

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет  
им. Н.И. Вавилова»

На правах рукописи

ЖУРАВЛЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ШИРОКОЗАХВАТНЫЕ  
ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация  
и охрана земель

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени

доктора технических наук

**НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:**

доктор технических наук,

доцент **Д.А. Соловьев**

**Саратов 2018**

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	16
1.1. Анализ состояния орошаемых земель и дождевальной техники в РФ и Саратовской области.....	16
1.2. Обзор конструкций существующих дождевальных машин кругового действия.....	20
1.3. Основные направления ресурсосбережения для дождевальных машин кругового действия.....	27
1.4. Особенности проектирования элементов дождевальных машин кругового действия.....	41
1.4.1. Металлоконструкции и водопроводящий трубопровод.....	41
1.4.2. Ходовые системы.....	46
1.4.3. Системы автоматизации и управления.....	53
1.5. Качество полива. Дождеобразующие устройства.....	57
1.5.1. Показатели качества дождя.....	57
1.5.2. Анализ дождеобразующих устройств.....	61
1.6. Критерии оценки дождевальных машин кругового действия.....	78
1.7. Проблемная ситуация, выводы, направления исследований.....	86
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	89
2.1. Этапы создания дождевальных машин.....	89
2.2. Разработка новых образцов дождевальной техники.....	91
2.3. Дождеобразующие устройства, направления их совершенствования.....	101
2.3.1. Обзор исследований конструктивных и технологических параметров дождеобразующих устройств и направления их совершенствования.....	101

2.3.2. Теоретические исследования влияния конструктивно-технологических параметров дождеобразующих устройств на процесс формирования дождя.....	стр. 103
2.4. Теоретические основы проектирования водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия .....	135
2.5. Снижение материальных ресурсов при проектировании широкозахватных дождевальных машин кругового действия.....	146
2.5.1. Оптимизация длины пролета и конструктивно-высотных свойств.....	146
2.5.2. Оптимизация ферменной конструкции водопроводящего пояса.....	158
2.6. Разработка системы автоматизации и управления дождевальными машинами кругового действия.....	163
2.7. Производительность. Режимы полива дождевальными машинами кругового действия.....	170
2.8. Повышение эффективности использования земельных ресурсов.....	176
2.8.1. Уменьшение воздействия ходовых систем на почву .....	176
2.8.2. Повышение коэффициента земельного использования.....	184
2.9. Выводы по главе.....	187
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	189
3.1. Программа проведения исследований.....	189
3.1.1. Программа проведения лабораторных исследований.....	189
3.1.2. Программа проведения полевых исследований дождевальными машинами кругового действия.....	190
3.1.3. Программа испытаний новой дождевальной техники с учетом требований Машиноиспытательной станции.....	191
3.2. Описание лабораторных установок и оборудования.....	194

	стр.
3.2.1. Лабораторная установка и оборудование для определения качественных показателей работы дождевателей .....	194
3.2.2. Лабораторная установка и оборудование для определения характеристик потока в водопроводящих трубопроводах.....	196
3.2.3. Лабораторные установки и оборудование для определения функционирования системы автоматики машины.....	197
3.2.4. Экспериментальные установки для изготовления металлоконструкций.....	200
3.3. Экспериментальные дождевальные машины кругового действия.....	203
3.3.1. Описание дождевальной машины «КАСКАД» при проведении полевых исследований.....	203
3.3.2. Описание модернизированной дождевальной машины «Кубань-ЛК1» при проведении полевых исследований.....	203
3.3.3. Схемы расстановки дождевателей.....	204
3.3.4. Описание дождевальной машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) при проведении приемочных и сертификационных испытаний.....	205
3.4. Методика проведения исследований.....	207
3.4.1. Экспериментальные исследования водопроводящего трубопровода дождевальных машин.....	207
3.4.2. Экспериментальные исследования низконапорных дождевателей.....	212
3.4.2.1. Методика определения характеристик дождевателей в зависимости от конструктивных параметров и рабочего напора.....	212
3.4.2.2. Методика определения интенсивности и крупности капель.....	215
3.4.3. Экспериментальные исследования дождевальных машин, оборудованных низконапорными дождевателями.....	217

	стр.
3.4.3.1. Методика определения равномерности полива.....	220
3.4.3.2. Методика определения потерь воды на испарение и снос.....	222
3.4.3.3. Определение влажности почвы.....	223
3.4.4. Оценка режима орошения дождевальной машины «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» при различных их конструктивно-технологических решениях.....	225
3.4.4.1. Определение несущих свойств почвы при поливе дождевальными машинами.....	225
3.4.4.2. Определение ширины и глубины колеи дождевальных машин при различных условиях эксплуатации и оснащении низконапорными дождевателями различных типов.....	228
3.4.4.3. Оценка конструктивно-высотных параметров машины.....	230
3.4.5. Методика оценки режима работы дождевальных машин «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД».....	231
3.5. Обработка результатов экспериментальных исследований и определение статистических характеристик.....	234
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	236
4.1. Результаты исследований разработанных низконапорных дождевателей.....	236
4.1.1. Расход воды дождевателями.....	236
4.1.2. Радиус захвата дождем при поливе дождевателями .....	237
4.1.3. Интенсивность. Распределение интенсивности дождя вдоль радиуса захвата дождем.....	242
4.1.4. Крупность капель дождя при поливе низконапорными дождевателями.....	248

	стр.
4.1.5. Расстановка дождевателей на водопроводящем поясе дождевальных машин.....	255
4.2. Результаты исследований дождевальных машин с усовершенствованными техническими средствами для обеспечения ресурсосберегающей технологии полива.....	256
4.2.1. Потери воды на испарение и снос ветром при поливе дождеванием.....	256
4.2.2. Оценка энергетических показателей при поливе дождевальными машинами «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» с низконапорными дождевателями.....	261
4.2.3. Норма полива до стока при поливе дождевальными машинами с низконапорными дождевателями.....	264
4.2.4. Равномерность полива на примере дождевных машин «Кубань-ЛК1» и «Фрегат», оборудованных низконапорными дождевателями.....	266
4.2.5. Результаты исследования колееобразования для различных почвозащитных схем расстановки дождевателей, длин пролетов и ходовых систем.....	267
4.2.6. Рекомендации по обеспечению конструктивно-высотных параметров, соотношений длин пролетов и ходовых систем.....	275
4.2.7. Производительность дождевных машин кругового действия. Рекомендации по режимам работы.....	278
4.2.8. Система автоматики для новых образцов дождевных машин «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД».....	286
4.2.9. Система GSM контроля оборудования.....	288
4.3. Выводы по главе.....	290
<b>5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....</b>	<b>292</b>
5.1. Техничко-эксплуатационные показатели дождевных машин «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД».....	292

	стр.
5.2. Анализ энергетической оценки дождевальных машин «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД».....	296
5.3. Анализ показателей надежности дождевальных машин «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД).....	299
5.4. Экономическая оценка дождевальной машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД).....	300
5.5. Экономическая эффективность внедрения низконапорных дождевателей на дождевальных машинах «Фрегат».....	305
5.6. Внедрение результатов научных разработок и исследований.....	306
5.7. Выводы по главе.....	311
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	312
ЛИТЕРАТУРА.....	315
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	348
Приложение 1.....	349
Приложение 2.....	361
Приложение 3.....	362
Приложение 4.....	364
Приложение 5.....	370
Приложение 6.....	371
Приложение 7.....	373
Приложение 8.....	374
Приложение 9.....	381
Приложение 10.....	392
Приложение 11.....	394

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время в России общая площадь орошаемых земель составляет 4,3 млн. га, при этом поливается 1,8 млн. га. [73, 124]. Около 70% этой площади поливается с помощью широкозахватных дождевальных машин (ДМ).

Большая часть оросительных систем создана в советский период и значительно изношена. Был практически потерян потенциал по производству современной дождевальной техники.

Большинство работающих в настоящее время российских дождевальных машин старого образца из-за низкого технического уровня и надежности, длительного срока эксплуатации не удовлетворяют современным требованиям, что не позволяет проводить своевременный и качественный полив сельскохозяйственных культур.

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

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

Ресурсосбережение при конструировании и эксплуатации широкозахватных дождевальных машин, обеспечение эффективной и производительной работы в различных условиях эксплуатации, требованиях к режимам работы на полях, имеющих значительную изменчивость физико-механических свойств почвы, представляет собой сложную техническую задачу оптимизации всех параметров ДМ и требует решения комплекса научных и практических задач.

Все технические и технологические разработки, рекомендации для современных дождевальных машин должны обеспечивать экономию материальных ресурсов, уменьшение эксплуатационных расходов, снижение энергопотребления и затрат труда на обслуживание.



**Научная проблема:** теоретическое обоснование параметров, обобщение основных закономерностей и конструктивно-технологических решений при создании дождевальных машин кругового действия, обеспечивающих высокое качество и ресурсосбережение при поливе.

Создание новой отечественной широкозахватной дождевальной техники требует значительного научного обеспечения, разработки и уточнении режимов работы, изменения как в конструктивном отношении, так и в применении инновационных систем управления и автоматизации.

**Степень разработанности проблемы.** Исследования дождевальных машин в основном направлены на определение показателей качества дождя, влияния ветра на величину радиуса полива и площадь захвата, определение величины потерь на испарение. Подбору основных параметров дождеобразующих устройств посвящены работы Б.М. Лебедева, Н.Ф. Рыжко, В.В. Вуколова, В.К. Губера, С.Х. Гусейн-Заде и др. ученых. Общей проблемой является то, что большинство исследований основываются на эмпирических данных, а также исследованиях частного характера для конкретных типов дождевателей и режимов работы. При значительном разнообразии конструкций дождевателей нет обобщенного принципа расчета и обоснования их выбора. Необходимо на основе моделирования параметров водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин выполнить оптимизацию схем расстановки и конструктивно-технологических параметров дождевателей, разработать номенклатурный ряд дождевателей для различных условий эксплуатации.

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

Проблемам совершенствования технических средств орошения дождеванием за счет оптимизации технологических параметров и конструктивных решений

посвящены работы Ю.Ф. Снопича, Н.Ф. Рыжко, К.В. Губера, В.И. Городничева, Б.П. Фокина, А.И. Рязанцева. Необходимы шаги не только по совершенствованию и модернизации существующей дождевальной техники, но по конструированию и созданию новых современных и эффективных машин, работающих при пониженных давлениях и обеспечивающих качественный, ресурсосберегающий и экологически безопасный полив.

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

**Задачи исследований.** В соответствии с целью работы были поставлены и решены следующие задачи:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Научная гипотеза:** повышение эффективности процесса полива дождеванием может быть достигнуто оптимизацией параметров и режимов работы дождевальных машин и дождеобразующих устройств на основе принципа сбережения водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов.

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

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

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

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

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

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

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

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

На основании проведенных исследований предприятием ООО «Мелиоративные машины» совместно со СГАУ имени Вавилова Н.И. спроектированы и запущены в производство дождевальные машины ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и

«КАСКАД», низконапорные дождеватели из оцинкованной стали и полимерных материалов при участии автора.

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

Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), Саратов 2016 [259]

Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «КАСКАД», Саратов 2017 [260].

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

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

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

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

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

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

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

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

**Степень достоверности и апробация результатов**, выводов и рекомендаций подтверждена экспериментальными данными лабораторно-полевых исследований, положительными результатами сертификационных испытаний, проведенных Поволжским Агротех Тест Центром и Поволжской государственной зональной машиноиспытательной станцией в 2016 г. [199, 200], подтверждена актами внедрения. Достоверность обеспечена статистическими методами оценки данных с использованием ЭВМ, достаточной степенью совпадения теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения диссертационной работы докладывались в период 2003-2018 гг. на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской работы Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова; Международной научно-практической конференции «Агроэкологические проблемы сельскохозяйственного производства» в РИО ПГСХА (Пенза, 2005); Международной научно-практической конференции «Ульяновские чтения-2005» в ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2005); II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования» в Самарской ГСХА (Самара, 2005); Всероссийской конференции молодых ученых (Коломна, 2005); Международной научно-практической конференции «Основы рационального природопользования» в ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2009, 2011); Международной научно-практической конференции «Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства» в ФГБОУ ВО МГУП (Москва, 2010); Международной научно-практической конференции «Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения» в ФГБОУ ВО МГУП (Москва, 2011); V Международной Научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий» в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2016); Международной научно-практической конференции «Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении» в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2016); Международной научно-практической конференции «Ин-

новации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2016); Всероссийской научно-практической конференции «Инновации и перспективы современной науки» в ФГБОУ ВО Астраханский ГУ (Астрахань, 2018).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 64 печатные работы, 11 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 10 патентов на изобретение и 2 патента на полезные модели РФ.

