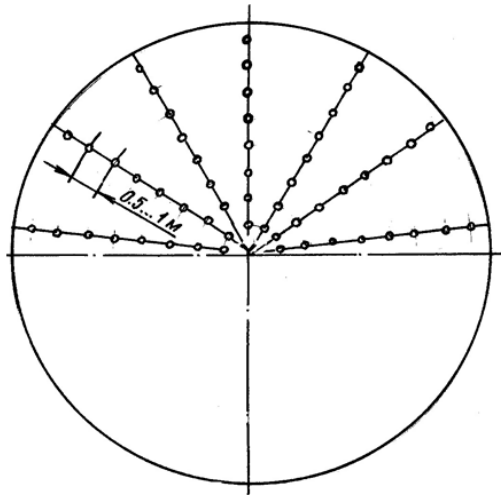


Рисунок 3.5 – Схема расстановки дождемеров по радиусам с центральными углами $5...30^{\circ}$ для определения распределения дождя при поливе

Распределением интенсивности дождя вдоль радиуса действия струи оценивалась равномерность полива дефлекторной насадки или дождевального аппарата. Исследовались параметры:

1. Коэффициент эффективного полива рассчитывался по РД 70.11.1-89 (Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2015).

2. «Коэффициент неравномерности полива» (Никулин С.Н., 1986):

$$K_H = \sum (|\rho_i - \rho_c|) K_i / (\rho_c \sum K_i), \quad (3.6)$$

где ρ_c – ср. значение интенсивности дождя вдоль радиуса полива, мм/мин.; ρ_i – интенсивность дождя в i -ой точке радиуса, мм/мин; K_i – коэффициент площади дождемера.

3. «Коэффициент равномерности по Кристиансену» (Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2015):

$$\sigma = 100 \left(1 - \frac{\sum |h_i - h_c|}{h_c \cdot n} \right), \quad (3.7)$$

где n – число измерений, $|h_i - h_c|$ – абсолютная величина отклонения измерения от среднего слоя осадков, мм; h_c – ср. слой осадков, мм.

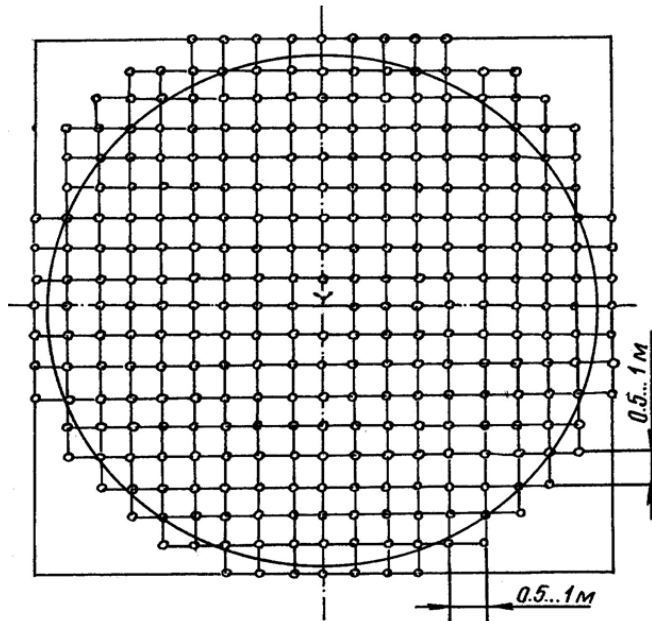


Рисунок 3.6 – Схема расстановки дождемеров по квадратной схеме

Распределение интенсивности дождя вдоль радиуса захвата рассчитывалось по специальной программе на ПК (приложение В).

χ^2 – критерий (ОСТ 70.11.1-74) соответствия теоретических и фактических значений распределения дождя:

$$\chi^2 = \sum (\rho_{\text{ф}} - \rho_{\text{т}})^2 / \rho_{\text{т}}, \quad (3.8)$$

где $\rho_{\text{ф}}$, $\rho_{\text{т}}$ – значение интенсивности дождя (фактическое и теоретическое), мм/мин.

3.3 Полевые исследования

3.3.1 Исследования дождевальных аппаратов и насадок

В АО «Энгельское» Энгельского района, ЗАО «АФ Волга» Марксовского района (рисунок 3.8), а также в ОПХ «ВолжНИИГиМ» (рисунок 3.7) проводились испытания ДМ с серийными пластиковыми аппаратами и дефлекторными насадками, работающими в стандартных и низко напорных режимах.

Агрегат СПС-70/80 и 6НДв и СПС-200/50 осуществляли подачу воды в ОПХ «ВолжНИИГиМ». Характеристика насосно-силового оборудования представлена на рисунке 3.9.

Агротехнические испытания дождевальная машины с использованием стандартных дождевальных аппаратов и разных типов модернизированных дождевателей проводились согласно РД 70.11.1-89.

В зависимости от потребностей производства использовали задвижки А, В и С на напорном коллекторе насосной станции (рисунок 3.7).

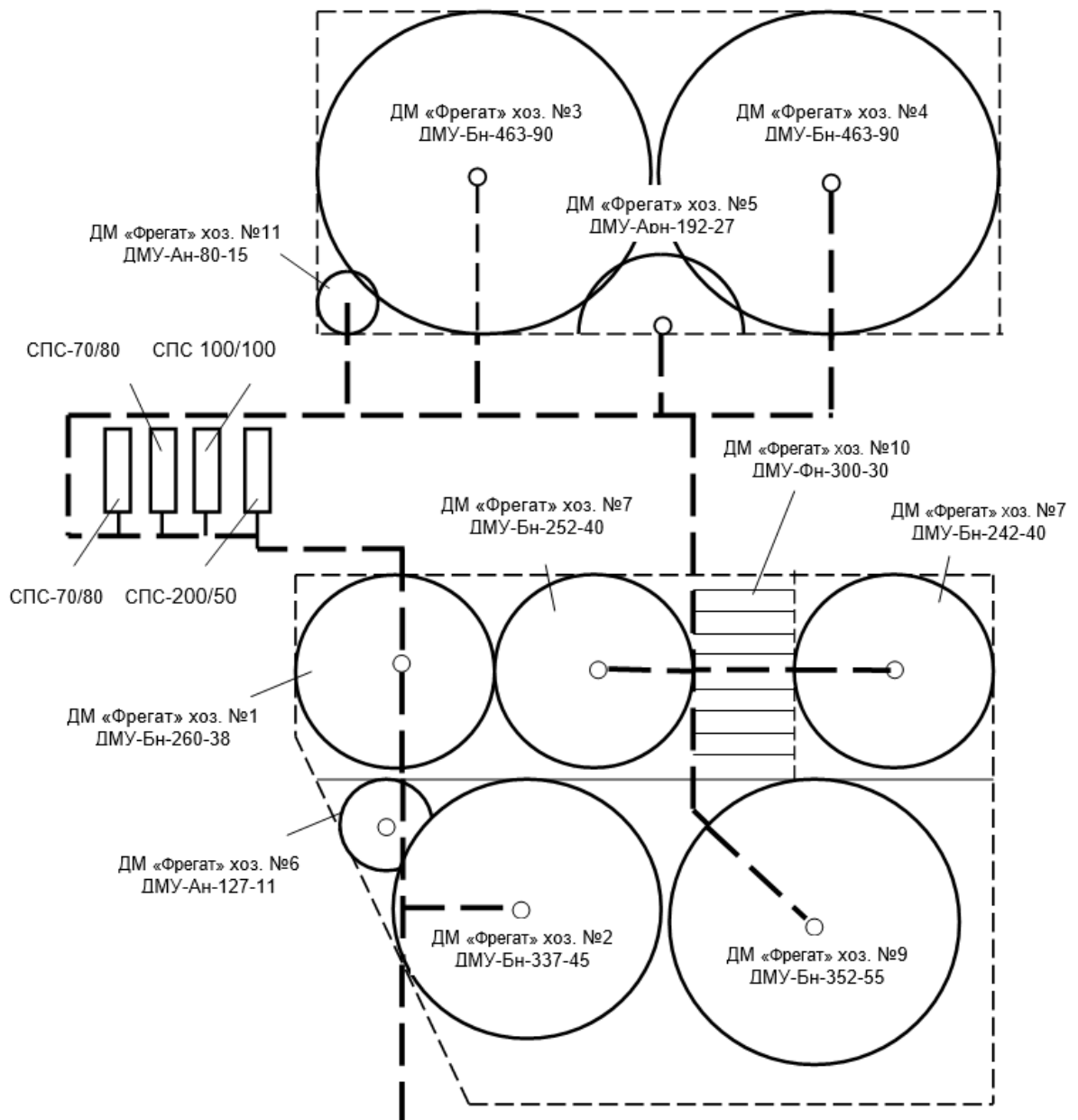


Рисунок 3.7 – Схема орошаемого участка в ОПХ «ВолжНИИГиМ»
Энгельсского района

Определяли потребление воды, выдаваемое машиной:

$$Q_m = Q_a + Q_r + Q_n. \quad (3.9)$$

Определяли норму полива(среднюю):

$$m_c = 10h_c, \quad (3.10)$$

где h_c – ср. слой дождя на участке полива, мм.

Интенсивность дождя вдоль трубопровода машины определялась размещением дождемеров с приемной площадью $25,5 \text{ см}^2$ и объемом 3,3 л. радиально в 2–3 ряда с центральным углом 3° и интервалами от 1 до 5 метров (рисунки 3.10–3.14).

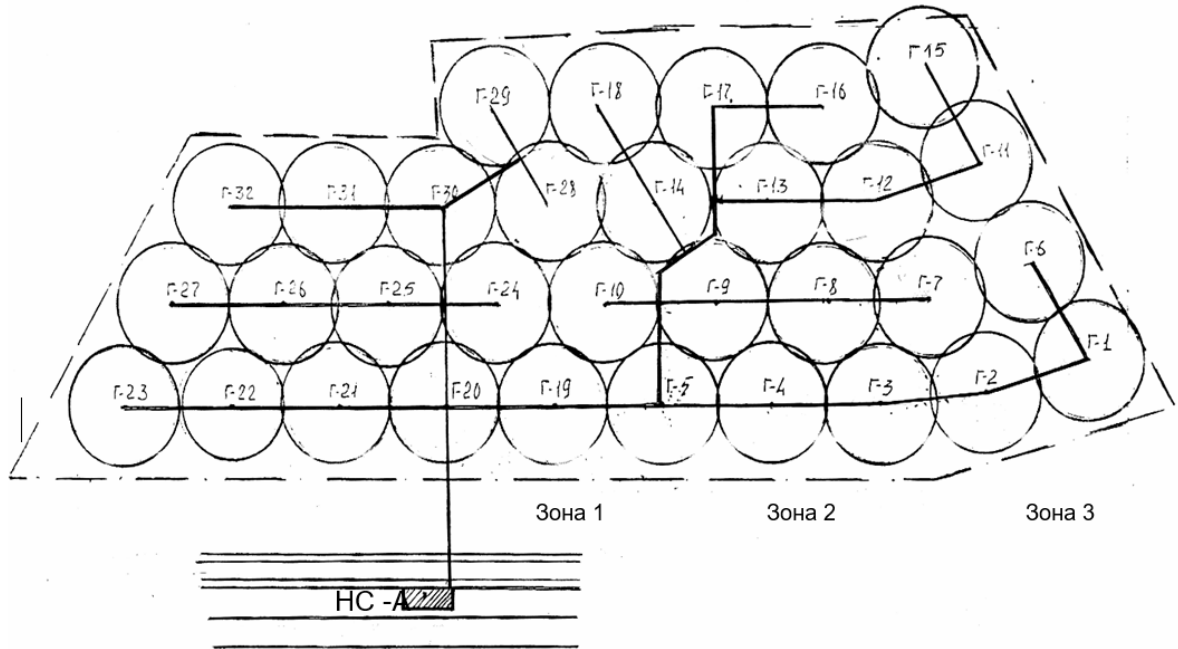


Рисунок 3.8 – Участок орошения в ЗАО «АФ «Волга» (Марковский район)

На (рисунке 3.10) «определяли коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива машины» «Фрегат» (Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2015). «Было выполнено построение частотного графика.» (Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф., 2007).

Площадь полива под i -ым дождемером:

$$S_i = \pi(R_{i+1}^2 - R_i^2)B^{-1}, \quad (3.11)$$

где R_i, R_{i+1} – радиус от неподвижной опоры до центра интервала между $i+1$ и i -ым дождемером, м; B – число рядов дождемеров, шт.

Коэффициент площади дождемера K_i :

$$K_i = S_i/S_1. \quad (3.12)$$

Коэффициент площади подчиняется арифметической прогрессии и для дождемеров 1, 2, 3, 4, 5... его значения принимают целые $K_i=1, 3, 5, 7, 9...$

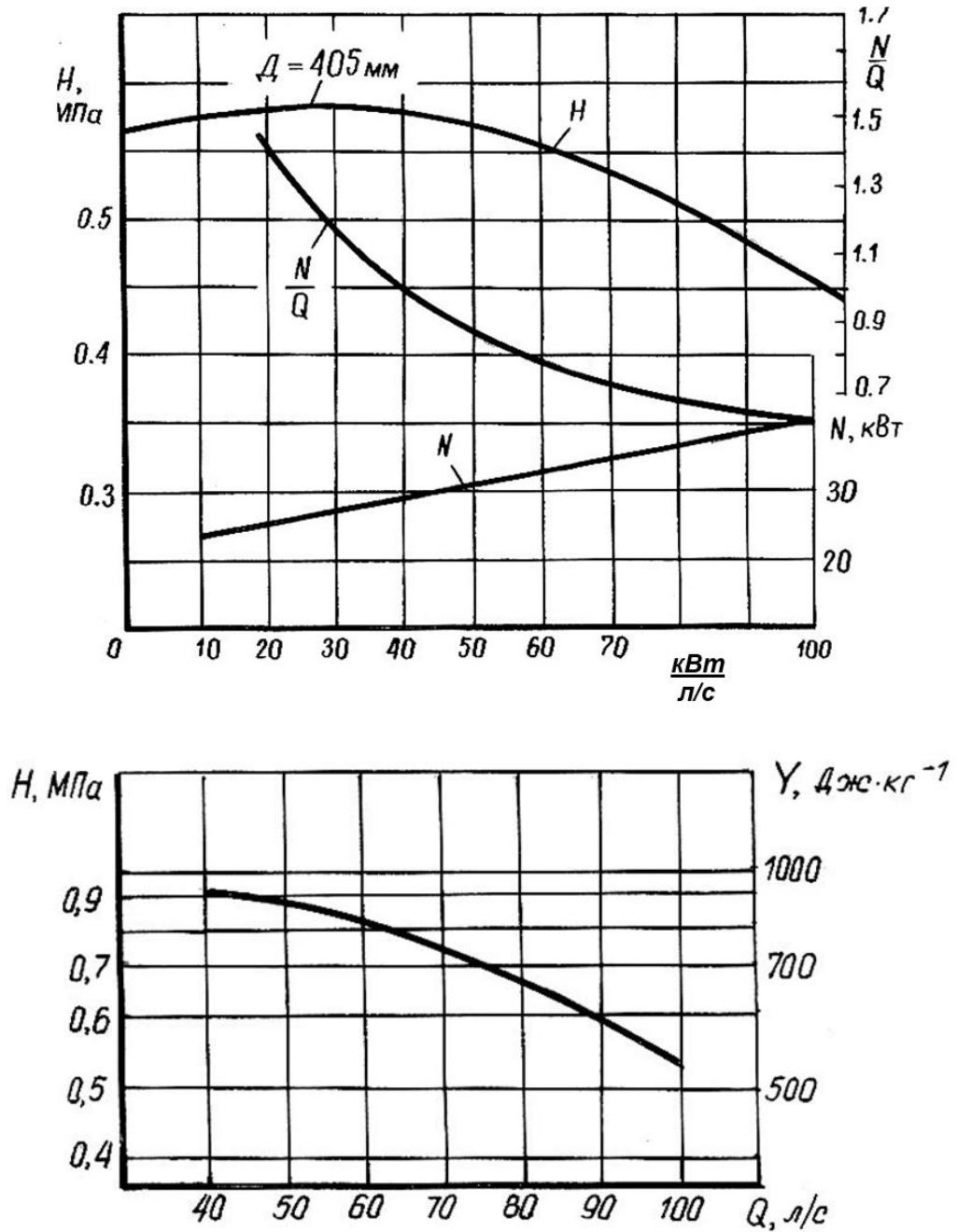


Рисунок 3.9 – Характеристика насосных агрегатов 6НДв (а) и СПС 70/80 (б).

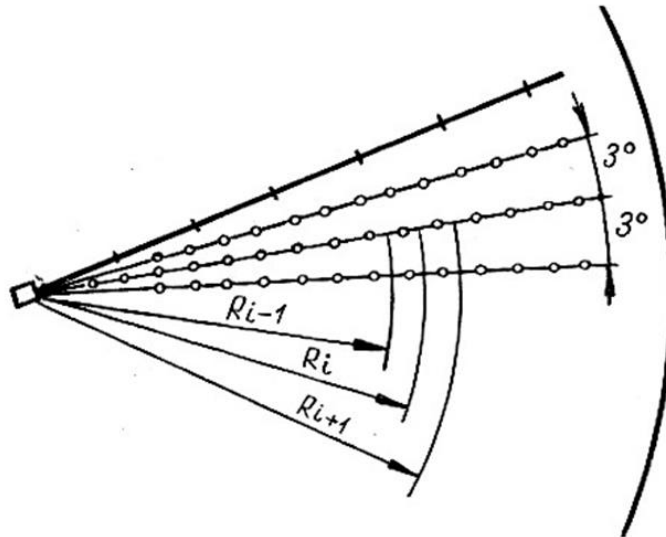


Рисунок 3.10 – Расположение дождемеров для оценки равномерности полива ДМ «Каскад» и радиусы определения коэффициента площади под i -ым дождемером

Равномерность полива:

1. Определяли распределение слоя дождя на участке:

$$h = 10 \cdot V / F, \quad (3.13)$$

где V – объем воды в дождем., мл; h – слой дождя; мм; F – прием. площадь дождемера, см².

2. Определяли минимальное h_{min} и максимальное h_{max} значение слоя дождя и вычисляли величину интервала:

$$J = \frac{h_{max} - h_{min}}{10 \dots 12}, \quad (3.14)$$

где 10...12 – прием. число интервалов.

3. Коэффициент площади K_i под каждым дождемером находили по формуле (3.12).

4. В таблицу 3.1, в графы 5 и 6 заносили значения суммы коэффициентов площади K_i и объем воды в дождемерах по каждому интервалу.

5. На графике (рисунок 3.11) определяли средний слой и отклонение от него в пределах $0,75 h_c$ и $1,25 h_c$ (допуск ± 25).

б. «Общая площадь полива: ($F_{об} = F_{эф} + F_{н} + F_{из}$) дает соответствующие значения коэффициентов распределения дождя» (Колесников Ф.И., 1986).

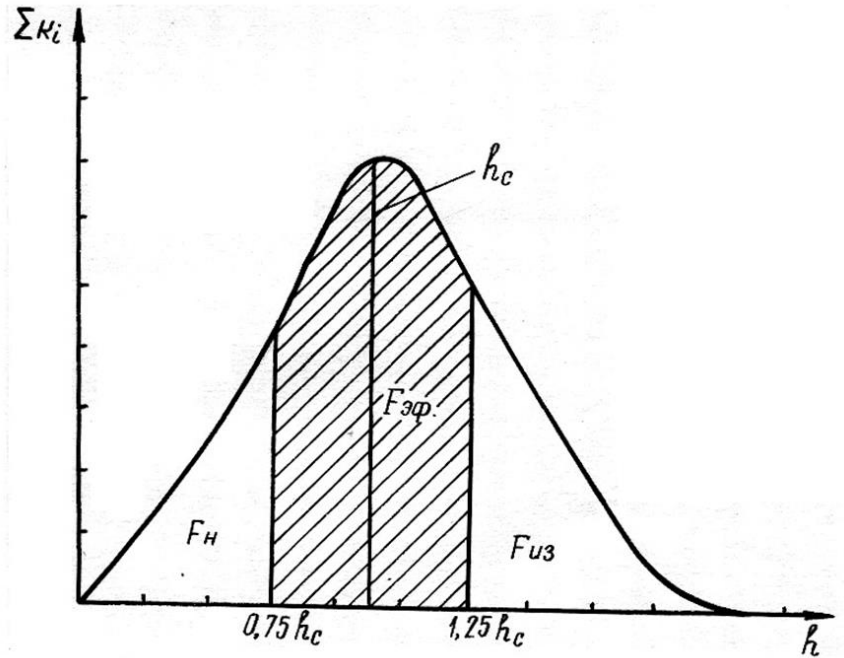


Рисунок 3.11 – Частотный график распределения слоя дождя вдоль дождевальной машины

Таблица 3.1 – Расчет коэффициента равномерности полива

№ интервала а	Интервал слоя дождя, мм	Ср. величина слоя, мм	Кол-во случаев, шт.	Сумма Коэффициента в площади, $\sum \kappa_i$	Объем воды, m^3
---------------	-------------------------	-----------------------	---------------------	---	-------------------



Рисунок 3.12 – Расстановка дождемеров вдоль водопроводящего трубопровода ДМ «Каскад»

Коэффициентом вариации (ОСТ 70.11.1-74) оценивалась равномерность полива на небольших участках:

$$KB = (\sigma/h_c)100\%, \quad (3.15)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение, $\sigma = \left[\frac{(h_i - h_{cp})^2}{n-1} \right]^{0.5}$; n – число измерений слоя дождя, шт; h_i , h_{cp} – слой дождя в i -ом дождемере и средний на участке полива, мм.

Анемометром ГОСТ 6376-52 измерялась скорость ветра. На самописце МТ-10 ГОСТ 1067-70 определяли и записывали давление.

«Расчетная норма полива ДМ «Фрегат»:

$$m_T = 5,5 \cdot \frac{m_{min}}{n}, \quad (3.16)$$

где n – число ходов гидроцилиндра последней тележки, ход/мин; m_{min} – норма полива данной модификации машины при цикличности гидроцилиндра последней тележки 5,5 хода в минуту, мм.» (Казаков С.П., 1953)

«Значение потери дождя и сноса ветром находили из выражения:

$$E_{ИС} = \frac{m_p - m_\phi}{m_\phi} \cdot 100\%, \quad (3.17)$$

где m_p, m_ϕ – расчетная и фактическая поливная норма, мм.

Поливная норма:

$$m_p = \frac{6q \cdot R_T}{l \cdot n \cdot R_a}, \quad (3.18)$$

где n – количество ходов гидроцилиндра последней тележки, ход/мин; q – расход воды аппарата (дефлекторной насадки) л/с; R_m, R_a – расстояние от неподвижной опоры до последней тележки и до дефлекторной насадки, м.» (Ольгаренко Г.В., 2002; Аленийчук Н.А., 1979; King В.А. Vjorntberg D.L., 2011)

Образование устойчивых луж на поверхности поля определяли норму полива до стока.

Средняя интенсивность дождя:

$$\rho_c = \frac{60 \cdot q}{2R \cdot \ell} = \frac{30 \cdot q}{R \cdot \ell}. \quad (3.19)$$

Частота засорения насадки \mathcal{C}_3 :

$$\mathcal{C}_3 = (H_3/H)100\%, \quad (3.20)$$

где H_3, H – число засоренных и общее число насадок данного диаметра, шт.

«В трехкратной повторности определяли влажность почвы до и после поливов в слое 0–100 см через 10 см.» (Соловьев Д.А., Карпова О.В. и др., 2015):

$$B = \frac{100 \cdot a}{v}, \quad (3.21)$$

где B – полевая влажность, %; a – масса испарившейся влаги, г; v – масса сухой почвы, г.

В опытах серийные и изучаемые дождеватели размещались на одной ДМ группами по 7–10 шт. (рисунок 3.13). Опытные участки располагались по радиусу для одновременного полива по вариантам. (рисунок 3.14).

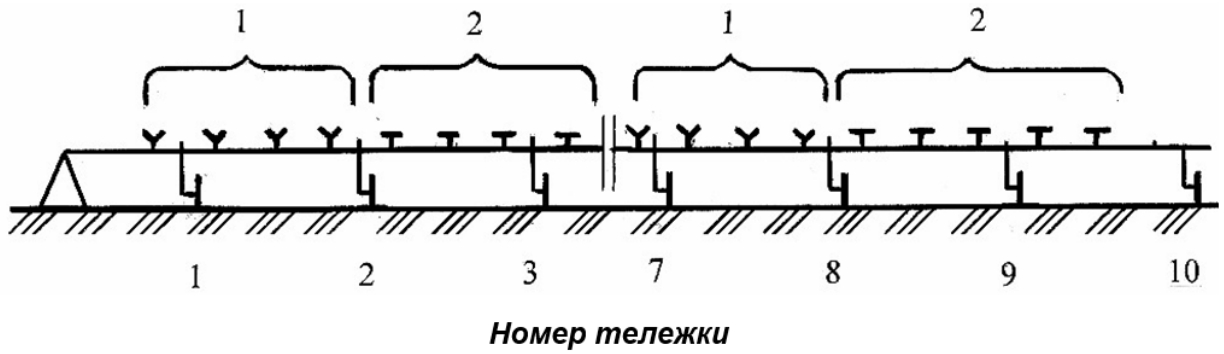


Рисунок 3.13 – Схема установки серийных аппаратов (1) и экспериментальных дождевателей (2) на ДМ «Каскад»

По методике Доспехова определяли урожайность сельскохозяйственных культур.

На площадках размером 1 м^2 под каждым видом дождевателей определялась биологическая урожайность ячменя при пятикратной повторности.

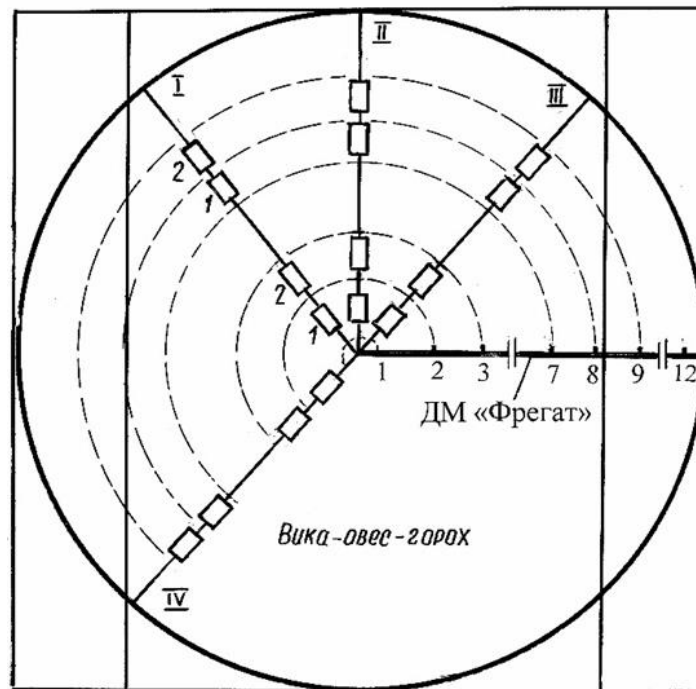


Рисунок 3.14 – Размещение опытных делянок под ДМ «Каскад» хоз. № 2 при поливе серийными аппаратами (1) и дефлекторными насадками (2) (I...IV – номер створа; 1...12 – номер тележки)

Технико-экономические показатели работы ДМ:

1. Производительность машины (Загоруйко М.Г., Бельшкіна М.Е и др., 2021; Иванов В.А., 1978; Соловьев Д.А., Рыжко Н.Ф. и др., 2022):

$$P_{ч} = \frac{3,6 \cdot Q_{м} \cdot K_{и}}{m \cdot (1 + 0,01 \cdot E_{ис})}, \quad (3.22)$$

где $P_{ч}$ – производ. машины, га/ч; $Q_{м}$ – расход воды, л/с; m – норма полива, м³/га; $K_{и}$ – коэф. использования машины; $E_{ис}$ – потери воды на испарение и унос ветром, %.

2. Потребление воды:

$$Q_{м} = Q_{а} + Q_{г}. \quad (3.23)$$

где $Q_{а}$ – расход диффлекторной насадки, л/с; $Q_{г}$ – расход гидроцилиндра тележки, л/с.

В соответствии с ОСТ 70.2.19-73 определялись экономические показатели использования ДМ:

1. «Трудозатраты на единицу выполняемого объема работ» (Соловьев Д.А., Рыжко Н.Ф. и др., 2022):

$$З = \frac{n}{P_{ч} \cdot K_{и}}, \quad (3.24)$$

где n – кол-во человек на 1ед ДМ, чел.

2. Издержки эксплуатационные (Соловьев Д.А., Рыжко Н.Ф. и др., 2022):

$$И = З + А + Р + С + Х, \quad (3.25)$$

где $З$ – заработная плата, руб./га; $А$ – амортизация, руб./га; $Р$ – сумма ремонта, руб./га; $С$ – стоимость ГСМ, руб./га; $Х$ – стоимость хранения ДМ, руб./га.

Заработная плата:

$$З = \sum (\Gamma \cdot T) \omega, \quad (3.26)$$

где T – ставка персонала, руб./ч; Γ – годовая загрузка персонала, руб./ч; ω – площадь орошаемого участка, га.

Затраты на хранение:

$$Х = \sum (X_{i}) \omega, \quad (3.27)$$

где: X_i – сумма затрат на хранение машин и оросительной сети, руб.

Сумма амортизации A :

$$A = K_c \cdot A_c + K_m \cdot A_m + K_n \cdot A_n / 100 ; \quad (3.28)$$

Текущий ремонт и ТО:

$$P = K_c \cdot P_c + K_m \cdot P_m + K_n \cdot P_n / 100 ; \quad (3.29)$$

где: K_c , K_m , K_n – капитальные вложения (балансовая стоимость) в оросительную систему, ДМ, руб./га;

3.3.2 Исследования поливных режимов на посевах сои

На посевах сои в УНПО Поволжье СГАУ в Энгельском районе Саратовской области с ДМ «Каскад» проводились исследования поливного режима культуры досточковыми поливными нормами разными по качественным характеристикам дождя.

Сотрудниками ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ были проведены почвенные исследования. Полученные почвенные характеристики приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Водно-физические свойства почв участка орошения

Глубина, м	Плотность твердой фазы почвы, т/м ³	Плотность скелета почвы, т/м ³	Максимальная гигроскопичность, %	Пористость, %	Наименьшая влагоемкость, % от веса
0 – 0,1	2,69	1,21	2,75	55,0	26,76
0,1 – 0,2	2,69	1,31	4,92	51,3	25,48
0,2 – 0,3	2,70	1,33	4,96	50,7	25,19
0,3 – 0,4	2,70	1,37	4,88	49,3	23,18
0,4 – 0,5	2,70	1,44	4,72	46,7	21,40
0,5 – 0,6	2,70	1,47	5,47	45,6	20,43
0,6 – 0,7	2,70	1,45	3,94	46,3	20,94
0,7 – 0,8	2,72	1,41	4,96	48,2	20,13
0,8 – 0,9	2,72	1,41	3,96	48,2	20,80
0,9 – 1,0	2,74	1,36	4,63	50,4	21,00

Почвы участка представлены темно-каштановым типом среднесуглинистыми по гранулометрическому составу с коэффициентом

фильтрации 0,2 м/сут. Уклоном менее 0,006–0,01 – слабосточные малоуклонные, с уклонами 0,006–0,01 – среднесточные, с уклонами более 0,01 – сильносточные.

Полевые опыты проводились в 2022 г. на посевах сои. Посев сорта сои «Соер 7» проводился 21 мая. Исследовали состояние культуры и основные метеопараметры – температура воздуха, величиной атмосферных осадков (таблица 3.3) по метеостанции р.п. Ровное, находящейся в южном направлении на расстоянии 36 км от опытного поля. Наблюдения за фенологическими фазами культур проводились на протяжении всего вегетационного периода (таблица 3.4).

Опыты по поливу сои проводились по качественным показателям двух типов дождевателей: стандартный дождевальная аппарат «Роса» ДМ «Фрегат»; дождевальная насадка с УПО (устройствами приземного орошения). Поливной режим сои проводился при увлажнении слоя почвы 0,4–0,6 м. По фазам развития культуры нижняя граница влажности поддерживалась на 70 % НВ, верхняя на 100 % НВ (таблица 3.4). При поливном режиме выдавалась поливная норма величиной до образования ирригационного стока по выражению (3.30) в зависимости от качественных показателей дождя сопоставляемых дождевателей.

Таблица 3.3 – Метеорологические данные года исследования р.п. Ровное

Месяц Параметр	май	июнь	июль	август	сентябрь	
t, С ⁰ день	16	26	26	31	18	
t, С ⁰ ночь	8	16	18	20	12	
осадки	мм	28	47	63	0	34
	дней	5	4	9	1	6
Облачно, дней	15	9	9	19	19	
Ясно, дней	11	17	13	11	5	

Таблица 3.4 – Фазы развития и параметры увлажнения сои

Фаза развития	Расчетный слой, м	Верхняя граница влажности, % от НВ	Нижняя граница влажности, % от НВ
посев – начало цветения	0,4–0,6	100	70
начало цветения – молочная спелость		100	70
молочная спелость – полная спелость		100	70

Суммарное водопотребление культуры определялось методом водного баланса по предложению А.Н. Костякова (Костяков А.Н., 1951):

$$ET = P_i + \Delta W + \sum m_i, \quad (3.30)$$

где: ET – суммарное водопотребление, мм; P_i – атмосферные осадки, мм; ΔW – изменение влагозапасов, $\Delta W = W_n - W_k$ (W_n и W_k – запас влаги в почве на начало и конец рассматриваемого периода) мм; $\sum m_i$ – сумма поливных норм, мм.

С помощью почвенных дождемеров ГР-28. проводилось измерение фактического количества величины осадков и поливных норм.

Почвенные образцы отбирались в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. Контроль за влажностью почвы осуществлялся термостатно-весовым методом по ГОСТ 28268-89. Каждые 0,1 метра до глубины 1 метр проводились послойные наблюдения. В периоды между поливами контроль за влажностью почвы проводился через каждые 5 дней.

3.4 Обработка результатов экспериментальных исследований и определение статистических характеристик

«Методом математической статистики и теории случайных ошибок (ОСТ 70.11.1-74) проводилась оценка достоверности экспериментальных данных. Распределение параметров $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ характеризовалось:

Ср. значением распределения:

$$X = \sum X_i/n, \quad (3.31)$$

где X_i – отдельное измерение; n – число измерений.

Дисперсией распределения:

$$D = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}. \quad (3.32)$$

Среднеквадратичным отклонением:

$$\sigma = D^{0,5}. \quad (3.33)$$

Коэффициентом вариации:

$$KB = \frac{100 \cdot \sigma}{\bar{X}}. \quad (3.34)$$

Точностью опыта:

$$P = \frac{100 \cdot \sigma}{\bar{X} \cdot n^{0,5}}. \quad (3.35)$$

Далее определялся коэффициент парной корреляции. Коэффициенты регрессии находили методом наименьших квадратов:

$$(Y_i - Y_p)^2 = \min, \quad (3.36)$$

где Y_i – фактическое значение зависимого показателя; Y_p – расчетные значения, найденные из уравнения регрессии.» (Калашников А.А., 1973; Козинская О.В., 2011)

Коэффициент линейного уравнения:

$$Y = \bar{Y} - B_{xy}(X - \bar{X}), \quad (3.37)$$

где \bar{X} , \bar{Y} – средние, арифметические для ряда замеров X_i , Y_i .

Математическая зависимость между коэффициентом совершенства конструкции аппарата применим выражение (ОСТ 70.11.1-74):

$$B_{xy} = [\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]/\sum(X_i - \bar{X})^2. \quad (3.38)$$

«Использовали бета-распределение для описания эпюр распределения интенсивности дождя вдоль радиуса полива». (Frost K.P., Schwalen H.G., 1955):

$$f(R) = \begin{cases} [\Gamma(\gamma + \eta)/\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta)]R^{\gamma-1}(1-R)^{\eta-1}; & 0 \leq R \leq 1; \eta > 0. \\ 0 & \end{cases} \quad (3.39)$$

Связь средней величины X со значениями γ и η и среднеквадратичной величиной распределения σ :

$$\eta = [(1 - X)/\sigma^2][X(1 - X) - \sigma^2], \quad (3.40)$$

$$\gamma = X\eta/1 - X. \quad (3.41)$$

Относительная величина радиуса полива:

$$\left(\frac{X_i}{R}\right) \frac{\gamma - 1}{(\gamma + \eta + 2)_{max}}. \quad (3.42)$$

Значение средней относительной ошибки аппроксимации находили из выражения:

$$e = 1/N \left(\sum_{i=1}^N |(Y_{\phi i} - Y_{pi})/Y_{pi}| \right) 100\% \quad (3.43)$$

Значение остаточной дисперсии:

$$D_{ост}^2 = \sum (y_{\phi} - y_p)^2 / (N - V - 1), \quad (3.44)$$

где V – количество факторов.

По критерию Фишера (ОСТ 70.11.1-74) проводилась оценка адекватности уравнения регрессии:

$$F = D^2 / D_{ост}^2, \quad (3.45)$$

где $D^2 = \sum (Y_i - Y)^2 / (N - 1)$ – общая дисперсия.

Коэффициент множественной корреляции (ОСТ 70.11.1-74):

$$R_m = (1 - D_{ост}^2 / D^2)^{0.5}. \quad (3.46)$$

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ НАСАДОК И УСТРОЙСТВ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДОЖДЕВАНИЯ ПРИ ПОЛИВЕ МНОГООПОРНЫМИ МАШИНАМИ

4.1 Расход воды дождевальной насадки

Основным элементом дождевальных машин являются дождевальные насадки, которые определяют качественные и энергетические характеристики орошения. Исследования модернизированной дождевальной насадки с дефлектором диаметром 40 мм показали, что расхода воды зависит от давления перед насадкой (P), диаметра сопла (D), а также геометрических размеров и конструкции сопла (рисунок 4.1). Корпус насадки изготовлен из трубы Ду 15 мм, наружный диаметр трубы 21 мм, толщина стенки 3,2 мм, внутренний размер трубы равен 14,9 мм. Диаметр сопла (D) изменялся от 3 до 12 мм, длина насадки – 22 мм, а диаметр входа насадки (D_B) равен 14 мм.