**Структура и объем диссертации.**

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

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

### 1.1 Анализ состояния орошаемых земель и дождевальной техники в РФ и Саратовской области

Более 70% сельскохозяйственных угодий РФ расположены в засушливых районах, где стабильные и высокие урожаи возможны лишь при дополнительном к естественным осадкам орошении [169, 232].

За последние десятилетия значительно сократился общий объем орошаемых земель, было значительно потеряно производство современных дождевальных машин.

Согласно данным Министерства сельского хозяйства РФ [124, 148], на 2016 год общая площадь орошаемых земель составляет 4,28 млн. га, из которых в хорошем состоянии 2,27 млн. га, удовлетворительном 1,12 млн. га, неудовлетворительном 850 тыс. га, при этом поливалось 1,84 млн. га. Состояние орошаемых земель представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Состояние орошаемых земель РФ на 01.01.2016 г

№ п/п	Федеральные округа	Общая пло- щадь ороша- емых земель, тыс. га	В том числе, тыс. га	
			Из них поливалось	Потребность в реконструкции
1	Центральный	480,05	66,79	359,5
2	Южный	1111,06	394,66	484,60
3	Приволжский	895,54	388,43	361,60
4	Уральский	120,18	23,31	64,70
5	Сибирский	499,80	191,90	207,10
6	Дальневосточный	113,29	19,41	43,80
7	Северо-Западный	17,66	0,30	14,10
8	Северо-Кавказский	1023,17	380,12	365,00
9	Россия	4260,75	1847,9	2373,4



Износ основных фондов оросительных систем по России составляет 69,1%. Одной из главных причин уменьшения орошаемых площадей является недостаточное финансовое вложение на строительство, реконструкцию и эксплуатационные потребности мелиоративных объектов, в результате чего оросительные системы эксплуатируются по 20-30 лет без капитального ремонта [278].

Согласно данным департамента мелиорации РФ [124], парк дождевальной техники на 2016 год составил около 13,5 тысяч единиц и распределен следующим образом, рис. 1.1 [12]:

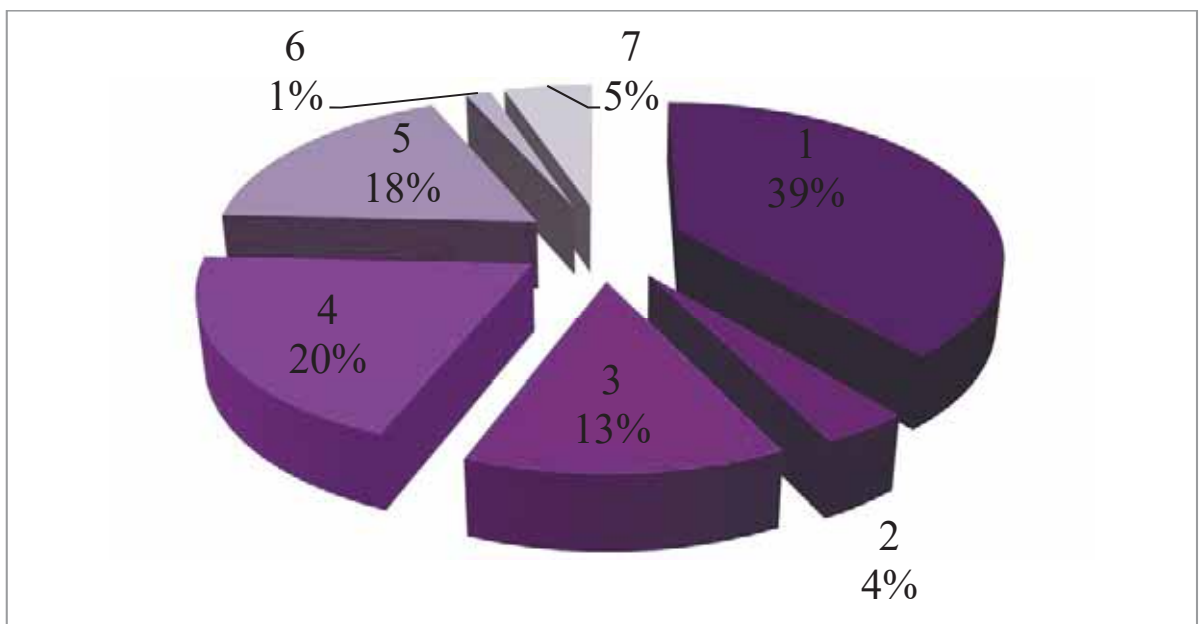


Рисунок 1.1 – Парк дождевальной техники РФ на 01.01.2016: 1 – «Фрегат» – 5300 шт.; 2 – «Кубань» – 500 шт.; 3 – ДДН-70, 100 – 1800 шт.; 4 – ДДА-100, 100МА – 2700 шт.; 5 – «Волжанка» – 2400 шт.; 6 – «Днепр» – 200 шт.; 7 – Зарубежная техника – 700 шт.

При этом имеющийся парк дождевальной техники на 80% состоит из машин, отслуживших свой нормативный срок [164, 165, 169].

Выпускаемые массово дождевальные машины «Фрегат», «Днепр», «Кубань» уже материально и морально устарели [19, 150]. Поэтому необходимы шаги не столько по совершенствованию дождевальной техники «советских» времен, сколько по конструированию и созданию новых, современных, недорогих и эффективных машин.

За период времени с начала 90-х годов предприятия-производители оросительной техники, как правило, переориентировались на выпуск другой продукции, однако в последние годы начали активно развиваться такие предприятия как: «Волгоградский завод оросительной техники»; «ПО Кропоткинский машиностроительный завод «Радуга», г. Кропоткин; ООО «БСГ», г. Тольятти; ООО «Агрополиив СПб», г. Санкт-Петербург; ООО «САБОНагро», г. Гулькевичи; «Казанский завод оросительной техники», г. Казань; ООО «АгисИнжиниринг», г. Москва; «Мелиотехмаш», г. Котельников; «Волгоградский тракторный завод»; ООО «Мелиоративные машины», г. Саратов [95, 118, 169].

За период времени 2008-2018 гг. данными предприятиями было произведено около 360 единиц дождевальной техники, что крайне мало по сравнению с требуемыми объемами. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, при сохранении существующих площадей орошения (4,28 млн. га) стране требуется только широкозахватных ДМ кругового действия – 29 тыс. шт. [66, 124, 126, 148].

В рамках Федеральной целевой программы "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы", а также для реализации политики импортозамещения в АПК создание новой отечественной широкозахватной дождевальной техники является актуальной задачей вследствие проведения масштабных работ по вводу мелиорируемых земель [126]. Динамика изменения орошаемых площадей и дождевальных машин за период с 1966 по до 2016 год в Саратовской области приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Динамика изменения орошаемых площадей Саратовской области на 01.01.2016 г. [203]

Показатели	Годы						
	1976	1987	1990	1997	2001	2007	2016
Площадь орошаемых земель, тыс. га	309,0	481,4	453,5	257,3	257,3	257,3	257,3
Наличие дождевальных машин, ед	5421	7907	6085	3964	3154	2747	1700

По состоянию на 1.01.2016 года, площадь орошаемых земель составляет 257,3 тыс. га, из которых 154 тыс. га подлежат реконструкции и 103,3 тыс. га восстановлению [126, 196]. В хорошем состоянии находятся лишь 81,9% земель, в удовлетворительном 9,5% и в неудовлетворительном 8,6 %, преимущественно по причине солонцеватости [32, 52, 66, 103, 236, 237, 242].

По данным Министерства сельского хозяйства Саратовской области [103, 126] показал, что число дождевальной техники в области на 1990 г. составляло 6085 единиц, к 2016 г это число сократилось в 3,5 раза и составляет 1700 единиц, рис. 1.2.

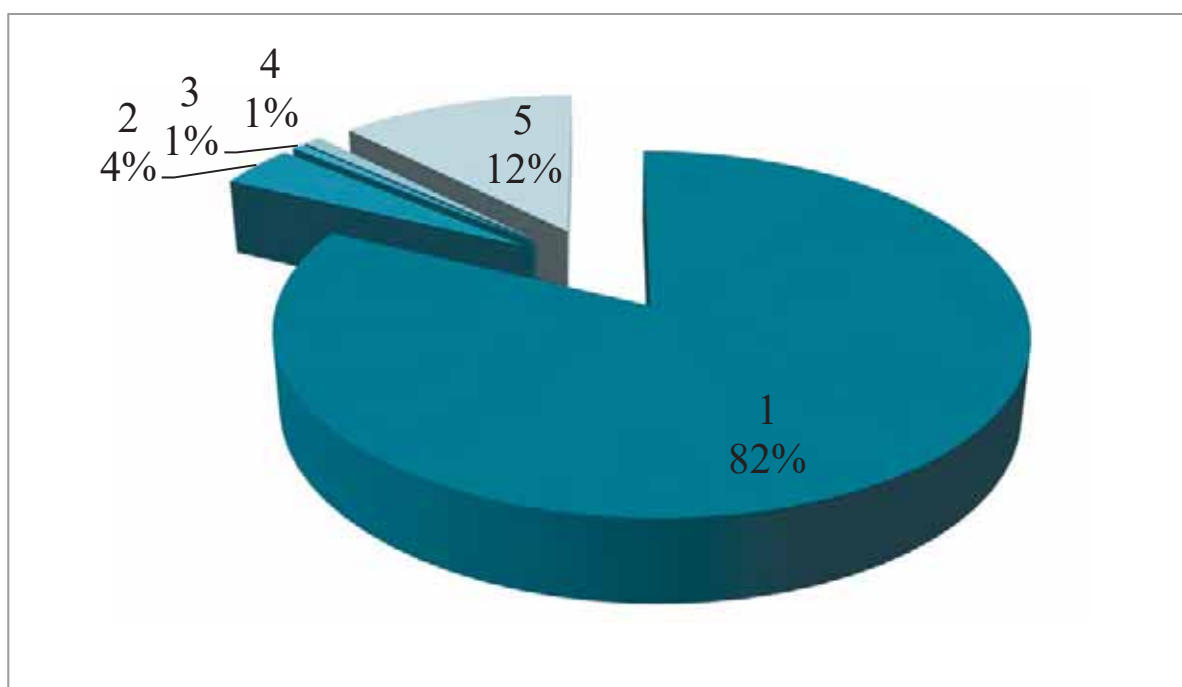


Рисунок 1.2 – Наличие дождевальной техники в Саратовской области: ДМ «Фрегат» – 1396 шт; «Волжанка» – 68шт; «Днепр» – 10шт; ДДА – 100М – 16шт; иностранная техника (Zimmatic, T-L, Valley, Nettuno, Bauer и другие) – 12% [203]

В настоящее время в мелиоративном комплексе Саратовской области многоопорные дождевальные машины являются основными, и разработка конкурентоспособных, современных отечественных дождевальных машин на основе ресурсосберегающих технологий, т. е рациональное использование водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов при производстве и эксплуатации является актуальной задачей.

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

На качественно новый уровень должны быть поставлены не только конструктивные параметры машин, но и учтены перспективные научные тенденции и направления развития современной дождевальной техники.

## **1.2 Обзор конструкций существующих дождевальных машин кругового действия**

Важным преимуществом дождевальных машин, производящих полив при движении по кругу, являются: высокая производительность и качество дождевания, возможность полной автоматизации процесса полива, более легкой приспособляемости к различным почвенно-рельефным условиям.

Кратко рассмотрим конструктивные особенности дождевальных машин кругового действия, выпускаемых основными фирмами США, Европы, России и ближнего зарубежья и направления их развития [149, 204].

Компания Valmont Industries еще в 1952 г. запатентовала самоходную дождевальную установку, имеющую возможность перемещаться вокруг центральной опоры. В дальнейшем был налажен серийный выпуск дождевальных машин кругового действия с гидравлическим приводом под маркой «Valley».

Фирмой Valmont первоначально были выпущены модели 1060 и 1076, включающие дождевальный трубопровод с тросовой подвеской на А-образных опорных тележках. В зависимости от размеров орошаемых площадей число пролетов изменялось в широких пределах. Допустимые уклоны, ограничивающие эксплуатацию этих машин, не превышали 0,05. Для орошения площадей с местным уклоном до 0,2 была создана модель дождевальной машины RG -70. Для значи-

тельных площадей была разработана модель 2076, количество тележек которой было увеличено до 20, а длина трубопровода достигала 540 м.

Для обеспечения надежности и устойчивости движения на уклонах выпускались модели дождевальных машин с ферменной подвеской трубопровода и пролетами длиной 29,6 и 38,4 м. Для работы на пониженном давлении 0,28-0,42 МПа выпускалась модель ДМ 1278 с шагом между дождевальными аппаратами, в зависимости от их типов 2,1-3,6 м. Для полива небольших по площади и неправильной формы участков была создана однопролетная ДМ 1058. За один оборот ДМ в течение семи часов поливала площадь, равную 4 га [117, 221].

На всех рассмотренных выше моделях ДМ в качестве привода применялись гидравлические поршневые двигатели, для работы которых необходимо высокое давление и очищенная вода.

В 1969-1971 годах начали создаваться ДМ с электроприводом, которые стали основными моделями фирмы. Достоинствами их стала низкая энергоемкость, автоматизация полива, надежность и простота в эксплуатации.

В моделях 2060 и 2071 был применен электрический привод, включающий электродвигатель, карданные передачи и редукторы, устанавливаемые на каждую из опорных тележек.

Для увеличения коэффициента земельного использования и полива участков прямоугольной формы фирмой Valmont выпускались модели машин 5071, 5171, 5971 с устройством для полива углов (УПУ) [117, 221]. При подходе к угловому участку поля основного крыла машины устройство для полива углов выдвигается вперед, орошая участок, и по мере прохождения угла складывается.

Для полива животноводческими стоками фирмой Valmont была разработана электрифицированная модель 7271, оборудованная специальными дождевальными аппаратами и приспособленная к работе на уклонах до 0,3 [221].

Модель ДМ «EZ-TO» отличается конструкцией центральной опоры, имеющей свою колесную систему [221]. Во время вращения машины и колеса центральной опоры движутся по кругу.

В настоящее время круговые оросительные установки Valley выпускаются как с фиксированной, так и буксируемой центральной опорой, длиной пролетов 43-66,7 м, трубами диаметром 127 мм, 168 мм, 219 мм, 254 мм из оцинкованной стали. В случае использования коррозионно-активной воды предлагается установка трубопровода с покрытием PolySpan [117].

Для полей небольшой площади – однопролетная оросительная установка с гидроприводом Spinner, орошающая площадь до 2 га с уклоном до 2% [117].

Варианты тяговых тележек также различаются: стандартного профиля (клиренс 2,8-3 м); низкого профиля (1,85-1,95 м), высокого профиля (3,9-4 м); сверх-высокого профиля (4,9-5 м) [117].

Аналогичные направления развития электрифицированных дождевальных машин прослеживаются и у фирмы Lindsay Manufacturing («Zimmatik») [147].

В настоящее время фирмой Lindsay выпускаются различные модели ДМ кругового действия с шириной захвата до 800 м и диаметрами труб: 254 мм (на внутренних пролетах); 203 мм (для длинных систем – 549 м и больше); 168 мм (в системах орошения длиной 396 м и расходом воды 63 л/с); 141 мм (для коротких систем орошения с маленьким расходом воды) [111, 113, 147].

При этом используются оцинкованные стальные, алюминиевые нержавеющие трубы, трубы с внутренним полимерным покрытием.

Дождевальная машина Z-II «Zimmatik» для небольших полей имеет трубы меньшего диаметра 114 мм и высотой пролета 3,2 м, с клиренсом, подходящим для орошения высоких культур [16, 111].

Для мелких производителей фирмой Lindsay была создана ДМ с гидравлическим приводом [111, 113]. Это однопролетная ДМ, с давлением воды 0,3МПа, площадью полива до 3 га. Максимальная длина пролета 61 м, максимальная длина системы 88 м. Трубы длиной 6,7 и 13,4 м диаметром 141 и 168 мм. Клиренс 2,5 м.

Одной из наиболее востребованных в настоящее время на рынке является компания Reinke Manufacturing Company, Inc. США. Особенностью их дождевальных машин является применение С-образного металлического профиля для

изготовления металлоконструкций стойки и опорных тележек. Трубы могут быть выполнены из нержавеющей стали, алюминия, хром-никеля для умеренно-агрессивной воды и сельскохозяйственных химикатов. Стандартный вариант предлагается с оцинковкой или окраской труб. Также на заказ трубопровод может быть выполнен из гальванизированной стали с высокой прочностью и защитой от коррозии или покрытием из поли-пластика для вторичной воды, или воды с чрезвычайно высоким или низким рН, а также экстремальным содержанием хлоридов и сульфатов. Основные характеристики представлены в таблице 1.3 [114].

Представляют интерес следующие модели:

ДМ Alumigator [114] – алюминиевая круговая система, применяемая для дерновых почв, легкая, практически исключая колею.

Reinke Minigator [114] – машина для небольших и неправильной формы полей, полевых углов.

Таблица 1.3 – Основные характеристики ДМ Reinke Manufacturing Company

Тип	Модель	Диаметр трубопровода, мм	Пролеты, м											
			35,9	36,5	41,7	42,6	47,5	48,7	53,3	54,8	56,9	59,1	62,1	64,9
Высокопрочная гальванизированная сталь	E-2100	254	+	+	+									
	E-2085	219	+		+	+	+	+						
	E-2065	168	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	E-2060	152	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	E-2045	44,5	+		+		+		+			+		
Окрашенные или хром-никель гальваника	E-2665	168	+		+		+	+	+			+		
	E-2660	152	+		+		+	+	+			+		+
Алюминий	ALUM IV	152	+		+	+	+	+						
	A-80G	203	+		+		+	+						
	A-60G	152	+		+	+	+	+						
Нержавеющая сталь	S-2085G	219	+		+	+	+	+						
	S-2065G	168	+		+	+	+	+	+					
Поли-пластик гальваника	PL-2085G	219	+		+		+	+						
	PL-2065G	168	+		+		+	+	+			+		

Фирма BAUER Gesellschaft m.b.H выпускает следующие основные модели и дает следующие рекомендации: для максимального количества секций 16: диаметры труб 254 мм, 219 мм, 168 мм; расход до 600 м<sup>3</sup>/ч; площадь полива до 220 га; стандартная высота 3,7 м. Для максимального количества секций 14: диаметры труб 203 мм, 168 мм; расход до 400 м<sup>3</sup>/ч; площадь полива до 150 га; стандартная высота 3,7 м, высокое исполнение 4,2 м. Для максимального количества секций 8: диаметры труб 133 мм; расход до 150 м<sup>3</sup>/ч; площадь полива до 60 га; стандартная высота 3,7 м [110]. Основные характеристики представлены в таблице 1.4.

Французской фирмой Irrifrance разработана и выпускается электрифицированная многоопорная дождевальная машина «Vodomatik» [290].

Таблица 1.4 – Основные рекомендации ДМ Reinke Manufacturing Company

Марка Centerstar 9000 / показатели	Диаметр трубы, мм				
	133	168	203	219	254
Длина секции (пролета), м	59,8	59,8	54,0	54,0	42,3
	54,0	54,0	48,1	48,1	36,4
	48,1	48,1	42,3	42,3	
	42,3	42,3			
Концевая балка (консоль), м	29,3; 23,4; 17,6; 11,7; 5,9				
Габаритная высота, м	3,1	3,9	3,1	3,1	3,1
Колесная база, м	4,3	4,3;	4,3	4,3	4,3
		5,2	5,2		

Модели «Vodomatik» используется для орошения высокостебельных культур. Давление на входе в машину составляет 0,3-0,4 МПа при ее длине до 655 м. Соотношение диаметров труб и размеров пролетов представлены в таблице 1.5.



Таблица 1.5 – Соотношения диаметров труб и ширины пролетов

Показатель	Пролет основной опоры				Пролет промежуточный				Консоль			
	127	168	193	245	141	168	193	245				
Диаметр трубы, мм	127	168	193	245	141	168	193	245				
	141											
Ширина пролета, м	47,5	47,7	47,7	40,9	47,7	47,9	47,9	41,0				
	54,20	54,3	54,3		54,5	54,5	54,5		7,6	14,3	21,0	27,7
	61,0	61,0			61,2	61,2						

В 1971 г. по лицензии Valmont Industries в РСФСР было начато серийное производство широкозахватных дождевальных машин кругового действия с гидроприводом «Фрегат» (аналог машины «Valley», модели 1060 и 1076) [117]. Первые модели имели ограниченный диапазон использования по характеристикам почв, рельефу, энергоёмкости процесса полива и другим условиям использования.

ВНПО «Радуга» совместно с СКБ ДМ «Дождь» были разработаны и внедрены в производство такие машины как «Кубань-ЛК1» и «Фрегат-Н».

Конструкция ДМ «Кубань-ЛК1» обеспечивает работу на полях:

- со спокойным рельефом (уклоны до 0,01),
- повышенным (от 0,02 до 0,05) и
- большим (от 0,05 до 0,07).

Машина начала поставляться в различных модификациях по длине и расходу воды. Число модификаций – 132. Номинальные размеры труб ферм: 203x2,65 мм; 168x2,65 мм. Для консоли: 152,4x 1,9; 102x2,5 мм. Длина – до 614м. Во всех модификациях первой от неподвижной опоры идет головная ферма, состоящая из 4 труб диаметром 203 мм. Далее следует промежуточные фермы, предконсольные и консоль.

Орошаемая площадь – до 118,4 га. Расход 90 л/с. Максимальная потребляемая мощность – 9,6 кВт. Норма полива – 89-890 м<sup>3</sup>/га [210]. Для расширения

технологических возможностей применялась с комплектом дождеобразующих устройств для экологически безопасного полива по оптимизированной схеме.

ДМ «Фрегат-Н» кругового действия с модернизированным дождевым поясом для работы на пониженном давлении. Длина машины – 199 м. Расход воды – 19,7 л/с. Давление на входе в машину – 0,37 МПа [69].

На Украине была разработана ДМ кругового действия «Фрегат» ДМФ-К с тросовой системой управления. Габаритные размеры: ширина – 6840 мм, высота – 7300 мм, дорожный просвет – 500 мм; максимальное расстояние от поверхности земли до фермы трубопровода – 3100 мм. Максимальное количество пролетов – 17. Длина машины – до 878,4 м. Расход воды – 150 л/с. Давление на входе в машину – 0,52 МПа. Площадь полива – 246,8 га. Пролеты длиной 59,9 м с диаметром труб – 168 мм и длиной консоли – 23,4 м. Пролеты длиной 48,2 м с диаметром труб – 219 мм [213].

В целом, как показывает российский и зарубежный опыт, все производители ведут работы над созданием таких ДМ кругового действия, которые соответствовали бы требованиям конкретного фермерского хозяйства, поля. Т.е. необходимых и задаваемых длин, расходов, интенсивностей дождя и других параметров, определяемых в зависимости от почвы, рельефа, сельскохозяйственной культуры, природно-климатических и других условий, в которых будет работать эта дождевальная машина.

Это достигается посредством изменения диаметра труб водопроводящего пояса машины, материала, расстояния между опорными тележками (пролета), типа ходовых систем, применения различных типов и схем расстановки дождеобразующих устройств и др.

Основным же требованием при разработке конструкции является обеспечение надежности и эффективности работы при минимальных затратах ресурсов.

### 1.3 Основные направления ресурсосбережения для дождевальных машин кругового действия

Ресурсосбережение при конструировании и эксплуатации широкозахватных дождевальных машин может касаться водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых, финансовых ресурсов (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Ресурсосбережение ДМ

#### *Водосбережение*

Еще в 90-е годы прошлого века были попытки создания малоэнергоёмких и низконапорных дождевальных машин на основе ДМ "Фрегат" и ДМ "Кубань". Основной причиной данных разработок было то, что орошаемые системы с использованием высоконапорных закрытых трубопроводов и широкозахватных ДМ стали выходить со строя, требовалась реконструкция, и продлить возможность функционирования систем можно было лишь за счет перевода техники на низкое давление.

В настоящее время проектирование низконапорных дождевальных машин – является общей мировой тенденцией.