Рисунок 4.1 – Дождевальная насадка с дефлектором ДМ «Каскад»

Согласно особенностям конструкции сопла величина поджатия струи ($C_{п} = D_B^2/D^2$) регулируется в пределах 21,7–12,25 для диаметра сопла 3 и 4

мм. $Sp = 5,4-1,9$ для диаметра сопла 6–10 мм, а для сопла диаметром 12 мм снижается до $Sp = 1,36$ (таблица 4.1).

По рекомендациям А.П. Исаева оптимальная величина поджатия струи для дождевальных аппаратов должна быть в пределах $Sp = 8-9$. Этим условиям удовлетворяют насадки с диаметром сопла не более 5 мм. Для сопел большего размера не обеспечивается достаточное однородное формирование струи, а это вызывает завихрение и некоторое уменьшение коэффициента расхода и расхода насадки по сравнению с насадкой, имеющей оптимальные конструктивные размеры и величину поджатия струи. В таблице 4.1 и на рисунке 4.2. показан расход воды дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла (D), величины поджатия струи (Sp) и давления (P). Происходит повышение расхода с 0,065 до 2,128 л/с при смене диаметра сопла с 3 до 12 мм и давления перед насадкой с 0,1 до 0,3 МПа.

Таблица 4.1 – Расход воды (q , л/с) и коэффициент расхода насадки (μ) дождевальными насадками с дефлектором ДМ «Каскад» в зависимости от давления, диаметра сопла и величины поджатия струи

Давление (P), МПа	Диаметр сопла (D) насадки с дефлектором, мм (Степень поджатия струи (Sp))								
	3 (21,7)	4 (12,2)	5 (7,8)	6 (5,4)	7 (4,0)	8 (3,0)	9 (2,4)	10 (1,9)	12 (1,36)
0,10	0,065	0,115	0,178	0,254	0,342	0,442	0,554	0,676	0,951
0,15	0,092	0,163	0,252	0,36	0,484	0,626	0,783	0,956	1,345
0,20	0,113	0,2	0,309	0,441	0,593	0,766	0,959	1,171	1,648
0,25	0,131	0,231	0,357	0,509	0,685	0,885	1,108	1,352	1,903
0,30	0,147	0,258	0,399	0,569	0,766	0,99	1,239	1,512	2,128
μ	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85

Коэффициент расхода воды сопла (μ), зависит от величины поджатия струи и изменяется в пределах $\mu=0,97-0,87$ (рисунок 4.3). Уравнение для расчета коэффициента расхода (μ) в зависимости от диаметра сопла D имеет вид:

$$\mu = 0,97 - 0,01D \quad (4.1)$$

Расход воды насадок ДМ «Каскад»:

$$q = \frac{\mu \cdot D^2 \cdot (100P)^{0,5}}{287,59} = \frac{D^2 \cdot (100P)^{0,5} (0,97 - 0,01D)}{287,59}. \quad (4.2)$$

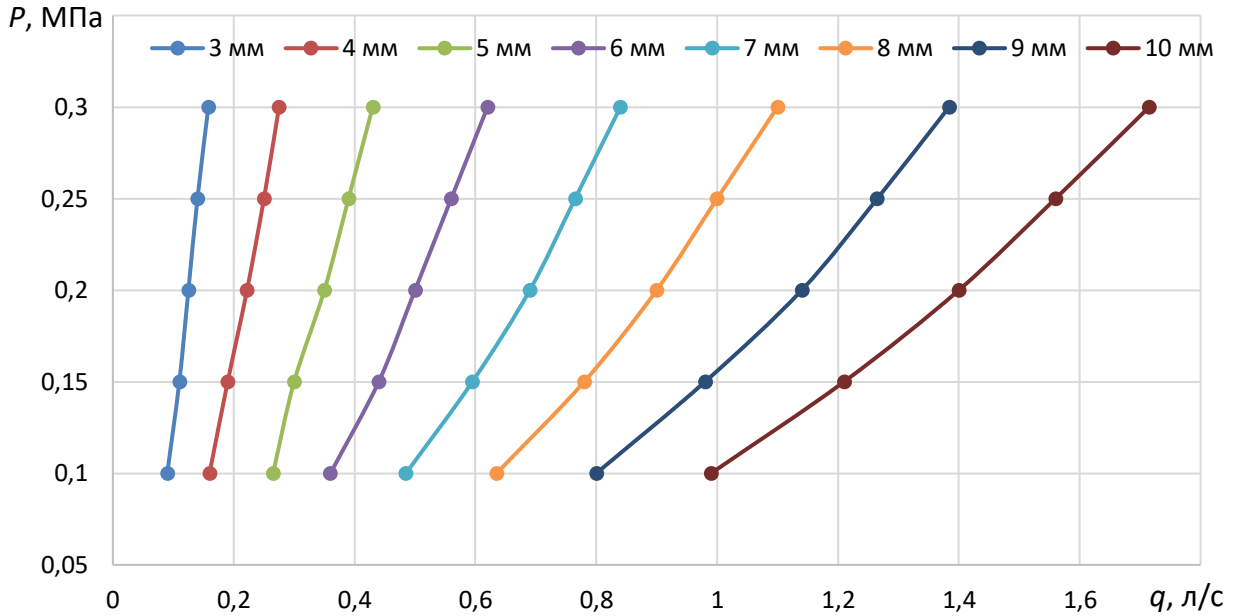


Рисунок 4.2 – Расход воды дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла и давления перед насадкой

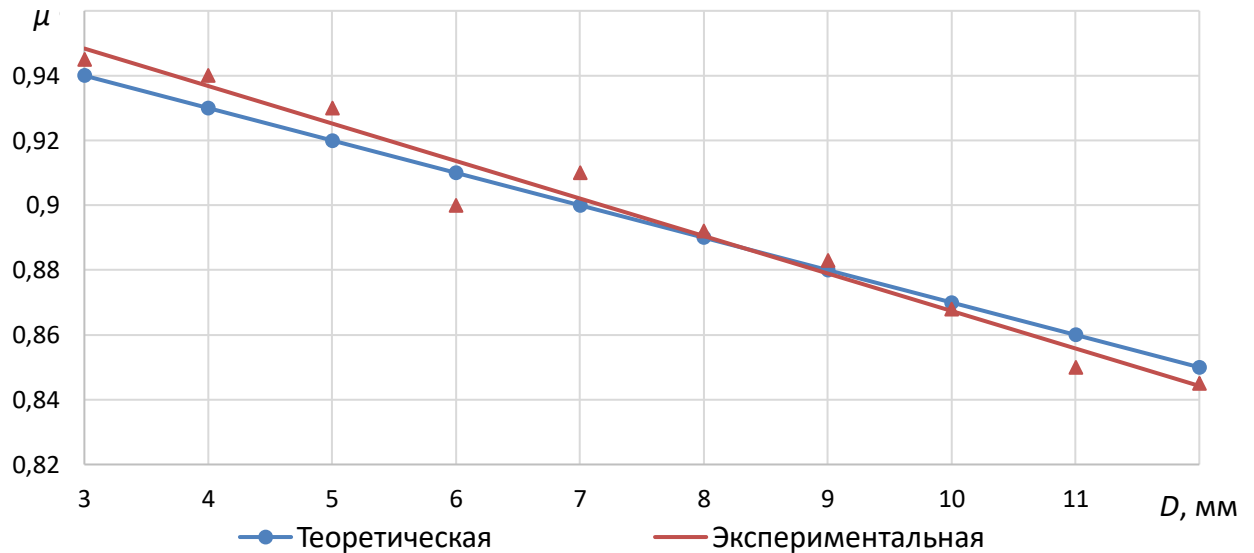


Рисунок 4.3 – Изменение коэффициента расхода воды дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла с дефлектором ДМ «Каскад»

Анализ показывает, что потребление воды модернизированной дождевальной насадки зависит от давления (P), диаметра сопла (D) и

подходит для эксплуатации их на ДМ «Каскад», «Фрегат» и других многоопорных машинах различных модификаций.

4.2 Радиус захвата дождем при поливе модернизированной дождевальной насадки с дефлектором

Диаметр сопла изменялся от 3–12 мм, давление от 0,1–0,3 МПа и высота установки над поверхностью от 0,5–2,5 м (рисунки 4.4–4.7).

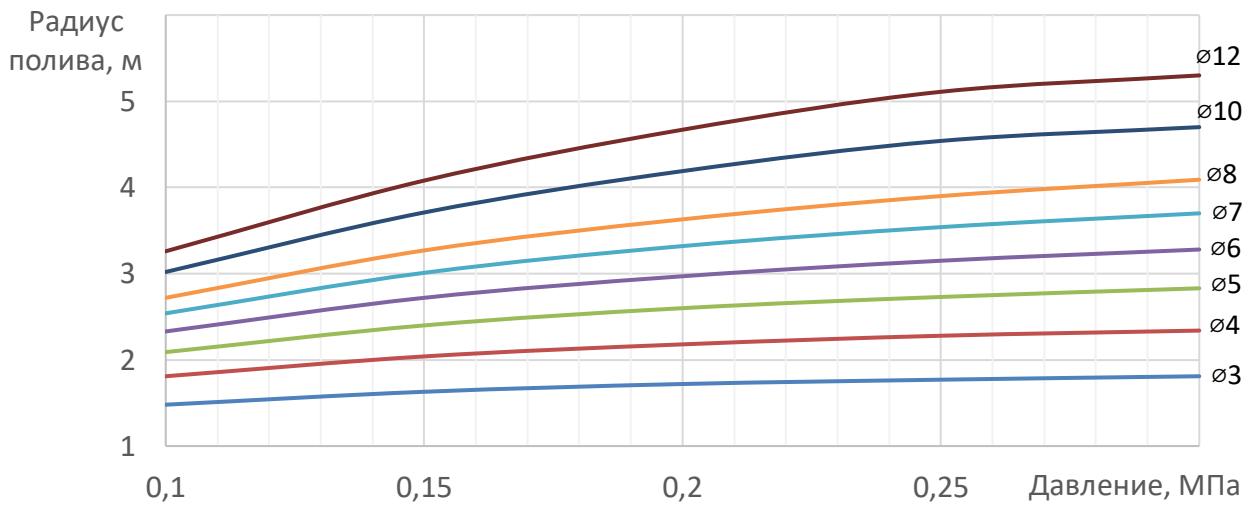


Рисунок 4.4 – Значения захвата радиуса полива дождем модернизированной насадкой с дефлектором различных диаметров сопла при высоте $h = 0,5$ м

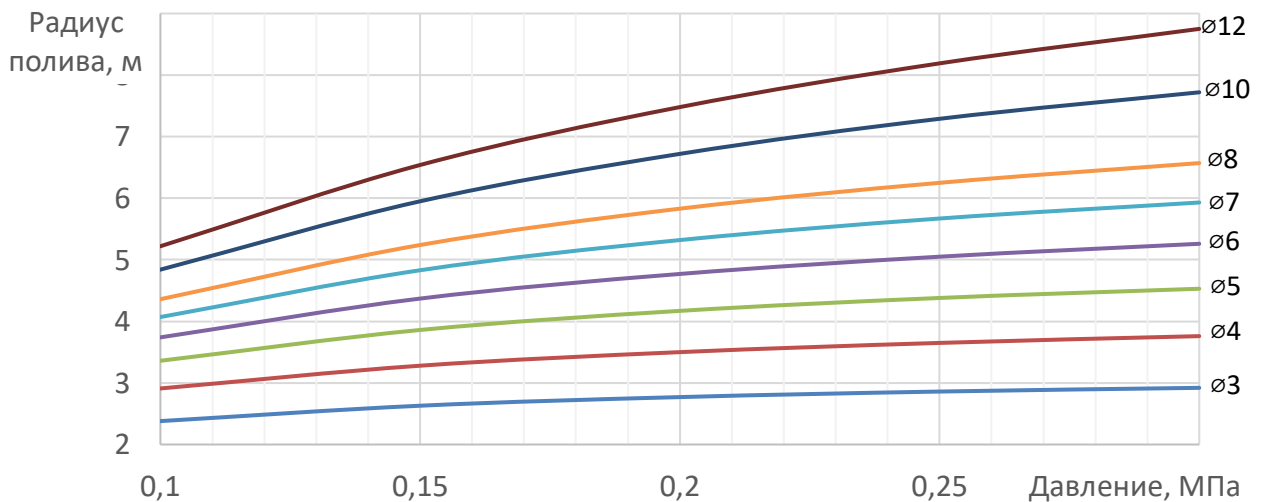


Рисунок 4.5 – Значения захвата радиуса полива дождем насадкой с дефлектором различных диаметров сопла при высоте $h = 1,5$ м

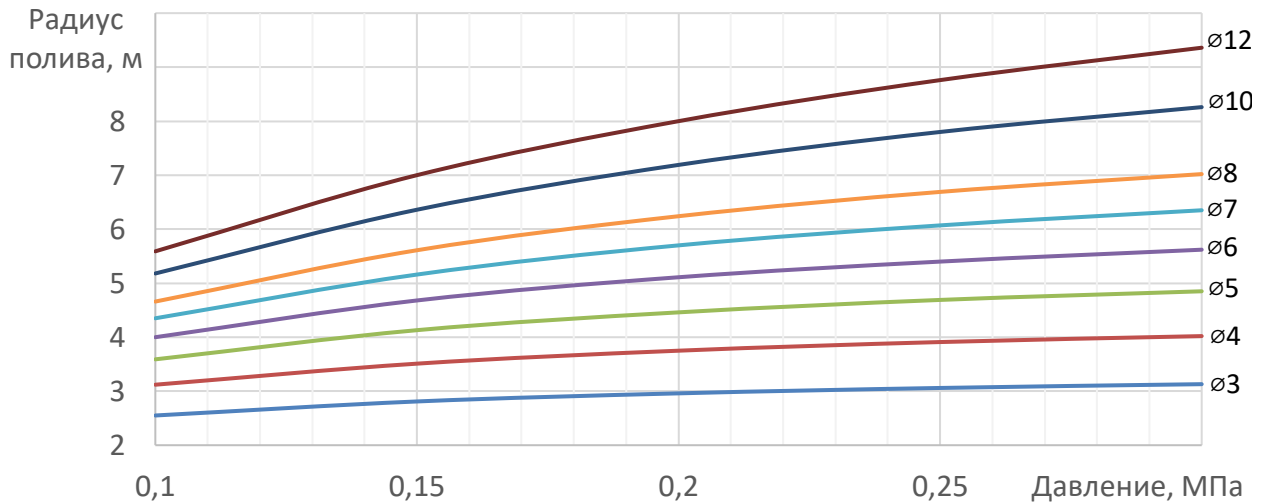


Рисунок 4.6 – Значения захвата радиуса полива насадкой с дефлектором различных диаметров сопла при высоте $h = 2$ м

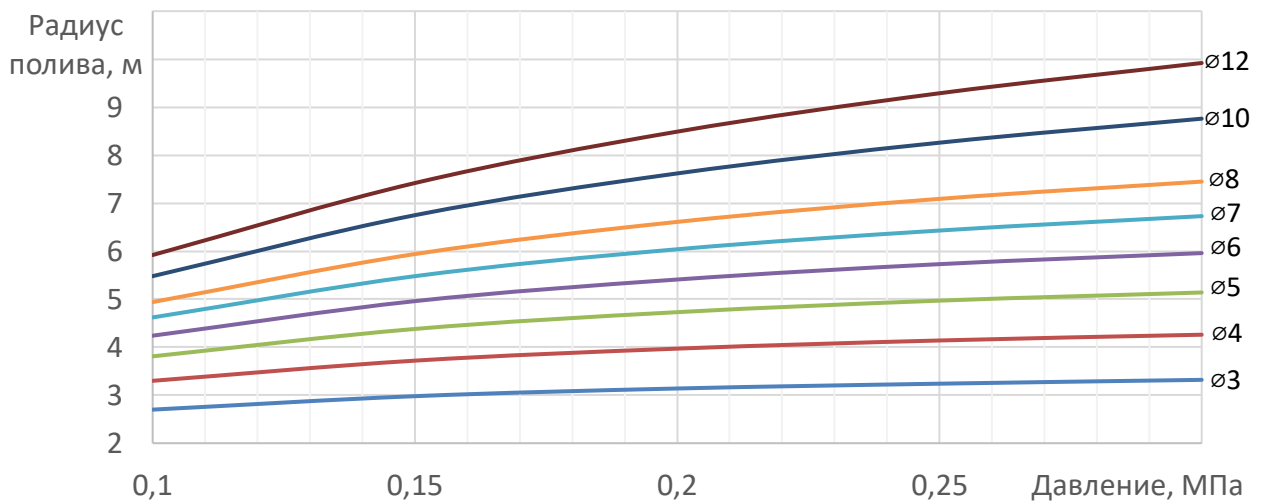


Рисунок 4.7 – Значения захвата радиуса полива насадкой с дефлектором различных диаметров сопла при высоте $h = 2,5$ м

При диаметре сопла от 3 до 12 мм и высоте установки 2 м, давлении 0,3 МПа радиус захвата дождем увеличивается с 3,13 до 9,92 м (рисунок 4.8).

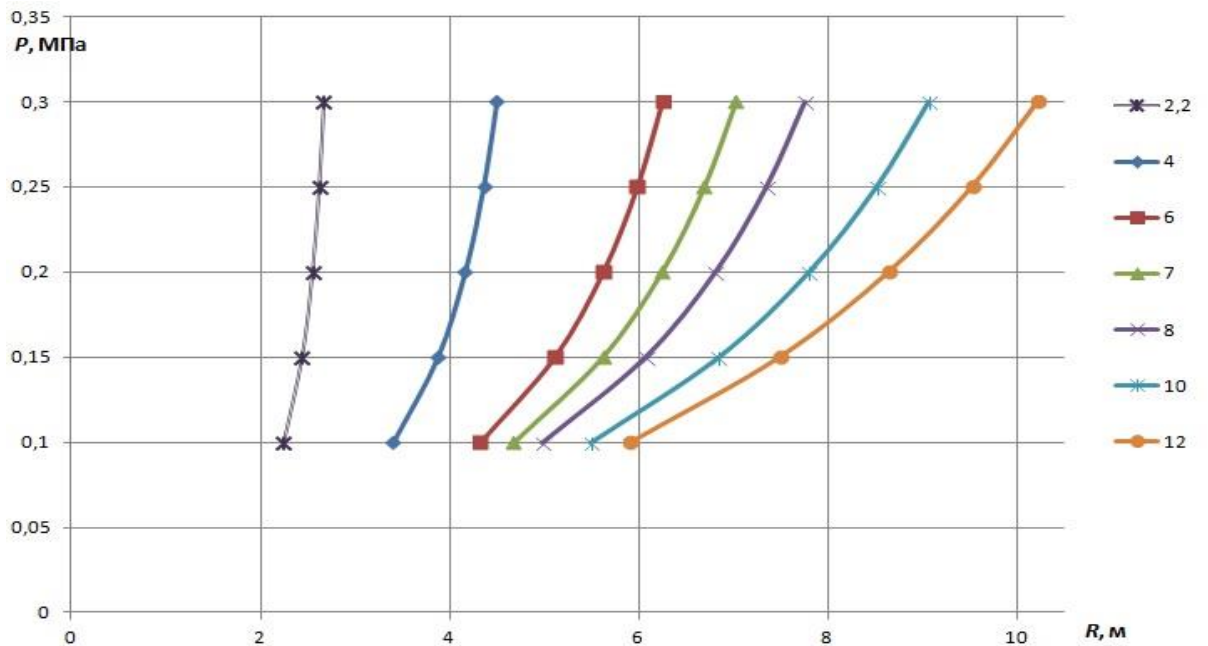


Рисунок 4.8 – Радиус R дождевальной насадки с дефлектором при высоте 2 м

Влияние высоты установки дождевальной насадки на радиус захвата дождем оцениваем коэффициентов $K_h = R_1 / R_2$, как отношение радиуса на определенной высоте к радиусу захвата на высоте 2 м. Данные исследований изменения коэффициента K_h от высоты установки дождевальной насадки приведены в таблице 4.2 и показан на рисунке 4.9.

Таблица 4.2 – Величина коэффициента K_h от высоты установки и диаметра сопла

Диаметр сопла, мм	Значения коэффициента K_h от высоты установки насадки				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
4,0	0,5	0,9	0,97	1,0	1,05
8,0	0,6	0,88	0,97	1,0	1,04
10,0	0,55	0,89	0,97	1,0	1,06
Средние	0,55	0,89	0,97	1,0	1,05

Обработкой данных (таблица 4.2) получено уравнение для расчета значений коэффициента K_h от высоты установки насадки

$$K_h = 0,843h^{0,25/h+0,06h} \quad (4.3)$$

Обработкой данных (приложение А, таблица 4.2) получено выражение для определения радиуса полива дождевальной насадки R :

$$R_h = K_h R_2 = \frac{0,843h^{0,25/h+0,06h}100P}{1,08 + 85P/D}, \quad (4.4)$$

где h – высота установки насадки ($h = 0,5 \dots 2,5$ м).

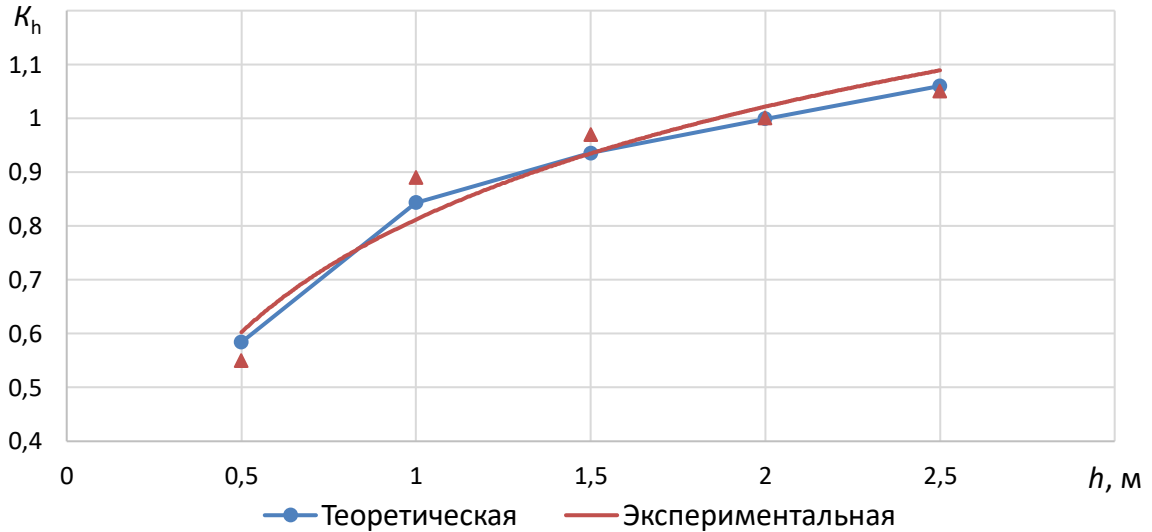


Рисунок 4.9 – Изменение коэффициента K_h от высоты установки насадки

Конструкция дождевальных насадок на УПО на шпренгелях фермы с открылками, дает возможность увеличения расстановки насадок в ширину, поперек трубопровода до 5,6 м и соответственно ширину захвата дождем на 13,8–61,2% (рисунок 4.10, таблица 4.3).

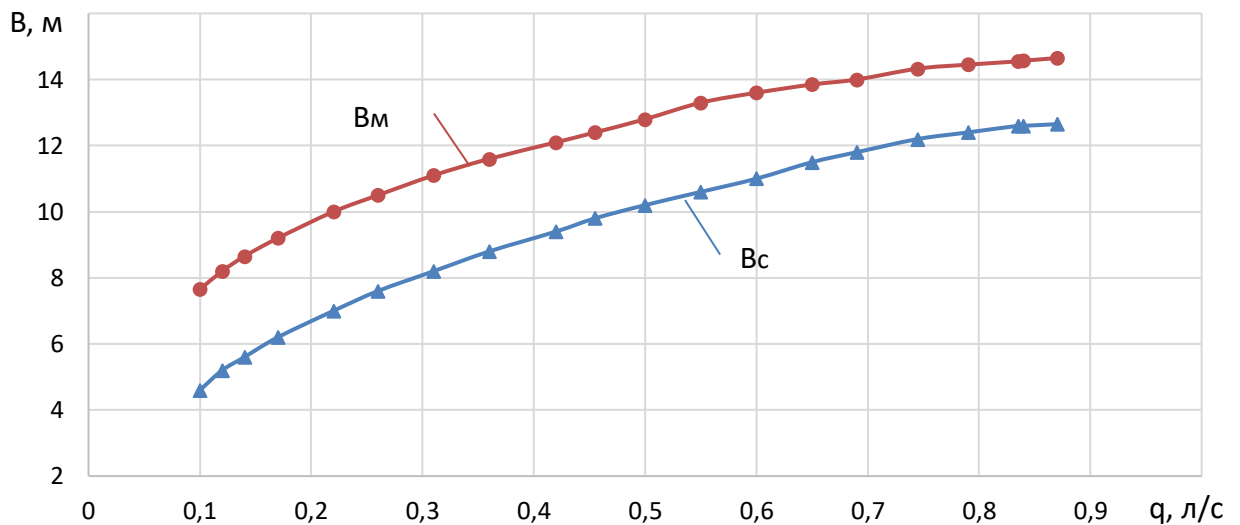


Рисунок 4.10 – Ширина захвата дождем при поливе дождевальными насадками, установленными вдоль трубопровода в линию ($В_c$) и на УПО ($В_m$)

Таблица 4.3 – Радиус захвата дождем (R) УПО с насадками при установке в линию и в шахматном порядке вдоль трубопровода ДМ «Каскад», ширина захвата дождем (B) и величина перекрытия струй (R/ℓ)

Расход воды на трубе, л/с	Давление на выходе, МПа	Диаметр сопла, мм	Радиус захвата (ДН), м	Ширина захвата (B), м		(R/ℓ) при $\ell = 2,6\text{м}$
				ДН вдоль трубопровод	ДН на УПО	
0,096	0,339	2,291	2,348	4,618	7,705	0,937
0,143	0,318	2,843	2,843	5,647	8,695	1,141
0,118	0,297	2,652	2,618	5,247	8,299	1,072
0,167	0,279	3,178	3,110	6,199	9,199	1,251
0,217	1,268	3,652	3,501	6,700	9,951	1,391
0,265	0,255	4,073	3,851	7,700	10,450	1,505
0,313	0,255	4,428	4,161	8,299	11,055	1,618
0,365	0,245	4,800	4,432	8,862	11,585	1,717
0,406	0,245	5,085	4,667	9,347	12,010	1,805
0,456	0,245	5,405	4,907	9,818	12,358	1,885
0,504	0,238	5,718	5,142	10,258	12,780	1,965
0,552	0,237	6,000	5,328	10,655	13,305	2,035
0,600	0,235	6,270	5,518	11,037	13,605	2,096
0,650	0,233	6,557	5,694	11,505	13,755	2,160
0,696	0,224	6,843	6,025	12,105	14,110	2,225
0,750	0,219	7,109	5,869	11,736	14,265	2,255
0,794	0,213	7,366	6,129	12,180	14,430	2,306
0,840	0,207	7,650	6,325	12,596	14,680	2,347
0,833	0,195	7,670	6,280	12,580	14,568	2,317

Система УПО с дождевальными насадками на пролетах машины «Каскад» установленными через 2,9 м обеспечит высокую равномерность полива. Значение перекрытия струй (R/ℓ) дождевальных насадок увеличивается с 1,06 до 2,35 (таблица 4.3, рисунок 4.11).

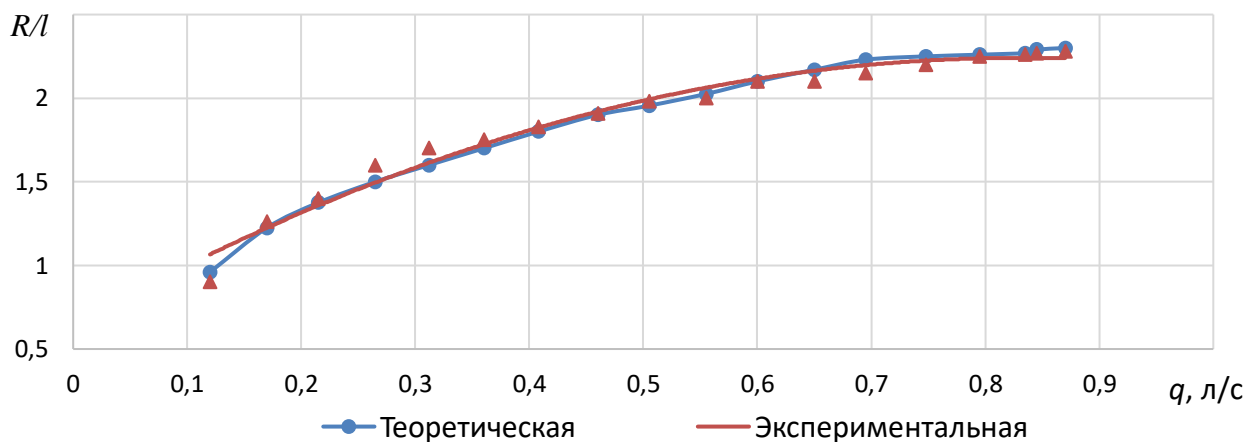


Рисунок 4.11 – Изменение величины перекрытия струй (r/ℓ) вдоль трубопровода ДМ «Каскад» с дождевальными насадками

Хорошее перекрытие струй дождевальных насадок на УПО обеспечит качественный полив ДМ «Каскад».

4.3 Средняя и действительная интенсивность дождя и ее распределение вдоль ДМ «Каскад» при поливе дождевальной насадкой

На до стоковый полив существенно влияет как действительная (мгновенная) интенсивность дождя, так и средняя интенсивность. Чтобы определить среднюю мгновенную интенсивность дождя, расход воды делят на мгновенную площадь полива струи P_m (формула 3.4.)

Для машины «Каскад» радиус захвата дождем серийных дождевальных насадок изменяется в значительных пределах (от 3,13 до 8,19 м), поэтому средняя интенсивность дождя будет высокая и изменяется 0,49–1,62 мм/мин (рисунок 4.12). При установке ДН поперек трубопровода на 2,8 м интенсивность дождя в начале машины снижается до 0,302 мм/мин. (меньше на 65 %) и в конце машины – до 1,31 мм/мин. (меньше на 23,3 %).

Данные средней интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ Zimmatic с насадками i-wob и ДМ «Фрегат» приведены на рисунке 4.12.

Установка ДН на УПО, увеличивает ширину расстановки насадок на 2,5 м и уменьшает среднюю интенсивность дождя на 23–65 %, чем у ДМ «Фрегат» при установке дождевателей на трубопроводе (рисунок 4.16). Средняя интенсивность ДМ «Каскад» находится на уровне ДМ Zimmatic.

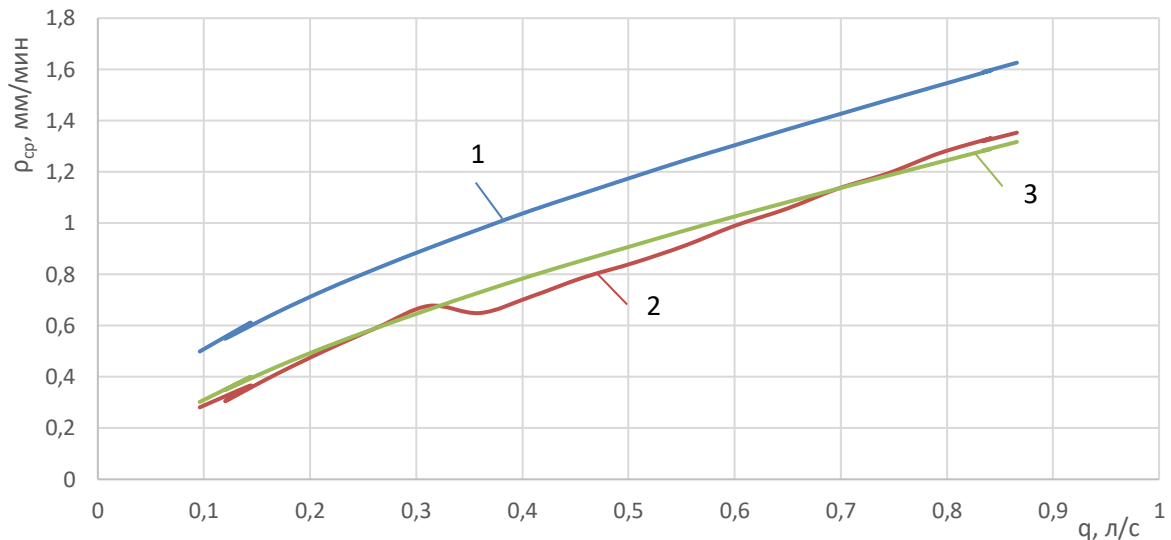


Рисунок 4.12 – Изменение средней интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Каскад», ДМ Zimmatic с насадками i-wob и ДМ «Фрегат»: 1 – Фрегат (ДН); 2 – Zimmatic (УПО-ДН); Каскад (УПО-ДН)

Изменение средней мгновенной интенсивности дождя модернизированных дождевальной насадок происходит в пределах 0,344–0,405 мм/мин., что 4–4,5 раза меньше, чем у среднеструйных аппаратов, которая изменяется от 1,45–1,78 мм/мин., что в 1,35 раза меньше, чем у секторных насадок ДМ «Кубань-ЛК» (рисунок 4.13, 4.14).

Таким образом, при установке данной ДН на УПО обеспечится снижение средней и мгновенной интенсивности дождя, что качественно отразится на поливе.

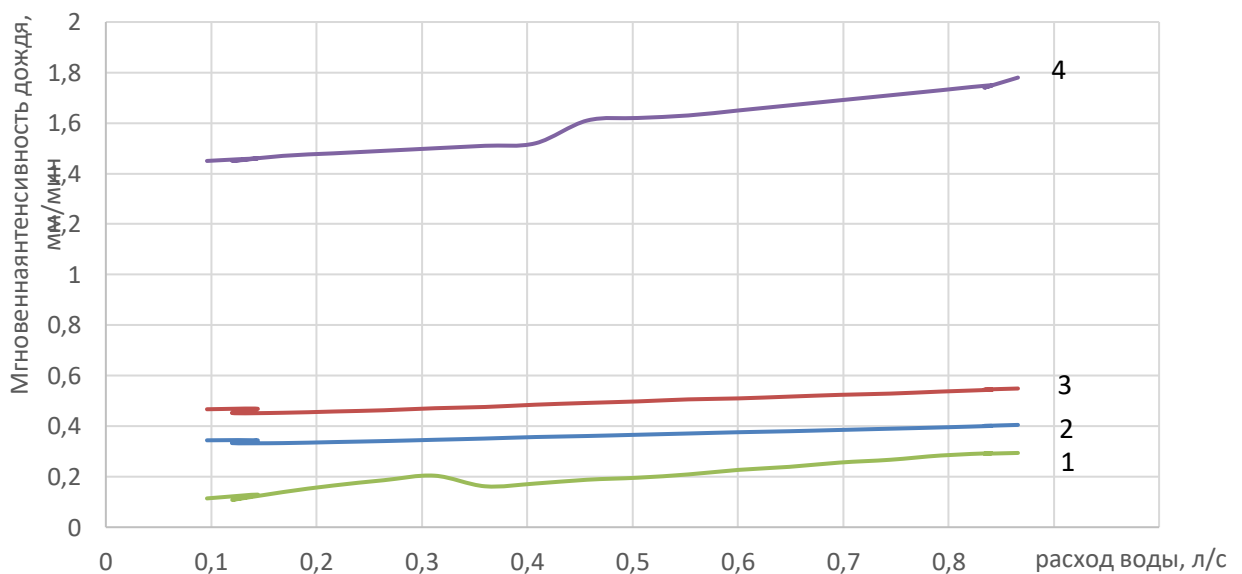


Рисунок 4.13 – Изменение мгновенной интенсивности дождя: 1 – Zimmatic (ДН); 2 – Каскад (ДН); 3 – Кубань (СН); 4 – Фрегат (СДА)

4.4 Крупность капель дождя при поливе дождевальными насадками

Исследования показывают, что в начале струи диаметр капель составляет 0,017–0,026 мм, а в конце – 1,5–2,3 мм. (таблица 4.4, рисунок 4.14).