Так, например, как уже говорилось ранее, в настоящее время в России наиболее распространенной из многоопорных ДМ является «Фрегат», требующая согласно паспортным данным для работы, давления на входе в машину 0,6-0,7 МПа, а соответственно, на насосной станции должно быть обеспечено давление 1,0-1,2 МПа [14, 141, 238, 247].

Большое количество исследований проводилось с целью перевода дождевальной машины на низкое давление, известно, например, что снижение давления с 0,7 до 0,45 МПа позволяет на 16 % уменьшить давление на насосной станции и на 13% годовой расход электроэнергии [123, 170].

По данным Рыжко Н.Ф. [217] энергоемкость подачи воды при поливе ДМ «Фрегат» достигает 180 кВт·ч. Отношение потребляемой мощности электродвигателя к расходу воды насосов Д1250-125 и 250QVD 570-50 составляет 1,78 и 1,2 кВт/л/с соответственно, и может достигать 2,80 кВт/л/с. При давлении на выходе насоса 0,9 МПа и его КПД равном 0,7 расход электроэнергии на перекачку 1000 м<sup>3</sup> воды составляет 349 кВт·ч [106]. На насосных станциях, работающих с ДМ «Фрегат», на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды в среднем расходуется 450..570 кВт·ч [217,218].

Включение и отключение дождевальных машин вызывает значительное колебание давления в закрытой сети, достигающее 1,2-1,4 МПа [75]. Экономия электроэнергии на насосной станции и повышение надежности работы закрытой оросительной сети за счет применения дождевальных машин, работающих при низком давлении является актуальной задачей, например, в США число низконапорных дождевальных машин составляет порядка 24% и их количество с каждым годом увеличивается [57].

Первая ДМ «Фрегат» осуществляющая полив при низком давлении была разработана в ВНИИМиТП в 1976 году [282], имела расход воды 72 л/с при давлении на входе 0,41 МПа. Ее недостатком было увеличение минимального времени оборота с 52 до 86 часов и недостаточный расход воды (72 л/с). Технические

характеристики ДМ, работающих на низком давлении, приведены в таблице 1.6 [217].

Таблица 1.6 – Технические характеристики серийной и низконапорных ДМ «Фрегат»

Техническая характеристика	Серийная машина	Низконапорная машина		
		ВНИИ-МиТП	СтавНИ-ИГиМ	УкрНИ-ИГиМ
Расход воды при нулевом уклоне, л/с	72,0	72,0	72,0	72,0
Давление на входе в машину, МПа	0,57	0,41	0,38	0,38
Площадь орошения с одной позиции, га	74,9	70,0	74,9	73,3
Минимальное время одного оборота, ч	52	86	64	90
Минимальная норма полива, мм	18,0	30,0	22,0	30,0
Количество короткоструйных насадок и аппаратов, шт	50	156	146	171

Общими недостатками низконапорных ДМ «Фрегат» являлись недостаточный расход воды, значительное увеличение времени полива, сложность увеличения скорости передвижения.

В институте ВолжНИИГиМ велись разработки по нескольким направлениям снижения давления. Перевод высоконапорных ДМ «Фрегат» на работу при пониженных давлениях позволяет экономить до 20-30% электроэнергии, увеличивая при этом количество одновременно работающих машин в 1,5-2,0 раза [25]. Установлено, что энергоёмкость полива низконапорных модификаций ДМ «Фрегат» может снижаться до 1098 кВт·ч/га; при этом уменьшаются потери воды, однако ухудшаются эксплуатационные характеристики машины и показатели, характеризующие качество полива, такие как интенсивность и равномерность [216, 217, 218].

Соотношения расхода, давления и потребляемой мощности для «Кубань-ЛК1» представлено в таблице 1.7 [210]

Таблица 1.7- Соотношение энергетических показателей для «Кубань-ЛК1»

Модель	Количество тележек	Расход, л/с	Давление, МПа	Максимальная потребляемая мощность, кВт
МДЭК-212-20-01	4	17-20	0,4	6,1
МДЭК-260-23-01	5	22-23	0,42	6,8
МДЭК-309-35-00	6	24-27	0,43	7,5
МДЭК-358-35-01	7	32-35	0,46	8,2
МДЭК-397-55-00	8	50-55	0,31	3,7
МДЭК-435-65-00	9	60-65	0,33	4,3
МДЭК-474-70-00	10	65-70	0,35	7,5
МДЭК-512-75-00	11	70-75	0,36	8,2
МДЭК-551-82-00	12	77-82	0,39	8,9
МДЭК-589-90-00	13	85-90	0,43	9,6

По техническому уровню, качеству создаваемого дождя и энергопотреблению «Кубань-ЛК1» отвечает современным требованиям, уступая западным аналогам по металлоемкости и возможностям автоматизации.

«Фрегат» ДМФ-К (Украина) имеет рабочее давление воды на входе в машину – 0,25-0,3 МПа, производительность по воде от гидранта – до 50-75 л/с, производительность по воде из канала – 80-90 и более л/с [213].

Для обеспечения движения ДМ «Фрегат» на низком давлении изменялись конструкции привода машины, в частности менялась длина плеча рычага толкателя (СтавНИИГиМ) [266], что уменьшало скорость движения машины, в результате чего увеличивалась минимальная поливная норма.

Новая модификация ДМФЕ «Фрегат» изначально адаптирована к работе при низком давлении. Рабочее давление на входе в машину 0,25-0,3 МПа при нулевом уклоне и расходе 80-90 л/с и длине машины 442 м [291].

Ведутся разработки ДМ «Фрегат» фронтального передвижения [158].

Рабочий диапазон давлений ДМ кругового действия «Valley», «Zimmatik», T-L IRRIGATOR, Reinke Manufacturing Company – 0,28-0,45МПа Снижение энергоемкости дождевания при этом может составить от 16 до 50% [111, 113, 114, 116].

Конструкции низконапорных дождевальных машин типа «Zimmatic», «Valley» [111] оборудуются низконапорными насадками с поливом по сектору, монтируемыми на коротких патрубках с наклоном 45° к горизонтальной плоскости. Экономия оросительной воды при этом составляет не менее 20% по сравнению с обычным дождеванием, а энергозатраты снижены – на 15-20%.

Рациональное использование водных ресурсов зависит от многих факторов, к числу основных можно отнести: равномерность распределения дождя по площади и по крупности капель [11, 24, 27, 46, 82, 89, 94, 109, 137, 217, 218, 240]; испарение воды и сноса ветром [22, 24, 82, 91, 109, 216, 217, 218, 240].

Многочисленные исследования и опыт эксплуатации отечественных и зарубежных дождевальных машин показывают, что применение устройств приповерхностного дождевания является основным направлением улучшения показателей полива. Это значительно снижает потери воды на испарение и снос ветром и повышает равномерность полива.

Большинство выпускаемых в настоящее время импортных многоопорных дождевальных машин комплектуется устройствами приповерхностного дождевания. Высота установки устройства регулируется от 0,45 до 3 м от поверхности почвы в зависимости от высоты сельскохозяйственных культур [110, 111, 113, 114].

В настоящее время большинство западных компаний, таких как Lindsay, Bauer, Reinke устанавливают подвесные штанги, изготовленные из оцинкованной стали, трубы ПВХ или усиленного гибкого шланга, чтобы свести к минимуму потери воды в результате испарения и сноса ветром. Имеются различные варианты устройств приповерхностного полива с отведением от опорных тележек для обеспечения сухого хода [110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 290, 291, 293].

Первые разработки устройств приповерхностного дождевания для ДМ типа «Фрегат», «Кубань-ЛК» были проведены в ВолжНИИГиМе. Был разработан ряд устройств приповерхностного дождевания, снижающих высоту подъема дождевого облака до 1,1-1,7 м над поверхностью, что обеспечило уменьшение потерь воды на испарение и снос ветром (при средних погодных условиях Саратовской области) с 10,4-22,5% до 4-10 %. При этом коэффициент эффективного полива, при средней скорости ветра 3-4 м/с находится в пределах 0,70-0,75, т.е. повышается на 20–25 % [155, 157, 159, 215, 216, 217, 218].

Для повышения качества дождя МДЭК «Кубань-ЛК1» была оборудована комплектом для экологически безопасного полива. В сравнении с серийной машиной она обеспечивает следующие показатели: создание дождя мелкокапельной мелкодисперсной структуры с каплями диаметром 0,8-1 мм, уменьшающими ударное воздействие на почву и растения на 33%, повышение равномерности распределения дождя по орошаемой площади на 16%, увеличение досточковых поливных норм для различных типов почв, в том числе с низкой водопроницаемостью, на 25-30%, табл. 1.8 [168, 170, 226].

Рациональное использование водных ресурсов и повышение качества дождевания обеспечивается за счет мелкокапельной структуры дождя, его равномерного распределения по орошаемой площади, исключения лужеобразования от стока воды по поверхности орошения, а также минимальных потерь на испарение и снос ветром, что требует дальнейшего совершенствования дождеобразующих устройств и схем их расстановки.

### ***Сбережение земельных ресурсов*** (см. рис. 1.3).

Важнейшим показателем при орошении с точки зрения земельных ресурсов является коэффициент земельного использования (КЗИ). Чем меньше величина отчуждения под коммуникации, системы трубопроводов, колеи колес опорных тележек дождевальных машин, тем выше КЗИ [230].



Таблица 1.8 – Сравнительная техническая характеристика машины «Кубань-ЛК1» модификации МДЭК-512-75

Показатели	Серийная	С комплектом дождеобразующих устройств
Рабочее давление на входе, МПа	0,36	0,25
Расход воды, л/с	75	63
Орошаемая площадь, га	83,6	
Рабочая длина захвата дождем, м	516	
Достоковая поливная норма, м <sup>3</sup> /га	460	570
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,7	0,45
Коэффициент эффективного полива при скорости ветра:		
0-1,5 м/с	0,7	0,81
1,5-5 м/с	0,64	0,73
Средний диаметр капель, мм	1	0,9

В конструкциях дождевальных машин, работающих по кругу трудно добиться увеличения данного показателя. Если в машине "Фрегат" в пределах орошаемого круга КЗИ=0,98, то с учетом недополива углов эта величина составляет 0,82 [47]. Недополив углов приводит к снижению урожайности на этих участках по сравнению с орошаемым кругом, а применение устройства для полива углов приводит к значительному усложнению конструкции машины, ее надежности в эксплуатации. Приспособления для полива углов позволяет поднять КЗИ до 0,94-0,95 [17, 170].

Для увеличения КЗИ и уменьшения воздействия ходовых систем на почву важным направлением исследований является оптимизация параметров ходовых систем, способа и конструкции крепления трубопровода, а также совершенствование автоматической системы выравнивания.

При перемещении многоопорной дождевальной машины по орошаемому полю из-за выхода ее самоходных опорных тележек из общей линии и изгиба трубопровода происходит их смещение, а соответственно увеличение площади участка, заминаемого колесами при многократных проходах ДМ, и оказывает влияние на работу приводов в момент выравнивания.

Как показала практика орошения машинами "Фрегат" на угловых участках, не захватываемых дождем, урожай получается как на богаре и составляет примерно 50% урожая на поливных землях. Поэтому площадь потерь по урожаю принималась равной половине неорошаемой площади плюс 1% потерь от заминания [62]. Т.о. при конструировании ДМ важен способ закрепления трубопровода в пролете и обеспечение системы синхронизации движения опорных тележек.

КЗИ можно увеличить следующими способами:

- обеспечивая полив углов участка (применение устройств для полива углов, установкой дождевального аппарата на конце трубопровода, обеспечивающего полив углов при автоматическом своевременном включении);
- при рациональном планировании и организации территории полива.

Перемены в области сельского хозяйства, происходящие в последние десятилетия, характеризуются резким сокращением поливных площадей и дроблением площадей на локальные участки орошения площадью от одного до нескольких сот гектаров. Нередки случаи, когда под одной машиной возделывается несколько видов сельскохозяйственных культур. И повысить эффективность использования земли можно путем применения технологических схем с разделением участка на половины или по секторам.

Следовательно, важнейшим требованием к машине является ее реверсивность и изменение скорости и нормы полива с заданием в автоматическом режиме в зависимости от градуса прохождения по кругу (рис. 1.4).

При различных условиях дождевание может вызывать ирригационную эрозию почв. В зависимости от типа ДМ, сельскохозяйственной культуры и уклона поля, средняя величина поверхностного стока при оросительной норме  $600 \text{ м}^3/\text{га}$

может достичь 20-45% от водоподачи, что ведет ухудшению водно-физических и агрохимических свойства почв, снижается плодородие [36, 56, 170, 189, 266, 267].

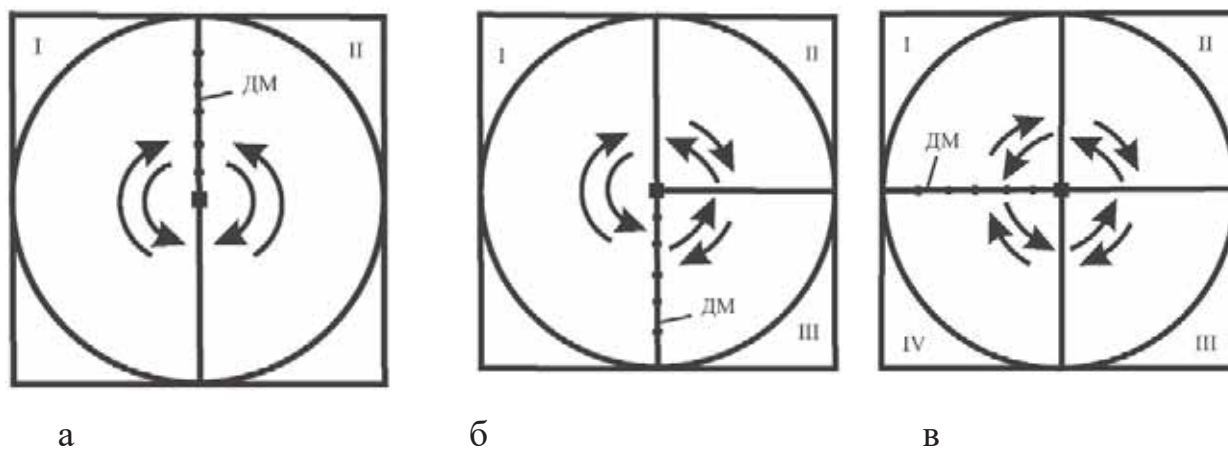


Рисунок 1.4 – Схемы полива: а – поля с двумя культурами; б – с тремя; в – четыре культуры

Помимо этого уменьшается коэффициент использования поливной воды, увеличивая затраты на ее подачу, что в значительной степени сказывается на эффективности полива. Основной причиной этого, является несоответствие режима орошения природным и агротехническим условиями орошаемого участка. При дождевании сток воды и эрозия почвы будут предотвращены, если поливные нормы не превысят достоковые, или эрозионно-допустимые [36, 56, 189, 256, 258, 276].

Максимальный поверхностный сток возникает на ранних стадиях развития растений, на незащищенной от воздействия воды почве. Например, на ранних стадиях развития кукурузы твердый сток образуется при норме полива 200–300 м<sup>3</sup>/га, а на стадии цветения и налива зерна – при 400 м<sup>3</sup>/га [245].

Также причиной возникновения поверхностного стока и ирригационной эрозии, являются аварийные остановки при работе в автоматическом режиме, характерные для ДМ «Фрегат», в случае, если не предусмотрено отключение водоподачи при остановке или пробуксовывании последней ведущей тележки, приводящее к переполивам [1, 2, 8, 99, 138, 139].

**Материальные ресурсы** (см. рис. 1.3).

Серийные дождевальные машины «Фрегат», «Кубань-ЛК1» требуют значительного уменьшения материалоемкости.

Для выявления направлений конструирования ДМ нового поколения в РосНИИПМ была предложена методика, позволяющая анализировать технические показатели ДМ [131]. Из таблицы 1.9 видно, что для организации полива ДМ «Фрегат» необходимо 39 т металла, ДМ «Кубань-ЛК1» – почти 45 т.

Таблица 1.9 – Относительные показатели материалоемкости серийных ДМ [245]

Оценочный показатель	Фрегат Б 434-90	Фрегат ДМУ 199	Кубань-ЛК1
Материалоемкость, т, всего: в том числе	39,6	19,7	44,4
Насосная станция	3,8	2,9	3,8
Трубопроводы	21,8	10,3	22,4
Дождевальная машина	14	6,5	18,2
Материалоемкость, т, на 1 га площади в том числе:	0,6	1,23	0,61
Насосная станция	0,06	0,18	0,05
Трубопроводы	0,33	0,64	0,31
Дождевальная машина	0,21	0,41	0,25
Материалоемкость, т на 1л/с расхода да в том числе:	0,44	0,7	0,61
Насосная станция	0,04	0,10	0,05
Трубопроводы	0,24	0,37	0,31
Дождевальная машина, в том числе	0,16	0,23	0,25

Удельные показатели металлоемкости, т/га определяются как [131]:

$$K_{\text{уд.га}} = \frac{M_0}{F_K}, \quad (1.1)$$

где  $M_0$  – расход металла на площадь, обслуживаемую одной машиной, т;

$F_K$  – нормативная площадь, обслуживаемая одной машиной, га;

$$K_{уд.л/с} = \frac{M_0}{Q_M}, \quad (1.2)$$

$Q_M$  – нормативный расход дождевальной машины, л/с.

Рассматривая только массу самих дождевальных машин, можно сказать, что от 60 до 75% от общей массы приходится на водопроводящий пояс машины с фермой и системой тяг, и оптимизация его конструкции является весьма актуальной. На опорные тележки приходится 20-30 %.

Снизить материалоемкость ДМ можно путем замены металлических узлов и деталей на альтернативные материалы, например, полимерные [275].

Эффективность использования пластмассовых труб в мелиоративном комплексе обусловлена рядом свойств, например, высокой стойкостью к воздействию среды, гладкостью, что снижает гидравлическое сопротивление и увеличивает пропускную способность, легкостью (в 5-10 раз легче равных им по размеру металлических).

Наиболее близкие к стальным прочностные характеристики имеют стеклопластиковые трубы на основе эпоксидных или полиэфирных смол. Стеклопластиковые трубы во многом могут стать альтернативой стальным или алюминиевым [78, 80, 81, 83, 108, 233, 234, 235, 279].

Так, по исследованиям Саратовского ГАУ, по замене металлических трубопроводов дождевальной машины ДКШ-64 «Волжанка» на трубопроводы на основе реактопластов-стеклопластиков, можно сделать вывод о возможности рассматривать материал стеклопластик как альтернативу традиционным материалам при применении их в данной конструкции дождевальной машины [80, 81, 231, 233, 234, 235, 239].

В ВолжНИИГиМе совместно с научно-производственной фирмой «ПоТехИн и К°», ООО «Бийским заводом стеклопластиков» и ЭТИ СГТУ ведутся разработки по применению полимерных трубопроводов, в частности широкозахватная дождевальная машина (ДМ) «Бамбук» [108]. Из стеклопластика была изготовлена

консоль ДМ «Бамбук» длиной 15000 мм и условным проходом 90 мм, состоящая из несущего трубопровода и вантовых растяжек.

Необходимо отметить целесообразность использования полимерных материалов для изготовления дождевателей, позволяющих снизить стоимость конструкции.

*Энергетические ресурсы* (см. рис. 1.3).

Одним из важнейших современных требований является экономное расходование энергоресурсов. Общие энергозатраты на один полив можно определить из формулы [244], Дж:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = \frac{\gamma H_{\text{H}} t Q_0}{\eta}, \quad (1.3)$$

где  $t$  – время полива;

$H_{\text{H}}$  – напор насоса, м;

$Q_0$  – расход, м<sup>3</sup>/ч;

$\eta$  – суммарный КПД насосно-двигательной установки;

$\gamma$  – удельный вес воды,  $\gamma=10^4\text{Н/м}^3$ .

Из формулы видно, что энергозатраты на поливе пропорциональны давлению насосной станции или установки ДМ, и отчасти характеризуют технический уровень дождевальной машины. Условием является обеспечение работы дождевальных аппаратов на конце ДМ в пределах нормативных показателей или при гидроприводе – нормальной работы приводов последних тележек.

Тогда на один гектар и один полив [244]:

$$\mathcal{E}_{\text{ГА}} = \frac{\gamma m_{\Pi} H_{\text{H}} \eta_{\Pi}}{\eta}, \quad (1.4)$$

где  $m_{\Pi}$  – поливная норма, м<sup>3</sup>/га ;

$\eta_{\Pi}$  – к.п.д. полива.

Серийные дождевальные машины «Фрегат», и даже низконапорные ДМ «Кубань-ЛК1» достаточно энергоемки (табл. 1.10).

Таблица 1.10 – Относительные показатели энергоёмкости серийных ДМ

Оценочный показатель	Фрегат Б434-90	Фрегат ДМУ 199	Кубань-ЛК1
Энергоёмкость, кВт:	88,1	37,2	75,8
В т.ч. на 1 га	1,33	2,33	1,04
На 1 л/с расхода воды	0,98	1,33	1,03

Снижение потребного рабочего давления при обеспечении показателей качества работы ДМ – одно из важнейших направлений совершенствования дождевальной техники.

Энергетические затраты на перемещение ДМ зависят главным образом от характера двигателя и технологии работы машины (позиционно, в движении, стоп-стартный режим).

Суммарная мощность на привод складывается из мощностей, потребляемых всеми тележками машины, и, соответственно, снижение затрат обеспечивается снижением массы, сопротивления передвижению и возможным уменьшением количества тележек.

Так, для повышения к.п.д. привода электрифицированных ДМ компании T-L Irrigation Company впервые вместо цепных передач начали применять карданные с одним мотор-редуктором [116]. Затем для исключения возникновения «паразитных» мощностей стали устанавливать мотор-редукторы на каждом колесе тележки. При этом в редукторах использовались планетарные передачи, позволяющие в среднем увеличить к.п.д. с 50 до 90%.

Фирма «Вауер» устанавливает мотор-редуктор конструктивного исполнения: передаточное число 50:1, мощность 0,54 кВт; передаточное число 40:1, мощность 0,54 кВт; передаточное число 30:1, мощность 1,1 кВт. Колесный редуктор неподвижного исполнения: червячный 50:1 и подвижного исполнения с отцеплением червяка во время свободного хода для перестановки машины на другое поле [110].

Современные системы Zimmatic: основной электродвигатель мощностью 0,75 кВт с цилиндрической зубчатой передачей,  $n=43 \text{ мин}^{-1}$  [111].

Компания Reinke устанавливает буксируемые редукторы и мотор-редукторы трех вариантов скоростей: низкий 60:1 ( $29 \text{ мин}^{-1}$ ); стандартный 40:1 ( $43 \text{ мин}^{-1}$ ); высокой 25:1 ( $70 \text{ мин}^{-1}$ ) [114].

«Фрегат» ДМФ-К (Украина), использует мотор-редуктор и два червячных редуктора на каждой тележке производства компании США. Мотор-редуктор «UMC Power Save 3,5»: передаточное число 40:1 мощностью 0,55 кВт; передаточное число 30:1 мощность 1,1 кВт. Колесный редуктор UMC 725-TNT-U 50:1 с выведением из зацепления для транспортного положения [291].

В дождевальном машине «Кубань-ЛК1» используются мотор-редукторы ЗМЦЧ-80-28-1,1У1; ЗМЦЧ-80-22-1,1У1; колесные редуктора ЭДМФ-01.2240-04, а в дальнейшем марки UMC с передаточным отношением 40:1 [210].

Учитывая то, что в отечественной практике создания ДМ снижение энергоемкости их движения и полива имеет весьма актуальное значение, необходимо является разработка собственных малоэнергоемких технических и технологических решений по машинам кругового действия при обеспечении простоты и дешевизны их выполнения [31].

### ***Трудовые ресурсы*** (см. рис.1.3).

Дальнейшее развитие технологии дождевания зависит главным образом от внедрения и совершенствования системы автоматизации дождевальных машин, позволяя исключить трудоемкие и затратные по времени ручные работы, регулировать интенсивность дождя в широких пределах, определяемых впитывающей способностью почвы, обеспечить экономию воды и труда. Можно выделить следующие основные направления развития в автоматизации ДМ кругового действия:

- повышение надежности и упрощение конструкции систем автоматизации;
- расширение функциональных возможностей, в том числе учет энергии и водопотребления, регулирование и подбор экономичных режимов в зависимости от почвенно-рельефных и метеоусловий;



– обеспечение реверсивного передвижения, регулирование скоростей и норм полива в значительных пределах, в том числе по зонам и секторам полива.