Выражение для определения значения диаметра капель:

$$d_i = d_{min} + (d_{max} - d_{min})X_i/R \cdot e^{-0,75(1-X_i/R)}, \quad (4.5)$$

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

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

Выражение для расчета размера капель, минимального и максимального диаметра (приложение Б):

$$d_{min} = 0,011(100P)^{-0,22}D^{0,71}, \quad (4.6)$$

$$d_{max} = 1,75(100P)^{-0,35}D^{0,47}. \quad (4.7)$$

Таблица 4.4 – Средний диаметр капель дождя ($d_{cp.}$) вдоль радиуса полива дождевальной насадкой с дефлектором

D, мм	P, Па	Средний диаметр капель дождя ($d_{cp.}$) вдоль радиуса полива, мм						
		0 R _i /R	0,2 R _i /R	0,4 R _i /R	0,5 R _i /R	0,7 R _i /R	0,9 R _i /R	1 R _i /R
4	100	0,016	0,175	0,400	0,530	0,850	1,260	1,500
4	200	0,014	0,144	0,305	0,420	0,670	0,979	1,180
4	300	0,013	0,123	0,268	0,358	0,580	0,849	1,018
5	100	0,019	0,200	0,437	0,590	0,945	1,389	1,670
5	200	0,017	0,160	0,350	0,455	0,740	1,095	1,300
5	300	0,015	0,140	0,295	0,390	0,637	0,950	1,139
6	100	0,022	0,218	0,475	0,640	1,025	1,520	1,820
6	200	0,019	0,168	0,370	0,500	0,790	1,190	1,425
6	300	0,017	0,148	0,327	0,440	0,700	1,035	1,240
8	100	0,030	0,250	0,550	0,735	1,168	1,740	2,080
8	200	0,026	0,200	0,425	0,580	0,918	1,358	1,630
8	300	0,023	0,181	0,380	0,490	0,790	1,190	1,420
10	100	0,035	0,279	0,620	0,820	1,300	1,925	2,310
10	200	0,030	0,218	0,479	0,639	1,030	1,520	1,810
10	300	0,027	0,200	0,415	0,560	0,900	1,320	1,600

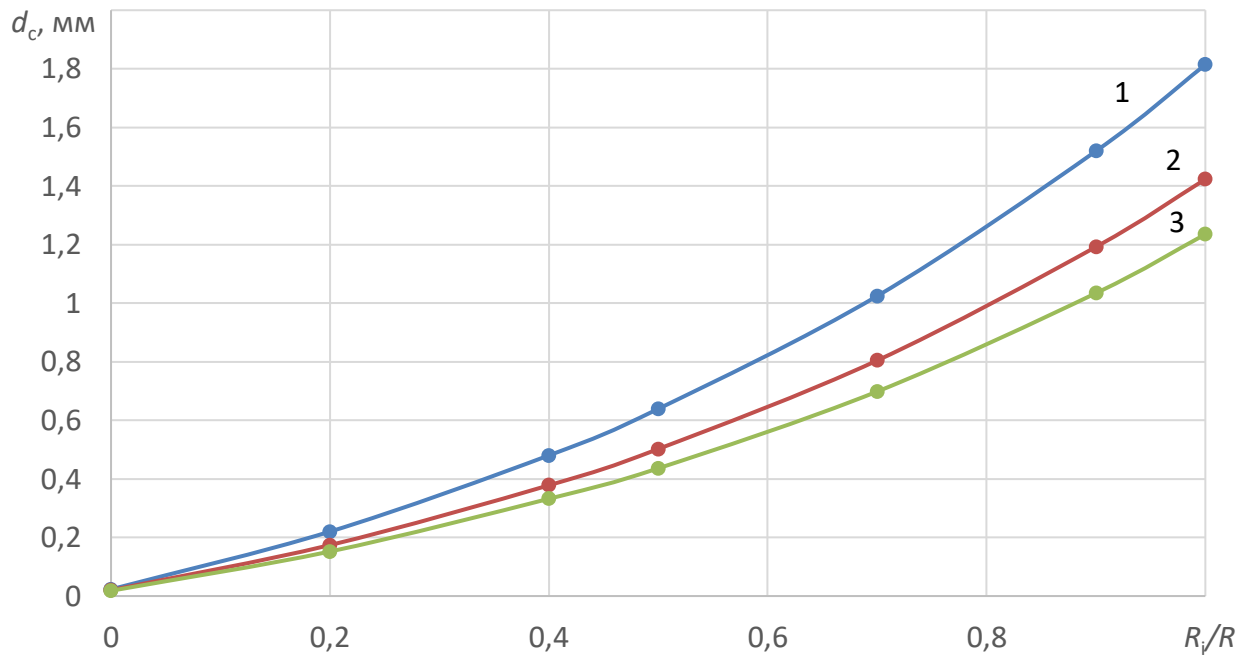


Рисунок 4.14 – Изменение среднего диаметра капель вдоль радиуса полива дождевальной насадкой с диаметром сопла 6 мм: 1 – $P = 0,1$ МПа; 2 – $P = 0,2$ МПа; 3 – $P = 0,3$ МПа

На рисунке 4.15 средний диаметр капель дождевальной насадки в начальной части радиуса полива равен 0,1–0,2 мм, в середине – 0,5 мм, в конце – 1,0–1,2 мм. Для среднеструйных дождевальных аппаратов средний диаметр капель дождя изменяется от 0,5 мм (в начале радиуса полива) до 2,3 мм (в конце).

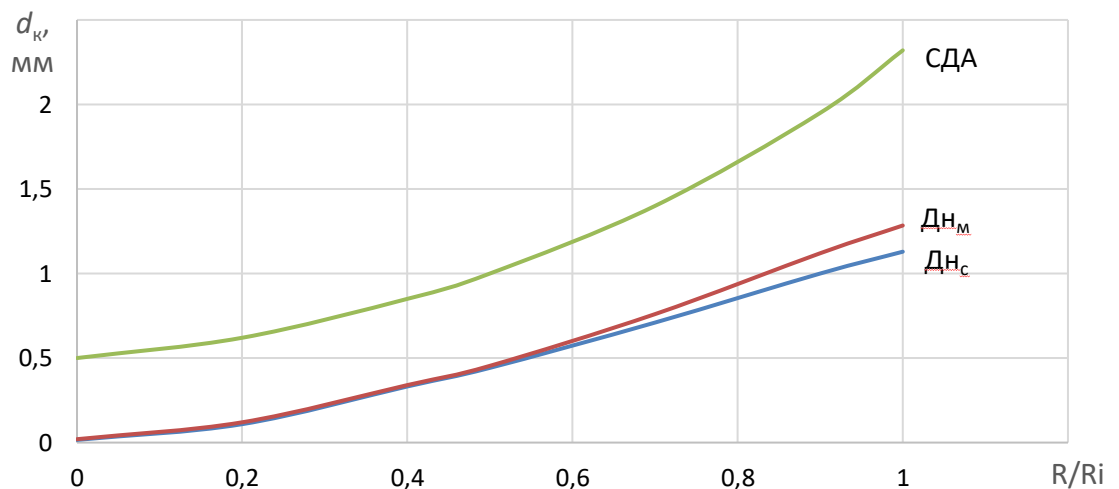


Рисунок 4.15 – Средний диаметр капель вдоль относительного радиуса полива дождевальной насадки серийной (ДНс) и модернизированной (ДНм) и среднеструйного аппарата (СДА) при расходе воды 0,63 л/с

В таблице 4.5 и на рисунке 4.16 представлены значения среднего диаметра капель вдоль трубопровода ДМ «Каскад».

Таблица 4.5 – Изменение среднего диаметра капель дождя вдоль ДМ «Каскад», Zimmatic и «Кубань-ЛК1»

Дождевальная машина	Средний диаметр капель дождя (мм) при расходе воды дождевателей, л/с				
	0,126	0,172	0,340	0,503	0,648
Zimmatic, i-wob	0,90	1,10	1,22	1,38	1,50
«Кубань-ЛК», СН	0,72	0,75	0,82	0,84	0,91
«Каскад», ДН	0,51	0,54	0,61	0,63	0,72

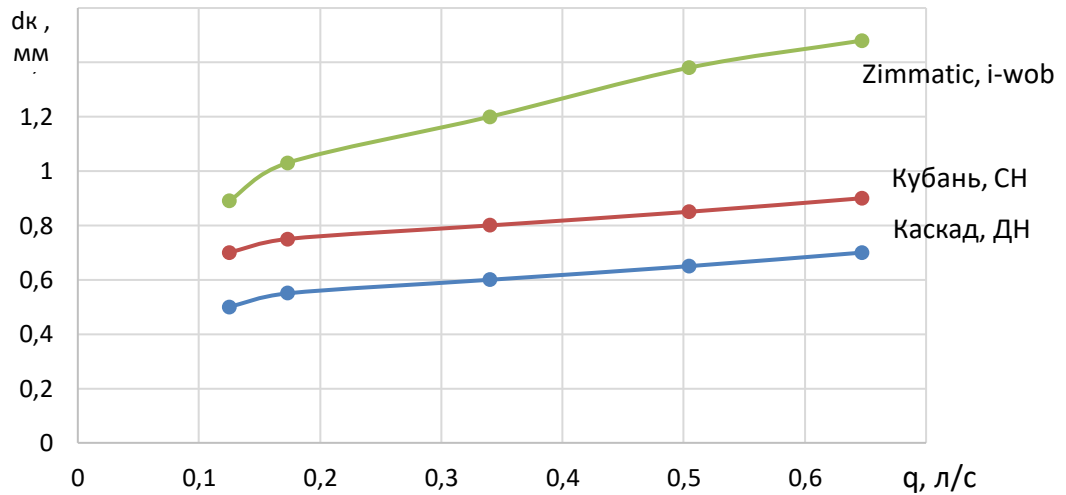


Рисунок 4.16 – Распределение диаметра капель вдоль ДМ «Каскад», ДМ «Кубань-ЛК1» с секторными насадками и ДМ Zimmatic

4.5 Оценка удельной мощности дождя вдоль трубопроводов дождевальных машин

ДМ «Каскад» имеет мощность дождя в 1,5–2 раза меньшую по сравнению с насадками *i-wob* машины Zimmatic (рисунок 4.17).

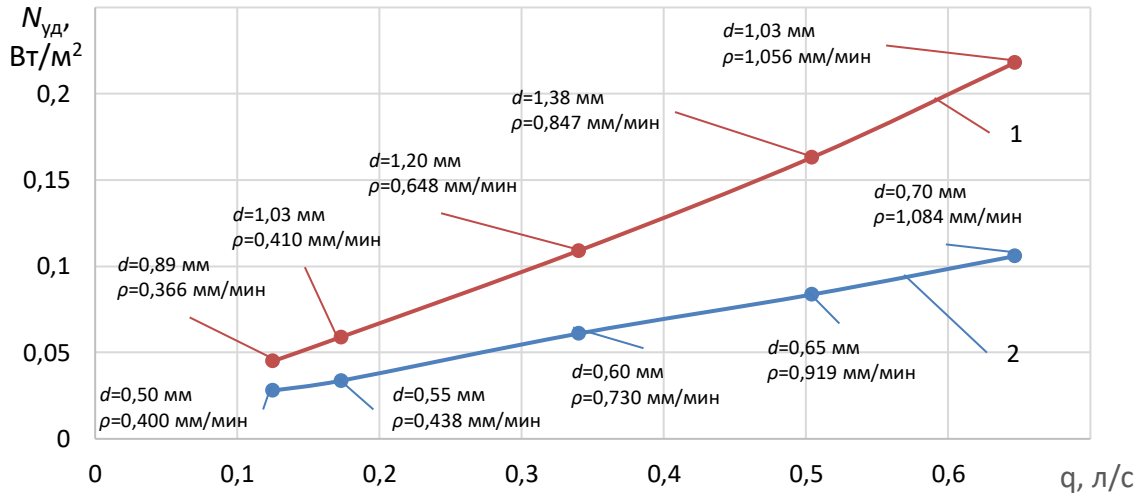


Рисунок 4.17 – Изменение удельной мощности дождя: 1 – вдоль ДМ Zimmatic; 2 – вдоль ДМ «Каскад»

Модернизированные дождевальные насадки образуют мелкокапельный дождь. Диаметр сопла насадок составляет 3–10 мм, а давление – 0,06–0,3 МПа. В результате образуются капли диаметром 0,5–0,9 мм.

4.6 Устойчивость усовершенствованной дождевальной насадки в вертикальной плоскости при поливе

Благодаря отсутствию «усов» (рисунок 4.18), дождевальная насадка с дефлектором формирует дождь однородной структуры по всему кругу полива.

В любой точке водопроводящего трубопровода машины при изменении расхода воды от 0,096 до 0,9 л/с (диаметр сопла 3–12 мм) достаточно общего веса насадки (0,41 кг). Устойчивость обеспечивает жесткость напорного трубопровода.



Рисунок 4.18 – Дождевальная насадка ДМ «Каскад» с грузом в работе

Дождевальная насадка с дефлектором находится в вертикальном положении при значениях веса насадки с грузом – 0,41 кг (вес груза 0,3 кг), при диаметре сопла 3–12 мм, что влияет на равномерность полива машины.

4.7 Исследования дождевальной насадки секторного полива

Чтобы исключить попадание оросительной воды под колеса тележек ДМ «Каскад» на примыкающих трубах к телекам на крайних УПД монтируются насадки секторного и контурного полива (рисунок 2.6, 2.7). На насадках секторного полива на одной из ножек монтируется клин (рисунок 4.19), который обеспечивает полив по сектору порядка 270° , а неполивной сектор должен быть порядка 90° (рисунки 4.21–4.23). Угол полива секторной насадки от конструктивных размеров и центрального угла конуса. Результаты исследований изменения угла недополива в зависимости от центрального угла клина показаны на рисунке 4.20.



Рисунок 4.19 – Монтаж на ножке насадки клина для обеспечения секторного полива

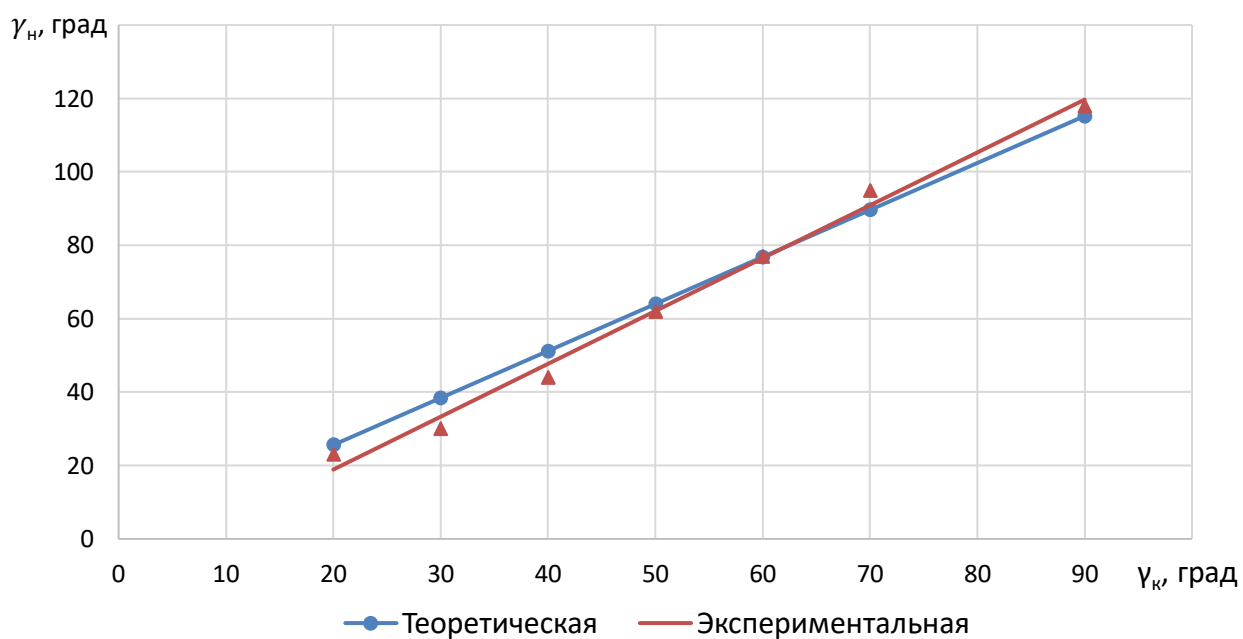


Рисунок 4.20 – Изменения неполиваемого угла дождевальной насадки в зависимости от центрального угла конуса

Уравнение для определения неполиваемого угла (γ_n) дождевальной насадки в зависимости от центрального угла конуса (γ_k) имеет вид:

$$\gamma_n = 1,28\gamma_k. \quad (4.8)$$



Рисунок 4.21 – Испытания дождевальной насадки секторного полива



Рисунок 4.22 – Испытания секторной насадки



Рисунок 4.23 – Полив сои секторной насадкой

Для обеспечения неполивного сектора (90°) в районе тележки на ножке насадок необходимо устанавливать металлический или пластмассовый клин с центральным углом 70 градусов.

4.8 Радиус полива дождевальной насадки с отражательной пластиной и площадь контурного полива. Радиус полива струи при взаимодействии с отражательной пластиной

Исследования дождевальной насадки с отражательной пластиной показывают, что радиус полива уменьшается по мере снижения угла наклона струи к горизонту (таблица 4.6). Максимальный радиус полива дождевальная насадка имеет при угле вылета струи $28\text{--}30^\circ$. Уменьшение радиуса полива дождевальной насадки при сходе с отражательной пластины ($R_{п}$) по отношению к максимальному радиусу полива с углом 30° (R_{30}) оцениваем

коэффициентом $K_\theta = R_\Pi / R_{30}$. Результаты исследований радиуса полива и значений коэффициента K_θ приведены в таблице 4.6.

Изменение коэффициент отношения K_θ в зависимости от угла наклона отражательной пластины показано на рисунке 4.24. Математической обработкой результатов исследований получено уравнение для расчета коэффициента отношения K_θ в зависимости от угла наклона отражательной пластины к горизонту, которое имеет вид:

$$K_\theta = 0,5 + 0,0166\theta, \quad (4.9)$$

где θ – угол наклона отражательной пластины к горизонту ($\theta = 0^\circ \dots 30^\circ$)

Из таблицы 4.6 видно, что для обеспечения радиуса полива контурной насадки 4,5 м и меньше, угол наклона отражательной пластины должен изменяться от 20–25° для насадок 5 и 6 мм до 15–20° для насадок 10 мм. Радиус полива насадки D3000 (Sinniger) с диаметром сопла 8,14 мм с плоским гладким дефлектором и нулевым углом вылета струи соответствует данным наших исследований при отражательной пластине с углом 0° и равен 3–3,5 м.

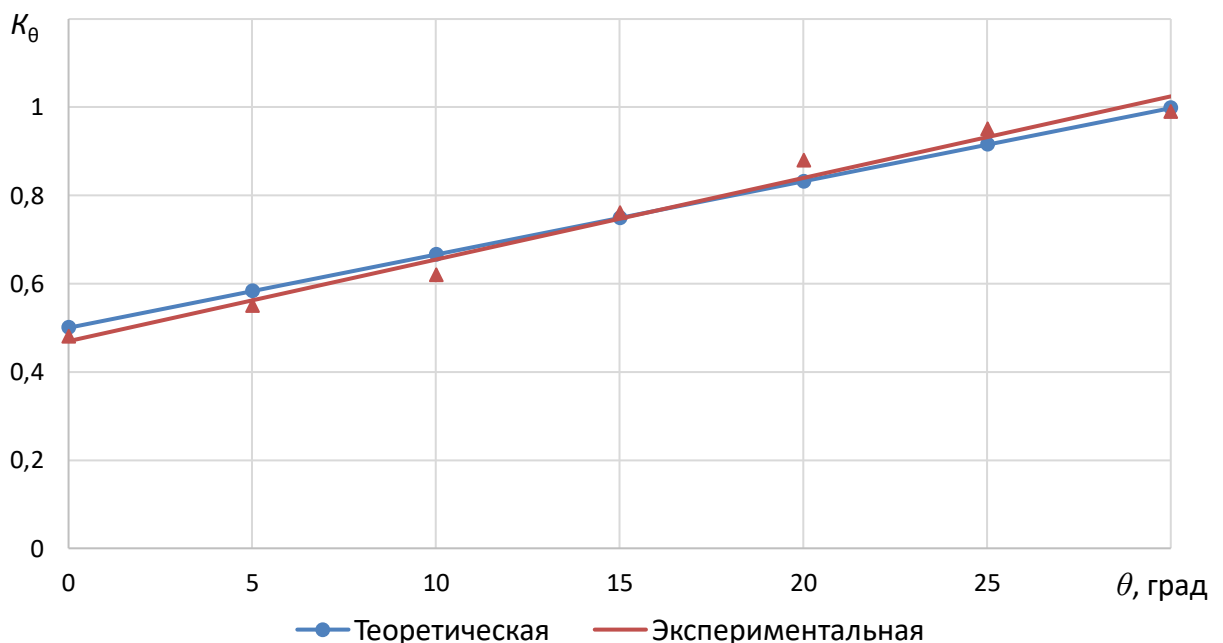


Рисунок 4.24 – Изменение K_θ от угла наклона отражательной пластины

Таблица 4.6 – Изменение радиус полива дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла (D), напора (H) и угла наклона отражательной пластины (θ) при высоте установки 2 м от поверхности почвы

D, мм	H, м	Радиус полива (м) от угла наклона отражательной пластины к горизонту, град и (коэффициент отношения K_θ радиуса полива R_θ к максимальному радиусу R_{30} при угле полета струи 30°)						
		30°	25°	20°	15°	10°	5°	0°
5	25	4,69 (1)	4,29 (0,914)	3,9 (0,831)	3,47 (0,739)	3,09 (0,658)	2,72 (0,579)	2,34 (0,49)
5	30	4,89 (1)	4,47 (0,915)	4,06 (0,830)	3,66 (0,743)	3,21 (0,661)	2,82 (0,58)	2,49 (0,51)
6	15	4,68 (1)	4,28 (0,915)	3,89 (0,831)	3,51 (0,750)	3,57 (0,659)	3,14 (0,58)	2,39 (0,49)
6	20	5,11 (1)	4,67 (0,914)	4,25 (0,831)	3,78 (0,740)	3,72 (0,66)	3,26 (0,579)	2,5 (0,49)
8	15	5,61 (1)	5,12 (0,913)	4,67 (0,831)	4,16 (0,741)	3,70 (0,659)	3,26 (0,581)	2,74 (0,49)
8	20	6,24 (1)	5,7 (0,914)	5,19 (0,832)	4,64 (0,743)	4,11 (0,658)	3,61 (0,578)	3,12 (0,5)
10	10	5,18 (1)	4,75 (0,916)	4,31 (0,832)	3,84 (0,741)	3,42 (0,66)	3,01 (0,58)	2,53 (0,49)
10	15	6,38 (1)	5,83 (0,916)	5,32 (0,832)	4,74 (0,742)	4,2 (0,659)	3,69 (0,58)	3,25 (0,51)
Средние K_θ		1	0,915	0,832	0,743	0,66	0,58	0,5

Диаметр сопла определяет радиус полива, толщину пленки на сходе, напор и угол схода пленки к горизонту (рисунок 4.25). Анализ насадки с отражателем выявил, что угол наклона отражателя влияет на размер пленки, образующейся при сходе. Чем меньше угол, тем больше ширина пленки и шире полив струи. Результаты анализа представлены в таблице 4.7 и на рисунке 4.26.

Таблица 4.7 – Радиус полива струи аппарата с отражателем R в зависимости от диаметра сопла D , напора H и угла наклона отражателя θ

D, мм	H, м вод. ст.	θ , град.	R, м	D, мм	H, м вод. ст.	θ , град.	R, м
4,8	20,0	11,0	7,5	6,3	29,0	11,0	11,5
4,8	29,0	15,0	11,0	6,3	20,0	14,0	12,0
6,3	3,0	11,0	3,5	6,3	10,0	17,5	8,5
6,3	13,5	11,0	9,5	6,3	20,0	17,5	12,2
6,3	22,5	11,0	11,0	6,3	26,0	17,5	13,2
6,3	25,0	11,0	11,0	6,3	29,0	17,5	14,0

Продолжение таблицы 4.7

Д, мм	Н, м вод. ст.	θ , град.	R, м	Д, мм	Н, м вод. ст.	θ , град.	R, м
6,3	10,5	23,0	11,2	7,9	19,0	16,0	11,5
6,3	21,0	23,0	13,7	7,9	21,0	16,0	12,5
6,3	25,0	23,0	14,6	7,9	16,0	21,0	11,0
6,3	29,0	23,0	15,6	7,9	20,0	19,0	12,5
7,9	12,0	13,0	8,5	7,9	24,0	21,0	13,6
7,9	15,0	13,0	9,5	7,9	20,0	23,0	15,0
7,9	20,0	13,0	10,0	9,5	8,0	9,0	6,0
7,9	21,0	13,0	11,5	9,5	10,5	9,0	7,5
9,5	16,0	9,0	8,0	9,5	14,0	20,0	10,8
9,5	7,0	19,0	7,5	9,5	21,0	20,0	15,5
9,5	11,5	19,0	11,2	9,5	14,0	22,0	11,1
9,5	16,0	19,0	12,1	9,5	16,0	22,0	13,6
9,5	11,5	20,0	9,5				

Выражения для определения радиуса полета струи (приложение А) после взаимодействия с отражательной пластиной аппарата R_{Π} , с учетом напора H , угла вылета струи с пластины θ и диаметра струи D :

$$R_{\Pi} = 0,47H^{0,497}D^{0,25}\theta^{0,442}r = 0,961 \quad (4.10)$$



Рисунок 4.25 – Полив струйной насадкой с отражательной пластиной

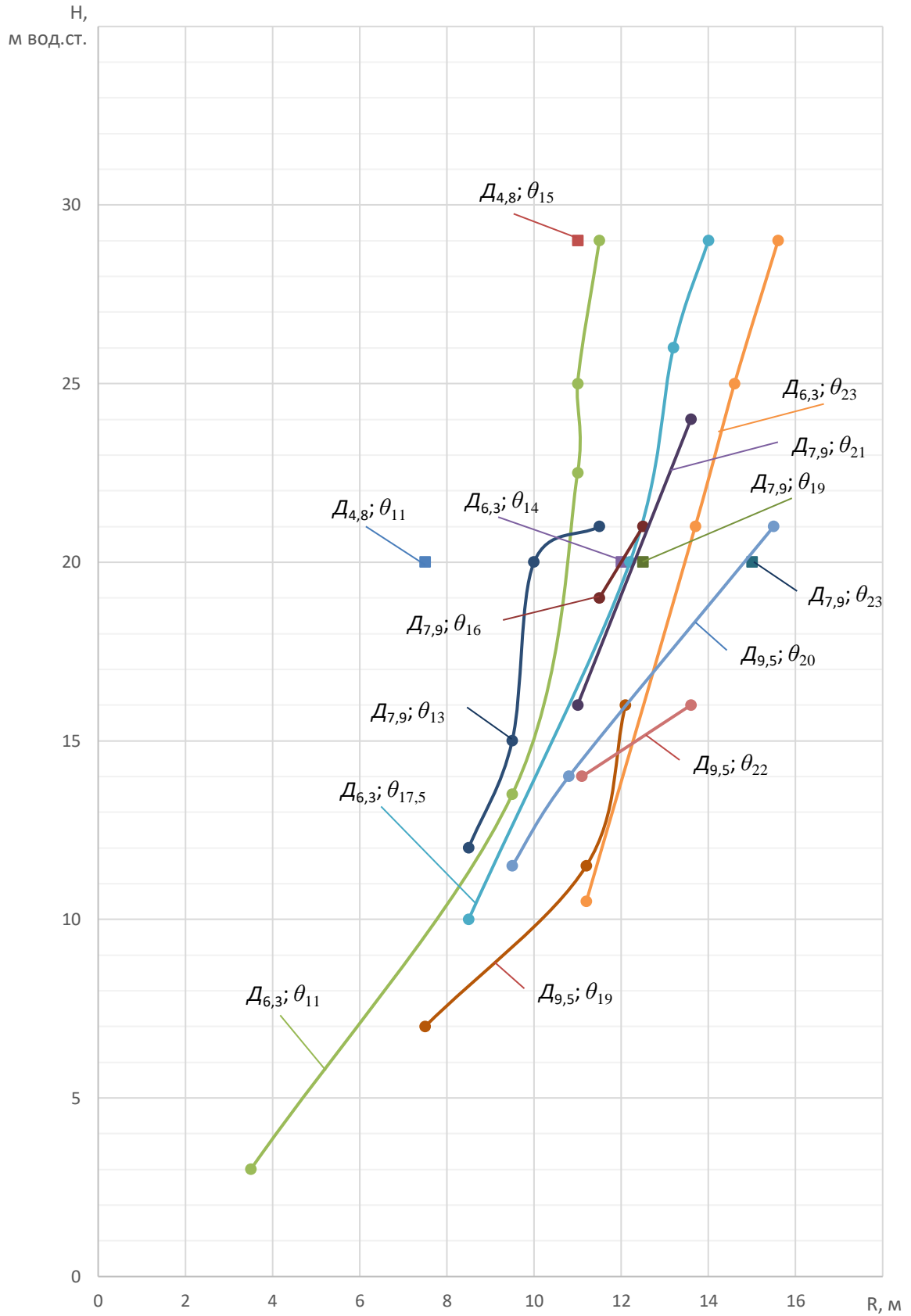


Рисунок 4.26 – Радиус полива струи аппарата с отражательной пластиной в зависимости от диаметра D , напора H и угла отражателя θ

Значение радиуса струи 16–20 м — в 2 раза больше, чем у аналогичных дефлекторных насадок, при угле вылета струи с пластины $\theta = 23^\circ$ и напоре 0,3 МПа для струйных насадок диаметром 7,1–9,5 мм.

4.9 Выводы по 4-й главе

1. Выведены математические зависимости для определения расхода воды (4.2) в зависимости от диаметра сопла и давления на выходе струи из сопла; коэффициента расхода (4.1). При изменении диаметра сопла от 3 до 12 мм расход воды изменяется от 0,065 до 2,12 л/с, что обеспечивает ее применение на многоопорных дождевальными машинах различных конструкций «Каскад», «Кубань», «Фрегат» и др. Уточнен радиус полива струй дождя (4.4) от конструктивных и технологических параметров. Радиус полива дождевальной насадки вдоль трубопровода ДМ «Каскад» изменяется от 3,13 до 9,23 м, что обеспечивает достаточное перекрытие струй при расположении насадок через 2,9 м.

2. Установка дождевальных насадок на устройствах приповерхностного дождевания снижает среднюю интенсивность дождя ДМ «Каскад» в 1,25–1,65 раза меньше, чем у ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками. Мгновенная интенсивность дождя у среднеструйных аппаратов ДМ «Фрегат» в 4–4,5 раза выше, чем у ДМ «Каскад», и в 1,35 раза меньше, чем у секторных насадок ДМ «Кубань-ЛК».

3. Получены выражения для определения размера капель дождя в любой точке радиуса полива (4.5–4.7). Средняя крупность капель дождя дождевальных насадок в 1,5–2,0 раза меньше, чем у насадок *i-wob* ДМ Zimmatic, (давление всего 0,1 МПа) и на 30 % меньше, чем у секторных насадок ДМ «Кубань-ЛК» составляет 0,5–0,86 мм. По сравнению с насадками *i-wob* ДМ Zimmatic «Каскад» формирует в 1,5–2 раза меньшую среднюю мощность дождя.

4. Дождевальная насадка с дефлектором имеет меньший реактивный момент при выходе струи из сопла и образует равномерный дождь по всему

контур, а ее устойчивое вертикальное положение обеспечивается стальным грузом массой 0,3 кг,

5. Дождевальные насадки, снабженные клином с центральным углом 70° обеспечивает угол полива 270° и неполивной угол от попадания дождя 90° , что необходимо использовать для снижения попадания дождя в зону движения тележек машины. Установлена математическая зависимость (4.8) между центральным углом клина и углом сектора недополива насадки в районе тележки.

6. Для обеспечения контурного полива в районе тележек дождевальные насадки с диаметром сопла более 5 мм должны комплектоваться отражательной пластиной с возможностью изменять угол вылета струй с отражательной пластины от 10° до $10-15^\circ$. Установлена математическая зависимость радиуса полива струй дождя насадки (4.9) в зависимости от угла наклона отражательной пластины к горизонту. При использовании на дополнительном концевом дождевальном аппарате насадки с отражателем диаметром 7,1–9,5 мм и углом вылета струи с пластины $\theta=23^\circ$, дальность в 2 раза больше, чем у дефлекторных насадок с аналогичным расходом и составит 16–20 м. Определено уравнение (4.10) для нахождения радиуса полета струи дождевального аппарата с отражательной пластиной.

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОГООПОРНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «КАСКАД». ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Расход воды дождевальной машины «Каскад»

Расход воды дождевальной машины «Каскад» № 3 в ООО «Листеко» длиной 434 м при напоре на входе 35 м.в.ст. составил 53,73 л/с (таблица 5.1). Диаметр сопла вдоль трубопровода увеличивается с 1,4 до 8,1 мм. При напоре на входе с 25 до 50 м.в.ст расход воды машины увеличивается с 45,41 до 64,21 л/с (таблицы 5.2–5.5).

Расход воды (Q) ДМ № 3 с учетом напора на входе определяли по формуле:

$$Q = 9,082H^{0,5}, \quad (5.1)$$

где H – напора на входе, м.в.ст. ($H = 25–50$ м.в.ст).

Карты настройки ДМ «Каскад» №1 и 2 длиной 475 и 452 м. и расход воды с учетом напора на входе для ДМ № 1 показано в таблице 5.6.

Расход воды (Q) ДМ № 1 с учетом напора на входе определяли по формуле:

$$Q = 9,377H^{0,5}, \quad (5.2)$$

где H – напора на входе в машину, м.в.ст. ($H = 25–50$ м.в.ст).

Расход воды с учетом напора на входе для ДМ № 2 показано в таблице 5.7.

Расхода воды (Q) ДМ № 2 с учетом напора на входе имеет вид:

$$Q = 9,271H^{0,5}, \quad (5.3)$$

где H – напора на входе, м.в.ст. ($H = 25–50$ м.в.ст).

Расхода воды с учетом напора на входе изменялся. Для ДМ № 1, 2 и 3 показано на рисунке 5.1.

Таблица 5.1 – Карта настройки ДМ «Каскад» №3, длина машины – 434 м,
напор на входе 35 м.в.ст., расход воды – 53,73 л/с

№ тел	Расстояние от неподвижной опоры, м	Расход воды на водовыпусках труб, л/с	Расход воды в трубе, л/с	Расход воды насадки, л/с	Напор в трубе, м	Диаметр сопла, мм
	11,9	0,036111	53,69389	0,036	33,75211	1,408157
	23,8	0,108332	53,58556	0,054166	32,50925	1,743556
	35,7	0,180553	53,40501	0,090276	31,27475	2,272812
	47,6	0,252774	53,15223	0,126387	30,05191	2,716177
1	59,5	0,324995	52,82724	0,162497	28,84398	3,111605
	71,4	0,397216	52,43002	0,198608	27,65414	3,476429
	83,3	0,469437	51,96058	0,234719	26,48552	3,820292
	95,2	0,541658	51,41892	0,180553	25,34113	3,387822
	107,1	0,613879	50,80505	0,15347	24,22391	3,158824
2	119	0,6861	50,11895	0,171525	23,13665	3,378032
	130,9	0,758322	49,36062	0,18958	22,08205	3,593038
	142,8	0,830543	48,53008	0,207636	21,06264	3,804939
	154,7	0,902764	47,62732	0,225691	20,08081	4,014549
	166,6	0,974985	46,65233	0,243746	19,13876	4,22246
3	178,5	1,047206	45,60513	0,261801	18,23852	4,429081
	190,4	1,119427	44,4857	0,279857	17,38195	4,634664
	202,3	1,191648	43,29405	0,297912	16,57064	4,839318
	214,2	1,263869	42,03018	0,315967	15,80602	5,043017
	226,1	1,33609	40,69409	0,334023	15,08923	5,245612
4	238	1,408311	39,28578	0,352078	14,4212	5,446833
	249,9	1,480533	37,80525	0,370133	13,80257	5,646301
	261,8	1,552754	36,25249	0,388188	13,23371	5,843538
	273,7	1,624975	34,62752	0,406244	12,71471	6,037981
	285,6	1,697196	32,93032	0,424299	12,24533	6,229
5	297,5	1,769417	31,16091	0,442354	11,82505	6,415926
	309,4	1,841638	29,31927	0,46041	11,45297	6,598081
	321,3	1,913859	27,40541	0,478465	11,12788	6,774806
	333,2	1,98608	25,41933	0,49652	10,84821	6,945506
	345,1	2,058301	23,36103	0,514575	10,61199	7,109684
6	357	2,130522	21,23051	0,532631	10,41689	7,266972
	368,9	2,202744	19,02776	0,550686	10,26018	7,417169
	380,8	2,274965	16,7528	0,568741	10,1387	7,56026
	392,7	2,347186	14,40561	0,586796	10,04888	7,69643
	404,6	2,419407	11,9862	0,604852	9,98693	7,826075
7	416,5	2,491628	9,494576	0,622907	9,947674	7,9498
	428,4	2,563849	6,930727	0,640962	9,926883	8,068411
	434,3	1,297932	5,632795	0,648966		8,121441
КДА	459	5,62	0	5,62		

Таблица 5.2 – Карта настройки ДМ «Каскад» №3, длина машины – 434 м,
напор на входе 45 м.в.ст., расход воды – 60,92 л/с

№ тел	Расстояние от неподвижной опоры, м	Расход воды на водовыпусках труб, л/с	Расход воды в трубе, л/с	Расход воды насадки, л/с	Напор в трубе, м	Диаметр сопла, мм
	11,9	0,030588	45,37941	0,0409	43,39578	1,408157
	23,8	0,091763	45,28765	0,061388	41,79803	1,743556
	35,7	0,152939	45,13471	0,102313	40,21102	2,272812
	47,6	0,214114	44,9206	0,143239	38,639	2,716177
1	59,5	0,27529	44,64531	0,184164	37,08613	3,111605
	71,4	0,336465	44,30884	0,225089	35,55651	3,476429
	83,3	0,397641	43,9112	0,266014	34,05415	3,820292
	95,2	0,458816	43,45238	0,204626	32,58294	3,387822
	107,1	0,519992	42,93239	0,173932	31,14663	3,158824
2	119	0,581167	42,35122	0,194395	29,74884	3,378032
	130,9	0,642343	41,70888	0,214858	28,393	3,593038
	142,8	0,703518	41,00536	0,23532	27,08239	3,804939
	154,7	0,764694	40,24067	0,255783	25,82006	4,014549
	166,6	0,82587	39,4148	0,276246	24,60886	4,22246
3	178,5	0,887045	38,52775	0,296708	23,4514	4,429081
	190,4	0,948221	37,57953	0,317171	22,35003	4,634664
	202,3	1,009396	36,57014	0,337634	21,30685	4,839318
	214,2	1,070572	35,49957	0,358096	20,32366	5,043017
	226,1	1,131747	34,36782	0,378559	19,40195	5,245612
4	238	1,192923	33,1749	0,399022	18,5429	5,446833
	249,9	1,254098	31,9208	0,419484	17,74734	5,646301
	261,8	1,315274	30,60552	0,439947	17,01575	5,843538
	273,7	1,376449	29,22907	0,46041	16,34823	6,037981
	285,6	1,437625	27,79145	0,480872	15,74451	6,229
5	297,5	1,4988	26,29265	0,501335	15,20388	6,415926
	309,4	1,559976	24,73267	0,521797	14,72522	6,598081
	321,3	1,621151	23,11152	0,54226	14,30696	6,774806
	333,2	1,682327	21,4292	0,562723	13,94708	6,945506
	345,1	1,743502	19,68569	0,583185	13,64308	7,109684
6	357	1,804678	17,88102	0,603648	13,39195	7,266972
	368,9	1,865853	16,01516	0,624111	13,19018	7,417169
	380,8	1,927029	14,08813	0,644573	13,03371	7,56026
	392,7	1,988204	12,09993	0,665036	12,91797	7,69643
	404,6	2,04938	10,05055	0,685499	12,83779	7,826075
7	416,5	2,110555	7,939994	0,705961	12,78743	7,9498
	428,4	2,171731	5,768263	0,726424	12,76055	8,068411
	434,3	1,099425	4,668838	0,735495	12,74277	8,121441
КДА	459	4,765934		4,76		

Таблица 5.3 – Карта настройки ДМ «Каскад» №3, длина машины – 434 м,
напор на входе 25 м.в.ст., расход воды – 45,41 л/с