Т.о. кратко изложенные взаимозависимости характеристик ДМ позволили наметить направления совершенствования и оптимизации с точки зрения ресурсосбережения и повышения качества полива:

- ДМ на низком напоре;
- приповерхностный полив;
- разработка конструкций низконапорных дождевателей;
- оптимизация конструкции водопроводящего пояса и ферм, расстановка дождеобразующих устройств с точки зрения ресурсосбережения;
- разработка рекомендаций по выбору ходовых систем;
- оптимизация системы приводов и режима работы машины;
- совершенствование автоматической системы управления.

## **1.4 Особенности проектирования элементов дождевальных машин кругового действия**

### **1.4.1 Металлоконструкции и водопроводящий трубопровод**

Как ведущие зарубежные фирмы-производители: «Valley», «Zimmatik», «Reinke», BAUER, так и российские производители поставляют на рынок сельскохозяйственной техники дождевальные машины с идентичными конструкциями ферм для крепления водопроводящего трубопровода [60, 110, 111, 114, 117, 197], рис.1.5.

Ферменные конструкции большинства ДМ представляют собой трехпоясную конструкцию треугольного сечения (угольники). Верхний пояс – водопроводящий трубопровод.

Пролеты ферм состоят из водопроводящего трубопровода с различными диаметрами в диапазоне: от 150 до 250 мм. Трубопровод опирается на стержневые фермы из металлопроката с креплениями (тяги и раскосы).

Стержни крепятся к каждому узлу фермы, создавая опору для трубопровода и передавая прочность конструкции, которая требуется для работы в сложных условиях [110, 111, 114, 116,117], (рис. 1.6).

Длина каждого пролета может быть изменена добавлением или снятием труб и ферм. Различные пролеты соединяются между собой, обеспечивая необходимую длину машины. Пролеты соединены между собой сцепным устройством (рис. 1.7), обеспечивающим горизонтальную и вертикальную гибкость соединения пролетов [128].



«Valley»



Zimmatik



BAUER



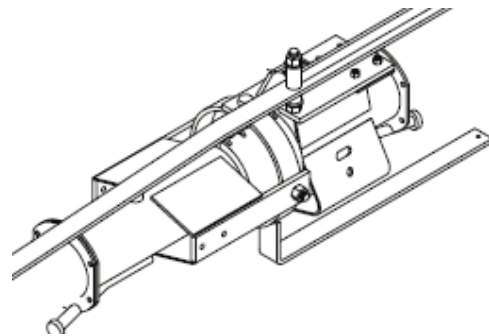
Reinke

Рисунок 1.5 – Конструкции ферм



Рисунок 1.6 – Система креплений

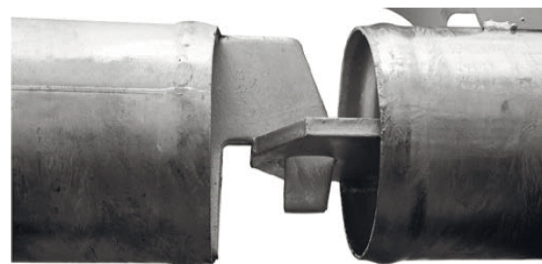
Трубы напорного пояса дождевальных машин фирмы «Reinke» [114] поддерживаются элементами, называемыми «распорки пролета» и «укосины», расположенными через каждые 5,79 м и вместе со шпренгелями образующими устойчивую конструкцию. Все шпренгели универсальны по длине и выполнены из высокопрочной стали в двух вариантах: по диаметру 5/8 дюйма (1,59 см) или 3/4 дюйма (1,90 см), в зависимости от длины и диаметра водопроводящего трубопровода.



Zimmatic



Valley



Reinke

Рисунок 1.7 – Сцепные устройства

Другие производители дождевальных машин используют шпренгели, изготовленные из обычной углеродистой стали толщиной 3/4 дюйма (1,90 см) и 7/8 дюйма (2,22 см).

Таким образом, масса напорного пояса дождевальная машины фирмы «Reinke» в среднем на 500–1000 кг меньше, чем его аналога других производителей. Расстояния между опорными тележками подобраны с расчетом максимальной универсальности элементов водопроводящего пояса, шпренгельной системы и длин труб. Максимальная величина пролета – 64,93 м и это считается самым длинным пролетом в индустрии (см. таблицу 1.3) с одноточечной схемой крепления шпренгелей.

В ДМ «Zimmatic» используются водопроводящие трубопроводы диаметрами от 114 до 254 мм с утолщенными стенками [111]. Шпренгельные соединения «V-Jack» с коваными головками, установленные в гнезда кронштейна, повышают прочность и устойчивость каждого пролета. Перекрестные поперечины соединяют пролет со следующей тележкой, поглощая напряжение кручения при работе на неровной поверхности. Соединение пролетов обеспечивается шарниром, которое придает системе гибкость без напряжений на уклонах до 30 % .

Внешний монтаж всех компонентов не создает сопротивление потоку воды. Приспособление работает в качестве поддерживающей конструкции между пролетами, позволяя проводить замену муфты и кожуха без крана. В конструктивном исполнении шпренгельные соединения ферм дождевальных машин фирмы «Valley» [117], «Т-L» [116] и «Zimmatic» [111] идентичны.

Анализируя ферменную конструкцию «Кубань-ЛК1» можно отметить низкую унификацию и универсальность узлов и деталей, наличие в одном пролете нескольких труб различной длины и разного рода креплений, затрудняющих изготовление и сборку конструкции [210] (рис. 1.8).

Дождевальная машина кругового действия «Фрегат» ДМФ-К также имеет ферменную конструкцию, вращающуюся вокруг неподвижной оси [291]. Водопроводящий трубопровод представляет собой сборную конструкцию из пролетов-ферм, шарнирно соединенных между собой, и консоли, жестко закрепленной к концевой тележке тросовыми растяжками (рис.1.9).

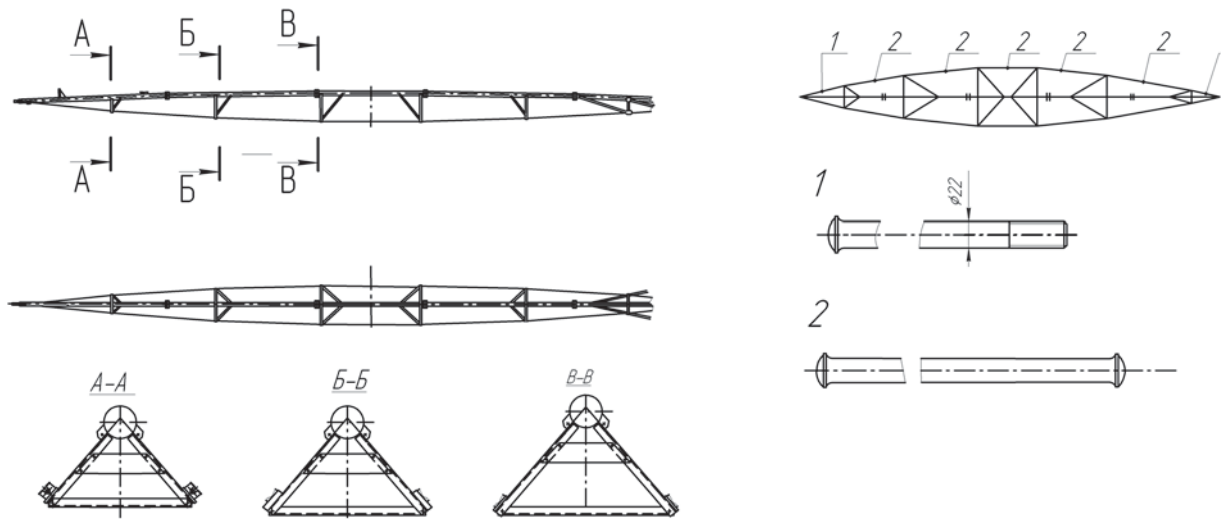


Рисунок 1.8 – Ферма «Кубань-ЛК1»



Рисунок 1.9 – Ферменная система ДМФ-К «Фрегат»

Ферма представляет собой сборную, предварительно напряженную конструкцию, состоящую из труб, тяг и уголков.

В ферменных пролетах водопроводящего трубопровода базовых модификаций ДМФ-К-А применяются трубы диаметром 168 мм, длина пролета 59,5 м. В ферменных пролетах базовых модификациях ДМФ-К-Б в начале машины приме-

няются трубы диаметром 219 мм, а последние три пролета состоят из труб диаметром 168 мм. При этом длина пролета из труб 219 мм составляет 48,2 м, а из труб диаметром 168 мм – 59,5 м.

Анализ вариантов ферменных конструкций позволяет в качестве направления совершенствования выделить следующее: повышение универсальности и унификации элементов фермы и водопроводящего трубопровода и снижение металлоемкости.

#### 1.4.2 Ходовые системы

Движение многоопорных ДМ осуществляется посредством взаимодействия движителей опорных тележек с почвой, которая является одновременно объектом увлажнения и несущим основанием.

Показатели режима полива ДМ, равномерность распределения слоя дождя по длине машины и по всей орошаемой площади также определяют механические и прочностные характеристики почвы.

Кроме этого основными показателями физических свойств почвы, определяющими ее несущую способность, а, соответственно, опорные и тягово-сцепные свойства машин, является механический состав, удельный и объемный вес, водопроницаемость и влажность.

Причем из всех показателей наибольшее влияние на механические характеристики почвы имеет влажность. Особенно выражен этот процесс при работе ДМ с большими поливными нормами, когда почва на глубине 0,2-0,3 м увлажняется до предела текучести и при взаимодействии колес с почвой происходит не уплотнение, а пластическое течение ее под колеса и выпирание в стороны. Особенно резкое возрастание глубины колеи наблюдается на пахоте при увеличении поливной нормы в интервале от 200 до 400 м<sup>3</sup>/га [220, 221].

Интенсивность процесса колееобразования и снижения сцепных свойств ходовых систем ДМ еще в большей степени увеличивается при наличии в зоне движения ходовых тележек свободной, не впитавшейся воды, вызывающей образова-

ние стока по колее. Особенно этот процесс заметен у машин с гидроприводом, типа «Фрегат», когда к основному слою осадков (поливной норме), особенно при его больших значениях, прибавляется слой осадков от слива воды. Так, прибавка слоя воды от слива величиной около 6 мм ( $60 \text{ м}^3/\text{га}$ ), вызывает увеличение глубины колеи до 0,12м [220, 221, 222].

Наиболее сложные условия для работы широкозахватных дождевальных машин кругового действия создаются на пересеченном рельефе, низинах, на глинистых малопроницаемых почвах, когда вода практически не впитывается и не стекает по поверхности, длительное время застаиваясь на поверхности. Такое же явление наблюдается и на песчаных почвах, залегающих на глинистых породах. Эффективность применения широкозахватных ДМ из-за значительного колееобразования отдельных опорных тележек значительно снижается даже на орошаемых полях при работе с малыми нормами полива.

Аналогичные случаи могут наблюдаться не только для пересеченного рельефа, но и вследствие неоднородности почвы, при работе с большими поливными нормами на ровных площадях полива.

Необходимо отметить, что явление переполива и образования стоков наблюдается и по длине машин из-за конструктивных особенностей водопроводящего трубопровода и особенностей схем расстановки на нем дождевателей и имеет разные значения.

Как показывает опыт эксплуатации для широкозахватных дождевальных машин кругового действия, глубина колеи имеет несколько большее значение в начале и в конце машины, соответственно из-за увеличенного слоя осадков (расхода) и повышенной интенсивности дождя (образование стоков) (рис. 1.10).

Эта особенность четко прослеживается на сложном рельефе при испытании машины «Фрегат».

Применение на машинах одного типа дождевальных устройств и схем их расстановок привело к необходимости создания очень большого количества модификаций ДМ по расходу и длине для различных климатических зон страны, что не является рациональным.

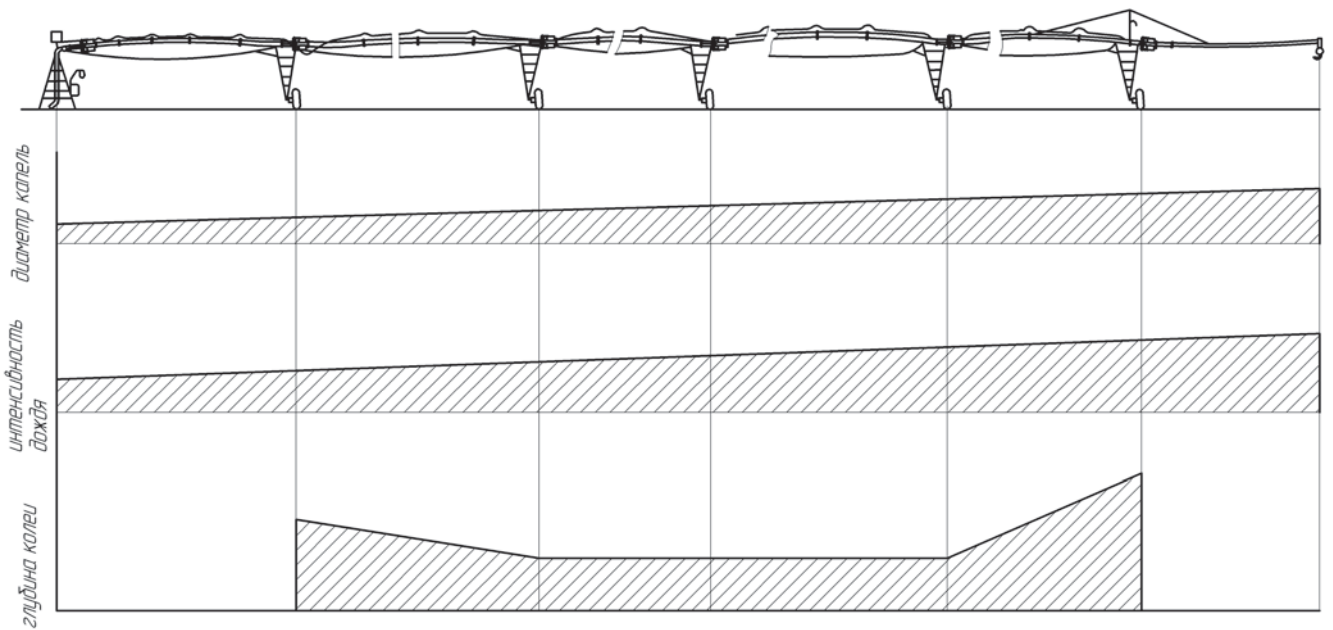


Рисунок 1.10 – Типичное изменение показателей качества и колееобразования по длине ДМ кругового действия

Как показывает зарубежный и отечественный опыт эксплуатации многоопорных широкозахватных дождевальных машин, для повышения опорно-тяговых и сцепных свойств применяется оснащение их пневматическими шинами низкого давления, сдвоенными колесами, трехколесными ходовыми системами, уширенными жесткими колесами, гусеничными и шагающими движителями.

Согласно проведенному анализу, 90% ДМ [220] оборудуются колесными системами. Ограниченность применения гусеничных и шагающих ходовых систем обуславливается сложностью конструкции, трудностью в обслуживании и ремонте, повышенной стоимостью.

В ВНПО «Радуга» была сделана попытка создания на базе серийных жестких колес ДМ «Фрегат» гусеничных движителей применительно для работы на одной и двух позициях [220, 221, 224]. Разработка не получила распространения, в связи с трудоемкостью эксплуатации движителей и их низкой надежностью при незначительном уменьшении колееобразования.



Из шагающих типов движителей представляет интерес разработка для дождевальнoй машины типа «Фрегат» Саратовского института механизации сельского хозяйства [220] также не получившая распространения из-за сложности изготовления и низкой эксплуатационной надежности. В настоящее время в ВолгГТУ разработан и испытан ряд опытных образцов шагающих машин, предназначенных для работы на слабых грунтах [274].

В настоящее время ДМ «Фрегат» оснащаются пневматическими шинами [14, 15, 291].

В целях повышения проходимости широкозахватных дождевальных машин зарубежные фирмы для своих ранних разработок применяли жесткие колеса с уширенным ободом. Например модели 1260, 1176, 1658 и др. фирмы Valmont [117].

Краткая характеристика шин, устанавливаемых в настоящее время на многоопорных ДМ в США, приведены в таблице 1.11 [110, 113, 117].

Таблица 1.11– Технические данные шин ДМ производимых в США

Марка шины	10-20	11-24,5	11,2-24	12,4-24	14,9-24	16,9-24
Обод	-	8,25-24,5	10,4-24	-	12,0-24	15,0-24
Норма слойности	-	10-12	4	-	-	-
Площадь контакта	-	0,06	0,07	-	0,11	0,17
Исполнение	Бескамерная стандартная		Бескамерная повышенной проходимости		Бескамерная сверхнизкого давления по спец. заказу	

Наиболее применяемыми шинами для ДМ «Valley» и «Zimmatik», в зависимости от условий эксплуатации являются шины 11,2-24; 14,9 и 16,9-24, имеющие углы наклона грунтозацепов 30 и 45°, широкий протектор с открытым по центру рисунком.

Пневматики обладают высокой износостойкостью, высокими тяговыми характеристиками, сопротивлением ударам и проколам, устойчивостью против откатывания назад и проскальзывания [111].

В настоящее время фирма BAUER выпускает ДМ с шириной колесной базы 4,3 м (стандарт) и 5,2 м для тяжелых топографических и климатических условий с шинами 14,9-24; 16,9-24 и 12,4-38 [110].

Особенностью некоторых моделей Reinke – трехколесные системы, при этом размеры шин могут быть выбраны из ряда 11-22,5; 11,2-24; 14,9-24; 16,9-24; 11,2-38; 13,6-38 (рис. 1.11) [114].

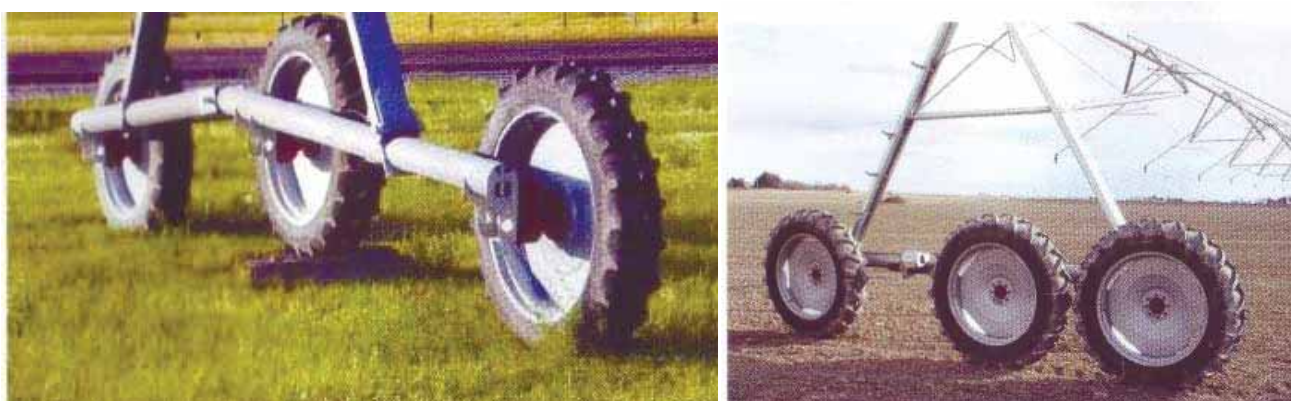


Рисунок 1.11 – Трехколесные ходовые системы Reinke

Компания Lindsay (Zimmatic) устанавливает следующие типы шин: 11,2-24 (для работы ограниченное количество часов на песчаных почвах); 11,2-38 (увеличенный просвет и проходимость по узкой колее); 14,9-24 (для тяжелых и длинных пролетов); 16,9-24 (для длинных пролетов и лучшей проходимости (табл. 1.12) [111].

Таблица 1.12 – Характеристика шин на ДМ компании Lindsay (Zimmatic)

Размер шин	Ширина протектора, см	Диаметр, см	Площадь контакта, см <sup>2</sup>
11,2-24	26,4	109,2	1561
11,2-38	28,4	144,8	2084
14,9-24	36,8	126,5	2232
16,9-24	42,9	134,6	3439

Для труднодоступных районов Lindsay также использует строенную систему колес, спаренные колеса или гусеничные системы (рис. 1.12) [111] .



Рисунок 1.12 – Ходовые системы ДМ компании Lindsay (Zimatic)

«Фрегат» ДМФ-К (Украина) оборудуется пневматическими колесами с шинами 14,9-24 и передает удельное давление на грунт:

- для мягких грунтов (пахота) – до 0,05 мПа;
- для твердых грунтов (луг, посевы многолетних трав) – до 0,155 мПа [291].

На ДМ «Кубань-ЛК1» устанавливались пневматические колеса с пневматическими шинами 18,4-24 и 16,9-24 [210].

Анализ развития ходовых систем многоопорных ДМ показал, что для повышения проходимости многоопорных широкозахватных ДМ целесообразно оборудовать колесными системами с низким уплотняющим воздействием и необходимы соответствующие теоретико-экспериментальные исследования по обоснованию их параметров.

Необходимо также отметить, что уменьшению колееобразования способствует наряду со снижением давления ходовых систем на почву, применение движителей повышенной проходимости и повышение несущих свойств поверхности почвы.

Как показал проведенный анализ, выбор ходовых систем производился без достаточного изучения характеристик орошаемых поверхностей и колееобразования, отсутствуют также исследования рациональных соотношений длин пролетов и диаметров трубопроводов, конструктивно-высотных свойств.

Зарубежными фирмами-производителями дождевальных машин практикуется уменьшение весовых характеристик пролетов посредством выполнения из более легких материалов и изменения диаметра и длин труб [110, 111, 113, 116].

На показатели работы широкозахватных ДМ кругового действия, кроме прочностных показателей почвы, существенно влияет рельеф орошаемой поверхности.

Оценка рельефа необходима на стадии проектирования, а затем последующего выбора модификации или компоновки машины, оценки необходимой жесткости и гибкости трубопровода, длины пролетов, конструктивного исполнения сцепных устройств, допустимого агротехнического просвета, требуемой мощно-

сти движителей тележек, их буксования, скорости движения, а также обеспечения требуемых режимов полива

Т.о. необходимо оптимизировать параметры длин пролетов ДМ, конструктивно-высотных свойств, диаметра водопроводящего трубопровода, определяемых в целом рельефными условиями орошаемых площадей, высотой растений, характеристиками почв и норм полива.

### 1.4.3 Системы автоматизации и управления

За последнее десятилетие системы управления и контроля за работой дождевальными машинами интенсивно развиваются в направлении автоматизации, экономии энергетических, водных и других ресурсов, увеличения количества одновременно выполняемых задач дождевальной техникой и изменения их режимов работы в режиме реального времени.

В настоящее время разработано достаточное количество разных модулей, блоков и систем управления дождевальными машинами. Наиболее широко используемыми в нашей стране и за рубежом являются системы управления фирм-производителей, таких, как «Reinke», «Valley» и «Zimmatic».

Дождевальные машины «Valley» позволяют орошать участки разной, включая неправильной формы площадью от 2 до 21 га, осуществлять полив нескольких полей в соответствии с требуемым режимом и животноводческими стоками, вносить минеральные удобрения с поливной водой [117].

Система управления машиной «Valley Cams™» (рис. 1.13) обеспечивает автоматическое программное управление выдачей нормы полива, концевыми устройствами полива углов, секторным поливом с реверсом машин, связь по радио или телефонной линии с центрального пульта управления, сотового телефона или местного пульта, установленного на машине [249].

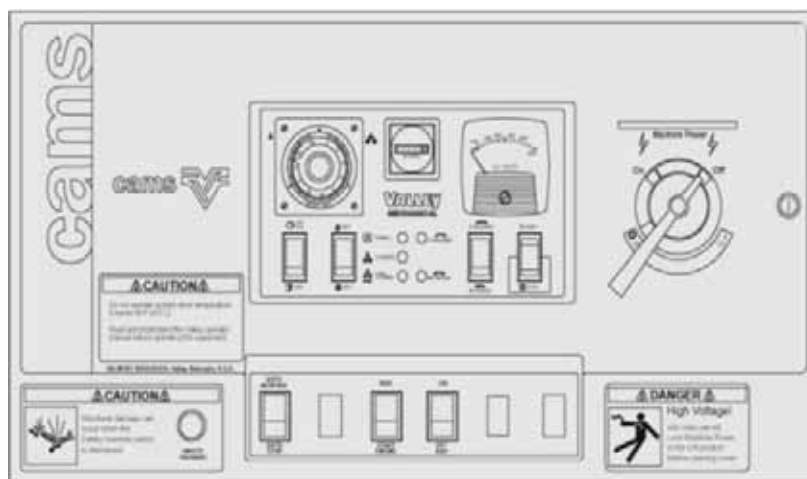


Рисунок 1.13 – Пульт управления дождевальными машинами «Valley»

Система управления совместима с ПО «Windows» и другим программным обеспечением. Базовая центральная система управления, расположенная на пульте дежурного оператора имеет возможности мониторинга, управления ДМ и составления отчетов, выдачу сообщений о сбоях на экран, слежения за работой насосной станции. Система управления может быть обеспечена с карманного ПК (программируемого контроллера).