№ тел	Расстояние от неподвижной опоры, м	Расход воды на водовыпусках труб, л/с	Расход воды в трубе, л/с	Расход воды насадки, л/с	Напор в трубе, м	Диаметр сопла, мм
	11,9	0,030588	45,37941	0,0305	24,10866	1,408157
	23,8	0,091763	45,28765	0,045882	23,22092	1,743556
	35,7	0,152939	45,13471	0,076469	22,33916	2,272812
	47,6	0,214114	44,9206	0,107057	21,46575	2,716177
1	59,5	0,27529	44,64531	0,137645	20,60301	3,111605
	71,4	0,336465	44,30884	0,168233	19,75323	3,476429
	83,3	0,397641	43,9112	0,19882	18,91863	3,820292
	95,2	0,458816	43,45238	0,152939	18,10139	3,387822
	107,1	0,519992	42,93239	0,129998	17,30358	3,158824
2	119	0,581167	42,35122	0,145292	16,52723	3,378032
	130,9	0,642343	41,70888	0,160586	15,77425	3,593038
	142,8	0,703518	41,00536	0,17588	15,04645	3,804939
	154,7	0,764694	40,24067	0,191174	14,34555	4,014549
	166,6	0,82587	39,4148	0,206467	13,67312	4,22246
3	178,5	0,887045	38,52775	0,221761	13,03062	4,429081
	190,4	0,948221	37,57953	0,237055	12,41936	4,634664
	202,3	1,009396	36,57014	0,252349	11,84049	4,839318
	214,2	1,070572	35,49957	0,267643	11,29502	5,043017
	226,1	1,131747	34,36782	0,282937	10,78377	5,245612
4	238	1,192923	33,1749	0,298231	10,3074	5,446833
	249,9	1,254098	31,9208	0,313525	9,866361	5,646301
	261,8	1,315274	30,60552	0,328818	9,460922	5,843538
	273,7	1,376449	29,22907	0,344112	9,09113	6,037981
	285,6	1,437625	27,79145	0,359406	8,75682	6,229
5	297,5	1,4988	26,29265	0,3747	8,457597	6,415926
	309,4	1,559976	24,73267	0,389994	8,192827	6,598081
	321,3	1,621151	23,11152	0,405288	7,961629	6,774806
	333,2	1,682327	21,4292	0,420582	7,762864	6,945506
	345,1	1,743502	19,68569	0,435876	7,595127	7,109684
6	357	1,804678	17,88102	0,451169	7,456735	7,266972
	368,9	1,865853	16,01516	0,466463	7,345718	7,417169
	380,8	1,927029	14,08813	0,481757	7,25981	7,56026
	392,7	1,988204	12,09993	0,497051	7,196439	7,69643
	404,6	2,04938	10,05055	0,512345	7,152716	7,826075
7	416,5	2,110555	7,939994	0,527639	7,125429	7,9498
	428,4	2,171731	5,768263	0,542933	7,111027	8,068411
	434,3	1,099425	4,668838	0,549712	7,101592	8,121441
КДА	459	4,765934	-0,0971	6,37		

Таблица 5.4 – Карта настройки ДМ «Каскад» №3, длина машины – 434 м,
напор на входе 50 м.в.ст., расход воды – 64,21 л/с

№ тел	Расстояние от неподвижной опоры, м	Расход воды на водовыпусках труб, л/с	Расход воды в трубе, л/с	Расход воды насадки, л/с	Напор в трубе, м	Диаметр сопла, мм
	11,9	0,030588	45,37941	0,0305	24,10866	1,408157
	23,8	0,091763	45,28765	0,045882	23,22092	1,743556
	35,7	0,152939	45,13471	0,076469	22,33916	2,272812
	47,6	0,214114	44,9206	0,107057	21,46575	2,716177
1	59,5	0,27529	44,64531	0,137645	20,60301	3,111605
	71,4	0,336465	44,30884	0,168233	19,75323	3,476429
	83,3	0,397641	43,9112	0,19882	18,91863	3,820292
	95,2	0,458816	43,45238	0,152939	18,10139	3,387822
	107,1	0,519992	42,93239	0,129998	17,30358	3,158824
2	119	0,581167	42,35122	0,145292	16,52723	3,378032
	130,9	0,642343	41,70888	0,160586	15,77425	3,593038
	142,8	0,703518	41,00536	0,17588	15,04645	3,804939
	154,7	0,764694	40,24067	0,191174	14,34555	4,014549
	166,6	0,82587	39,4148	0,206467	13,67312	4,22246
3	178,5	0,887045	38,52775	0,221761	13,03062	4,429081
	190,4	0,948221	37,57953	0,237055	12,41936	4,634664
	202,3	1,009396	36,57014	0,252349	11,84049	4,839318
	214,2	1,070572	35,49957	0,267643	11,29502	5,043017
	226,1	1,131747	34,36782	0,282937	10,78377	5,245612
4	238	1,192923	33,1749	0,298231	10,3074	5,446833
	249,9	1,254098	31,9208	0,313525	9,866361	5,646301
	261,8	1,315274	30,60552	0,328818	9,460922	5,843538
	273,7	1,376449	29,22907	0,344112	9,09113	6,037981
	285,6	1,437625	27,79145	0,359406	8,75682	6,229
5	297,5	1,4988	26,29265	0,3747	8,457597	6,415926
	309,4	1,559976	24,73267	0,389994	8,192827	6,598081
	321,3	1,621151	23,11152	0,405288	7,961629	6,774806
	333,2	1,682327	21,4292	0,420582	7,762864	6,945506
	345,1	1,743502	19,68569	0,435876	7,595127	7,109684
6	357	1,804678	17,88102	0,451169	7,456735	7,266972
	368,9	1,865853	16,01516	0,466463	7,345718	7,417169
	380,8	1,927029	14,08813	0,481757	7,25981	7,56026
	392,7	1,988204	12,09993	0,497051	7,196439	7,69643
	404,6	2,04938	10,05055	0,512345	7,152716	7,826075
7	416,5	2,110555	7,939994	0,527639	7,125429	7,9498
	428,4	2,171731	5,768263	0,542933	7,111027	8,068411
	434,3	1,099425	4,668838	0,549712	7,101592	8,121441
КДА	459	4,765934	-0,0971	6,37		

Таблица 5.5 – Расход воды ДМ «Каскад» № 3 с учетом напора на входе
(длина машины – 434 м)

Диаметр сопла, мм	Расход воды на водовыпусках труб, л/с			
	H=25 м	H=35 м	H=45 м	H=50 м
1,408157	0,030588	0,036111	0,040925	0,043251
1,743556	0,091763	0,108332	0,122776	0,129753
2,272812	0,152939	0,180553	0,204626	0,216255
2,716177	0,214114	0,252774	0,286477	0,302758
3,111605	0,27529	0,324995	0,368328	0,38926
3,476429	0,336465	0,397216	0,450178	0,475762
3,820292	0,397641	0,469437	0,532029	0,562264
3,387822	0,458816	0,541658	0,613879	0,648766
3,158824	0,519992	0,613879	0,69573	0,735269
3,378032	0,581167	0,6861	0,777581	0,821771
3,593038	0,642343	0,758322	0,859431	0,908273
3,804939	0,703518	0,830543	0,941282	0,994775
4,014549	0,764694	0,902764	1,023132	1,081277
4,22246	0,82587	0,974985	1,104983	1,16778
4,429081	0,887045	1,047206	1,186833	1,254282
4,634664	0,948221	1,119427	1,268684	1,340784
4,839318	1,009396	1,191648	1,350535	1,427286
5,043017	1,070572	1,263869	1,432385	1,513788
5,245612	1,131747	1,33609	1,514236	1,60029
5,446833	1,192923	1,408311	1,596086	1,686793
5,646301	1,254098	1,480533	1,677937	1,773295
5,843538	1,315274	1,552754	1,759787	1,859797
6,037981	1,376449	1,624975	1,841638	1,946299
6,229	1,437625	1,697196	1,923489	2,032801
6,415926	1,4988	1,769417	2,005339	2,119304
6,598081	1,559976	1,841638	2,08719	2,205806
6,774806	1,621151	1,913859	2,16904	2,292308
6,945506	1,682327	1,98608	2,250891	2,37881
7,109684	1,743502	2,058301	2,332742	2,465312
7,266972	1,804678	2,130522	2,414592	2,551814
7,417169	1,865853	2,202744	2,496443	2,638317
7,56026	1,927029	2,274965	2,578293	2,724819
7,69643	1,988204	2,347186	2,660144	2,811321
7,826075	2,04938	2,419407	2,741994	2,897823
7,9498	2,110555	2,491628	2,823845	2,984325
8,068411	2,171731	2,563849	2,905696	3,070828
8,121441	1,099425	1,297932	1,47099	1,554587
КДА	4,765934	5,62	6,37	6,739031
Расход машины, л/с	45,41	53,73	60,92	64,21

Таблица 5.6 – Расход воды ДМ «Каскад» № 1 с учетом напора на входе
(длина машины – 475 м)

Диаметр сопла, мм	Расход воды на водовыпусках труб, л/с			
	H=25 м	H=35 м	H=45 м	H=50 м
1,408157	0,030588	0,036111	0,040925	0,043251
1,743556	0,091763	0,108332	0,122776	0,129753
2,272812	0,152939	0,180553	0,204626	0,216255
2,716177	0,214114	0,252774	0,286477	0,302758
3,111605	0,27529	0,324995	0,368328	0,38926
3,476429	0,336465	0,397216	0,450178	0,475762
3,820292	0,397641	0,469437	0,532029	0,562264
3,387822	0,458816	0,541658	0,613879	0,648766
3,158824	0,519992	0,613879	0,69573	0,735269
3,378032	0,581167	0,6861	0,777581	0,821771
3,593038	0,642343	0,758322	0,859431	0,908273
3,804939	0,703518	0,830543	0,941282	0,994775
4,014549	0,764694	0,902764	1,023132	1,081277
4,22246	0,82587	0,974985	1,104983	1,16778
4,429081	0,887045	1,047206	1,186833	1,254282
4,634664	0,948221	1,119427	1,268684	1,340784
4,839318	1,009396	1,191648	1,350535	1,427286
5,043017	1,070572	1,263869	1,432385	1,513788
5,245612	1,131747	1,33609	1,514236	1,60029
5,446833	1,192923	1,408311	1,596086	1,686793
5,646301	1,254098	1,480533	1,677937	1,773295
5,843538	1,315274	1,552754	1,759787	1,859797
6,037981	1,376449	1,624975	1,841638	1,946299
6,229	1,437625	1,697196	1,923489	2,032801
6,415926	1,4988	1,769417	2,005339	2,119304
6,598081	1,559976	1,841638	2,08719	2,205806
6,774806	1,621151	1,913859	2,16904	2,292308
6,945506	1,682327	1,98608	2,250891	2,37881
7,109684	1,743502	2,058301	2,332742	2,465312
7,266972	1,804678	2,130522	2,414592	2,551814
7,417169	1,865853	2,202744	2,496443	2,638317
7,56026	1,927029	2,274965	2,578293	2,724819
7,69643	1,988204	2,347186	2,660144	2,811321
7,826075	2,04938	2,419407	2,741994	2,897823
7,9498	2,110555	2,491628	2,823845	2,984325
8,068411	2,171731	2,563849	2,905696	3,070828
8,121441	1,099425	1,297932	1,47099	1,554587
КДА	4,765934	5,62	6,37	6,739031
Расход машины, л/с	45,41	53,73	60,92	64,21

Таблица 5.7 – Расход воды ДМ «Каскад» № 2 и 4 с учетом напора на входе
(длина машины 452 м)

Диаметр сопла, мм	Расход воды на водовыпусках труб, л/с			
	H=25 м	H=35 м	H=45 м	H=50 м
1,408157	0,030588	0,036111	0,040925	0,043251
1,743556	0,091763	0,108332	0,122776	0,129753
2,272812	0,152939	0,180553	0,204626	0,216255
2,716177	0,214114	0,252774	0,286477	0,302758
3,111605	0,27529	0,324995	0,368328	0,38926
3,476429	0,336465	0,397216	0,450178	0,475762
3,820292	0,397641	0,469437	0,532029	0,562264
3,387822	0,458816	0,541658	0,613879	0,648766
3,158824	0,519992	0,613879	0,69573	0,735269
3,378032	0,581167	0,6861	0,777581	0,821771
3,593038	0,642343	0,758322	0,859431	0,908273
3,804939	0,703518	0,830543	0,941282	0,994775
4,014549	0,764694	0,902764	1,023132	1,081277
4,22246	0,82587	0,974985	1,104983	1,16778
4,429081	0,887045	1,047206	1,186833	1,254282
4,634664	0,948221	1,119427	1,268684	1,340784
4,839318	1,009396	1,191648	1,350535	1,427286
5,043017	1,070572	1,263869	1,432385	1,513788
5,245612	1,131747	1,33609	1,514236	1,60029
5,446833	1,192923	1,408311	1,596086	1,686793
5,646301	1,254098	1,480533	1,677937	1,773295
5,843538	1,315274	1,552754	1,759787	1,859797
6,037981	1,376449	1,624975	1,841638	1,946299
6,229	1,437625	1,697196	1,923489	2,032801
6,415926	1,4988	1,769417	2,005339	2,119304
6,598081	1,559976	1,841638	2,08719	2,205806
6,774806	1,621151	1,913859	2,16904	2,292308
6,945506	1,682327	1,98608	2,250891	2,37881
7,109684	1,743502	2,058301	2,332742	2,465312
7,266972	1,804678	2,130522	2,414592	2,551814
7,417169	1,865853	2,202744	2,496443	2,638317
7,56026	1,927029	2,274965	2,578293	2,724819
7,69643	1,988204	2,347186	2,660144	2,811321
7,826075	2,04938	2,419407	2,741994	2,897823
7,9498	2,110555	2,491628	2,823845	2,984325
8,068411	2,171731	2,563849	2,905696	3,070828
8,121441	1,099425	1,297932	1,47099	1,554587
КДА	4,765934	5,62	6,37	6,739031
Расход машины, л/с	45,41	53,73	60,92	64,21

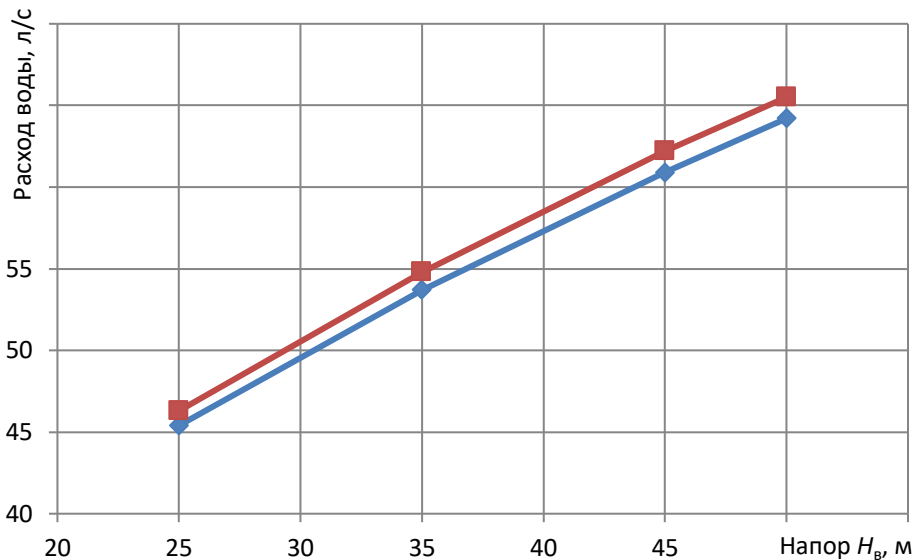


Рисунок 5.1 – Расход воды ДМ «Каскад» № 1, 2 и 3 с учетом напора на входе

При увеличении напора на входе в машину с 25 до 50 м.в.ст. для ДМ № 3 длиной 434 м расход воды увеличивается от 45,41 до 64,21 л/с, для машины №2 и 4 длиной 452 м расход воды увеличивается от 46,35 до 65,55 л/с и для машины №1 длиной 475 м расход воды увеличивается от 46,88 до 66,34 л/с. Получены математические уравнения (5.1–5.3) для расчета расход воды ДМ «Каскад» № 1, 2 и 3 в зависимости от напора на входе в машину.

5.2 Равномерность полива дождевальная машины «Каскад»

Устройство приземного орошения (УПО) обеспечивает равномерный полив, его корректную работу обеспечивают дождевальные насадки с дефлектором и стабилизационным грузом. Качественный полив достигается конструктивной особенностью насадок: угол вылета струи 30° к горизонту, крепление на высоте 1,5–3,2 м от поверхности почвы, чем обеспечивается ветроустойчивость. Насадки секторного и контурного полива устанавливаются в районе опорных тележек.

Результаты исследований ДМ «Каскад» с УПО с дождевальными насадками в ООО «Листеко» приведены в таблицах 5.8–5.11 и показаны на рисунках 5.2–5.5.

Таблица 5.8 – Объем воды в дождемерах ДМ «Каскад» в ООО «Листеко»
(расстановки УПД с дождевальными насадками через 2,9 м; скорость движения последней тележки – 0,25 м/мин; норма полива – 600 м³/га; $\kappa_{\text{эф.п}}=0,707$; $\kappa_{\text{н.п.}}=0,171$; $\kappa_{\text{из.п.}}=0,122$)

Расстояние от неподвижной опоры, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Объем воды в дождемере, мл	500	1240	480	560	1220	1370	1110	1350	1670	1460	1100	930	1060	1410	965
Расстояние от неподвижной опоры, м	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Объем воды в дождемере, мл	1170	950	1070	1710	710	960	1200	1250	1390	1200	1000	1630	1720	1270	1540
Расстояние от неподвижной опоры, м	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
Объем воды в дождемере, мл	1030	1260	1190	1100	1620	1250	1380	1650	1360	620	1040	820	1200	1080	1500
Расстояние от неподвижной опоры, м	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118
Объем воды в дождемере, мл	1240	710	870	1410	850	750	1330	1420	830	960	1310	1380	950	1750	1260
Расстояние от неподвижной опоры, м	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148
Объем воды в дождемере, мл	1280	1890	1010	1360	1060	1250	780	1150	1430	1070	1070	1130	1060	1110	1100

Таблица 5.9 – Число случаев распределения объема воды в дождемерах на дм «Каскад» в ООО «Листеко» ($V_{\min}= 480$ мл; $V_{\max}= 1890$ мл; $V_{\text{ср.}}= 1185$ мл; $K_{\text{эф.п.}}= 0,707$; $K_{\text{н.п.}}= 0,171$; $K_{\text{из.п.}}= 0,122$; $V_{\text{ср}0,75} = 888,75$ мл; $V_{\text{ср}1,25} = 1481,25$ мл)

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интервал объема воды в дождемерах, мл	480-621	621-762	762-903	903-1044	1044-1185	1185-1326	1326-1467	1467-1608	1608-1749	1749-1890
Частота случаев, шт.	4	3	5	10	15	15	13	2	6	2

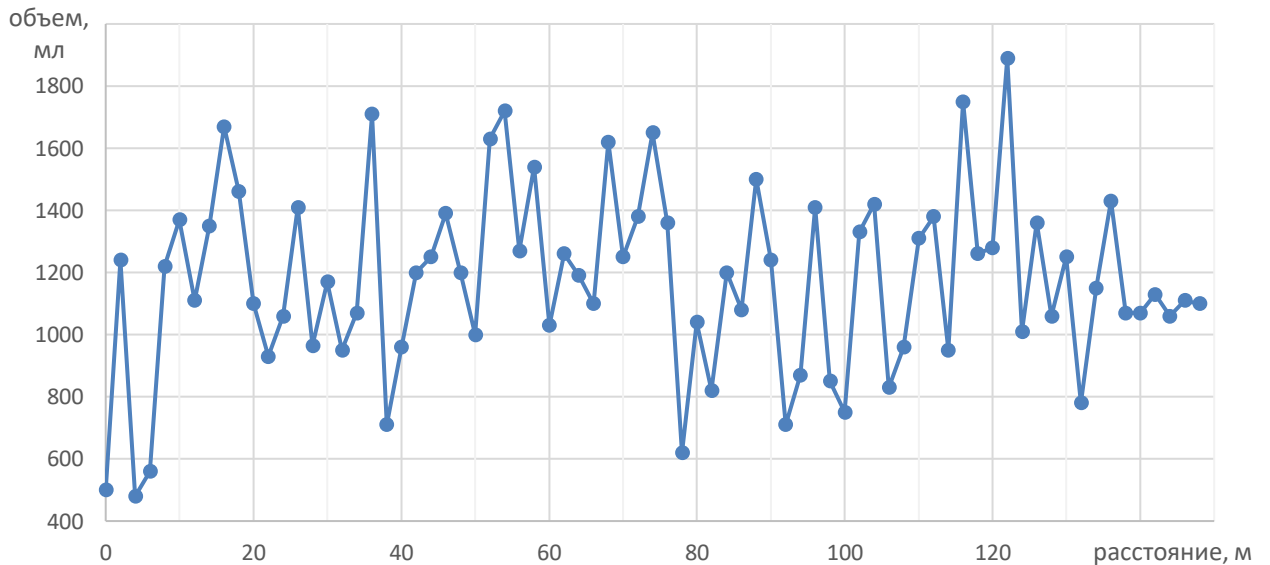


Рисунок 5.2 – Объем воды в дождемерах вдоль ДМ «Каскад» (схема частой расстановки УПО и ДН со съёмным дефлектором)

При 100 % режиме работы самой быстрой 1,51 м/мин. оказалась тележка с пневматическими колесами диаметром 1,4 м. При 18 % режиме работы (600 м³/га) скорость последней тележки 0,25 м/мин. (таблицы 5.8 и 5.9, рисунки 5.2 и 5.3).

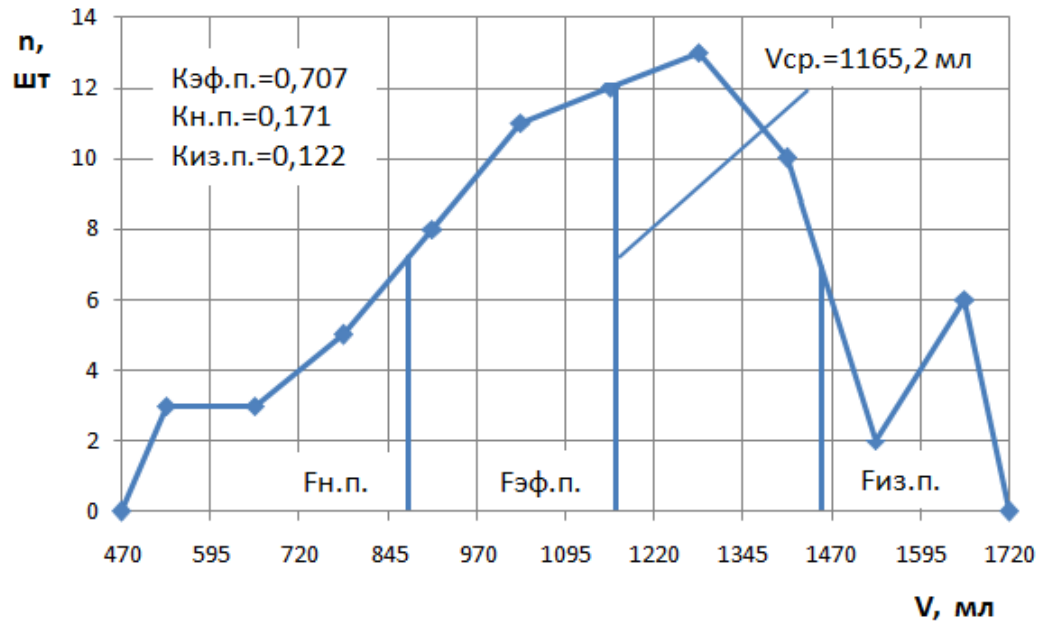


Рисунок 5.3 – Частотная зависимость распределения объема воды после прохода ДМ «Каскад» в ООО «Листеко»

При норме $200 \text{ м}^3/\text{га}$ (режим работы – 55 %) скорость последней тележки – $0,71 \text{ м/мин.}$ (таблице 5.10 и 5.11 рисунок 5.4 и 5.5).

Таблица 5.10 – Объем воды в дождемерах после прохода ДМ «Каскад» в ООО «Листеко» (скорость движения последней тележки – $0,71 \text{ м/мин.}$; норма полива – $200 \text{ м}^3/\text{га}$; $K_{эф.п.} = 0,667$; $K_{н.п.} = 0,148$; $K_{из.п.} = 0,184$)

Расстояние от неподвижной опоры, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Объем воды в дождемере, мл	390	560	560	280	260	240	340	480	440	430	490	560	320
Расстояние от неподвижной опоры, м	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Объем воды в дождемере, мл	380	280	450	360	280	380	410	530	320	350	360	460	380
Расстояние от неподвижной опоры, м	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76
Объем воды в дождемере, мл	520	390	560	390	480	530	370	470	440	450	540	310	420
Расстояние от неподвижной опоры, м	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102
Объем воды в дождемере, мл	590	370	450	370	340	450	390	640	330	290	450	430	380

Продолжение таблицы 5.10

Расстояние от неподвижной опоры, м	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128
Объем воды в дождемере, мл	380	490	540	410	580	460	430	540	460	410	580	510	310
Расстояние от неподвижной опоры, м	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150	152	154
Объем воды в дождемере, мл	580	380	480	370	430	450	490	600	590	650	580	450	380

Таблица 5.11 – Число случаев распределения объема воды в дождемерах на ДМ «Каскад» в ООО «Листеко» ($V_{\min} = 220$ мл; $V_{\max} = 640$ мл; $V_{\text{ср.}} = 430$ мл; $K_{\text{эф.п.}} = 0,667$; $K_{\text{н.п.}} = 0,1485$; $K_{\text{из.п.}} = 0,1847$; $V_{\text{ср}0,75} = 322,5$ мл; $V_{\text{ср}1,25} = 537,5$ мл)

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интервал объема воды в дождемерах, мл	210– 262	252– 304	304– 356	346– 378	378– 440	430– 462	472– 524	524– 556	576– 598	588– 650
Частота случаев, шт.	2	6	5	14	12	14	7	8	7	3

Высоту дождевального облака можно снизить, установив устройство приземного полива на 1,5 м от поверхности земли. Анализ работы ДМ «Каскад» в ООО «Листеко» показывает качественный равномерный полив, также можно отметить высокую устойчивость струй к ветру. Коэффициент эффективного полива ($K_{\text{эф.п.}}$) ДМ «Каскад»: 0,84–0,80 – при малом ветре и 0,75–0,67 – при среднем ветре (3,5–5,0 м/с) (таблица 5.12, рисунок 5.6). Установка дождевальных насадок УПО: 2,56 м на ДМ Zimmatic снижает качество полива в сравнении ДМ «Кубань-ЛК» и ДМ «Фрегат» со среднеструйными аппаратами и дефлекторными насадками.

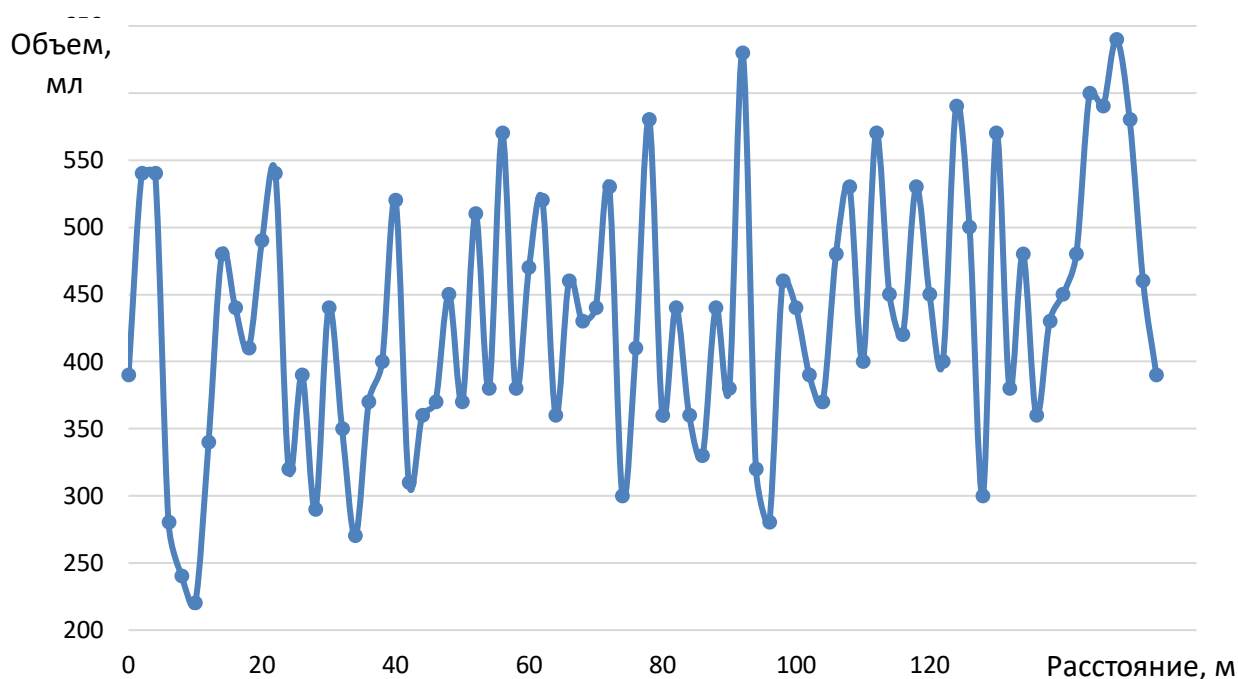


Рисунок 5.4 – Распределение объема воды в дождемерах вдоль водопроводящего трубопровода ДМ «Каскад»

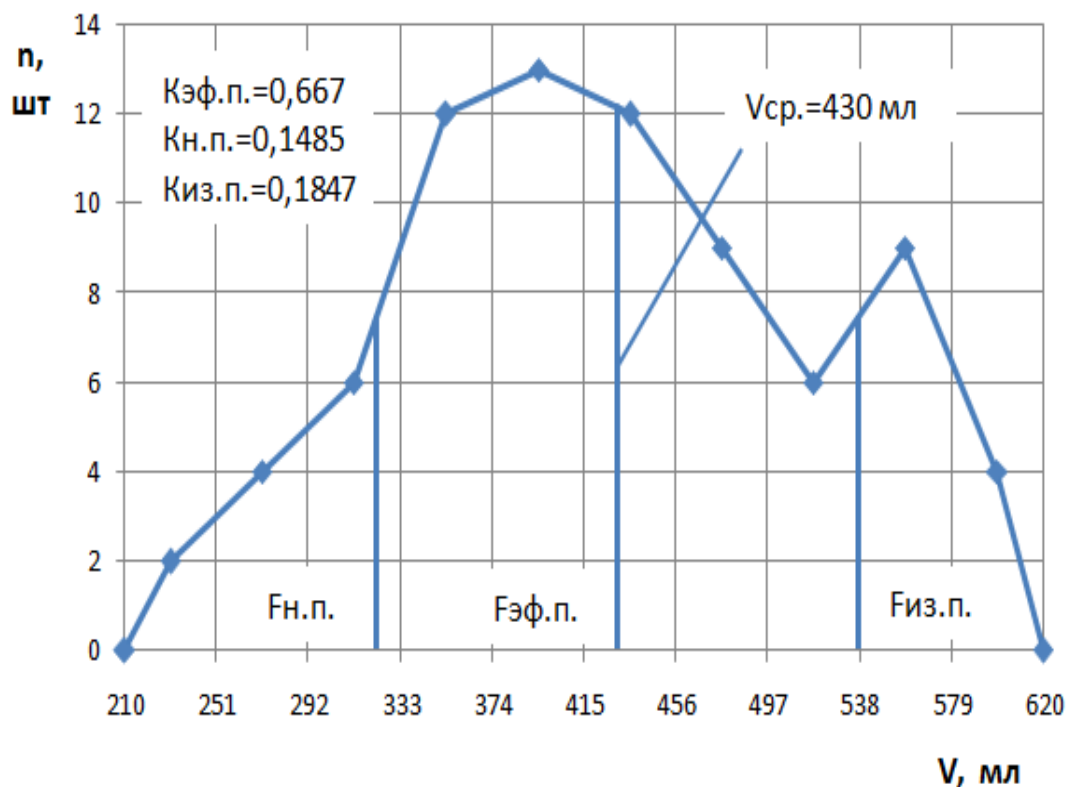


Рисунок 5.5 – Частотная зависимость распределения объема воды после прохода ДМ «Каскад» в ООО «Листеко»

Таблица 5.12 – Изменение равномерности полива (коэффициента эффективного полива $K_{эф.п}$) различных ДМ в зависимости от скорости ветра

Дождевальная машина	Вид дождевателя	Скорость ветра, м/с					
		0	1	2	3	4	5
Zimmatic	ДН	0,90	0,85	0,80	0,80	0,80	0,75
Каскад	УПО-ДН	0,88	0,88	0,79	0,78	0,74	0,68
Кубань-ЛК	СН	0,85	0,83	0,80	0,76	0,70	0,65
Фрегат	СДА	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,55
Фрегат	ДН	0,78	0,70	0,65	0,55	0,45	0,35

Примечание. СДА, ДН установлены в стандартные штуцеры - 7,5 и 10 м; УПО-ДН установлены через 2,5 м.

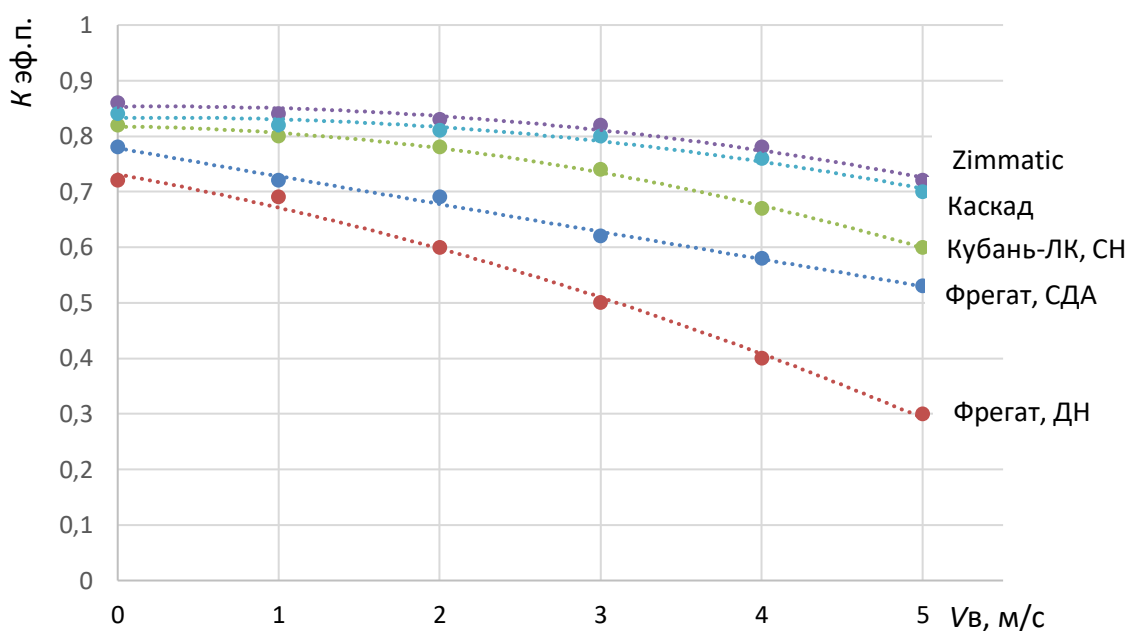


Рисунок 5.6 – Зависимость равномерности полива ($K_{эф.п}$) от скорости ветра

ДМ «Каскад» с УПО и дождевальными насадками обеспечивает повышение равномерности полива при скорости ветра 3–4 м/с до 0,75–0,8, или на 6,6–14,2 % в сравнении с ДМ «Фрегат».

5.3 Потери воды на испарение и снос ветром при поливе ДМ «Каскад»

«Потери воды на испарение и снос ветром ($E_{ис}$) зависят от среднего диаметра капель дождя, высоты подъема дождевого облака, средней и мгновенной интенсивности дождя. Это подтверждается работами М.С.

Мансурова, А.П. Клепальского, К.М. Мустафаевой, В.Е. Хабарова, М.И. Назарова, Н.Ф. Рыжко и др.» (Багров М.Н., Кружилин И.П., 1978).

При перпендикулярном оси ветре величина $E_{ис}$ будет максимальной, а при ветре вдоль трубопровода – минимальная. «Согласно исследованиям, коэффициент (K_{α}), учитывающий изменение величины испарения и сноса дождя в зависимости от угла α между трубопроводом машины и направлением ветра определяется выражением:

$$K_{\alpha} = 1 - 0,009(90 - \alpha), \quad (5.4)$$

где α – угол между трубопроводом машины и направлением ветра, град.» (Багров М.Н., Кружилин И.П., 1978)

Показатель потери воды зависит от напряженности климата (Φ), предложение В.Е. Хабарова:

$$\Phi = t(1 - \varphi/100)(v_B + 1). \quad (5.5)$$

В таблице 5.13 и на рисунке 5.7 показаны результаты зависимости потери воды на испарение и снос ветром от коэффициента метеорологической напряженности климата (Φ) для ДМ «Волга-ФК1», «Фрегат», «Zimmatic» и «Кубань-ЛК»

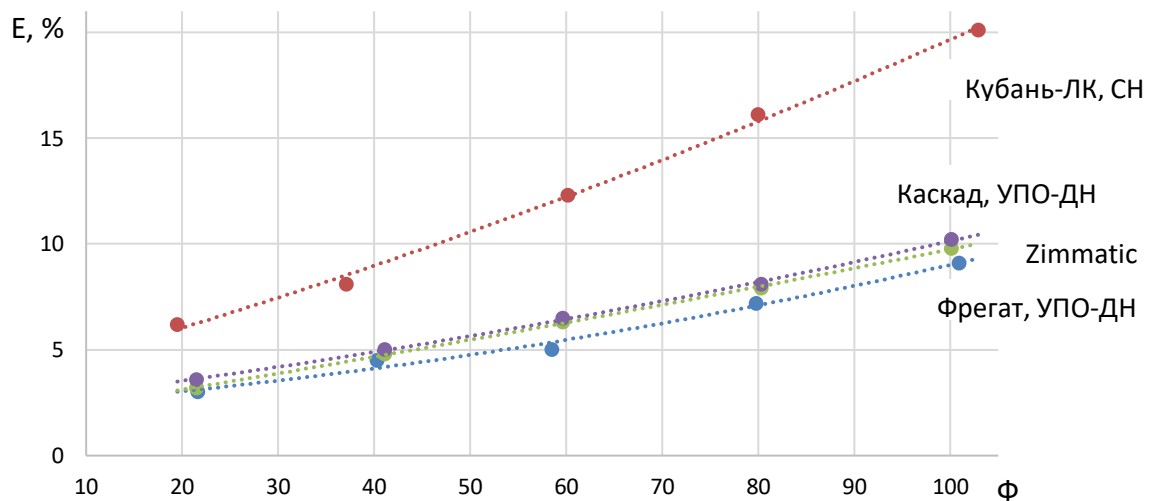


Рисунок 5.7 – График изменения потерь на испарение и снос ветром для ДМ «Каскад», «Фрегат», Zimmatic и «Кубань-ЛК» в зависимости от коэффициента метеорологической напряженности климата (Φ)

Таблица 5.13 – Потери воды на испарение и снос ветром для ДМ «Волга-ФК1», «Фрегат», Zimmatic и «Кубань-ЛК» в зависимости от метеорологических параметров и коэффициента метеорологической напряженности климата

T, °C	18	18	19	21	23	24	25	26	26	28	28	29	29	29	30
W, %	58	61	59	48	53	55	42	39	38	36	36	34	35	37	35
V, м/с	1,8	2,0	1,7	2,6	2,3	2,5	2,9	2,7	2,8	3,4	4,5	4,3	3,2	3,3	4,1
Ф	19,5	21,6	21,5	41,1	37,1	40,3	58,5	59,6	60,2	80,0	100,1	102,9	80,3	79,8	100,9
1	-	-	3,2	4,8	-	-	-	6,3	-	-	9,8	-	7,9	-	-
2	-	-	3,6	5,0	-	-	-	6,5	-	-	10,2	-	8,1	-	-
3	6,2	-	-	-	8,1	-	-	-	12,3	16,1	-	20,1	-	-	-
4	-	3,0	-	-	-	4,5	5,0	-	-	-	-	-	-	7,2	9,1

Примечание. 1 – Zimmatic, УПО-ДН; 2 – Волга-ФК1, УПО-ДН; 3 – Кубань-ЛК, СН; 4 – Фрегат, УПО-ДН; Т – Температура воздуха; W – относительная влажность воздуха; V – Скорость ветра; Ф – Коэффициент метеорологической напряженности; ДН – дождевальные насадки, СН – секторные насадки.

Благодаря уменьшению высоты подъема дождевого облака с 4–7 до 1,1–3,5 м над поверхностью почвы и до 1,0–1,5 м над растениями удается снизить потери воды на 7–10 % при использовании ДМ «Каскад» с УПО.

5.4 Различия в достоковых поливных нормах и агрофизических свойствах почв при поливе ДМ

Исследования показали, что к повышению нормы полива до стока приводит увеличение ширины захвата дождем у дождевальных насадок УПД на ДМ «Каскад», снижение средней интенсивности дождя, мощности дождя, а также крупности капель (рисунок 5.8). При первом поливе темно-каштановых почв в конце машины «Каскад» нормы полива до стока составляет 460 м³/га или на 75–80% по сравнению с секторными насадками (252 м³/га) и 30–35% по сравнению с насадками i-wob ДМ «Bauer» (340 м³/га). Снижается норма полива до стока до 328, 180 и 242 м³/га соответственно для склоновых участков (патент № 2022620836).

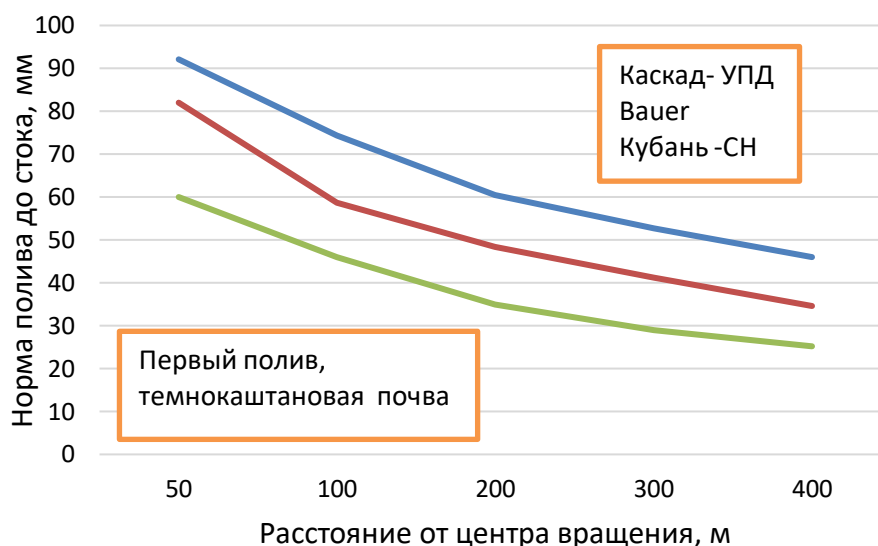


Рисунок 5.8 – Изменение нормы полива до стока вдоль трубопровода многоопорных машин «Каскад», «Кубань-ЛК» и «Bauer»

Исследованиями Кузнецова П.И., Москвичева Ю.А., Ковда В.Г., Абрамова В.Ф., Ерхова Н.С., Миняйло В.Г., Чижикова Г.И. и др. установлено, что в зависимости от величины мощности дождя на почву оказывается различное энергетическое воздействие. Дождь большой мощности оказывает разрушающее воздействие на почву, уплотняя ее, и в целом вредит структуре почвы.

В таблице 5.14 и на рисунке 5.9. приведены с учетом мощности дождя, вида дождевателя, числа поливов, значения замеров объемной массы почвы (0–5 см) в зависимости от вида сельхозкультур и характера рельефа.

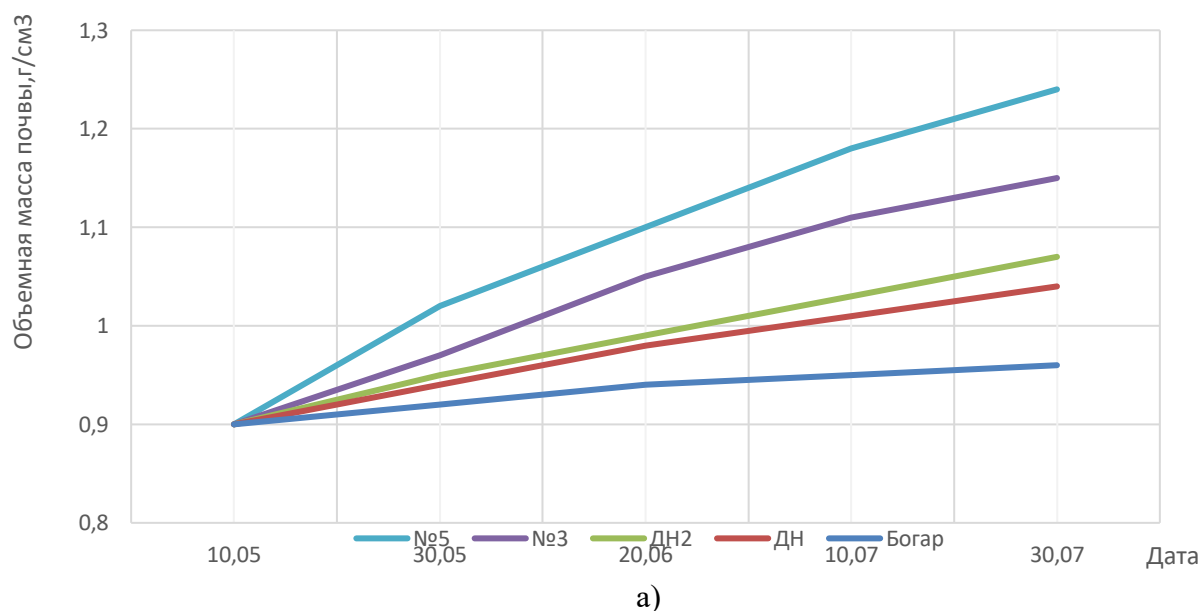
Таблица 5.14 – Объемная масса почвы (0–5 см) при поливе ДМ «Фрегат» с различными видами дождевателей

Место замера	Тип дождевателя	Мощность дождя, Вт/м ²	Элемент рельефа	Объемная масса, г/см ³
<i>После 1-го полива ячменя, АО «Энгельское»</i>				
T1-2	СДА № 1	0,187	Р	0,90
T3-4	СДА № 2	0,206	П	0,98
T7-8	СДА № 3	0,269	П	0,98
T7-8	СДА № 3	0,288	Р	1,05
T14-15	СДА № 4	0,382	П	0,98

Продолжение таблицы 5.14

T14-15	СДА № 4	0,406	Н	1,05
КДА	СДА № 5	0,698	Р	1,10
КДА	СДА № 5	0,698	Н	1,25
<i>После 4-го полива кукурузы ООО «Наше дело»</i>				
T2-3	СДА № 2	0,208	Р	1,15
T8-9	УПП-ДН	0,030	Р	1,05
T15-16	УПП-ДН	0,068	Р	1,06
КДА	СДА № 5	0,680	Р	1,25
Богара	-	-	Р	1,07
<i>После 2-х поливов оз. пшеницы ЗАО «Трудовое»</i>				
T2-3	СДА № 1 и 2	0,19	Р	1,104
T7-8	СДА № 3	0,27	Р	1,215
T12-13	СДА № 4	0,38	Р	1,25-1,37
КДА	СДА № 5	0,90	Р	1,414
Богара	-	-	Р	1,2
<i>После 4-х поливов капусты ООО «Агррия»</i>				
T6-7	СДА № 2	0,23	Р _к	1,03
T10-11	СДА № 3 с прерывателем	0,27	Р _к	1,1
T11-12	СДА №4 с прерыв	0,32	Р _к	1,13
T14-15	СДА № 4	0,40	Р _к	1,2
T15-КДА	СДА № 4	0,50	Р _к	1,28

Примечание. Т – тележка; Р – ровный участок поля; П – повышение; Н – низина; СДА – среднеструйный дождевальная аппарат; КДА – концевой дождевальная аппарат; Р_к – рядок капусты; УПП-ДН – дождевальная насадка.



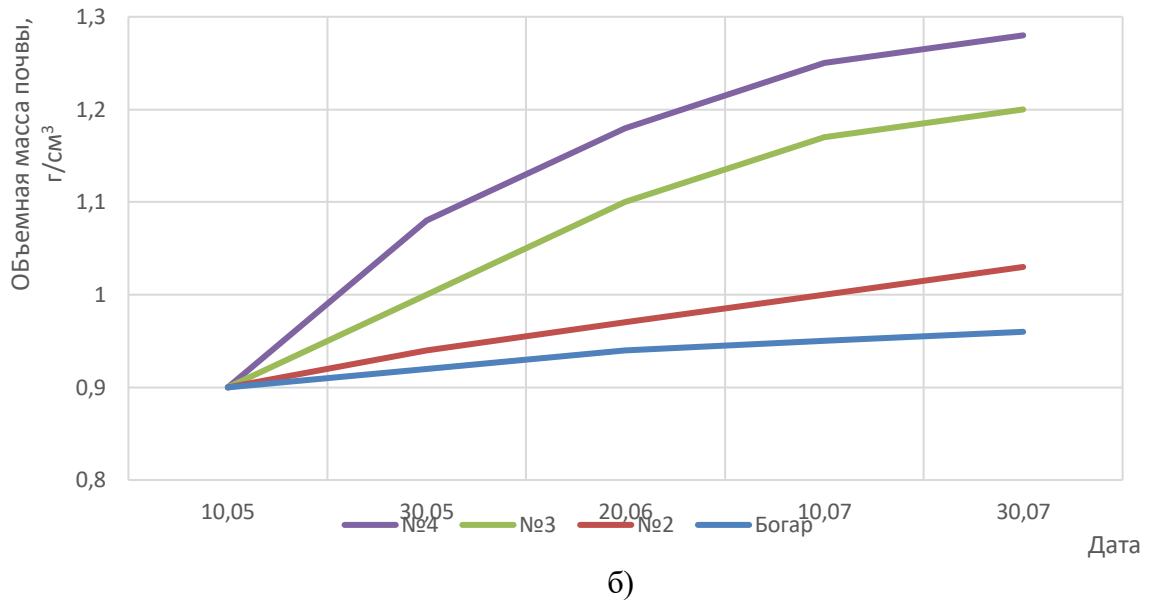


Рисунок 5.9 – Изменение объемной массы слоя почвы после четырех поливов ДМ «Фрегат» с различными видами дождевателей кукурузы (а) и капусты (б)

Рисунок 5.9 отражает, что среднеструйные аппараты № 3 и 4 (мощность дождя $N_d = 0,269–0,573$ Вт/м²) оказывают большое энергетическое воздействие, а наибольшее оказывает концевой дождевальный аппарат ($N_d = 0,69–1,57$ Вт/м²). Незначительное уплотнение почвы происходит от работы дождевальных насадок как в начале, так и в конце машины ($N_d = 0,013–0,070$ Вт/м²). Поливные нормы до стока обеспечиваются на уровне серийных аппаратов в результате уменьшения крупности капель при большой средней интенсивности дождя УПД.

Можно подытожить, что УПД обеспечивает мелкокапельный дождь малой мощности и объемная масса после 4 поливов находится на уровне объемной массы богарного участка (таблица 5.14, рисунок 5.9).

5.5 Поливной режим сои достоковыми поливными нормами различными дождевателями

Согласно программе исследований (п. 3.3), на посевах сои сорта «Соер 7», проведены опыты по поливу достоковыми поливными нормами

стандартными дождевальными аппаратами «Роса» ДМ «Фрегат» и дождевальными насадками с УПО (устройствами приземного орошения) с различными качественными показателями дождя.

Согласно предложенному выражению Кравчука А.В. (Кравчук А.В., 2007) для среднесуглинистых почвенных условий Заволжья величина поливной нормы будет составлять:

$$m = 900h, \quad (5.6)$$

где, m - величина поливной нормы, $m^3/га$;

900 – параметр гидрофизических среднесуглинистых свойств почвы;

H – величина увлажняемого слоя, м.

Из данного выражения при поливе дождевальными насадками с УПО досточковой поливной нормой $470 m^3/га$ будет увлажняться слой почвы $470/900$ в 0,52 метра, а при поливе аппаратом «Роса» увлажнится слой 0,4 метра, что говорит о меньшем слое увлажнения.

На основании полученных значений досточковых поливных норм, нами на опытном поле посевов сои в 2022 г. проведены поливные режимы аппаратами «Роса» и дождевальными насадками. По результатам часто измеряемой влажности почвы на опытных участках при поливе досточковыми поливными нормами разными дождевателями по уравнению водного баланса и значениям динамики влагозапасов устанавливалось суммарное водопотребление сои и проводился эксплуатационный режим орошения посевов этой культуры (табл. 5.15, табл. 5.16).

Таблица 5.15 – Поливной режим сои аппаратами «Роса» ДМ «Фрегат»

Параметр	Номер полива										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
средний день		8.0	25.0	7.0	18.0	27.0	7.0	13.0	21.0	27.0	8.09
поливная норма, $m^3/га$	0	6 364	6 371	7 354	7 356	7 364	8 372	8 368	8 370	8 366	354
Водопотребление, $m^3/га$	240	1160		1510			1620				180
Осадки, $m^3/га$	153	459		395			0				85
месяц	май	июнь		июль			август				сентябрь

Таблица 5.16 – Поливной режим сои дождевальными насадками с УПО

Параметр	Номер полива								
		1	2	3	4	5	6	7	8
<u>средний день</u>		<u>8.06</u>	<u>29.06</u>	<u>12.07</u>	<u>23.07</u>	<u>4.08</u>	<u>16.08</u>	<u>29.08</u>	<u>10.09</u>
поливная норма, м ³ /га	0	468	471	464	474	466	473	459	470
Водопотребление, м ³ /га	240	1180		1550		1630			210
Осадки, м ³ /га	153	459		395		0			85
месяц	май	июнь		июль		август			сент.

Из данных таблиц видно, что при проведении поливов широкозахватной машиной с дождевальными насадками с УПО их число уменьшилось в два раза по сравнению с поливом аппаратами «Роса», а значение суммарного водопотребления и оросительной нормы возросло почти на 100 м³/га.

Следовательно, при поливе дождевальными насадками с УПО по сравнению с поливами аппаратом «Роса» увеличивается величина досточковой поливной нормы, что сокращает число поливов и уменьшается энергоёмкость проведения поливного режима культуры. Полив дождевальными насадками с большими значениями средней интенсивности дождя, но с меньшим диаметром капель благоприятно влияет на микроклимат надземной части растений, а за счет большего слоя увлажнения увеличивается зона питания корневой системы, что в свою очередь увеличивает урожайность орошаемой культуры с 1,5 до 2,4 т/га.

5.6 Энергоёмкость полива ДМ «Каскад» при одиночной и групповой эксплуатации

Внедрение низконапорных ДМ «Каскад» в орошаемых хозяйствах позволяет снижать энергетические затраты на полив. В ООО «Время 91» на орошаемом участке № 1 смонтированы три многоопорные дождевальные

машины – две 14-опорные ДМ «Фрегат» длиной 408 и 394 м и 6-опорная ДМ «Каскад» длиной 414 м. ДМ «Фрегат» настроены на низконапорный режим работы (давление на входе 0,45 МПа расход воды 80 л/с), а ДМ «Каскад» настроена на расход воды 60 л/с при давлении 0,35 МПа. Для подачи воды проложен подземный полиэтиленовые трубопроводы диаметром 355 мм длиной 470 м, диаметром 280 мм длиной 850 м и диаметром 225 мм длиной 960 м (рисунок 5.10).

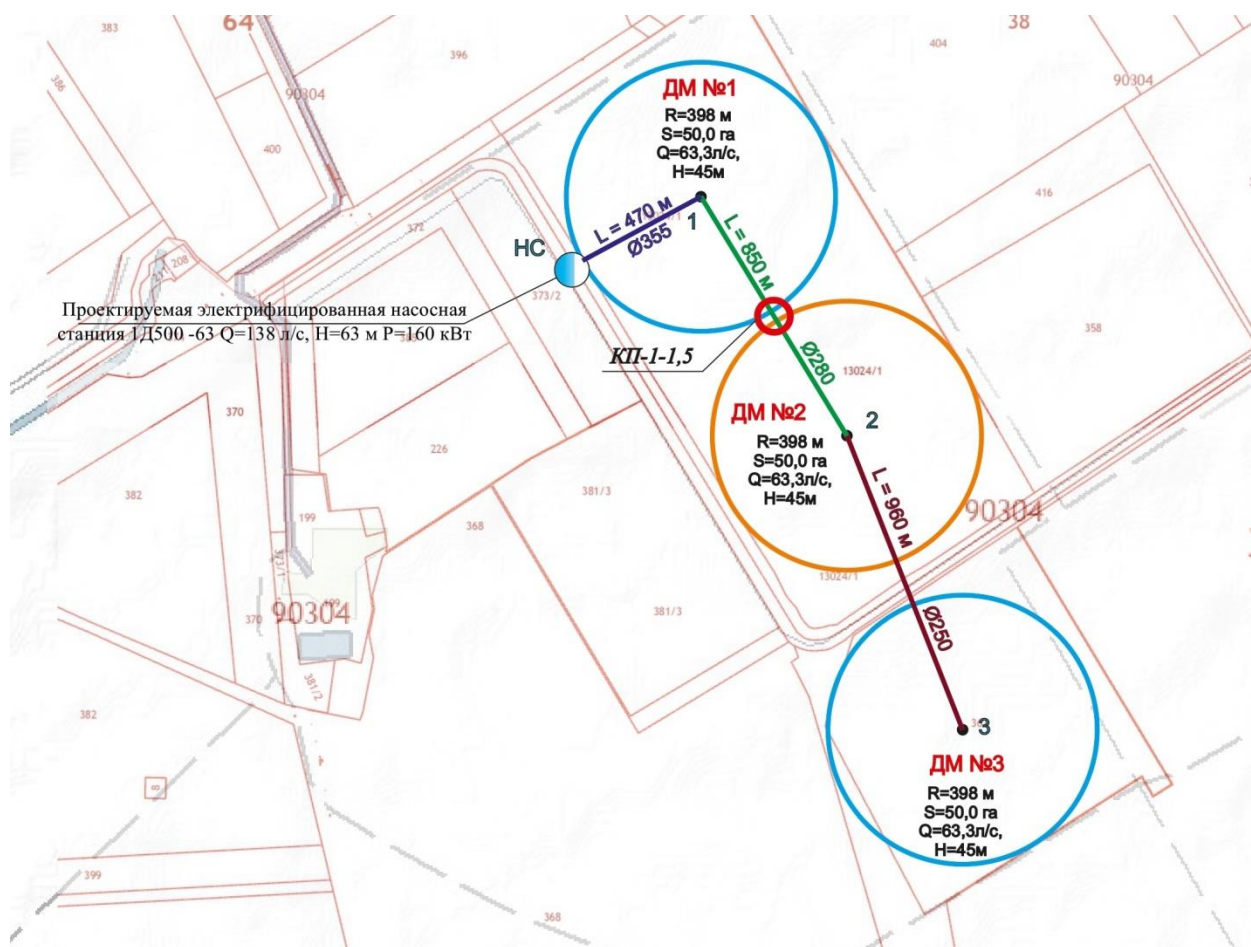


Рисунок 5.10 – Схема орошаемого участка №1 в ООО «Время-91»

Для подачи воды к дождевальным машинам смонтирован низконапорный насосный агрегат включающий насос 1Д500-63 (рисунок 5.11) с электродвигателем 160 кВт. Использование низконапорных дождевальных машин позволяет экономить электроэнергию на полив. При поливе двух машин ДМ «Фрегат» №1 и ДМ «Каскад» общий расход воды

80+60 = 140 л/с при давлении на насосе 0,63 МПа. Потребление электроэнергии 132 кВт, а затраты электроэнергии N_y на подачу 1000 м³ воды 262 кВт·ч (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Технические характеристики и затраты электроэнергии (N_y) на подачу 1000 м³ воды в ООО «Время-91» при эксплуатации ДМ «Каскад»

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

$$N_y = 1000 \cdot 132 / 140 \cdot 3,6 = 262 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (5.7)$$

Работа машины «Каскад» при расходе воды 60 л/с, давление на насосе составило 0,65 МПа, а потребление электроэнергии электродвигателем – 80 кВт. Затраты электроэнергии N_y на подачу 1000 м³ воды составили 370 кВт·ч (таблица 5.18). Применение низконапорных ДМ «Каскад» и «Фрегат» и низконапорного насоса 1Д500-63 позволяет уменьшать потребление электроэнергии на полив по сравнению с высоконапорными ДМ «Фрегат» и насосом Д1250-125 в 1,81 и 1,28 раз.

Лучший результат по энергосбережению в ООО «Время 91» имеем при одновременной работе двух машин – «Каскад» и «Фрегат» от насоса 1Д500-63.

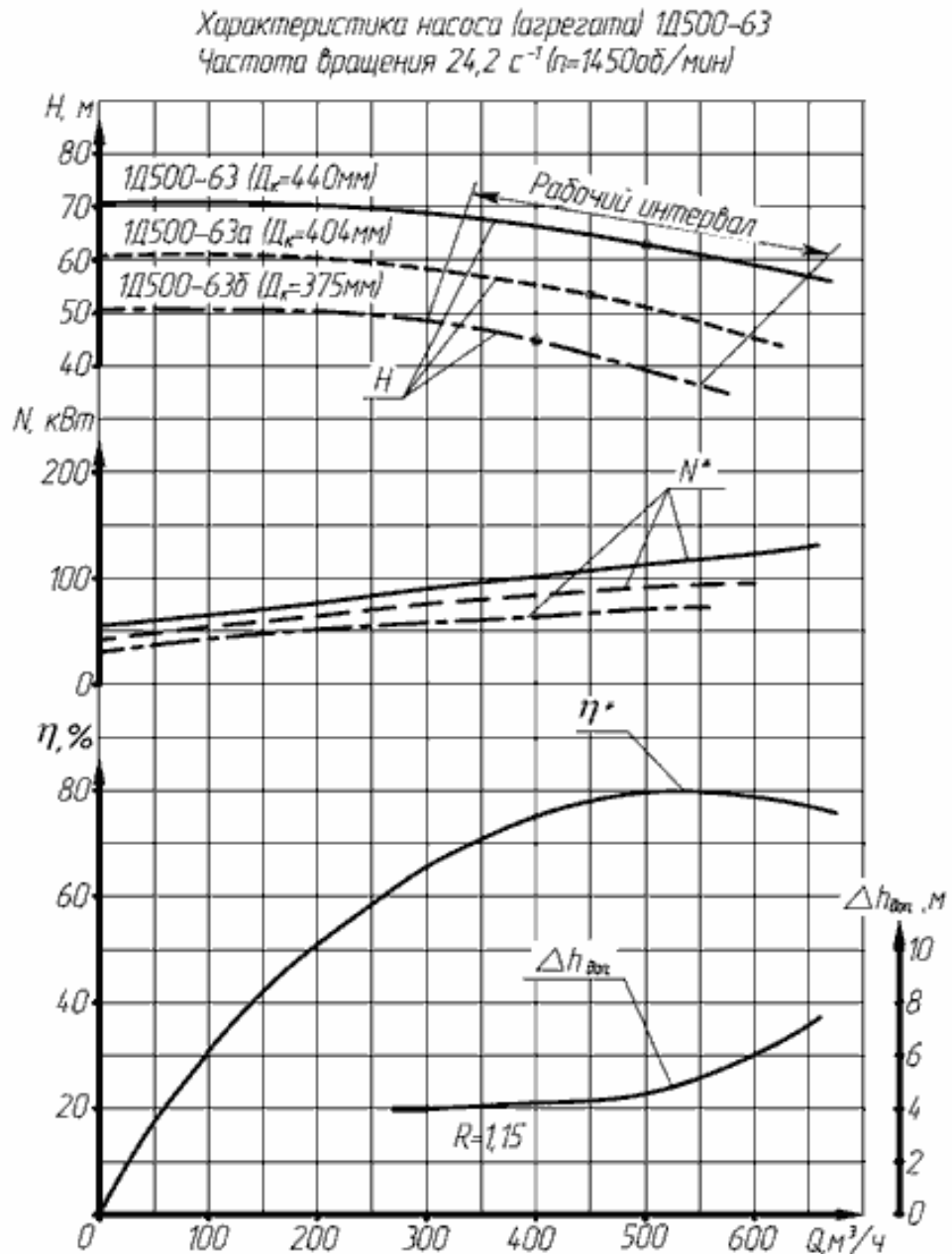


Рисунок 5.11 – Расходно-напорная характеристика насоса 1Д500-63

В ООО «Листеко» Энгельского района на орошаемом участке смонтированы четыре ДМ «Каскад» (рисунок 3.15), а для подачи воды на насосной станции смонтирован насос 300Д70 (рисунок 3.16) с электродвигателем 250 кВт. Трубопровод выполняется из полиэтиленовых труб, которые обеспечивают одновременную работу нескольких ДМ «Каскад», располагается подземно. Работа трех ДМ «Каскад» с расходом воды $175,3 \text{ л/с}$, давлением на насосе 300Д70 – $0,73 \text{ МПа}$, расход

электроэнергии – 160 кВт, а затраты электроэнергии $N_{\text{у}}$ на подачу 1000 м³ воды составит 253,5 кВт-ч (таблица 5.18). При одновременной работе двух ДМ «Каскад» с общим расходом воды 121,6 л/с давление на насосе 300Д70 составило 0,75 МПа, потребление 140 кВт-ч, а затраты электроэнергии $N_{\text{у}}$ на подачу 1000 м³ воды составят 321,3 кВт-ч.

Таблица 5.18 – Технические характеристики и затраты электроэнергии ($N_{\text{у}}$) на подачу 1000 м³ воды в ООО «Листеко» при эксплуатации ДМ «Каскад»

Номера работающих машин	Расход воды, л/с	Давление на насосе, МПа	$N_{\text{у}}$, кВт-ч на 1000 м ³	Потребляемая мощность электродвигателем, кВт	Экономия энергозатрат, раз
№ 4, 5 и 3	175,3	0,73	253,5	160	1,87
№ 1 и 2	121,6	0,75	321,3	140	1,47

Внедрение низконапорных ДМ «Каскад» и низконапорного насоса 300Д70 позволяет уменьшать потребление электроэнергии на полив по сравнению с высоконапорными ДМ «Фрегат» и насосом Д1250-125 в 1,87 и 1,47 раз.

Лучший результат по энергосбережению в ООО «Листеко» имеем при одновременной работе трех машин «Каскад» от насоса 300Д70.

В будущем на орошаемом участке планируется полив шестью ДМ «Каскад» поочередно по три машины с расходом воды 175 и 173 л/с. Для экономии энергозатрат на полив можно рекомендовать замену высокорасходного насоса 300Д70 с электродвигателем мощностью 250 кВт на насос 200Д90б с обрезанным колесом (475 мм) и электродвигателем мощностью 200 кВт.

В ООО «Азимут» Балаковского района для полива на орошаемом участке смонтированы четыре ДМ «Каскад», а для подачи воды используются два насоса с электродвигателем мощностью 160 кВт. Потребляемая мощность электродвигателей $132 \text{ кВт} \times 2 = 264 \text{ кВт}$. Общий

расход воды четырех ДМ «Каскад» составляют $64 \times 4 = 256$ л/с. Затраты электроэнергии Ny на подачу 1000 м^3 воды составят 286,4 кВт-ч или в 1,65 раз меньше по сравнению с высоконапорными ДМ «Фрегат» с насосами Д1250-125.

Таким образом внедрение низконапорных ДМ «Каскад» и низконапорных насосов 1Д500-63, 300Д70 и аналогичных позволяет уменьшат потребление электроэнергии на полив при работе в оптимальном режиме по сравнению с высоконапорными ДМ «Фрегат» и насосом Д1250-125 в 1,87 и 1,65 раз.

5.7 Увеличение площади при поливе ДМ «Каскад» с концевым дождевальным аппаратом

В ООО «Листеко» для увеличения площади полива ДМ «Каскад» №1 проведена настройка дождевальных насадок на требуемый расход воды 63,6 л/с с использованием регулировочных дюз, устанавливаемых в корпус насадки (рисунок 5.12). Чтобы обеспечить напор перед концевым аппаратом 35 м.в.ст., напор на входе машины равен 70 м.в.ст. Диаметры сопла, напор в трубах и диаметр дюз для ДМ «Каскад» с расходом воды 63,6 л/с при напоре на входе 70 м.в.ст. приведен в таблице 5.20.

При использовании в качестве концевого дождевального аппарата на ДМ № 1 аппарат R25S с диаметром сопла 18 мм при напоре 34 м.в.ст. радиус полива составил 31 м, расход воды 7,1 л/с, а площадь полива – 80,3 га (таблица 5.19). При стандартном режиме работы когда напор на входе был 46 м.в.ст, а перед концевым аппаратом 10 м.в.ст, то радиус полива был 10 м, а площадь полива – 73,8 га. Максимальная дополнительная площадь полива на ДМ №1 составляет 6,5 га.



Рисунок 5.12 – Концевой дождевальный аппарат R25S на ДМ «Каскад» в ООО «Листеко»

Таблица 5.19 – Диаметры сопла, напор в трубах и диаметр дюз для настройки ДМ «Каскад» № 1 на расход воды 63,6 л/с

№Т	Число насадок	q , л/с	q , л/с	H , м	D_c , мм,	D_d , мм,
НО	1	0,035969	0,035969	69,32487	1,308985	1,308985
	2	0,053953	0,053953	67,65542	1,618354	1,618354
	2	0,089922	0,089922	65,99542	2,109729	2,109729
	2	0,125891	0,125891	64,34861	2,521478	2,521478
	2	0,16186	0,16186	62,71867	2,888865	2,888865
1	1	0,173927	0,173927	61,96951	3,009349	3,009349
	2	0,214453	0,214453	60,37076	3,377941	3,377941
	2	0,250422	0,250422	58,7977	3,691049	3,691049
	3	0,190928	0,190928	57,25375	3,259899	3,259899
	4	0,16118	0,16118	55,74226	3,030453	3,030453
	4	0,179165	0,179165	54,26644	3,233558	3,233558
2	2	0,177768	0,177768	53,59244	3,23924	3,23924
	4	0,205461	0,205461	52,17428	3,525739	3,525739
	4	0,223446	0,223446	50,79915	3,723438	3,723438
	4	0,24143	0,24143	49,46974	3,920312	3,920312
	4	0,259415	0,259415	48,18861	4,116906	4,116906
	4	0,277399	0,277399	46,95811	4,313636	4,313636
3	2	0,268573	0,268573	46,40055	4,270861	4,270861
	4	0,303696	0,303696	45,24792	4,602481	4,602481
	4	0,32168	0,32168	44,15086	4,800614	4,800614
	4	0,339665	0,339665	43,11099	4,999443	4,999443
	4	0,357649	0,357649	42,12968	5,198888	5,198888
	4	0,375634	0,375634	41,20804	5,398755	5,398755

Продолжение таблицы 5.19

№Т	Число насадок	q , л/с	q , л/с	H , м	D_c , мм,	D_d , мм,
4	2	0,359378	0,359378	40,79496	5,313208	5,313208
	4	0,40193	0,40193	39,96204	5,691768	5,691768
	4	0,419915	0,419915	39,19037	5,891182	5,891182
	4	0,437899	0,437899	38,48009	6,089467	6,089467
	4	0,455884	0,455884	37,83102	6,285936	6,285936
	4	0,473868	0,473868	37,24264	6,479811	6,479811
5	2	0,450183	0,450183	36,98355	6,34756	6,34756
	4	0,500165	0,500165	36,4823	6,757897	6,757897
	4	0,518149	0,518149	36,03903	6,94182	6,94182
	4	0,536134	0,536134	35,652	7,120183	7,120183
	4	0,554118	0,554118	35,31909	7,292205	7,292205
	4	0,572103	0,572103	35,03777	7,45722	7,45722
6	2	0,540988	0,540988	34,91833	7,27172	7,27172
	4	0,598399	0,598399	34,70707	7,685994	7,685994
	4	0,616384	0,616384	34,53945	7,832064	7,832064
	4	0,634368	0,634368	34,41146	7,970282	7,970282
	4	0,652353	0,652353	34,31867	8,100939	8,100939
	4	0,670337	0,670337	34,25615	8,224578	8,224578
7	2	0,631793	0,631793	34,2329	7,989247	7,989247
	4	0,5842	0,5842	34,20666	7,687471	7,687471
	4	0,5969	0,5969	34,19287	1,308985	1,308985
	1	6,19125	0,035969	34,19286	1,618354	1,618354

Для увеличения площади полива ДМ «Каскад» №1 в ООО «Время-91» проведена настройка насадок на требуемый расход воды 63,6 л/с с использованием регулировочных дюз, устанавливаемых в корпус насадки. Чтобы обеспечить напор перед концевым аппаратом 48 м.в.ст. напор на входе машины должен быть 88,5 м.в.ст. При использовании в качестве концевого дождевального аппарата на ДМ № 1 односопловый аппарат ДМ-07.150 с диаметром сопла 17,7 мм при напоре 48 м.в.ст. радиус полива составил 40 м, расход воды 7,9 л/с, а площадь полива – 108,6 га (таблица 5.20).

Таблица 5.20 – Характеристики полива концевой аппаратуры с учетом напора на входе к ДМ «Каскад»

Хозяйств о, № НС	№ ДМ	Насос	Н _{нс} , м	h _п , м	h _г , м	L, м	Н _{вх} , м	Н _{кда} , м	R, м	q, л/с	S _д , 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
ООО «Любицк ое»	1-4		60	12	8	475	40	5	5		-
	1-4		60	12	8	475	40	20**	25	4,3	5,3

Примечание. Н_{нс} – напор на насосной станции; h_п – потери напора по длине трубопровода; h_г – геодезический перепад; L – длина машины; Н_{вх} – напор на входе в машину; Н_{кда}, R, q – напор, радиус полива и расход воды концевой аппаратуры; S_д – дополнительная площадь поливальной аппаратуры; * – на входе в машину стандартный напор при частично закрытой задвижке; ** – на машине используется полный напор в закрытой сети; *** – на машине используется подкачивающий насос.

При режиме работы, когда напор на входе 48 м.в.ст., а перед концевым аппаратом 10 м.в.ст., то радиус полива был 10 м, а площадь полива – 96,3 га. Максимальная дополнительная площадь полива на ДМ №1 составляет 12,1 га.

Для увеличения площади полива ДМ «Каскад» №2 в ООО «Время-91» используем максимальный напор на входе в машину 80,7 м.в.ст., перед концевым аппаратом напор составил 42,7 м.в.ст. радиус полива составил 38 м, расход воды 6,9 л/с, а площадь полива – 106,3 га. Максимальная дополнительная площадь полива на ДМ №2 составляет 10,0 га.

Для увеличения площади полива ДМ «Каскад» №18 в ООО «Наше дело» проведена настройка дождевальных насадок на требуемый расход воды 63,6 л/с с использованием регулировочных дюз, устанавливаемых в корпус насадки. Чтобы обеспечить напор перед концевым аппаратом 60 м.в.ст. напор на входе машины равен 90 м.в.ст. При использовании в

качестве концевой дождевальной аппаратуры на ДМ № 18 односопловый аппарат ДМ-07.150 с диаметром сопла 20,3 мм при напоре 60 м.в.ст. радиус полива составил 47 м, расход воды 11 л/с, а площадь полива – 78,1 га. При стандартном режиме работы, когда напор на входе был 39 м.в.ст., а перед концевым аппаратом 10 м.в.ст., то радиус полива был 10 м, а площадь полива – 67 га. Максимальная дополнительная площадь полива на ДМ №18 составляет 11,1 га.

Для увеличения площади полива ДМ «Каскад» №21 в ООО «Наше дело» используем максимальный напор на входе в машину 85 м.в.ст., перед концевым аппаратом напор составил 55 м.в.ст., радиус полива составил 45 м, расход воды 10 л/с, а площадь полива – 77,5 га. Максимальная дополнительная площадь полива на ДМ №2 составляет 10,5 га.

Для увеличения площади полива ДМ «Valley» №15 в ООО «Наше дело» на Комсомольской ОС проведена настройка дождевальных насадок с использованием регуляторов давления на требуемый расход воды 63,6 л/с. При используем максимальный напор на входе в машину 70 м.в.ст., вместо 40 м.в.ст. перед концевым аппаратом напор повысился с 25 до 45 м.в.ст. радиус полива увеличился с 25 до 40 м, расход воды 6,9 л/с, а площадь полива – 75,4 га. Максимальная дополнительная площадь полива на ДМ №15 составляет $75,4 - 70,8 = 4,6$ га.

Для увеличения площади полива на четырех ДМ «Каскад» в ООО «Любицкое» использован концевой дождевальный аппарат Kommet и подкачивающий насос (рисунок 5.13). Длина машины 475 м. Радиус полива без концевой аппаратуры был – 483 м и площадь полива 73,2 га. При использовании подкачивающего насоса радиус полива машины увеличился до 500 м, а площадь полива составила 78,5 га.



Рисунок 5.13 – ДМ с подкачивающим насосом, смонтированным на последней тележке для увеличения напора перед концевым аппаратом

Максимальная дополнительная площадь полива на одной машине составляет $78,5 - 73,2 = 5,3$ га. По всем четырем машинам смонтированных в хозяйстве дополнительная площадь составила 21,2 га.

5.8 Исследования глубины колеи ДМ «Каскад» и повышение проходимости и надежности работы ходовой системы

Исследованиями ДМ «Каскад» с серийными дождевальными насадками в условиях Саратовского Заволжья установлено, что глубина колеи после первого прохода определяется поливной нормой, объемом воды перед колесами. Исследования подтверждают, что несущая способность почвы зависящая от нормы полива перед колесами влияет на глубину колеи. Глубина колеи изменяется от 3,9 до 12,9 см (таблица 5.21, рисунок 5.14).

Глубина колеи определяется агрофоном, влажностью и несущей способностью почвы и составляет 2–4 см при поливе ДМ «Каскад» в условиях ветра, сноса дождя, прохождения колес по сухой почве.

Таблица 5.21 – Глубина колеи после первого прохода ДМ «Каскад» с серийными дождевальными аппаратами в зависимости от нормы полива перед колесами тележек и агрофона

№ п.п.	С.-х. культура	Слой осадков под колесом, мм	Направление ветра	Глубина колеи, см
1	Ячмень	0	встречный	3,6
2	Суданка	5,8	встречный	3,9
3	Кукуруза	13,9	штиль	5,9
4	Яровая пшеница	31,8	попутный	9,9
5	Соя	45,8	попутный	10,7
6	Озимая пшеница	60,0	попутный	12,9

Глубина колеи составляет 5–8 см (опыт 3) при работе ДМ «Каскад» с небольшим ветром, когда дождь попадает в зону движения тележек.

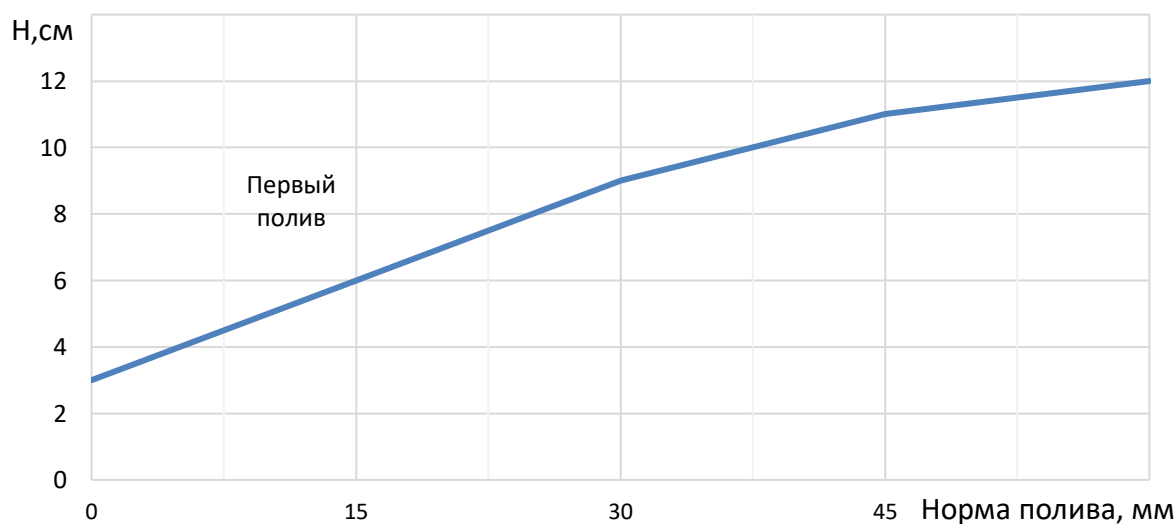


Рисунок 5.14 – Изменение глубины колеи (H) в зависимости от нормы полива (M) перед колесами тележки

«При совпадении движения ДМ «Каскад» и направлении ветра поливная норма увеличивается до 300–600 м³/га, объем воды под колесами тележек возрастет и как следствие глубина колеи составит 11–14 см, а на пашне 16 см.» (Рязанцев А.И., 1974).

С увеличением колеи возрастет высота выпирания почвы с внутренней (без грунтозацепов) гладкой стороны обода колеса до 8 см (таблица 5.22, рисунок 5.15).

Таблица 5.22 – Высота подъема почвы в зависимости от глубины колеи

Глубина колеи, h , мм	57	114	135
Высота подъема почвы, мм	39	62	75
Глубина колеи с учетом выпирания почвы H , мм	95	165	203

Количество проходов ДМ влияет на глубину колеи, особенно первые три. (таблица 5.23, рисунок 5.15).

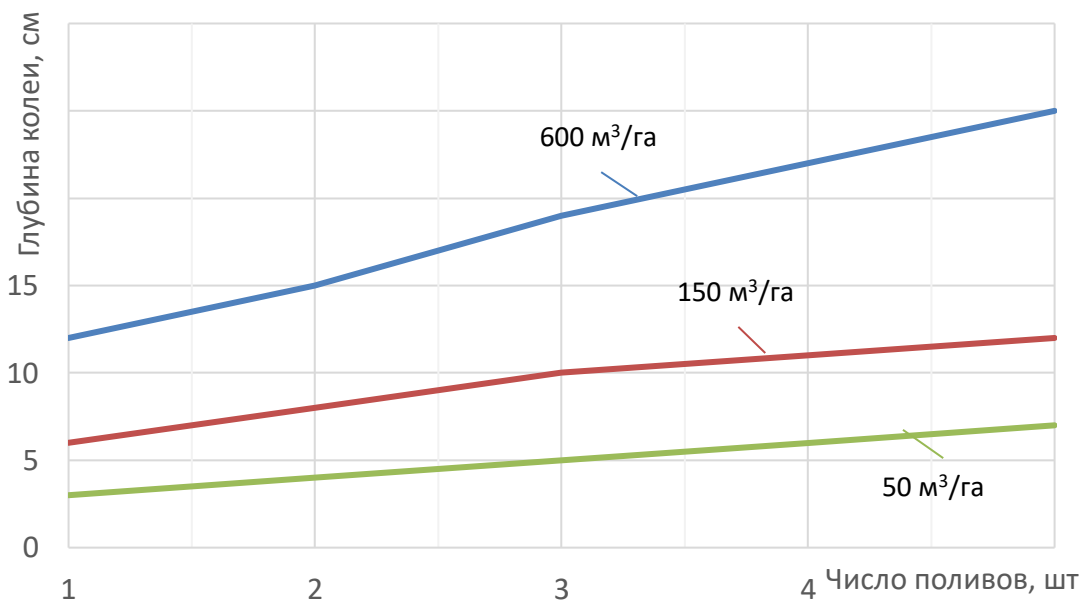


Рисунок 5.15 – Глубина колеи в зависимости от числа проходов машины и нормы полива перед колесами ДМ «Каскад»

Таблица 5.23 – Глубина колеи в зависимости от поливной нормы и числа поливов ДМ «Каскад» серийная и модернизированная

Число поливов	Глубина колеи, см		
	«Каскад», $m=150 \text{ м}^3/\text{га}$	«Каскад», $m=300 \text{ м}^3/\text{га}$	«Каскад»*, $m=0-50 \text{ м}^3/\text{га}$
1	5,6	12,0	2,5
2	8,8	15,0	3,5
3	11,9	19,0	5,0
4	12,2	22,5	7,0
5	15,0	25,0	9,0

Примечание. * – в районе тележек на устройствах приповерхностного дождевания установлены дождевальные насадки секторного и контурного полива.

При поливной норме $300 \text{ м}^3/\text{га}$ и 4х кратном проходе, глубина колеи h – 15 см, а при выпирании почвы H – 20 см. Глубина колеи возрастет до 30 см

при увеличении поливной нормы до 600 м³/га, а при выпирании почвы до 40 см (рисунок 5.15, 5.16 а, б).



а



б

Рисунок 5.16 (а, б) – Колея после прохода серийной машины «Каскад»

Применение ДН с углом полива 270° и насадок контурного полива на устройствах приповерхностного дождевания в районе тележек исключает или значительно снижает попадание воды под колеса тележек (до 0–50 м³/га), что обеспечивает снижение глубины колеи с 20–30 см до 5–9 см (рисунки 5.15, 5.16, 5.17).



а



б

Рисунок 5.17 – Уменьшение колеи при использовании комплекса технических решения для повышения проходимости на ДМ «Каскад» на посевах сои (а) и при поливе всходов озимой пшеницы (б)

5.9 Экономическая эффективность

Для определения экономической эффективности дождеобразующих устройств воспользуемся следующей методикой.

Дефлекторные насадки, входящие в комплект дождеобразующих устройств, предполагается изготавливать в сторонней организации. Комплект для ДМ «Фрегат» предполагает установку 90 шт. Для ДМ КАСКАД – 145 шт.

Стоимость изготовления $S_{изг.}$ определяется по следующей формуле:

$$S_{изг.} = S_{зп} + S_{мат} + \%HP S_{озп} / 100, \text{ руб.} \quad (5.8)$$

где $S_{зп}$ – заработная плата, руб.; $S_{мат}$ – затраты на материалы, руб.; %HP – процент накладных расходов (принимается 250 – 300 %); $S_{озп}$ – осн. заработная плата, руб.

Затраты на заработную плату $S_{зп}$ рассчитываются по формуле:

$$S_{зп} = S_{озп} + S_{доп} + S_{соц} + S_{прем}, \text{ руб.} \quad (5.9)$$

где $S_{доп.}$ – доп. заработная плата, руб.; $S_{соц.}$ – соц. страхование, руб.; $S_{прем.}$ – затраты на выплату премий, руб.

Дополнительная заработная плата.:

$$S_{доп} = 0,1 S_{озп}, \quad (5.10)$$

Соц. страхование:

$$S_{соц} = 0,3(S_{озп} + S_{доп}), \text{ руб.} \quad (5.11)$$

где 0,3 – процент начислений по социальному страхованию.

Выплата премий:

$$S_{прем} = 0,4S_{озп}, \text{ руб.} \quad (5.12)$$

Экологический ущерб под действием антропогенных нагрузок исходит из:

- деградация почв и земель;
- загрязнение земель химическими веществами.

Общую величину предотвращенного экологического ущерба $Y_{\text{пр}}$ почвам можно определить следующим образом:

$$Y_{\text{пр}} = Y_{\text{пр.д}} + Y_{\text{пр.х}}, \text{ руб} \quad (5.13)$$

где $Y_{\text{пр.д}}$ – значение предотвращенного ущерба от деградации почв и земель;
 $Y_{\text{пр.х}}$ – значение предотвращенного ущерба от загрязнения земель химическими веществами;

$$Y_{\text{пр.д}} = Y_{\text{уд}} \sum S_{\text{д}j} K_{\text{п}j} K_{\text{дегр}}, \quad (5.14)$$

где $Y_{\text{уд}}$ – значение удельного экологического ущерба почвам и земельным ресурсам;

$S_{\text{д}j}$ – площадь земель j -го типа, сохранных от деградации;

$K_{\text{п}j}$ – коэффициент природно-хозяйственной значимости почв и земель j -го типа;

$K_{\text{дегр}}$ – коэффициент, учитывающий степень возможной деградации земель от воздействия антропогенных (техногенных) нагрузок (при полной деградации $K_{\text{дегр}} = 1$, при поливе дождеванием ориентировочно принимается равным $K_{\text{дегр}} = 0,01$).

$$Y_{\text{пр.х}} = Y_{\text{уд}} \sum S_{\text{x}j} K_{\text{x}j}, \quad (5.15)$$

где $S_{\text{x}j}$ – площадь земель j -го типа, на которой удалось предотвратить загрязнение химическим веществом определенного класса опасности; $K_{\text{x}i}$ – коэффициент, учитывающий класс опасности i -го хим. вещества недопущенного к проникновению в почву.

Зависимость для определения общей величины предотвращенного экологического ущерба представлена как:

$$Y_{\text{пр}} = 1,1Y_{\text{пр.д}}, \quad (5.16)$$

Стоимость 1 м³ воды для орошаемого земледелия ($S_{1\text{м}^3}$, руб.) можно определить, согласно по формуле:

$$S_{1\text{м}^3} = S_{\text{воды}} / V_{\text{общ}}, \quad (5.17)$$

где $S_{\text{воды}}$ – затраты на подачу оросительной воды в определенный период;
 $V_{\text{общ}}$ – общий объем поданной оросительной воды за этот же период.

Потери оросительной воды за поливной сезон ($S_{\text{пвпс}}$):

$$S_{\text{пвпс}} = V_{\text{пвпс}} \cdot S_{1\text{м}^3}, \quad (5.18)$$

где $V_{\text{пвпс}}$ – объем потерь оросительной воды за поливной сезон.

Годовую экономию ($\mathcal{E}_{\text{год}}$, руб.) при внедрении разработанных дождеобразующих устройств можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (S_{\text{пвпс1}} + Y_{\text{пр}}) - (S_{\text{изг}} \cdot E_{\text{н}} + S_{\text{пвпс2}}), \quad (5.19)$$

где $S_{\text{пвпс1}}$, $S_{\text{пвпс2}}$ – соответственно потери оросительной воды в стоимостном выражении за поливной сезон при поливе серийной и модернизированной ДМ; $Y_{\text{пр}}$ – ущерб почвенным и земельным ресурсам; $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности.

Экономическая эффективность от внедрения дождевальная машины «Каскад» в сравнении с ДМ «Фрегат» представлена в таблице 5.24.

Таблица 5.24 – Экономическая эффективность внедрения ДМ

№ п/п	Показатели	Дождевальная машина	
		ДМ «Фрегат»	ДМ «Каскад»
1	Стоимость изготовления дождеобразующих устройств, руб.	12500	17250
2	Предотвращенный экологический ущерб земельным ресурсам, руб.	3922	2726
3	Потери оросительной воды в стоимостном выражении за поливной сезон, руб.	26456	16160
4	Годовая экономия	40000	46000

Сравнение экономической эффективности работы ДМ «Каскад» и ДМ «Фрегат» позволяет сделать вывод что ДМ «Фрегат» при базовых настройках и режимах работы 1,2 МПа на насосной станции, затрачивает электроэнергии на подачу 1000 м³ воды порядка 451 кВт/м³, что на 16 % выше, в сравнении с работой ДМ «Каскад», которая при схожих режимах работы позволяет снизить давление на насосной станции до 0,7 Мпа с затратами электроэнергии на подачу 1000 м³ воды до 260 кВт-ч (т.е. машина становится

в 1,5–2 раза более экономичнее по потреблению энергии в сравнении с ДМ «Фрегат»).

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 м³ воды 30 тыс. кВт электроэнергии. В среднем на подачу 1000 м³ воды тратится 10000 кВт·ч, при том что высоконапорная энергоемкая ДМ «Фрегат» на подачу такого же объема воды затрачивает 42 тыс. кВт, в среднем на подачу 1000 м³ 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 от 2 насосных агрегатов марки Д120/125.

Работа ДМ «Каскад» при низком давлении 0,25–0,4 Мпа при оптимальном режиме насоса позволила снизить энергозатраты на подачу 1000 м³ воды с 475–500 кВт·ч до 253–262 кВт·ч (машина становится в 1,5–2 раза более экономичнее по потреблению энергии) (таблица 5.25).

Усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания увеличивает ширину расстановки дождевальных насадок поперек трубопровода до 4–5 м, что позволит снизить интенсивность дождя в 1,3–1,7 раз и повысить норму полива до стока на 10–15 % при формировании мелкокапельного дождя со средним диаметром капель 0,6–0,9 мм.

Таблица 5.25 – 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 ³	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

Установка на устройствах приповерхностного дождевания в районе тележек и дождевальных насадок секторного и контурного полива снижают попадание оросительной воды под колеса тележек и уменьшает глубину колеи в конце поливного сезона с 15–20 см до 6–9 см.

Более равномерное увлажнение почвы и снижение потерь воды на испарение и снос ветром обеспечило повышение урожайности на примере сои при поливе ДМ «Каскад» с УПО-ДН на 27 % (таблица 5.26).

Таблица 5.26 – 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 ²	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.

5.10 Преимущества и эффективность разработок

Преимущества предлагаемых разработок в том, что теоретически обоснован алгоритм выбора и расчета оптимальных параметров дождевателей для обеспечения почвозащитной технологии полива, а ее внедрение на ДМ «Каскад» обеспечивает полив с меньшей интенсивностью дождя в 1,23–1,65 раз, по сравнению с расстановкой насадок в линию вдоль трубопровода. Дождевальные насадки с дефлектором формируют мелкокапельный дождь, средний диаметр изменяется вдоль трубопровода в пределах 0,5–0,9 мм. Мелкокапельный дождь и снижение интенсивности дождя уменьшают удельную мощность дождя в 1,4–2,1 раза, что позволит увеличить норму полива до стока на 20 %, а также снизить уплотнение и разрушение почвы.

Усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания обеспечивают легкое регулирование высоты установки дожевальных насадок в пределах от 1,5 до 3,2 м и увеличивают ширину расстановки дождевателей поперек к трубопроводу до 5–6 м и уменьшают соударение капель дождя от соседних насадок. Расположение дожевальных насадок выше растений обеспечивает хорошую равномерность полива $K_{эф} = 0,75–0,85$ и более и не снижается при поливе высокостебельных культур, так как не располагается в стеблестое, который препятствует полету капель.

Близкое расположение дожевальных насадок к почве и растениям позволяет снизить потерю воды на испарение и снос ветром до 4–9 % вместо 15–20 % при расположении насадок на трубопроводе ДМ «Кубань-ЛК1» и «Фрегат»

ДМ «Каскад» работает при низком давлении на входе – 0,25–0,46 МПа, и с низконапорными насосами (1Д500-63; 300Д70 и др.) снижает энергоемкость полива в 1,4–1,8 раз в сравнении ДМ «Фрегат» (давление на насосной станции

0,9–1 Мпа). Разработана конструкция и технология внесения агрессивных удобрений и химических веществ только через полиэтиленовый трубопровод. Показано, что в зависимости от диаметра полиэтиленового трубопровода возможно как дополнительное снижение напора на входе в машину, так и увеличение максимального расхода воды до 70–90 л/с и более.

Обоснованы конструкции дождевальных насадок секторного и контурного полива установка которых в районе тележек уменьшает попадание воды под колеса тележек, повышает ее проходимость, уменьшает глубину колеи с 15–20 см и более до 6–9 см, при этом снижаются затраты электро на передвижение машины и буксование тележек. Это будет способствовать повышению производительности не только дождевальных машин, но также машинно-тракторных агрегатов при обработке почвы, уходе за растениями и уборке сельскохозяйственных культур (Abdrazakov F.K., Povarov A.V. et al., 2016).

Обоснованы различные варианты применения концевых дождевальных аппаратов для увеличения площади полива как за счет использования подкачивающего насоса малой мощности на небольших орошаемых участках с малоэнергоёмкими насосами и на крайних машинах больших участков орошения, так и за счет использования избытка напора на гидрантах, расположенных вначале и середине больших орошаемых участков. Дополнительная площадь полива ДМ «Каскад» и других многоопорных дождевальных машин в зависимости от модификации и длины машин может увеличиваться от 5,3 до 12 га.

5.11 Выводы по 5-й главе

1. Дождевальная машина «Каскад» № 1, 2 и 3 в ООО «Листеко» с устройствами приповерхностного дождевания производит работу при низком напоре ($H=46; 39$ и 35 м) и расчетном расходе воды (63,6; 57,9 и 53,7 л/с) с возможностью его регулировки в широких пределах – от 45 до 66 л/с.

2. Дождевальная машина «Каскад», оборудованная более частой расстановкой через 2,9 м УПД с дождевальными насадками. Обеспечивает высокую равномерность полива при скорости ветра 3–4 м/с (на 6,6–14,2 %, больше устройств со среднеструйными аппаратами) и на 20–35 % выше с дефлекторными насадками установленными в стандартные штуцера ДМ «Фрегат».

3. ДМ «Каскад», оборудованная дождевальными насадками с УПО в сравнении с аппаратами «Роса» увеличивает величину досточковых поливных норм, обеспечивая уменьшение числа поливов, увеличивает глубину увлажняемого слоя почвы и урожайность орошаемой культуры, а следовательно, повышается эффективность возделывания орошаемых культур.

4. Потери воды на испарение и снос ветром при поливе ДМ «Каскад» с УПД снижаются на 6–10 % за счет снижения дождевого облака с 4–7 м до 1,5–3,5 м над поверхностью земли и до 1,0–1,5 м над поверхностью растений.

5. Дождевальная машина «Каскад» при формировании мелкокапельного дождя (0,5–0,9 мм) малой интенсивности и удельной мощности увеличивает норму полива до стока и снижает уплотнение и разрушение почв. Урожайность люцерны повысилась в среднем на 8,8 ц/га при качественном поливе ДМ «Каскад». Годовой экономический эффект от внедрения УПО и дождевальных насадок составил 88,5 тыс. руб. на машину.

6. ДМ «Каскад» имеет давление на входе – 0,25–0,46 МПа, эксплуатируется с низконапорными насосами (1Д500-63; 300Д70 и др.) в оптимальном режиме снижает энергоемкость полива в 1,4–1,8 раз по сравнению с ДМ «Фрегат», (давлении на насосной станции 0,9–1 МПа с насосами Д1250-125).

7. 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 в начале и

середине орошаемых участков. Дополнительная площадь полива ДМ «Каскад» и других многоопорных дождевальными машин в зависимости от модификации и длины машин может увеличиваться от 3 до 12 га.

8. Установка в районе тележек на устройствах приповерхностного дождевания дождевальных насадок секторного и контурного полива позволяет уменьшить глубину колеи в конце поливного сезона 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 повышению производительности машинно-тракторных агрегатов при обработке орошаемого участка и при проведении уборки.

9. Величина достоковых поливных норм поливами дождевальными насадками с УПО выше, чем аппаратами «Роса», при этом сокращается число поливов и уменьшается энергоемкость проведения поливного режима культуры. При большей поливной норме увеличивается слой увлажнения и зона питания корневой системы, что в свою очередь увеличивает урожайность орошаемой культуры. На величину достоковой поливной нормы и образование ирригационного стока влияет не только интенсивность дождя дождевателей, превышающая впитывающую способность почвы, но крупность капель, которые своей массой и энергетической мощностью разрушают поверхностную структуру почвы, уплотняя ее и вызывая образование луж.

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 ($K_{ЗИ} = 0,81-0,83$).

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 колесобразования 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 1,5 т/га до 2,4 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. (63048 руб. на 1 га вложений). Себестоимость ДМ «Каскад» с УПО-ДН составляет 6294576 руб. (62946 руб. на 1 га вложении). 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 энергоемкости 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 37–41.
2. Абдразаков, Ф.К. Повышение экологической эффективности орошения на основе совершенствования дождевальной машины «Фрегат» / Ф.К. Абдразаков, В.В. Васильев // ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2005. – 116 с.
3. Абдразаков, Ф.К. Повышение эффективности системы управления электрифицированной дождевальной машины кругового действия «Каскад» / Ф.К. Абдразаков, Л.А.Журавлева, А.П. Лонькин, А.В. Кириченко, В.А.Соловьев // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 8. – С. 51–56.
4. Абдразаков, Ф.К. Усовершенствованная дождевальная машина «Фрегат» производит экологически безопасное орошение сельскохозяйственных культур / Ф.К. Абдразаков, В.В. Васильев, М.А. Сехчин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – Саратов. 2003 – № 4. – С. 62–65.
5. Абрамов, А.М. Методы определения эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / А.М. Абрамов. – ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. – М., 1987. – 18 с.
6. Абрамов, Ф.Г. Исследование структуры дождя при орошении дождеванием: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00 / Ф.Г. Абрамов. – М., 1952. – 285 с.
7. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972 – 184 с.

8. Аленийчук, Н.А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин / Н.А. Аленийчук. – Минск: Ураджай, 1979. – 71 с.
9. Алматар, А. Сравнение продуктивности сои при капельном и внутрипочвенном орошении на рисовых почвах / А. Алматар, Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2023. – № 2 (70). – С. 316–323.
10. Альтшуль, А.Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах / А. Д. Альтшуль. – М.-Л.: Госэнергиздат, 1985. – 256 с.
11. Анженков, А.С. Фертигация в условиях сверхнизких концентраций действующего вещества с применением шланговых дождевальных машин / А.С. Анженков, Д.А. Емельяненко // Мелиорация. – 2023. – № 2(104). – С. 12–16.
12. Антонова, Н.А. Определение многоцелевой эффективности системы очистки природной воды для капельного орошения методом критериальной оценки // Н.А. Антонова, Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 1 (22). – С. 260–267.
13. Багров, М.Н. Оросительные системы и их эксплуатация / М.Н. Багров, И.П. Кружилин. – М.: Колос, 1978. – 208 с.
14. Балакай, Г.Т. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения / Г.Т. Балакай, С.М. Васильев, А.Н. Бабичев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 2 (26). – С. 1–18.
15. Балакай, Г.Т. Пути усовершенствования элементов технологии возделывания сои / Г.Т. Балакай, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова, С.А. Селицкий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 4(36). – С. 100–120.
16. Балакай, Г.Т. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях Ростовской области / Г.Т.

Балакай, С.А. Селицкий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 3 (35). – С. 80–97.

17. Батраков, А.С. Дождевальная машина «Кубань» / А.С. Батраков // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 8. – С. 37–44.

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

19. Башмаков, И.А. Особенности конструкции элементов привода электрических дождевальных машин кругового дождевания / И.А. Башмаков, М.Г. Загоруйко // Природообустройство. – 2023. – № 5. – С. 33–39.

20. Беликов, И.Ф. Возможные изменения в агротехнике сои / И.Ф. Беликов // Соя – ведущая культура в интенсификации земледелия на Дальнем Востоке. – Хабаровск: Сборник с.-х. информации науч. учреждений Дальнего Востока, 1964. – С. 64.

21. 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.

22. Бельшкіна, М.Е. Особенности продукционного 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.

23. 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.

24. 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.

25. Бельшкіна, М.Е. Соя в Центральном Нечерноземье / М.Е. Бельшкіна. – Монография: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – М., 2012. – 130 с.
26. Бируля, А.К. Уплотнение четырехфазного грунта / А.К. Бируля. – Харьков: Издательство Харьковского государственного университета им. А.М. Горького, 1950. 75 с.
27. Бируля, А.К. Эксплуатация автомобильных дорог: Учебник для специальности «Автомобильные дороги» / А. К. Бируля. – 3-е изд., перераб. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 340 с.
28. Блохина, С.Ю. Интеллектуальное земледелие на основе интернета вещей / С.Ю. Блохина, Ю.И. Блохин // Земледелие. – 2020. – № 7. – С. 7–15.
29. Бредихин, Н.П. Влияние ветра на работу дальнеструйных дождевателей и пути повышения качества полива: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.П. Бредихин. – Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения им. В. П. Горячкина. – М., 1969. – 19 с.
30. Бредихин, Н.П. Улучшение качества работы одиночных дальнеструйных аппаратов при ветре / Н.П. Бредихин // Вопросы механизации орошения сельхозкультур: материалы НТС ВИСХОМ. – М., 1966. – Вып. 21. – С. 319–330.
31. Бубенчиков, М.А. О снижении энергоемкости полива короткоструйных дефлекторных насадок / М.А. Бубенчиков, А.Н. Данильченко, Н.П. Пацер // Экологическое и экономическое обоснование технологии и технических средств полива: сб. науч. тр. ВНИИМиТП. – М., 1989. – С. 42–47.
32. Васильев, С.М. Комплексная оценка экологической безопасности способов орошения / С.М. Васильев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 36–38.

33. Васильев, С.М. Обоснование комплекса вычислительной гидродинамики при расчете гибких рабочих органов гидравлических регуляторов / С.М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1 (25). – С. 1–13.

34. Васильев, С.М. Обоснование применения мобильных оросительных систем для целей периодического орошения / С.М. Васильев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2005. – № 4 (132). – С. 90–95.

35. Васильев, С.М. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния водопроводящих конструкций с учетом динамического воздействия / С.М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3 (27). – С. 1–17.

36. Гаврилица, А.О. Эрозионная деградация орошаемых черноземов при поливе дождеванием и пути ее предотвращения: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук: 06.01.01; 06.01.02 / Кишиневский сельхоз. ин-т. – Кишинев, 1991. – 48 с.

37. Гаврилица, А.О. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / А.О. Гаврилица // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С. 77–84.

38. Гаджиев, Г.М. Исследование и обоснование оптимальных параметров дождя машины «Фрегат» для орошения приозисных песков: Дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Г.М. Гаджиев. – М., 1979. – 201 с.

39. Гаджиев, Г.М. К вопросу использования дождевальных машин «Фрегат» при орошении приозисных песчаных земель / Г.М. Гаджиев // Тракторы и сельхозмашины. – 1976. – № 11. – С. 20–21.

40. Гаджиев, Г.М. Особенности орошения приозисных песков дождеванием / Г.М. Гаджиев, Ю.С. Пунинский // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 5. – С. 38–41.

41. Гаджиев, Г.М. Скорость падения капель дождя, создаваемого дождевальной машиной «Фрегат» / Г.М. Гаджиев // Тракторы и

сельхозмашины. – 1977. – № 7. – С. 26–27.

42. Гайдученко, А. Н. Технология возделывания сои в севооборотах / А.Н. Гайдученко, С.Л. Оборский, М.В. Толмачев // Дальневосточный аграрный вестник. – 2009. – № 3(11). – С. 67–74.

43. 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. 81–89.

44. Горюнов, Д.Г. Особенности технического обслуживания дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д.Г. Горюнов, М.Г. Загоруйко, Р.Е. Кузнецов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 36–37.

45. Губанов, П.Е. Результаты научно-исследовательских работ по технологии возделывания сои в Поволжье / П.Е. Губанов // Возделывание люцерны и сои в Нижнем Поволжье. – Волгоград: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», 1983. – С. 93–100.

46. Гуреева, Е.В. Соя как ценный источник растительного белка / Е.В. Гуреева, Т.А. Фомина // Вклад молодых ученых в решение задач агропромышленного комплекса Азиатско-Тихоокеанского региона (с международным участием). – Благовещенск, 2016. – С. 29–33.

47. Гусейн-заде, С.Х. Многоопорные дождевальные машины / С.Х. Гусейн-заде, Л.А. Перевезенцев, В.И. Коваленко, В.Г. Луцкий. – М.: Колос, 1984. – 191 с.

48. Даниличев, С.Н. Отзывчивость сортов сои на минеральное питание при различных режимах орошения / С.Н. Даниличев // Материалы научной конференции «Возделывание люцерны и сои в Нижнем Поволжье». – Волгоград, 1983. – С. 135–144.

49. Данильченко, А.Н. Природоохранные режимы и технологии орошения дождеванием кормовых культур в степной зоне Прииртышья: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Данильченко. – М., 2008. – 26 с.

50. Дорохов, А.С. Производство сои в Российской Федерации: Основные тенденции и перспективы развития / А.С. Дорохов, М.Е. Бельшклина, К.К. Большева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3(47). – С. 25–33.
51. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 336 с.
52. Енкен, В.Б. Соя / В.Б. Енкен. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 622 с.
53. Ерхов, Н.С. Влияние эрозионно-допустимых поливных норм на режим орошения сельскохозяйственных культур при дождевании / Н.С. Ерхов // Основные вопросы совершенствования техники и технологии полива. – М.: ВНПО «Радуга», 1981. – С. 135–141.
54. Ерхов, Н.С. Определение крупности капель дождя с помощью бумажных фильтров / Н.С. Ерхов, Г.П. Лямперт // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1971. – № 10. – С. 31–33.
55. Ерхов, Н.С. Поливной режим как элемент технологии полива / Н.С. Ерхов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 4. – С. 16–19.
56. Жарницкий, В.Я. Влияние свойств грунтов на проходимость машин / В.Я. Жарницкий, А.М. Силкин, А.В. Савельев // Природообустройство. – 2014. – № 1. – С. 41–44.
57. Журавлева, Л.А. Проектирование дождевальных машин с позиции ресурсосбережения / Л.А. Журавлева // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 10. – С. 161–167.
58. Журавлева, Л.А. Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе / Л.А. Журавлева, А. Анас // Природообустройство. – 2024. – № 2. – С. 21–27.
59. Журавлева, Л.А. Результаты экспериментальных исследований работы электрифицированных дождевальных машин кругового действия на склоновых землях / Л.А. Журавлева, В.А. Соловьев, А.Н. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.П. Лонькин // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 16–19.

60. Журавлева, Л.А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Л.А. Журавлева. – Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2018. – 408 с.
61. Журавлева, Л.А. Состояние материально-технической базы мелиоративного комплекса и оценка эффективности ее модернизации / Л.А. Журавлева // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 165–170.
62. Загоруйко, М.Г. Биохимический состав сои различного эколого-географического происхождения и оценка пригодности для переработки / М.Г. Загоруйко, М.Е. Бельшкина // Аграрная Россия. – 2023. – № 7. – С. 3–8.
63. Загоруйко, М.Г. Влияние предполивного порога влажности почвы на продуктивность и кормовую ценность сои на мелиоративных землях / М.Г. Загоруйко, М.Е. Бельшкина, Н.П. Попова, Т.П. Кобозева // Природообустройство. – 2024. – № 1. – С. 32–41.
64. Загоруйко, М.Г. Мониторинг показателей фотосинтетической деятельности и его использование для прогнозирования потенциальной урожайности сои / М.Г. Загоруйко, М.Е. Бельшкина, Р.К. Курбанов, Н.И. Захарова // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 12. – С. 9–12.
65. Загоруйко, М.Г. Урожайность и кормовая ценность надземной биомассы сои сортов северного экотипа в условиях Центрального Нечерноземья / М.Г. Загоруйко, М.Е. Бельшкина, Т.П. Кобозева // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 62–67.
66. Зайцев, Н.И. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения / Н.И. Зайцев, Н.И. Бочкарев, С.В. Зеленцов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2016. – Вып. 2 (166). – С. 3–11.
67. 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.

68. Зеленцов, С.В. Перспективные направления адаптивной селекции сои для засушливых условий юга России / С.В. Зеленцов, Е.В. Мошненко // Материалы научной конференции «Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных культур». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2013. – С. 150–152.
69. Зубарева, К.Ю. Соя в России / К.Ю. Зубарева // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2020. – № 4 (28). – С. 23–25.
70. Иванов, В.А. Учет потерь воды при поливе дождеванием / В.А. Иванов // Труды Волгоградского СХИ. – Волгоград, 1978. – Т. 76. – С. 21–26.
71. Исаев, А.П. Гидравлика дождевальных машин / А.П. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
72. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
73. Исаев, А.П. Оценка технологических возможностей дождевальной техники на основе определения допустимых норм полива / А.П. Исаев // Улучшение эксплуатации оросительных систем и планировка орошаемых земель. – М.: Колос, 1982. – С. 67–78.
74. Казаков, С.П. Рациональная расстановка дождевальных насадок / С.П. Казаков // Гидротехника и мелиорация. – 1953. – № 4. – С. 37–44.
75. Калашников, А.А. Определение качества дождя при работе дождевальных аппаратов, установок и машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Калашников – Ставрополь, 1973. – 20 с.
76. Кальянов, А.Л. Оптимизация режима орошения люцерны на сено дождевальной машиной «Кубань-ЛК» на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.Л. Кальянов. – Волгоград, 2000. – 20 с.

77. Карпова, О.В. Усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания для дождевальной машины «Фрегат»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.В. Карпова. – Саратов, 2017. – 23 с.

78. Карпова, О.В. Фертигация как инструмент интенсивной технологии / О.В. Карпова // Материалы X Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях». – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 49–52.

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

80. Каталог широкозахватных дождевальных машин, ирригационного оборудования, систем капельного орошения и насосных станций Российского производства Российской Федерации. – М.: ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2016.

81. Кизяев, Б.М. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении / Б.М. Кизяев, В.В. Бородычев // Плодородие. – 2016. – № 5(92). – С. 18–21.

82. Клепальский, А.П. Влияние интенсивности дождя на поливные нормы в зоне Сыртов Заволжья / А.П. Клепальский, В.Н. Корочков, А.Я. Божкова // Орошение земель в Поволжье: сборник научных трудов. – Саратов, 1973. – С. 108–117.

83. Клепальский, А.П. Качество дождя машин ДКШ-64 и АДП-350 при орошении в зоне Сыртов Заволжья / А.П. Клепальский // Орошение земель в Поволжье. – Саратов, 1973. – С. 108–117.

84. Кобозева, Т.П. Соевое масло как ресурс для биотоплива / Т.П. Кобозева, А.Г. Левшин, С.Н. Девянин, В.А. Марков // Агротехника и энергообеспечение – 2021. – № 1(30). – С. 104–113.

85. Козинская, О.В. Обоснование элементов техники полива сельскохозяйственных культур дождевальными машинами фронтального действия: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / О.В. Козинская. – Волгоград, 2011. – 23 с.

86. Колганов, А.В. Научные основы развития орошения и технического совершенствования оросительных систем в засушливой зоне Российской Федерации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / А.В. Колганов. – М., 2000. – 52 с.

87. Колесник, Ф.И. Методика оценки эффективности дождевальных машин / Ф.И. Колесник. – М.: ЦНИИТЭИ в/о «Союзсельхозтехника», 1975. – 157 с.

88. Колесников, Ф.И. Оценка существующей техники и перспективы ее развития / Колесников, Ф.И. // Вестник сельскохозяйственных наук. – 1986. – № 12. – С. 71–73.

89. Костяков, А.Н. Основы мелиорации: учеб. пособие для гидромелиоративных ин-тов / А.Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 732 с.

90. Кошкарлова, Т.С. Влияние различных сортов и режимов орошения на биоэнергетическую эффективность производства сои / Т.С. Кошкарлова, В.В. Толоконников, Г.П. Канцер, Н.М. Плющева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3(55). – С. 192–198.

91. Кошкин, Н.М. Направление модернизации дождевальных машин «Фрегат», обеспечивающих эффективную эксплуатацию участков орошения / Н.М. Кошкин, А.Н. Кошкин, В.Ю. Карев, Д.П. Путятин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 22–25.

92. Кравченко, В.А. Теория автомобилей и тракторов: уч. пособие / В.А. Кравченко, В.А. Оберемок. – Зерноград: Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия, 2015. – 324 с.

93. Кравчук, А.В. Оперативное определение поливной нормы для каштановых и темно-каштановых почв Заволжья / А.В. Кравчук // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 42.

94. 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.

95. Краснов, С.Ф. Ирригационная эрозия и ее влияние на формирование рельефа: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.04 / С.Ф. Краснов. – М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 1982. – 24 с.

96. Круговые и фронтальные дождевальные системы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.o2-e.ru/upload/REINKE_russian.pdf (дата обращения: 30.05.2024).

97. Крутиков, Н.П. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: уч. пособие / Н.П. Крутиков, И.И. Смирнов, К.Ф. Щербаков, И.Ф. Попов. – М.: Машгиз, 1951. – Т. 1 – 579 с.

98. Кузин, А.И. Влияние различных норм и способов внесения калийных удобрений на урожайность яблони / А.И. Кузин // Современное состояние садоводства Российской Федерации, проблемы отрасли и пути их решения. – Тамбов, 2020. – С. 44–49.

99. Кузнецов, П.И. Исследования параметров структуры дождя и качества полива машин кругового действия в Волгоградском Заволжье: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / П.И. Кузнецов. – Новочеркасск, 1983. – 20 с.

100. Курбатов, А.Я. Производительность и равномерность полива электрифицированной многоопорной дождевальной машиной фронтального действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Я. Курбатов. – Саратов, 1988. – 23 с.

101. Ларионова, А.М. Пути повышения качества полива дождевальными машинами / А.М. Ларионова, Т.А. Михалева, Е.В. Шевцов //

Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. – Саранск: ОАО «Типография "Рузаевский печатник"», 2016. – С. 360–365.

102. Лебедев, Б.М. Дождевальные машины: Теория и конструкции / Б.М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1977. – 246 с.

103. Левкина, О.В. Современные тенденции развития мирового соевого рынка / О.В. Левкина, В.В. Васильев // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 12–18.

104. Летошнев, М.Н. Взаимодействие конной повозки и дороги (тяговые характеристики и грузоподъемность) / М.Н. Летошнев. – М., 1929. – 127 с.

105. Лещенко, А.К. Соя (Генетика, селекция, семеноводство) / А.К. Лещенко, В.И. Сичкарь, В.Г. Михайлов, В.Ф. Марьюшкин. – Киев: Наук. думка, 1987. – 255 с.

106. Лещенко, А.К. Соя / А.К. Лещенко, Б.В. Касаткин, М.И. Хотулев. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 272 с.

107. Лобойко, В.Ф. Влияние различного водного режима на рост и развитие сои при капельном орошении в условиях светло-каштановых почв Волгоградской области / В.Ф. Лобойко, Н.Г. Дезорцев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2014. – № 1(33). – 6 с.

108. Лукомец, В.М. Перспективы и резервы расширенного производства масличных культур в Российской Федерации / В.М. Лукомец, С.В. Зеленцов, К.М. Кривошлыков // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – № 4(164). – С. 81–102.

109. Лукомец, В.М. Создание сортов сои с расширенной адаптацией к изменяющемуся климату Западного Предкавказья / В.М. Лукомец, С.В. Бочкарев, С.В. Зеленцов, Е.В. Мошненко // Труды КубГАУ. – 2012. – № 35. – С. 248–254.

110. Лукомец, В.М. Соя в России – действительность и возможность: монография / В.М. Лукомец, А.В. Кочегура, В.Ф. Баранов, В.Л. Махонин. –

Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2013 – 99 с.

111. Лямперт, Г.П. Дождевание при ветре ДДН-70 при изменении угла наклона ствола аппарата / Г.П. Лямперт // Новое в технике и технологии полива. – М.: ВНПО «Радуга», 1980. – С. 54–58.

112. Мажуга, Т.С. Повышение экономической эффективности производства продукции отрасли соеводства в Приморском крае / Т.С. Мажуга, М.Ф. Мажуга, О.М. Храпачева // Зернобобовые культуры – развивающееся направление в России. – Омск: Полиграфический центр КАН, 2016. – С. 90–92.

113. Мансуров, М.С. Расчет потерь воды на испарение при поливе дождеванием / М.С. Мансуров // Использование пресных и минеральных вод при орошении и промывки земель. – М.: Труды УкрНИИГиМ и ВИСХОМ, 1971. – С. 29–44.

114. Маркварде В.М. Моделирование траектории полета дождевой струи [Текст] / В.М. Маркварде. – М.: Труды УкрНИИГиМ и ВИСХОМ, 1966 – Вып. 21. – С. 54–63.

115. Митрюхин, А.А. Гидравлические исследования соединения спокойных потоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Митрюхин. – М., 1971. – 31 с.

116. Митяева, Л.А. Улучшение свойств нарушенных орошаемых земель после проведения мероприятий по рекультивации / Л.А. Митяева, Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1 (25). – С. 146–160.

117. Москвичев, Ю.А. Агрономическая оценка полива широкозахватными дождевальными машинами / Ю.А. Москвичев // Широкозахватные дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка». – Коломна: ВНИИМиТП, 1974. – Т. 5. – С. 60–104.

118. Москвичев, Ю.А. Дождевальные машины для Поволжья / Ю.А. Москвичев, В.П. Сорочкин, В.С. Краснощеков // Агротехническая и технико-

эксплуатационная оценка способов полива сельскохозяйственных культур в Поволжье. – Волгоград, 1974. – С. 58–65.

119. Москвичев, Ю.А. Условия оптимального применения дождевальной техники / Ю.А. Москвичев, Н.М. Шевцов // Оптимизация параметров поливной техники. – Коломна: ВНИИМиТП, 1974. – С. 62–73.

120. Муратов, А.А. Сортовая специфика возделывания сои Российской и Китайской селекции / А.А. Муратов, Ю.В. Оборская // Вестник Алтайского государственного университета. – 2015. – № 6(128). – С. 59–63.

121. Мустафаева, М.К. Исследование среднеструйных разбрызгивателей в условиях Азербайджанской ССР: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.К. Мустафаева. – Баку, 1962. – 15 с.

122. Мякушко, Ю.П. Соя / Ю.П. Мякушко, Т.А. Перестова, И.И. Чалый и др. – М.: Колос, 1984. – 332 с.

123. Надежкина, Г.П. Совершенствование устройств приповерхностного полива дождевальной машины «Фрегат»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Г.П. Надежкина. – Саратов, 2014. – 19 с.

124. Налойниченко, А.О. Удобрительное орошение посредством внесения жидких минеральных удобрений с поливной водой (фертигация) / А.О. Налойниченко, А.Ж. Атаканов. – Бишкек, 2009. – 24 с.

125. Никулин, С.Н. Ресурсосберегающие технологии орошения / С.Н. Никулин // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 12. – С. 22–24.

126. Овчаров, В.А. Потери воды на испарение при дождевании широкозахватными машинами в Поволжье / В.А. Овчаров // Вопросы орошения в Поволжье: сб. науч. тр. ВНИИГиМ. – М., 1980. – С. 88–92.

127. Ожередов, Н.И. Потери воды на испарение при поливе ДМ «Кубань» / Н.И. Ожередов // Экономия энергозатрат и повышение экологической безопасности полива: сб. науч. тр. СтавНИИГиМ. – Ставрополь, 1994. – С. 33–37.

128. Ольгаренко, Г.В. Дождевальная техника нового поколения / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 34–36.
129. Ольгаренко, Г.В. Мелиоративный комплекс Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин, В.И. Булгаков, Т.А. Капустина, Н.А. Мищенко и др. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 304 с
130. Ольгаренко, Г.В. Нормативно-методические разработки для машинно-технологического обеспечения эксплуатации государственных мелиоративных систем / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 27–29.
131. Ольгаренко, Г.В. Развитие научного обеспечения в области сельскохозяйственного водоснабжения / Г.В. Ольгаренко, А.А. Алдошкин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 1. – С. 35–36.
132. Ольгаренко, Г.В. Реализация программы импортозамещения в области производства техники для полива в Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 7. – С. 24–27.
133. Ольгаренко, Г.В. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник / Г.В. Ольгаренко. – М., ФГБНУ «Росинформагроиздат», 2015. – 264 с.
134. Ольгаренко, Г.В. Экономическая оценка широкозахватных дождевальных машин / Г.В. Ольгаренко // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. – М., 2007. – Т. 2. – С. 384–395.
135. Оросительные системы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rkd.su/irrigation_systems.html (дата обращения: 30.05.2024).

136. ОСТ 70.11.1–74 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний. Всесоюзное объединение «Сельхозтехника» – М., 1977. – 70 с.

137. Павлов, В.В. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин: учеб. для вузов. / В.В. Павлов, В.В. Кувшинов. – Чебоксары: ООО «Чебоксарская типография №1», 2011 – 424 с.

138. Патент РФ на изобретение № 144139 «Устройство автополива цветочных растений, выращиваемых в контейнерах» / Д.А. Соловьев, М.Г. Загоруйко, В.А. Соловьев, Н.А. Колесников; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ЛандшафтСтройСервис», с датой регистрации 10.08.2014. – 2 с.

139. Патент РФ на изобретение № 146223 «Устройство автополива растений, выращиваемых в контейнерах (варианты)» / Д.А. Соловьев, М.Г. Загоруйко, В.А. Соловьев, Н.А. Колесников; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ЛандшафтСтройСервис», с датой регистрации 10.10.2014. – 2 с.

140. Патент РФ на изобретение № 166617 «Дождевальная насадка» / М.С. Елисеев, М.Г. Загоруйко, Д.А. Соловьев, Д.А. Колганов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», с датой регистрации: 10.12.2016. – 2 с.

141. Патент РФ на изобретение № 180447 «Дождевальная машина» / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, С.Н. Рыжко и др.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», с датой регистрации: 14.06.2018. – 1 с.

142. Патент РФ на изобретение № 184629 «Дождевальная машина» / Н.Ф. Рыжко, И.А. Шушпанов, Н.В. Рыжко и др.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», с датой регистрации 01.11.2018. – 1 с.

143. Петибская, В.С. Соя: химический состав и использование / В.С. Петибская. – Майкоп: Полиграф-Юг, 2012. – 432 с.
144. Петраков, А.А. Учебное пособие по курсу «Механика грунтов» / А.А. Петраков, В.В. Яркин, Р.А. Таран, Т.В. Казачек. – Макеевка: ДонНАСА, 2004. – 164 с.
145. Петров, Г.А. Гидравлика переменной массы (движение жидкости с изменением расхода вдоль пути). – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1964. – 224 с.
146. Поляков, Ю.П. Прогноз эрозии почв и обоснование ресурсосберегающих технологий при поливах: автореф. дис. ... док. техн. наук: 06.01.02 / Ю.П. Поляков. – М.: ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 1990. – 48 с.
147. Попов, В.Г. Ирригационная эрозия и борьба с ней в степи Поволжья: монография / В.Г. Попов. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2003. – 142 с.
148. Попов, В.Г. Ирригационная эрозия и ее предупреждение при орошении дождеванием на темно-каштановых почвах Заволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. – Саратов, 1990. – 14 с.
149. Продукты животноводства и сельскохозяйственных культур. [Электронный ресурс] / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL> (дата обращения: 30.05.2023).
150. Пронько, Н.А. Геоинформационные технологии в мелиорации и орошаемом земледелии сухостепного Поволжья / Н.А. Пронько, В.В. Корсак // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 2. – С. 54–57.
151. Пронько, Н.А. Проблемы орошаемого земледелия Поволжья и их решение / Н.А. Пронько // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 11. – С. 24–30.

152. Путь Nelson. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nelsonirrigation.com/ru/about> (дата обращения: 30.05.2024).

153. Распылители (спринклеры) Senninger® концевые Fan Spray. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orsispivot.ru/catalog/katalog-komplektuyushchikh/raspyliteli-sprinklery-senninger-kontsevye-fan-spray/> (дата обращения: 30.05.2024).

154. Расулова, В.А. Анализ современного состояния производства сои в России / В.А. Расулова, А.Ф. Мельник // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2020. – № 3(27). – С. 6–8.

155. Рачинский, А.А. Потери воды в воздухе при поливе дождеванием / А.А. Рачинский, В.К. Севрюгин // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 11. – С. 42–45.

156. РД 70.11.1–89 Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний. – 68 с.

157. Рыжко, Н.Ф. Особенности низконапорной дождевальной машины «Фрегат» в ООО «Росагро-Заволжье» / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, С.А. Хорин. – Новочеркасск, 2017. – С. 192–195.

158. Рыжко, Н.Ф. Оценка и расчет равномерности полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок / Н.Ф. Рыжко, Е.И. Гуркин, Ю.А. Емельянов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 3. – С. 41–45.

159. Рыжко, Н.Ф. 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.

160. Рыжко, Н.Ф. Регулирование расхода воды ДМ «Фрегат» для снижения энергопотребления насосных станций / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко,

С.В. Ботов, С.А. Хорин, М.С. Органов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 11. – С. 45–48.

161. Рыжко, Н.Ф. Результаты исследований дождевальных насадок и устройств приповерхностного полива / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, С.В. Ботов, Н.В. Рыжко, С.А. Хорин, О.В. Карпова // Коломна: ВНИИ «Радуга», 2016. – С. 116–119.

162. Рыжко, Н.Ф. Ресурсосбережение – как основа совершенствования многоопорных дождевальных машин / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.С. Смирнов, С.А. Хорин // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 12–19.

163. Рыжко, Н.Ф. Снижение энергозатрат при внесении минеральных удобрений при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.А. Шишенин // В сборнике: Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. – Саратов, 2020. – С. 175–179.

164. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: «Саратовский источник», 2007. – 110 с.

165. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование технологии приповерхностного дождевания на дм «Фрегат» / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, С.Н. Рыжко, С.В. Ботов // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 12. – С. 74–77.

166. Рыжко, Н.Ф. Технические решения для экономии электроэнергии на насосных станциях оросительных систем / Н.Ф. Рыжко, И.А. Шушпанов, А.С. Горбачев, С.Н. Рыжко, А.А. Емельянов, С.А. Хорин // Материалы международной научно-практической конференции «Мелиорация и водное хозяйство XXI века: проблемы и перспективы развития». – Тверь, 2014. – С. 43–49.

167. Рыжко, Н.Ф. Технические средства внесения минеральных удобрений при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, Н.В. Рыжко, О.В. Карпова // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 9. – С. 96–100.

168. Рыжко, Н.Ф. Увеличение площади полива и коэффициента земельного использования дождевальной машины «Фрегат» / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, С.В. Ботов, Н.В. Рыжко, С.А. Хорин // Коломна: ВНИИ «Радуга», 2016. – С. 120–124.

169. Рыжко, Н.Ф. Эффективность технологии приповерхностного полива на ДМ «Фрегат» / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, С.Н. Рыжко, С.В. Ботов, А.С. Хорин // Вестник мелиоративной науки. – Коломна: ВНИИ «Радуга», 2018. – Вып. 1. – С. 57–60.

170. Рыжко, С.Н. Совершенствование дождевальных машин ферменной конструкции для улучшения технических характеристик и качественных показателей полива: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Рыжко – Саратов, 2022. – 20 с.

171. Рыжко, С.Н. Технология и технические средства для внесения удобрений через полиэтиленовый трубопровод на дождевальных машинах типа «Волга» / С.Н. Рыжко, Н.Ф. Рыжко, Е.С. Смирнов // Концептуальные аспекты современного состояния и развития мелиорации и эффективного использования водных ресурсов. – Энгельс, 2021. – С. 107–112.

172. Рязанцев, А.И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях / А.И. Рязанцев. – Рязань, 1991. – 131 с.

173. Рязанцев, А.И. Особенности оценки несущей способности почвы при поливе дождеванием / А.И. Рязанцев, А.О. Антипов, А.И. Смирнов // Вестник Государственного социально-гуманитарного университета. – 2019. – № 3 (35). – С. 63–66.

174. Рязанцев, А.И. Особенности технологии полива многоопорными дождевальными машинами кругового действия на сложном рельефе / А.И. Рязанцев, А.О. Антипов // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 12. – С. 14–15.

175. Савенков, С.И. Основные проблемы оценки природных ресурсов Нижнего Заволжья / С.И. Савенков // Саратов: Саратовский университет, 1974 – 296 с.

176. Сазонов, М.В. Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК / М.В. Сазонов, А.А. Бутенина, В.В. Чекалин // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 60–63.

177. Салдеев, А.М. Технические средства для заравнивания колеи многоопорных самоходных дождевальных машин / А.М. Салдеев // Совершенствование технологических процессов и комплексов машин в орошаемом земледелии. – Волгоград, 1990. – С. 103–115.

178. Свидетельство № 2022620836 «Инновационный роботизированный оросительный комплекс для семеноводства сои» / М.Е. Бельшкина, М.Г. Загоруйко; заявитель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, с датой регистрации: 18.04.2022 г. – 1 с.

179. Свидетельство № 2022620837 на базу данных «Оценка агроклиматических условий и прогноз смещения северной границы возделывания сои в условиях Центрального района Нечерноземной зоны» / М.Е. Бельшкина, М.Г. Загоруйко; заявитель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, с датой регистрации: 18.04.2022 г. – 1 с.

180. 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.

181. Свищева, М.И. Состояние и прогнозы производства сои в России / М.И. Свищева // Управление рисками в АПК. – 2020. – № 3 (37). – С. 70–75.

182. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство / [Электронный ресурс] / Росстат. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 28.05.2024). Руководство по эксплуатации. Техническое

описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 133 с.

183. Синеоков, Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 312 с.

184. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

185. Снопич, Ю.Ф. Моделирование эксплуатационных параметров техники полива // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 16–17.

186. 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.

187. 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.

188. Соловьев, Д.А. Исследование влияния конструктивных параметров дождевателей на формирование дождя / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Вестник машиностроения. – 2019. – № 12. – С. 11–15.

189. Соловьев, Д.А. Исследования дефлекторных оросителей / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, М.Г. Загоруйко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2(1). – 7 с.

190. Соловьев, Д.А. Моделирование нейрорегуляции скоростью дождевальных машин / Д.А. Соловьев, Г.Н. Камышова, Н.Н. Терехова, С.М. Бакиров // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 7. – С. 81–84.

191. Соловьев, Д.А. Нейросетевые технологии повышения эффективности орошаемого земледелия / Д.А. Соловьев, Г.Н. Камышова, Н.Н. Терехова // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 32–36.

192. Соловьев, Д.А. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д.А. Соловьев, Д.Г.

Горюнов, Ю.Н. Гречечук, М.Г. Загоруйко, Р.Е. Кузнецов // Природообустройство. – 2023. – № 1. – С. 28–32.

193. Соловьев, Д.А. Параметры закрытой оросительной сети и конструкция узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д.А. Соловьев, Д.Г. Горюнов, Ю.Н. Гречечук, М.Г. Загоруйко, Р.Е. Кузнецов // Природообустройство. – 2023. – № 2. – С. 66–71.

194. Соловьев, Д.А. Повышение эффективности орошения на основе внедрения цифровых моделей прогнозирования водопотребления / Д.А. Соловьев, Г.Н. Камышова, Д.А. Колганов, Н.Н. Терехова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4 (60). – С. 402–414.

195. Соловьев, Д.А. Результаты исследований технических и качественных показателей полива дождевальной машины «Волга-ФК1» / Д.А. Соловьев, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.А. Шишенин // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 6. – С. 107–111.

196. Соловьев, Д.А. Результаты создания дождевальной машины «Фрегат», работающей в режимах при низких напорах / Д.А. Соловьев, М.Г. Загоруйко, М.С. Елисеев, Д.А. Колганов // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 67–69.

197. Соловьев, Д.А. Роботизированный оросительный комплекс «Каскад» / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 1. – С. 74–78.

198. Соловьев, Д.А. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 3. – С. 65–68.

199. Соловьев, Д.А. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева, Р.Н. Бахтиев // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 11. – С. 95–98.

200. Соловьев, Д.А. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева, Р.Н. Бахтиев // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 11. – С. 95–98.
201. Соловьев, Д.А. Цифровые технологии в управлении орошением / Д.А. Соловьев, Г.Н. Камышова, Н.Н. Терехова, Д.Г. Горюнов, А. Вардумян // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 93–97.
202. Соловьев, Д.А. Цифровые технологии в управлении орошением / Д.А. Соловьев, Г.Н. Камышова, Н.Н. Терехова, Д.Г. Горюнов, А. Вардумян // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 93–97.
203. Соловьев, Д.А. Цифровые технологии оптимизации параметров увлажнения расчетного слоя почвы / Д.А. Соловьев, В.В. Корсак, Г.Н. Камышова, О.Н. Митюрева, П.О. Терехов // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 1. – С. 86–89.
204. Соловьев, Д.А., Результаты создания дождевальной машины «Фрегат», работающей в режимах при низких напорах / Д.А. Соловьев, М.С. Елисеев, М.Г. Загоруйко, Д.А. Колганов // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 67–69.
205. Спринклер R25S [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrosektor23.ru/catalog/sprinkler/r25s/> (дата обращения: 30.05.2024).
206. СТО АИСТ 11. 1–2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей: СТО АИСТ 11. 1–2010. – М., 2012. – 54 с.
207. Тверсков, Б.М. Теория автомобиля: учеб. пособие. / Б.М. Тверсков. – Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2000. – 185 с.
208. Установки кругового орошения Valley / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.valleyirrigation.com/center-pivots> (дата обращения: 30.05.2024).
209. Фалькович, А.С. Перспективные приемы мелиорации в борьбе с деградацией орошаемых земель (на примере Саратовской области) / А.С.

Фалькович, Н.А. Пронько, В.В. Корсак // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1 (25). – С. 131–145.

210. Федоренко, И.Д. О структуре искусственного дождя / И.Д. Федоренко // Труды института гидротехники и мелиорации. – М., 1936. – Т. 18. – С. 107–123.

211. Федоренко, И.Д. Об испарении воды при дождевании и зависимость его от диаметра капель дождя / И.Д. Федоренко // Труды ВНИИГиМ. – М., 1938. – Т. 22. – С. 68–78.

212. Фокин, Б.П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: автореф. дис. ... док. техн. наук: 06.01.02 / Б.П. Фокин. – Новочеркасск, 2002. – 48 с.

213. Фомин, В.М. Теория эксплуатационных свойств автомобилей / В.М. Фомин. – М.: Российский университет дружбы народов, 2008. – 116 с.

214. Хабаров, В.Е. Исследование влияния метеорологических факторов на зону формирования искусственного дождя при орошении: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / В.Е. Хабаров. – Новочеркасск, 1982. – 22 с.

215. Хабаров, В.Е. Потери воды на испарение и снос ветром при дождевании / В.Е. Хабаров // Рациональное использование и охрана природных ресурсов: сб. науч. тр. ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1980. – С. 28–36.

216. Хабаров, В.Е. Потери оросительной воды на испарение и снос ветром при поливе ДМ «Волжанка» / В.Е. Хабаров, Ю.Г. Кузнецов // Труды ВНИИГиМ. – Новочеркасск, 1979. – № 37. – С. 68–75.

217. Чичасов, В.Я. К вопросу о потерях воды на испарение при дождевании / В.Я. Чичасов, В.Н. Черноморцева // Современные оросительные системы и пути их совершенствования. – М., 1975. – Вып. 1. – С. 78–84.

218. Чубиков, Н.Е. Разработать и испытать технические средства к дождевальной машине «Кубань», исключаящие попадание воды из сливной

системы машины в колею колес от опорных тележек / Н.Е. Чубиков и др. // Отчет о НИР ВолжНИИИГиМ. – Энгельс, 1985. – 87 с.

219. Чураев, А.А. Конструктивное исполнение дождевальнoй машины нового поколения / А.А. Чураев, Ю.Ф. Снопич, Л.В. Юченко, В.М. Школьная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 4 (68). – С. 19–25.

220. Чураев, А.А. К вопросу оценки технико-эксплуатационных параметров работы дождевальнoй машины «Фрегат» на орошаемом участке со сложным микрорельефом / А.А. Чураев, Ю.Ф. Снопич, А.М. Кореновский, Д.В. Сухарев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3 (27). – С. 43–60.

221. Шабалдас, О.Г. Урожайность сортов сои различных групп спелости при естественном плодородии почвы в условиях орошения / О.Г. Шабалдас, К.И. Пимонов, Л.В. Трубачева, С.С. Вайцеховская // Земледелие. – 2020. – № 3. – С. 41–44.

222. Швeбс, Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка (На примере Украины и Молдавии). – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.

223. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособие / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1984. – 117 с.

224. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособие / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: ООО «Бастет», 2007. – 336 с.

225. Шевцов, Н.М. Изменение водно-физических свойств некоторых почв Заволжья при орошении дождеванием: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.М. Шевцов. – М., 1972. – 25 с.

226. Шевцов, Н.М. Расчет эксплуатационных параметров дождя с использованием ЭВМ на основе оценки физических свойств почв [Текст] / Н.

М. Шевцов // Оптимизация параметров поливной техники. – Коломна: ВНИИМиТП, 1974. – С. 158–166.

227. Шереметьев, А.В., Совершенствование технологии и дождевальных машин кругового действия для орошения площадей со сложным рельефом / А.В. Шереметьев, А.И. Рязанцев, Н.Я. Кириленко // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2009. – № 2 (33). – С. 35–38.

228. Штангей, А.И. Испарение воды в процессе дождевания капель при поливе дождевальной установкой ДДА-100 М / А.И. Штангей // Метеорология и гидрология. – 1975. – № 11. – С. 100–105.

229. Штангей, А.И. Испарение воды с дождевального облака при поливе машиной «Фрегат» / А.И. Штангей // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 10. – С. 72–76.

230. Штангей, А.И. Исследование потерь и распределения воды в процессе дождевания: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / А.И. Штангей. – Киев, 1978. – 22 с.

231. Штепа, Б.Г. Справочник по механизации орошения / Б.Г. Штепа и др. – М.: Колос, 1979. – 303 с.

232. Щедрин, В.Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В.Н. Щедрин. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.

233. Эйлер, Т. Распределение дождя дождевального аппарата / Т. Эйлер // Дождевание. – 1934. – Т. 1. – С. 121–136.

234. Юст, Н.А. Рост, урожайность сои при орошении и различных сроках посева в условиях южной зоны Амурской области / Н.А. Юст, Т.А. Лященко // Водное хозяйство и земельные ресурсы. Дальневосточный государственный аграрный университет. – Благовещенск, 2013. – С. 34–39.

235. Abdrazakov, F.K. Increasing efficiency of water resources use in forage crops irrigation / F.K. Abdrazakov, T.A. Pankova, S.V. Zatinatsky, S.S. Orlova, Yu.E. Trushin // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. – 2017. – Т. 8. – № 1. – С. 283–293.

236. Abdrazakov, F.K. The studies of water flow characteristics in the water conducting belt of wide-coverage sprinkling / F.K. Abdrazakov, D.A. Solov'ev, L.A. Zhuravleva, D.A. Kolganov, V.A. Soloviev // *Machines*. – 2018. – Т. 8. – С. 567.

237. Abdrazakov, F.K. The study of the process of face milling cutter work by performing service and repair works at irrigation canals / F.K. Abdrazakov, A.V. Povarov, D.A. Solov'yov, Y.Y. Trushin, A.A. Khalmetov // *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2016. – Т. 11. – № 16. – С. 9613–9621.

238. BAUER Sprinklers and guns [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bauer-at.com/en/product/irrigation/sprinklers/> (дата обращения: 28.05.2024).

239. 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 / M. Belyshkina, M. Zagoruiko, D. Mironov, I. Bashmakov, D. Rybalkin, A. Romanovskaya // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13 (2). – P. 610

240. Bresler, El. Analysis of Trickle irrigation with Application to Design Problems / El. Bresler // *Irrigation science*. – 1978. – Vol. 1. – Pp. 3–17.

241. Esin, A.I., A research of the flow-pressure relationships of the cascade family sprinkler machines: mathematical modeling (Исследование зависимости расхода от давления в дождевальных машинах каскадного типа: математическое моделирование) / A.I. Esin, D.A. Soloviev, A.V. Rusinov, M.G. Zagoruyko, D.A. Kolganov // *Event: Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD2021)*. – 2022. – Vol. 12251. – P. 1225103.

242. Favre, H. Contribution à l'étude des courants liquides / H. Favre. Zürich. – 1933.

243. Frast, K.P. Sprinkler evaporation losses / K.P. Frast, H.G. Schwalen // *Agricultural Engineering*, 1955. – Vol. 36.

244. Hazen, A. Hydraulic Tables (3rd ed.) / A. Hazen, G.S. Williams // New York: John Willey and Sons. – 1920. – Pp. 115
245. Hinds, I. Side channel Spillways / I. Hinds // Proceedings of the on Society of Civ. Eng., 1926.
246. Irrigation Sprinklers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.valleyirrigation.com/sprinklers> (дата обращения: 30.05.2024).
247. I-Wob 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.senninger.com/ru/product/i-wobr2> (дата обращения: 30.05.2024).
248. Kamilaris, A. Agri-IoT: A semantic framework for Internetof Things–enabled smart farming applications / A. Kamilaris, F. Gao, F.X. Prenafeta-Boldu, M. I. Ali // 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT). – 2016. – Pp. 442–447.
249. Keller, J. What about drip irrigation / J. Keller, R. Hanks // Idaho Farmer. – Stockman, 1972. – Vol. 90, 6. – P. 34–38.
250. King, B.A. Evaluation of Potential Runoff and Erosion of Four Center Pivot Irrigation Sprinklers / B.A. King, D.L. Bjornberg // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2011. – Vol. 27 (1). – P.75–85.
251. Komet sprinklers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://irtec-cis.ru/articles/komet/komet-sprinklers> (дата обращения: 30.05.2024).
252. Liaghat, S. A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture / S. Liaghat, S.K. Balasundram // American Journal of Agricultural and Biological Sciences. – 2010. – Vol. 5 (1). – Pp. 50–55.
253. Mamakhai, A.K. Territorial Prospects for Growing Lentils / A.K. Mamakhai, M.G. Zagoruiko // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – 032089.
254. Ozdogan, M. Simulating the Effects of Irrigation over the United States in a Land Surface Model Based on Satellite-Derived Agricultural Data / M. Ozdogan, M. Rodell, H.K. Beaudoin, D.L. Toll // Journal of Hydrometeorology. – 2010. – Pp. 171–184.

255. Pivot spray nozzles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.senninger.com/product-line/pivot-spray-nozzles> (дата обращения: 29.05.2024).

256. R55 End of Pivot Sprinklers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nelsonirrigation.com/products/end-of-pivot-products/r55-end-of-pivot-sprinklers> (дата обращения: 30.05.2024).

257. Solomon, K. Trick irrigation uniformity and efficiency / K. Solomon, J. Keller // Journal of the irrigation and drainage division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering. – 1978. – Vol. 104 (3). – P. 293–306

258. Soloviev, D.A. Investigation of the movement of multi-support frontal machines / D.A. Soloviev, A.V. Rusinov, M.G. Zagoruyko, D.A. Kolganov, R.N. Bakhtiev // Improving energy efficiency, environmental safety and sustainable development in agriculture. – 2022. – 012059.

259. Valley (ValmontIrrigation, США). – Режим доступа: <http://www.valleyirrigation.com> (дата обращения: 30.05.2024).

260. Waga, D. Environmental conditions' big data management and cloud computing analytics for sustainable agriculture / D. Waga, K. Rahab // World J. Comput. Applic. Technol. – 2014. – Vol. 2. – Pp. 73–81.

261. Zimmatic (продукция) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lindsay.com/euas/ru/oroshenie/brendy/zimmatic/produksiya/> (дата обращения: 29.05.2024).

262. ZimmaticLindsay (США). – Режим доступа: <https://www.lindsay.com/usca/en/irrigation/brands/zimmatic> (дата обращения: 30.05.2024).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Расчет радиуса захвата струи дождевальной насадки (R) в зависимости от диаметра сопла (D) и давления перед насадкой (P) при высоте установки 2,0 м

D, мм	100 P, v	R, м	x=P/D	y=P/R	x•y	X ²
3	10	2,55	3,333	3,921	13,071	11,111
3	20	2,96	6,666	6,756	45,045	44,444
3	30	3,13	10	9,584	95,846	100
4	10	3,12	2,5	3,205	8,012	6,25
4	20	3,75	5	5,333	26,666	25
4	30	4,02	7,5	7,462	55,970	56,25
5	10	3,59	2	2,785	5,571	4
5	20	4,46	4	4,484	17,937	16
5	30	4,85	6	6,185	37,113	36
6	10	4	1,666	2,5	4,166	2,777
6	20	5,11	3,333	3,913	13,046	11,111
6	30	5,62	5	5,338	26,690	25
7	10	4,35	1,428	2,298	3,284	2,040
7	20	5,7	2,857	3,508	10,025	8,163
7	30	6,35	4,285	4,724	20,247	18,367
8	10	4,66	1,25	2,145	2,682	1,562
8	20	6,24	2,5	3,205	8,012	6,25
8	30	7,02	3,75	4,273	16,025	14,062
10	10	5,18	1	1,930	1,930	1
10	20	7,19	2	2,781	5,563	4
10	30	8,26	3	3,631	10,895	9
12	10	5,59	0,833	1,788	1,490	0,694
12	20	8	1,666	2,5	4,166	2,777
12	30	9,36	2,5	3,205	8,012	6,25
			84,071	97,466	441,475	412,113

Расчет параметров a и b уравнения регрессии:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X \cdot Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{97,466 \cdot 412,113 - 84,071 \cdot 441,475}{24 \cdot 412,475 - 84,071^2} = 1,08$$

$$b = \frac{n \cdot \sum X \cdot Y - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{24 \cdot 441,475 - 84,071 \cdot 97,466}{24 \cdot 412,475 - 84,071^2} = 0,85$$

Уравнение для расчета радиуса захвата струи имеет вид:

$$R = 100 \cdot P / (1,08 + 85P/D),$$

Окончание приложения А

Расчет уравнения изменения коэффициента K_h от высоты установки дождевальной насадки (h)

Высота установки насадки h , м	Коэффициент, K_h	Параметр $(0.25/h)+0.06 h$	Параметр $C=h^{((0.25/h)+0.06 h)}$
0.5	0,55	0.53	0.692
1.0	0,89	0.31	1.0
1.5	0,97	0.256	1.109
2.0	1,0	0.245	1.185
2.5	1,05	0.25	1.25
Сумма	4.46		5.24

Расчет параметра a уравнения регрессии:

$$a = \Sigma Kh / \Sigma C = 4,46 / 5,24 = 0,843$$

Уравнение регрессии для расчета коэффициента K_h имеет вид –

$$K_h = 0,843 \cdot h^{((0.25/h)+0.06 h)}$$

Общее уравнение для расчета радиуса захвата струи дождевальной насадки с учетом высоты установки насадки имеет вид:

$$R = 0,843 \cdot h^{((0.25/h)+0.06 h)} (100 \cdot P / (1,08 + 85P/D))$$

Приложение Б

Таблица – Фактическая и нормированная интенсивность (слой дождя) вдоль относительного радиуса захвата струи (R_i/R) дождевальной насадки «Каскад» в зависимости от диаметра сопла (D) и давления (P)

Относительный радиус захвата струи (R_i/R)	$D=5$ мм, $P=0,3$ МПа		$D=7$ мм, $P=0,2$ МПа		$D=10$ мм, $P=0,15$ МПа	
	(h_i/h) $_{\phi}$	(h_i/h) $_{\Gamma}$	(h_i/h) $_{\phi}$	(h_i/h) $_{\Gamma}$	(h_i/h) $_{\phi}$	(h_i/h) $_{\Gamma}$
0	0,36	0,35	0,96	0,95	0,38	0,36
0,05	0,31	0,32	0,94	0,94	0,37	0,38
0,15	1,06	1,05	0,92	0,93	0,48	0,51
0,25	1,55	1,55	1,10	1,08	0,75	0,76
0,35	1,83	1,84	1,40	1,41	1,16	1,17
0,45	1,77	1,77	1,53	1,54	1,56	1,57
0,55	1,61	1,60	1,56	1,57	1,81	1,82
0,65	1,37	1,37	1,40	1,40	2,21	2,22
0,75	1,09	1,10	1,01	0,98	1,91	1,90
0,85	0,59	0,60	0,51	0,52	0,96	0,95
0,95	0,11	0,12	0,05	0,08	0,11	0,12
1	0	0	0	0	0	0
γ	2,03		1,64		1,88	
η	2,35		2,06		1,57	

Примечание: γ и η параметры бета-распределения

Таблица – Расчет нормированного теоретического слоя дождя вдоль радиуса захвата струи дождевальной насадки «Каскад» в зависимости от диаметра сопла ($D=10$ мм) и давления ($P=0,15$ МПа)

Относительный радиус захвата струи (R_i/R)	Нормированный слой дождя, (h_i/h)			
	Расчетный слой основной струи	Расчетный слой от дополнительной струи	Суммарный теоретический слой дождя	Фактический слой дождя
0	0	0,36	0,36	0,38
0,05	0,08	0,30	0,38	0,37
0,15	0,28	0,23	0,51	0,48
0,25	0,58	0,18	0,76	0,75
0,35	1,05	0,12	1,17	1,16
0,45	1,52	0,05	1,57	1,56
0,55	1,82	0	1,82	1,81
0,65	2,22		2,22	2,21
0,75	1,90		1,90	1,91
0,85	0,95		0,95	0,96
0,95	0,12		0,12	0,11
1	0		0	0

Окончание приложения Б

Нормированный слой дождя в нулевой точке начала радиуса захвата дополнительной струи рассчитываем по формуле:

$$(h_i/h)_0 = 1,545 \cdot (100P)^{0,4}/D^{1,1} = 1,545 \cdot (15)^{0,4}/10^{1,1} = 0,36$$

в i -й точке радиуса полива дополнительной струи – по зависимости

$$(h_i/h)_i = (h_i/h)_0 - ((h_i/h)_0/0,55) (R_i/R)$$

Распределение нормированную слой дождя от основной и дополнительной струи и суммарный расчетный слой показан на рисунке

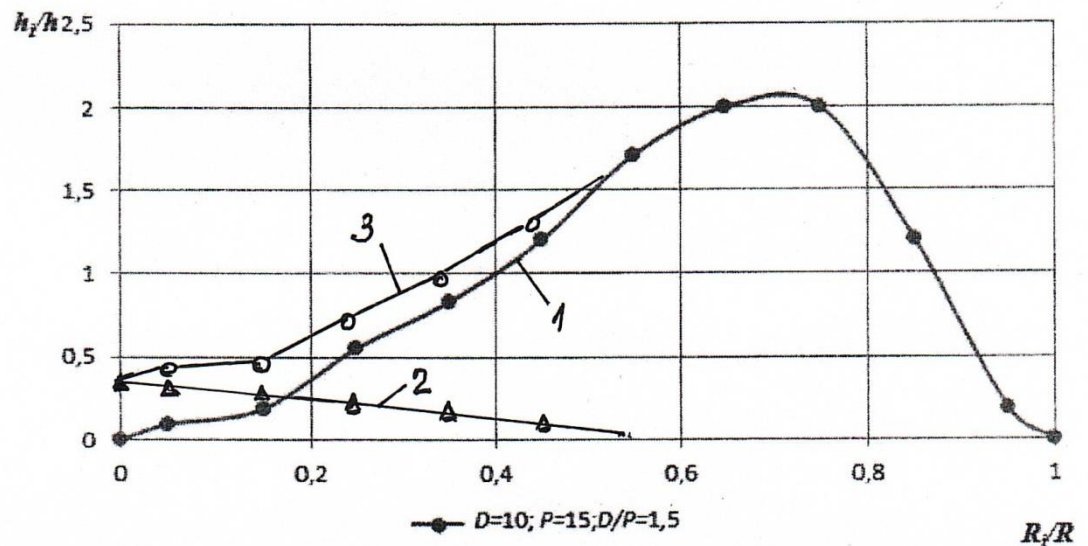


Рисунок – Распределение нормированного слой дождя от основной (1) и дополнительной (2) струи и суммарный расчетный слой дождя (3) вдоль относительного радиуса захвата струи (R_i/R) дождевальной насадки «Каскад» диаметром сопла 10 мм при давлении 0,15 МПа

Приложение В

```

С ПРОГРАММА RINT1 - РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЖДЯ
С ВДОЛЬ РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОГО АППАРАТА
С ЭВМ "ЭЛЕКТРОНИКА 108-25"
      COMMON G, E, S, X, Y(100)
      DIMENSION Y1(100)
      REAL M
С МАССИВЫ Y И Y1 РАССЧИТАНЫ НА 100 РАСЧЕТНЫХ ТОЧЕК
      BYTE YN
      PI=3.1415926
      CALL IPOKE ('44, IPREEK('44).OR.'40000)
      TYPE 101
101 FORMAT (' УКАЖИТЕ ФАЙЛ ЛИСТИНГА'/)
      CALL ASSIGN (6,,-1)
      TYPE 2
2   FORMAT (' УКАЖИТЕ ФАЙЛ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ '/)
      CALL ASSIGN (2,,-1)
100 READ (2, *, END=200) V,UV,RW,Q,D,DM,CP,M,GP,ZM,ZZ,NN,T
      WRITE (6,146)
146 FORMAT (//1X,70(1H*))
      TYPE 1
1   FORMAT (17X,' РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ/
      *10X,' ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ ВДОЛЬ РАДИУСА'/
      *11X,' ДЕЙСТВИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОГО АППАРАТА'/)
      DO 102 I=1,NN
      Y1(I)=0.
102 Y(1)=0.
      WRITE (6,1)
3   FORMAT (10X,' ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ'/
      *   СКОРОСТЬ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, М/МИН.-',F9.5/
      *   УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА, ОБ/МИН.-', F9.6/
      *   РАССТОЯНИЕ ОТ ЦЕНТРА ВРАЩЕНИЯ ДО ОСИ АППАРАТА, М.-',P9.3/
      *   РАСХОД АППАРАТА, Л/С.-',F9.5/
      *   ДИАМЕТР ОСНОВНОЙ НАСАДКИ, ММ.-',F6.2/
      *   ДИАМЕТР ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ НАСАДКИ, ММ.-',F6.2/
      *   СТЕПЕНЬ ПОДЖАТИЯ -',F7.4/
      *   КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА -',F5.2/
      *   ЖЕСТКОСТЬ ПРУЖИНЫ, КГ*ММ/ГРАД.-',F9.5/
      *   НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ЗАКРУЧИВАНИЯ ПРУЖИНЫ, КГ*СМ.-',F9.5/
      *   ЗАЗОР МЕЖДУ РАССЕКATEЛЕМ И ЛОПАТКОЙ КОРОМЫСЛА, ММ.-',F9.5/
      *   ЧИСЛО ТОЧЕК РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ ВДОЛЬ РАДИУСА ПОЛИВА.-',

```


Продолжение приложения В

```

*14/ ВЕЛИЧИНА СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОТДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ
*ЛОПАТКОЙ ОТ 'I' СТРУИ -', F3-1///
*10X,' РАСЧЕТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ')
WRITE (6,3) V, UV, RW, Q, D, DM, CP, M, GP, ZM, ZZ, NN,T
H= (287.594*Q/M/ ( D**2+DM**2 ) ) **2
HD=H/D ! РЕЖИМ РАБОТЫ ОСНОВНОЙ НАСАДКИ
HDM=H/DM ! РЕЖИМ РАБОТЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ НАСАДКИ
D0=D/DM ! ОТНОШЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ОСН. И ДОП. НАСАДОК
WRITE(6,22)H
22  FORMAT(' НАПОР НА ВЫХОДЕ ОСНОВНОЙ СТРУИ, М-',F9.5)
C=1./(0.1884*D*D*H/SQRT(ZM*ZM+14.39*H*D**3.GP)+1,)/T
Q1=SQRT (H) *DM*DM/307.6
RH=H/(0.706+0.243*HD)
RL=H/(0.657*HD+1.29*D/ZZ-0.7414)
RD=H/(0.706+0.243*HD*D0 )
WRITE(6,23)RH,RL,RD
23  FORMAT(' РАДИУС ДЕЙСТВИЯ ОСНОВНОЙ СТРУИ, М-',F9.5/
*16X,' ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЕЕ ЛОПАТКОЙ, М-',F9.5/
*17X,' ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СТРУИ, М-',F9/5)
RH=60.*(Q-Q1)*(1.-C)/(PI*RH*RH)
PL=60.*(Q-Q1)*C/(PI*RL*RL)
PD=60.*Q1/(PI*RD*RD)
WRITE (6,24)RH,PL,PD
24  FORMAT (' СРЕДНЯЯ ИНТЕНИВНОСТЬ ДОЖДЯ НА УЧАСТКЕ ПОЛИВА:'/
*17X,' ОСНОВНОЙ СТРУИ, ММ/МИН.-',F9.5/
*17X,' ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЕЕ ЛОПАТКОЙ, ММ/МИН.-',F9.5/
*17X,' ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СТРУИ, ММ/МИН.-',F9.5/
* КОЭФФИЦИЕНТЫ БЕТА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ:')
G=1.4867*D**0.2306*CP**0.2895+EXP(1.8589+0.1282*D-0.1312*H)
E=2.519*(1.-EXP(0.642*H/D))
WRITE (6,25)G,E
25  FORMAT (3X,' ОСНОВНОЙ СТРУИ БЕЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЕЕ С ЛОПАТКОЙ. –
',F9.5,',',F9.5)
CALL BETA
IF (DO-1.)4,6,6
4   X=RD/RH/NN/2.
P1=Q*60./(PI*RD*RD)
ND=INT((1./X+1.)/2.)
HD=HDM
GO TO 7
6   X=1./NN/2.

```

Продолжение приложения В

```

P1=Q*60./(PI*RH*RH)
ND=NN
7  CALL RINT (ND,PH)
G=0.96*(1.-EXP(-HD))
E=2.18
WRITE (6,26) G, E
22  FORMAT (3X,' ОСНОВНОЙ СТРУИ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЕЕ ЛОПАТКОЙ-',F9.5)
CALL BETA
X=X*RH/RL
NL=INT((1./X+1)/2)
CALL RINT (NL,PL)
G=1.3181*DM**0.3382*CP**0.1583+EXP(0.4061*DM-0.17*H)
E=1.9+0.01*HDM
WRITE(6,27)G,E
23  FORMAT (3X,' ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СТРУИ-',F9.5,',',F9.5)
CALL BETA
X=X*RL/RD
NL=INT((1./X+1.)/2.)
CALL RINT (NL,PD)
C  РАСЧЕТ КОЭФ-ТА РАВНОМЕРНОСТИ
KIS=0
RKR=0
RKRIS=0
WRITE (6, 120) P1
120  FORMAT (' СРЕДНЯЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ, ММ/МИН.-',F8.5)
DO 13 I=1, NN
KI=2*I-1
KIS=KIS+KI
RKRIS=RKRIS+ABS(Y(I)-P1)
13  RKR=RKR+KI*ABS(Y(I)-P1)
RKR=RKR/P1/KIS
RKRIS=1.-RKRIS/P1/NN
WRITE(6,130) RKR,RKRIS
130  FORMAT (' КОЭФФИЦИЕНТ РАВНОМЕРНОСТИ (ПЛ ПЛОЩАДИ) -',F9.5/
*25X, ПО КРИСТИАНСЕНУ -',F9.5)
WRITE (6,129)
129  FORMAT ('РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ ВДОЛЬ РАБИУСА
*ДЕЙСТВИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СТРУИ АППАРАТА, УСТАНОВЛЕННОГО НА
*НЕПОДВИЖНОМ ТРУБОПРОВОДЕ:')
C  РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЖДЯ ОДИНАКОВО СПРАВА И СЛЕВА ОТ ОСИ АППАРАТА,

```

Продолжение приложения В

```

C ПОЭТОМУ ПЕЧАТАЕТСЯ ТОЛЬКО ОДНА ПОЛОВИНА ( ОТ ОСИ К КОНЦУ
C РАДИУСА ПОЛИВА )
  WRITE (6,140) (Y(I),I=1, NN)
  IF(V.EQ.0.AND.UV.EQ.0) GO TO 100
C ДВИЖЕНИЕ АППАРАТА
  J=NN
  Z=Y(NN)
  ZZ=Y(NN-1)
  Y(NN)=Y(NN-1)
14  J=J-1
  Y(J)=Y(J+1)+Z+ZZ
  Z=ZZ
  ZZ=Y(J-1)
  IF (J.GT.1) GO TO 14
  IF (DO.LT.1.) RH=RD
  IF (UV.NE.0) GO TO 16
  WRITE (6,131)
131  FORMAT (' ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТРУБОПРОВОДА ВМЕСТЕ С АППАРАТОМ')
  WRITE (6,132)
132  FORMAT (' СЛОЙ ДОЖДЯ, ММ:')
C РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЖДЯ ОДИНАКОВО СПРАВА И СЛЕВА ОТ ОСИ АППАРАТА,
C ПОЭТОМУ ПЕЧАТАЕТСЯ ТОЛЬКО ОДНА ПОЛОВИНА ( ОТ ОСИ К КОНЦУ РАДИУСА ПОЛИВА)
  DO 15 I=1, NN
15  Y(I)=Y(1)*RH*SQRT((NN+I-0.5)/(NN-I+0.5))/NN/V
151  WRITE (6, 140) Y(I),I=1, NN)
140  FORMAT (20(5F13.5/))
  GO TO 100
16  WRITE (6, 17)
17  FORMAT ('ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТРУБОПРОВОДА ВМЕСТЕ С АППАРАТОМ')
  WRITE (6, 132)
  M5=0
191  M5=M5+1
  DO 20 I=1,NN
  OR=(I-0.5)*RH/NN
  IF(M5.EQ.1) GO TO 192
  OR=-OR
192  A1=1.+(OR*OR-RH*RH)/(2.*RW+OR))
  A2=SQRT(1.-A1*A1)
  A3=A2/A1

```

Окончание приложения В

```

    ARCCOS=ATAN(A3)
    ALFA=2.*ARCCOS
20  Y1(I)=Y(I)*ALFA/(2.*UV*(NN-I+0.5))
    IF(M5.EQ.2) GO TO 142
    WRITE (6, 142)
142  FORMAT (' СПРАВА ОТ ОСИ АППАРАТА')
    GO TO 145
143  WRITE (6, 144)
144  FORMAT (' СЛЕВА ОТ ОСИ АППАРАТА')
145  WRITE (6, 140)(Y1(I),I=1,NN)
    GO TO (191,100),M5
200  CALL CLOSE(2)
    CALL CLOSE (6)
    STOP
    END

```

```

SUBROUTINE BETA
COMMON G,E,S,X,Y(100)
CALL SFGAMM(G,GG,IER)
CALL SFGAMM(E,GE,IER)
SGE=G+E
CALL SFGAMM(SGE,FGE,IER)
S=FGE/GG/GE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE RINT (N,P)
COMMON G,E,S,X,Y(100)
G=G-1.
E=E-1.
DO 1 I=1,N
X1=2.*XI-X
Y(I)=Y(I)+S*P*(X1**G)*((1.-X1)**E)
RETURN
END

```

Приложение Г

СОГЛАСОВАНО:

проректор по НИР
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

И.Л. Воротников

12 2016 г.



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Наше Дело»

С.В. Ботов

12 2016 г.



АКТ

о внедрении законченной научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по НИР Воротникова Игоря Леонидовича, научного руководителя НИР, декана факультета инженерии и природообустройства Соловьева Дмитрия Александровича и представители ООО «Наше Дело» в лице директора Ботова Сергея Васильевича, главного гидротехника Мещенкова Василия Николаевича, составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Разработка проекта участка орошения и внедрение 2-х электрифицированных дождевальных машин кругового действия «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) с использованием отечественных технологий и комплектующих», выполненных ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ в 2015-2016 гг. внедрены на орошаемых землях в ООО «Наше Дело» (с. Ленинское Энгельского района Саратовской области, Гагаринская оросительная система Энгельского филиала ФГБУ «Управление Саратовмелиоводхоз») путем непосредственного использования результатов НИР.

В результате проведения НИР по данным темам были выполнены следующие работы:

- проведен литературный и патентный поиск, разработана конструкторская документация, проведен расчет основных элементов и узлов модернизированной дождевальной машины ЭДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД);
- произведена разработка, изготовление, шеф-монтаж и пусконаладка 2-х дождевальных машин кругового действия ЭДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД);

Окончание приложения Г

- проведены полевые экспериментальные исследования показателей качества полива разработанных машин новыми дождеобразующими устройствами на различных нормах полива с целью оценки всех характеристик машин, а также их работы в соответствии с методикой СТО АИСТ 11.1-2010;

- проведены испытания данных машин специалистами ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция» с получением положительного заключения;

- разработана система автоматизации и дистанционного управления машиной с использованием sms-оповещения операторов.


Машины хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации, эффективно работала система автоматизации и дистанционного управления. Урожайность кукурузы на поливе с использованием «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) в среднем составила 98 центнеров с гектара. В машине использованы преимущественно отечественные комплектующие (более 90%), разработанные в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

От ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

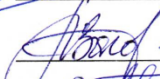
декан факультета инженерии и
природообустройства, д.т.н.

 /Соловьев Д.А. /

Исполнители: к.т.н., доценты

 /Журавлева Л.А./

 /Левин М.А./

 /Загоруйко М.Г./

 /Бакиров С.М./

Аспиранты

 /Колганов Д.А./

 /Соловьев В.А./

 /Кириченко А.В./

От ООО «Наше дело»

Гл. гидротехник

 /Мещенков В.Н. /

СОГЛАСОВАНО:

проректор по НИР
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

И.Л. Воротников

« 1 » 06 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Наше Дело»

С.В. Ботов

2018 г.

АКТ

о внедрении законченной научно-исследовательской
и опытно-конструкторской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по НИР Воротникова Игоря Леонидовича, научного руководителя НИР, декана факультета инженерии и природообустройства Соловьева Дмитрия Александровича и представители ООО «Наше Дело» в лице директора Ботова Сергея Васильевича, главного гидротехника Мещенкова Василия Николаевича, составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Внедрение электрифицированных дождевальных машин кругового действия «КАСКАД» с усовершенствованными модернизированными пролетами», выполненных ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ в 2017-2018 гг. внедрены на орошаемых землях в ООО «Наше Дело» (с. Ленинское Энгельсского района Саратовской области, Гагаринская оросительная система Энгельсского филиала ФГБУ «Управление Саратовмелиоводхоз») путем непосредственного использования результатов НИР.

Основные результаты НИР:

- разработана, изготовлена и испытана новая конструкция удлиненных пролетов 65,25 м (диаметр трубы 159 мм, толщина 3 мм) для дождевальной машины «КАСКАД». Оптимизация ферменной конструкции позволяет при незначительном увеличении массы на 5,8-15,1% увеличить длину пролета на 22,1-33,8%;
- произведена разработка, изготовление, шеф-монтаж и пусконаладка двух дождевальных машин кругового действия «КАСКАД»;
- оборудование ДМ «КАСКАД» разработанными дождевателями по предлагаемым схемам расстановки обеспечило более качественное распределение слоя осадков по длине машин, позволило значительно уменьшить перепо-

Окончание приложения Д

лив под первыми и последними пролетами. Средняя интенсивность дождя составила 0,53-0,55 мм/мин при диаметре его капель в пределах 0,86-0,93 мм;

- для обеспечения управления машинами ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАС-КАД) и ДМ «КАСКАД» была разработана и внедрена автоматическая система управлением, обеспечивающая качественную работу машины со значительным количеством дополнительных опций. Для предварительного подбора режима работы машины на базе Excel разработана прикладная программа для получения графиков установки таймера для моделей ДМ «КАСКАД». На машинах внедрена система GSM контроля оборудования, предназначенная для дистанционного управления, отслеживания работы, оповещения по каналу сотовой связи о работе или отказе оборудования.


Машины хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации, эффективно работала система автоматизации и дистанционного управления. Урожайность кукурузы на поливе с использованием «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) в среднем составила 98 центнеров с гектара. В машине использованы преимущественно отечественные комплектующие (более 90%), разработанные в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

От ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

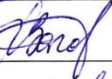
декан факультета инженерии и
природообустройства, д.т.н.

 /Соловьев Д.А. /

Исполнители: к.т.н., доценты

 /Журавлева Л.А./

 /Левин М.А./

 /Загоруйко М.Г./

 /Бакиров С.М./

Аспиранты

 /Колганов Д.А./

 /Соловьев В.А./

 /Кириченко А.В./

От ООО «Наше дело»

Гл. гидротехник

 /Мещенков В.Н. /

Приложение Е

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной и инновационной
работе ФГБОУ ВО Вавиловский

университет

К.Е. Денисов

« 12 » декабря 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Энгельского
филиала ФГБУ «Управление
"Саратовмелиоводхоз"

К.И. Чуркина

« 12 » декабря 2023 г.

АКТ

о внедрении законченной научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по научной и инновационной работе Денисова Константина Евгеньевича и представителя Энгельского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз" в лице руководителя Чуркиной Кристины Игоревны, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Ресурсосбережение и повышение качественных показателей полива многоопорных дождевальных машин», выполненных в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в 2017–2023 гг., внедрены на орошаемых землях Энгельского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз" путем непосредственного использования результатов НИР.

Разработанные и изготовленные в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» дождевальные машины «Каскад», выполненные из отечественных комплектующих, активно используются на орошаемых землях Энгельского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз"».

Основные результаты НИР:

- исполнителями проводилась разработка и согласование проектов реконструкции орошаемых участков, включая создание экспериментального полигона орошаемого семеноводства Вавиловского университета на базе УНПО «Поволжье» (с. Степное Энгельского района Саратовской области);
- работа дождевальных машин «Каскад» при низком давлении 0,25–0,46 МПа и при оптимальном режиме малоэнергоёмких насосов позволила снизить энергозатраты на подачу 1000 м³ воды с 475–500 кВт до 253–262 кВт (в 1,5–2,6 раза меньше, чем у ДМ «Фрегат»);
- использование подкачивающего насоса малой мощности на небольших орошаемых участках с низконапорными насосами или на крайних машинах больших участков орошения

Окончание приложения Е

позволяет стабильно поливать концевым аппаратом с радиусом захвата 25 м и дополнительно поливать до 5,3–6,7 га;

- настройка насадок при помощи регуляторов давления или регулировочных дюз и использование избыточного напора в закрытой сети на больших орошаемых участках позволяет увеличить радиус захвата дождем концевого аппарата до 35–47 м и дополнительно поливать до 6,5–12 га.



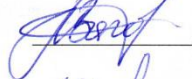


По итогам использования дождевальной машины «Каскад» исполнителями разработана малоинтенсивная, водосберегающая и почвоохранная технология полива с использованием усовершенствованных устройств. Снижена средняя интенсивность дождя в 1,3–1,7 раз; повышена равномерность полива при ветреной погоде до 0,75–0,85; снижены потери воды на испарение и снос с 15–20% до 6–9%; повышена норма полива до стока, снижено уплотнение верхнего слоя почвы, все это в совокупности приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 8–24%.

Дождевальные машины «Каскад» успешно работали все поливные сезоны с 2017 по 2023 годы на орошаемых землях Энгельского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз"».


ФГБОУ ВО Вавиловский университет

Энгельский филиал ФГБУ
«Управление "Саратовмелиоводхоз"»

Исполнители:

 / Колганов Д.А./
 / Горюнов Д.Г./
 / Загоруйко М.Г./
 / Шематурин А.И./
 / Елисеев С.С./

Представитель

 / Бабурин В.Х.

Приложение Ж

СОГЛАСОВАНО:

Врио директор
ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»
Ю.А. Гопкалов
«13» 05 2024 г

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
ООО «Листеко»
И.В. Морозов
«13» 05 2024 г

АКТ о внедрении законченной научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» в лице врио директора Гопкалова Юрия Антоновича и представителя ООО «Листеко» в лице директора Морозова Игоря Валерьевича, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме 2.1.3 выполняемой в ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» «Провести исследования и разработать технические и технологические решения для повышения эксплуатационных и качественных показателей работы современных широкозахватных дождевальных машин в Поволжье» в 2023-2024 г и внебюджетной темы «Изготовить и внедрить экспериментальные образцы устройств приповерхностного полива для улучшения равномерности и качества полива и повышения проходимости ДМ «Каскад» в ООО «Листеко» внедрены на орошаемых землях ООО «Листеко» Энгельсского района Саратовской области путем непосредственного использования результатов НИР.

Разработаны и изготовлены в ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» два комплекта усовершенствованных устройств приповерхностного дождевания, которые внедрены на ДМ «Каскад» хоз. № 3 и 4 в ООО «Листеко»

Основные результаты НИР:

- усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания обеспечивают регулирование высоты расположения дождевателей по мере роста растений (кукурузы) от 1,5 до 3,2 м и находятся всегда над растениями, что повышает равномерность полива с 0,5-0,75 до 0,75-0,8. Потри воды на испарение и снос ветром уменьшаются с 15-20% до 6-10% за счёт нахождения дождевого облака над растениями в зоне слабых ветров.

- работа ДМ «Каскад» при низком давлении 0,25-0,4 МПа при опти-

Окончание приложения Ж

мальном режиме малоэнергоемкого насоса 300Д70 позволила снизить энергозатраты на подачу 1000 м³ воды с 475-500 кВт-ч до 253-262 кВт-ч (в 1,5-2,6 раза меньше, чем у ДМ «Фрегат»).

- усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания увеличивает ширину расстановки дождевальных насадок поперек трубопровода до 4-5 м , что позволит снизить интенсивность дождя в 1,3-1,7 раз и повысить норму полива до стока на 10-15% при формировании мелкокапельного дождя со средним диаметром капель 0,6-0,9 мм;

-установка на устройствах приповерхностного дождевания в районе тележек и дождевальных насадок секторного и контурного полива снижают попадание оросительной воды под колеса тележек и уменьшает глубину колеи в конце поливного сезона с 15-20 см до 6-9 см.


В целом работа модернизированных ДМ «Каскад» обеспечивает высокую энергоэффективность качество полива сельскохозяйственных культур.

ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»
Исполнители

 Н.Ф. Рыжко

 С.Н. Рыжко

 Е.А. Шишенин

 М.Г. Загоруйко

ООО «Листеко»
Директор

 И.В. Морозов

Приложение 3

СОГЛАСОВАНО:

Врио директор
ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»
Ю.А. Гопкалов
«14» 05 2024 г

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
ООО «Наше дело»
С.В. Ботов
«14» 05 2024 г

АКТ

о внедрении законченной научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» в лице врио директора Гопкалова Юрия Антоновича и представителя ООО «Наше дело» в лице директора Ботова Сергея Васильевича, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме 2.1.3 выполняемой в ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» «Провести исследования и разработать технические и технологические решения для повышения эксплуатационных и качественных показателей работы современных широкозахватных дождевальных машин в Поволжье» в 2023-2024 г и внебюджетной темы «Провести исследования и разработать усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания для повышения равномерности полив и для снижения глубины колеи, технические решения для гидроподкормки и снижения потребления электроэнергии на полив» внедрены на орошаемых землях ООО «Наше дело» Энгельсского района Саратовской области путем непосредственного использования результатов НИР.

Разработаны и изготовлены в ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» один комплект усовершенствованных устройств приповерхностного дождевания, которые внедрены на ДМ «Каскад» хоз. № 3 в ООО «Наше дело»

Основные результаты НИР:

- усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания обеспечивают регулирование высоты расположения дождевателей по мере роста растений (кукурузы) от 1,5 до 3,2 м и находятся всегда над растениями, что повышает равномерность полива с 0,5-0,75 до 0,75-0,8. Потри воды на испарение и снос ветром уменьшаются с 15-20% до 6-10% за счёт нахождения дождевого облака над растениями в зоне слабых ветров.

- работа ДМ «Каскад» при низком давлении 0,25-0,4 МПа при опти-

Окончание приложения 3

мальном режиме насоса позволила снизить энергозатраты на подачу 1000 м³ воды с 475-500 кВт-ч до 253-262 кВт-ч (в 1,5-2,6 раза меньше, чем у ДМ «Фрегат»).

- усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания увеличивает ширину расстановки дождевальных насадок поперек трубопровода до 4-5 м , что позволит снизить интенсивность дождя в 1,3-1,7 раз и повысить норму полива до стока на 10-15% при формировании мелкокапельного дождя со средним диаметром капель 0,6-0,9 мм;

- установка на устройствах приповерхностного дождевания в районе тележек и дождевальных насадок секторного и контурного полива снижают попадание оросительной воды под колеса тележек и уменьшает глубину колеи в конце поливного сезона с 15-20 см до 6-9 см.

В целом работа модернизированных ДМ «Каскад» обеспечивает высокую энергоэффективность качество полива сельскохозяйственных культур.

ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»
Исполнители

 Н.Ф. Рыжко

 С.Н. Рыжко

 Е.А. Шишенин

 М.Г. Загоруйко

ООО «Наше дело»

Главный гидротехник

 В.Н. Мищенко

Приложение И

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **144 139** (13) **U1**(51) МПК
A01G 25/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014105266/13, 12.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.02.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.02.2014

(45) Опубликовано: 10.08.2014 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

410049, г. Саратов, ул. Барнаульская, 32, кв. 25,
Анфиногеновой О.Н.

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Соловьев Владимир Александрович (RU),
Колесников Николай Анатольевич (RU),
Загоруйко Михаил Геннадиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"ЛандшафтСтройСервис" (RU)(54) УСТРОЙСТВО АВТОПОЛИВА ЦВЕТОЧНЫХ РАСТЕНИЙ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В
КОНТЕЙНЕРАХ

Формула полезной модели

Устройство автополива цветочных растений, выращиваемых в контейнерах, содержащее контейнер, дренажные отверстия, отличающееся тем, что содержит, по крайней мере, расположенные на стойке четыре контейнера с возможностью полива в двух верхних контейнерах через сплинкеры и через капельницы-спицы в нижних контейнерах, кроме того часть стойки представляет собой заполненный питательным раствором металлический баллон с размещенной в нем резиновой камерой с крышкой с возможностью закачки в нее воздуха, а в нижней части стойки расположен пульт управления и магнитный клапан.

RU 144139 U1

RU 144139 U1

Приложение К

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **146 223** (13) **U1**(51) МПК
A01G 27/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014102048/13, 22.01.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.01.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.01.2014

(45) Опубликовано: 10.10.2014 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

410049, г. Саратов, ул. Барнаульская, 32, кв. 25,
Анфиногеновой О.Н.

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Соловьев Владимир Александрович (RU),
Колесников Николай Анатольевич (RU),
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"ЛандшафтСтройСервис" (RU)(54) **УСТРОЙСТВО АВТОПОЛИВА РАСТЕНИЙ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В КОНТЕЙНЕРАХ
(ВАРИАНТЫ)**

(57) Формула полезной модели

1. Устройство автополива растений, выращиваемых в контейнерах, содержащее контейнер с дренажным отверстием, отличающееся тем, что в верхней части контейнера имеется полая емкость в виде обода, имеющая отверстия с крышкой для заливания питательного раствора с возможностью подачи его по магистрали к капельницам и стеканию излишек питательного раствора в сливной поддон через дренажное отверстие.

2. Устройство автополива растений, выращиваемых в контейнерах, содержащее контейнер с дренажным отверстием, отличающееся тем, что стенки контейнера выполнены полыми, имеющими отверстия с крышками для заливания питательного раствора, поступающего к растениям через регулируемые капельницы, расположенные на внутренних стенках контейнера, с возможностью стекания излишек питательного раствора в сливной поддон через дренажное отверстие.

3. Устройство автополива растений, выращиваемых в контейнерах, содержащее контейнер с дренажным отверстием, отличающееся тем, что контейнер содержит два яруса: верхний, с размещенной в емкости с питательным раствором поршневой частью с возможностью подъема под давлением питательного раствора по магистралям вверх к капельницам-спицам, и нижний ярус с расположенной в нем емкостью с питательным раствором с возможностью стекания излишек питательного раствора в сливной поддон через дренажные отверстия в первом и во втором ярусах.

RU 146223 U1

RU 146223 U1

Приложение Л

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **166 617** ⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
A01G 25/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016116573/13, 28.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.04.2016

(45) Опубликовано: 10.12.2016 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ФГБОУ
ВО "Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова", патентный
отдел

(72) Автор(ы):

Елисеев Михаил Семенович (RU),
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU),
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Колганов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский государственный
аграрный университет имени Н.И. Вавилова"
(RU)(54) **ДОЖДЕВАЛЬНАЯ НАСАДКА**

(57) Формула полезной модели

Дождевальная насадка, включающая напорный трубопровод, сопло, дефлекторы, отличающаяся тем, что в конструкции используются два дефлектора в виде конусов, угол конусности первого дефлектора составляет 12-20 градусов, угол конусности второго дефлектора составляет 36-45 градусов, причем рабочая поверхность второго дефлектора имеет нарезные канавки треугольной формы, кроме того, в корпусе насадки имеется внутренний водопроводящий канал, позволяющий подавать поток воды ко второму дефлектору.

RU 166617 U1

RU 166617 U1

Приложение М

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022620837

Оценка агроклиматических условий и прогноз
смещения северной границы возделывания сои в
условиях Центрального района Нечерноземной зоны

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
(RU)*

Авторы: *Белышкина Марина Евгеньевна (RU), Загоруйко
Михаил Геннадьевич (RU)*

Заявка № 2022620658

Дата поступления 06 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 18 апреля 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

Приложение Н

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022620836

**Инновационный роботизированный оросительный
комплекс для семеноводства сои**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
(RU)**

Авторы: **Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU), Бельшикина
Марина Евгеньевна (RU)**

Заявка № 2022620653

Дата поступления 06 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 18 апреля 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение О

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022620904

**«Алгоритм подбора модели сорта сои с учетом
агроклиматических условий региона возделывания»**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
(RU)**

Авторы: **Белышкина Марина Евгеньевна (RU), Загоруйко
Михаил Геннадьевич (RU)**



Заявка № 2022620649

Дата поступления 06 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 21 апреля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ю.С. Зубов'.

Ю.С. Зубов

Приложение П

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 781 626**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01G 25/09 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2022101334, 21.01.2022

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
21.01.2022Дата регистрации:
17.10.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.01.2022

(45) Опубликовано: 17.10.2022 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ФГБОУ
ВО Вавиловский университет, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский государственный
университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2713794 C1, 07.02.2020. RU 163954
U1, 20.08.2016. Б.П. ФОКИН, А.К. НОСОВ.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРИМЕНЕНИЯ МНОГООПОРНЫХ
ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН. НАУЧНОЕ
ИЗДАНИЕ. - СТАВРОПОЛЬ, 2011, С. 47-69.
US 2012/0305682 A1, 06.12.2012.

(54) ФЕРМЕННЫЙ ПРОЛЕТ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства. Ферменный пролет дождевальной машины содержит размещенную одним концом на самоходной тележке шпренгельную ферму, представляющую собой сборную, предварительно напряженную конструкцию, верхний пояс которой образован водопроводящим трубопроводом, состоящим из стальных тонкостенных оцинкованных труб с внешним диаметром 159 мм, соединенных при помощи фланцев, между которыми установлены уплотняющие полиэтиленовые прокладки. Водопроводящий трубопровод собран из шести труб. Первые пять труб фермы выполнены взаимозаменяемыми и одинаковыми по длине и конструкции, а последняя, шестая, труба снабжена креплениями для опорных стоек самоходной тележки. На водопроводящем трубопроводе смонтированы секции раскосов,

каждая из которых образована четырьмя раскосами и соединяющей их концы поперечиной. Чем дальше расположена секция раскосов от центра фермы, тем более короткие раскосы и поперечины в ней использованы. Секции раскосов соединены между собой с помощью шпренгелей, которыми образованы два нижних пояса фермы. Верхний и нижние пояса фермы расположены по плавным параболическим кривым. Такое расположение поясов фермы достигнуто за счет того, что в каждой секции раскосов фермы раскосы, имеющие наклон в сторону середины фермы, выполнены длиннее, чем раскосы с наклоном в сторону конца фермы. Чем дальше расположена секция раскосов от середины фермы, тем больше разница в длине данных раскосов. Для соединения с соседними пролетами по концам фермы установлены шарнирные узлы, имеющие патрубки, являющиеся частью водопроводящего

RU 2 781 626 C 1

RU 2 781 626 C 1

Приложение Р

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 810 574**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01G 25/09 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023128411, 02.11.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.11.2023Дата регистрации:
27.12.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 02.11.2023

(45) Опубликовано: 27.12.2023 Бюл. № 36

Адрес для переписки:
410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина
зд. 4, стр. 3, ФГБОУ ВО Вавиловский
университет, Анфиногенова Ольга Николаевна(72) Автор(ы):
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU),
Садаев Максим Сергеевич (RU),
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU)(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский государственный
университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: СОЛОВЬЕВ Д.А., ГОРЮНОВ Д.Г.,
ГРЕПЕЧУК Ю.Н., ЗАГОРУЙКО М.Г.,
КУЗНЕЦОВ Р.Е. ОРГАНИЗАЦИЯ
УЧАСТКА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ
ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ "КАСКАД
65Т" // ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО. 2023.
N 1, подписано в печать 10.04.2023, стр. 28-32.
US 2017/0105370 A1, 20.04.2017. SU 1701124 A2,
30.12.1991. GB 1434257 A, 05.05.1976.

(54) Способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства. Способ состоит в перемещении машины вокруг неподвижной опоры при помощи самоходных тележек, снабженных электроприводом и опорными пневмоколесами. 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. При эксплуатации машины ее перемещают по орошаемому участку только в

одном предварительно выбранном направлении. На каждой самоходной тележке опорные пневмоколеса устанавливают таким образом, чтобы при взгляде на них сверху острие елочки протекторного рисунка шин совпадало с направлением движения машины. Опорные пневмоколеса самоходных тележек оснащают сельскохозяйственными шинами высокой проходимости. Обеспечивается повышение проходимости дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом. 2 з.п. ф-лы, 4 ил.

Приложение С

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 789 034**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01G 25/09 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2021137673, 16.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.12.2021Дата регистрации:
27.01.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 16.12.2021

(45) Опубликовано: 27.01.2023 Бюл. № 3

Адрес для переписки:
410012, г.Саратов, пр-кт им.Петра Столыпина,
зд.4, стр.3, ФГБОУ ВО Вавиловский
университет, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Колганов Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский государственный
университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2713794 C1, 07.02.2020. US
9545063 B1, 17.01.2017. US 3946946 A, 30.03.1976.
Б.П. ФОКИН, А.К. НОСОВ
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРИМЕНЕНИЯ МНОГООПОРНЫХ
ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН", НАУЧНОЕ
ИЗДАНИЕ. - СТАВРОПОЛЬ, 2011. - с. 80.

(54) Пролет фермы дождевальной машины (варианты)

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельскохозяйственного машиностроения. Пролет фермы дождевальной машины содержит шпренгельную ферму (1), размещенную одним концом на самоходной тележке (2). Шпренгельная ферма (1) представляет собой сборную предварительно напряженную конструкцию, верхний пояс которой образован водопроводящим трубопроводом (3), состоящим из стальных тонкостенных оцинкованных труб (4), соединенных посредством фланцев. На водопроводящем трубопроводе (3) смонтированы секции раскосов (6), каждая из которых образована четырьмя раскосами (6) и соединяющей их концы поперечиной (7). Секции раскосов (6) соединены между собой при помощи шпренгелей (8), образующих два нижних пояса фермы (1). Для соединения с соседними пролетами

по концам фермы (1) установлены шарнирные узлы (9 и 10), снабженные креплениями для крайних шпренгелей (8). Последняя секция раскосов (6) фермы при помощи ребер жесткости (11) соединена со стойками самоходной тележки (2), имеющей электропривод и опирающейся на пневмоколеса (12). Шпренгельная ферма (1) дополнительно оснащена двумя продольными тросами (13), проходящими внутри фермы (1) по обеим ее сторонам, при этом концы каждого троса (13) закреплены в точках соединения крайних шпренгелей (8) с водопроводящим трубопроводом (3). Каждый из тросов (13) при помощи блоков (14) связан с секциями раскосов (6), расположенных по центру фермы (1), причем блоки (14) закреплены в точках соединения шпренгелей (8) с раскосами (6) данных секций. Обеспечивается повышение надежности и