Для управления объектами полива фирмы «Rain Bird», «Nelson», «Hunter» и др. выпускают контроллеры для управления клапанами, двигателями, насосами по программе от датчиков дождя, метеостанций по проводным линиям связи, радиоканалу, спутниковой и сотовой связи [119, 120, 121, 303].

Панель управления «BASIC» фирмы «Zimmatic» [111] (рис. 1.14 а) включает в себя следующие опции:

- светодиодные системные индикаторы, предоставляющие текущую информацию о необходимых параметрах работы;
- регулирование работы насосных станций и направления движения;
- полупроводниковый таймер процентной нормы, управляющий скоростью движения дождевальной машины;
- устройство контроля электрической системы.

Компьютерная панель управления «VISION» (рис. 1.14 б) мгновенно предоставляет всю необходимую информацию:

- отображает границы поля дождевальной машины кругового действия, ее местонахождение и близость к границам или точкам остановки;
- отображает рабочее состояние используемой дождевальной машины кругового действия;
- средства управления функциями (смена направления движения, регулировка вспомогательного оборудования и подачи воды, изменение нормы полива и программирование остановок).



Рисунок 1.14 – Панели управления фирмы «Zimmatic»:  
а) «BASIC»; б) «VISION»; в) «BOSS»

Система управления орошением «BOSS» (рис. 1.14 в) включает следующие опции:

- функцию регулировки подачи воды в зависимости от потребностей поливаемой культуры;
- функцию настройки интенсивности дождя в зависимости от впитывающей способности почвы;
- функцию управления вспомогательным оборудованием для внесения химикатов и удобрений;
- функцию планирования орошения, осуществляемую программно для нескольких сельскохозяйственных культур, частичного прохождения круга, различных свойств почвы и особенностей микрорельефа орошаемого участка;
- функцию самодиагностики, определяющую проблемы и неисправности и снижающую время простоя до минимума.

С помощью системы управления «Precision Management (RPM)» фирмы «Reinke» [114] ведется контроль за скоростью передвижения машины, направлением движения, подачей воды и функцией автостопа-автостарта.

Панель управления «RPM PREFERRED» оборудована специальным RAMS-компьютером, который легко программируется, запоминает до 1000 событий и до 64 операций для одного оборота машины.

Данный блок соединяется USB-кабелем с ноутбуком, а также имеется опция подключения связи с мобильным телефоном и дистанционного управления «OnTrac®».

Использование системы «Reinke Navigator® GPS» позволяет панели управлять концевым дождевальным аппаратом и крылом дополива углов с достаточной точностью до 3 м<sup>2</sup>.

Панель управления «RPM Preferred Touch Screen» оборудована компьютером на основе Windows™, с помощью которого имеется возможность:

- графического отображения данных о машине и показаниях датчиков;
- наблюдения и записи показаний метеостанции (осадки, температура, скорость ветра и т. д.);
- программирования и корректировки настройки концевого дождевального аппарата, мест остановки и барьеров;
- программирования сектора для выполнения полива в нужное время и при определенных условиях.

В настоящее время развивается оперативное планирование поливов на основе информационно-советующих систем.

Внедряются автоматические системы, программные технологии в ВНИИ «Радуга» и СГАУ им. Вавилова Н.И. [3]. Разработанная ВНИИ «Радуга» информационно-советующая система рассчитывает рациональные нормы водопотребления с использованием компьютерных моделей, учитывая влажность почвы, температуру и влажность воздуха, скорость ветра, осадки.

Основное направление развития автоматизации ДМ – полный контроль над процессом полива и без выездов обслуживающего персонала в поле для проверки



машин и оборудования, что позволяет значительно повысить производительность, сократить простои и сэкономить ресурсы.

Таким образом, основными требованиями для системы контроля и управления ДМ в базовом исполнении должны быть:

- регулирование работы насосных станций и направления движения;
- таймер процентной нормы, управляющий скоростью движения дождевальной машины;
- функция планирования орошения, осуществляемая программно для нескольких сельскохозяйственных культур, частичного прохождения круга;
- функция самодиагностики, определяющая проблемы и неисправности и снижающую время простоя до минимума.
- системные индикаторы, предоставляющие текущую информацию о необходимых параметрах работы;
- устройство контроля электрической системы.

## **1.5 Качество полива. Дождеобразующие устройства**

### **1.5.1 Показатели качества дождя**

Качество создаваемого дождя зависит от конструкции и расстановки дождевателей. Дождь с различными характеристиками по-разному влияет на впитывание воды в почву и образование стока.

Основными характеристиками можно назвать следующие:

- слой осадков;
- мгновенная и средняя интенсивность дождя;
- равномерность полива – распределение слоя осадков по площади полива, которая оценивается коэффициентами эффективного полива  $K_{Эп}$ , избыточного полива  $K_{изп}$ , недостаточного полива  $K_{нп}$ .
- диаметр капель дождя;
- потери воды на испарение и снос ветром;
- средняя и действительная мощность дождя.

Кратко рассмотрим взаимодействие некоторых показателей. На урожайность сельскохозяйственных культур влияет равномерность распределения слоя осадков. Дождевальные машины должны обеспечивать орошение полей равномерно с коэффициентом эффективного полива не ниже 0,7.

Дождь, создаваемый дождевателем, является полидисперсным; по мере удаления от сопла дождевателя происходит перераспределение массы дождевой воды в сторону крупных капель, не изменяя при этом характер распределения.

В качестве показателя оценки крупности капель наиболее часто используется медианный по объему диаметр, связанный с интенсивностью дождя, расходом дождевой воды, нормой полива и меньше зависящий от сноса капель ветром, испарения и других внешних условий, объективно отражающий характер распада струи на капли [43, 45, 135, 170].

Физический смысл его заключается в том, что половина объема (массы, интенсивности) дождя выпадает в виде капель малого диаметра, а половина – в виде капель большого диаметра.

Математическую зависимость можно выразить следующим образом [170]:

$$\sum_{i=1}^{N_M} p_{vi} \cdot \Delta d_K = 0,5, \quad (1.5)$$

где  $p_{vi}$  – вероятность образования капли соответствующего размера.

$N_M$  – количество интервалов, соответствующих медианному значению диаметра  $d_M$ ;

$\Delta d_K$  – длина интервала.

Для оценки дождя характер изменения медианного  $d_M$  и среднеобъемного  $d_K$  диаметров капель вдоль радиуса полива  $r_{\Pi}$  применяется зависимость [170]:

$$d = a_n r_{\Pi}^2 + b_n r_{\Pi} + c, \quad (1.6)$$

где параметры параболической зависимости изменений среднеобъемного диаметра:  $a_n = 0,0018-0,005$ ,  $b_n = 0,01-0,09$ ,  $c = 0,66-1,16$ ; медианного:  $a_n = 0,015-0,15$ ,  $b_n = 0,03-0,26$ ,  $c = 0,63-2$ .

Связь медианного и среднекубического диаметра капель [170]:

$$d_M = k_M d_K + c_0, \quad (1.7)$$

При исследовании дождя параметры данной взаимосвязи лежат в пределах  $k_M = 1,1-3,4$  и  $c_0 = 0-1,2$  мм.

Количество выпавших капель  $N$  можно определить через показания дождемера – время регистрации  $t_d$ , объем воды  $V_d$ , приемную площадь  $S_d$  и через средневзвешенный объем капли  $v_K$  по формуле (шт) [45, 170]:

$$N = \frac{V_d}{v_K}, \quad (1.8)$$

Средневзвешенный объем капли  $v_K$ ,  $m^3$ , определяемый каплемером:

$$v_K = \frac{\pi}{6n_i} \sum d_i^3, \quad (1.9)$$

где  $n_i$ ,  $d_i$  – количество капель, диаметр капель  $i$ -го класса, измеренных каплемером или с помощью фильтровальной бумаги другими устройствами контроля [42, 248].

При изучении принципов образования дождевого облака и его влияния на разрушение структуры почвы было установлено, что средний диаметр капель дождя изменяется от 0,7 до 2,4 мм, в то время как, согласно требованиям, средний диаметр капель дождя не должен превышать 1,5 мм [82, 94, 201, 252].

При этом установлено, что например, у дождевальных аппаратов, установленных в начале водопроводящего пояса ДМ «Фрегат» средний диаметр капель дождя составляет 0,2-0,4 мм, а в конце – увеличивается до 1,6-2,2 мм [159, 160, 216, 217].

На равномерность влияют следующие показатели: скорость и направление ветра, степень дисперсности струй и их перекрытия, колебания давления в закрытой сети, рельеф поля и др [27, 29, 170, 216, 218].

Интенсивность также изменяется в значительных пределах. Так в начале водопроводящего пояса дождевальной машины «Фрегат» средняя интенсивность дождя колеблется от 0,06 до 0,12 мм/мин и увеличивается в конце машины на 0,46 мм/мин при слабом ветре [216 -218].

Существенное энергетическое воздействие на почву и сельскохозяйственные культуры оказывают размер капель, мощность и удельная мощность дождя, кратность поливов.

Мощность дождя – это энергия  $W$  дождевого потока, действующая в единицу времени  $t$ :

$$N_{\text{Д}} = \frac{W}{t}, \quad \text{Вт} \quad (1.10)$$

Удельная мощность дождя имеет вид [109], Вт/м<sup>2</sup>:

$$N_{\text{уд}} = 0,0083\rho_{\text{ср}} \sum_{i=1}^n (n_i V'_{\text{Ки}})^2 = 0,14\rho_{\text{ср}} d_{\text{к}}, \quad (1.11)$$

$\rho_{\text{ср}}$  – интенсивность дождя, мм/мин;

$n_i$  – доля капель  $i$ -го размера;

$V'_{\text{Ки}}$  – скорость падения капель  $i$ -го размера.

При повторном поливе в центре машины «Фрегат» образовавшийся сток составляет 13–17 %, в конце трубопровода он увеличивается до 16–22 % [216]. В середине трубопровода поливная норма до стока снижается с 63 до 54 мм, в конце машины она не более 25 мм.

В конце машины «Фрегат», где интенсивность дождя 0,55–0,60 мм/мин, размер стока увеличивается с 8 до 11% при первом и с 21 до 33 % при пятом поливе [216].

Исследования всех авторов показывают, что объем стока повышается по мере приближения к последней тележке машины, а также с увеличением кратности поливов [57]. В Саратовской области аналогичные результаты получены учеными ВолжНИИГиМа (полив машиной «Фрегат» темно-каштановых и каштановых почв [216–218]).

Таким образом, в настоящее время имеется значительный фактический материал по качеству полива широкозахватными ДМ кругового действия. Установлены недостаточная равномерность полива дождевателями при ветре и значительные величины потерь воды на испарение и снос.

В конце водопроводящего пояса ДМ интенсивность и крупность капель дождя достигают значительной величины, вызывая сток и эрозионные процессы.

Поэтому разработка новых дождевателей с целью улучшения качественных показателей полива, повышения равномерности полива, уменьшения крупности капель и действительной интенсивности дождя, снижения величины потерь воды на испарение и снос ветром, а также схем их расстановки вдоль водопроводящего пояса машины является своевременной и актуальной задачей.

### 1.5.2 Анализ дождеобразующих устройств

Определимся с терминологией. Дождеобразующим устройством назовем комплекс изделий и устройств, установленных от водовыпускного отверстия трубопровода, до непосредственно дождевателя. Т.е. в него входят устройства приповерхностного дождевания в виде штанг или гибких водоподающих спускных трубок, муфты и штуцеры, утяжелители и регуляторы давления.

Анализ литературных источников показывает, что на широкозахватных дождевальными машинах кругового действия применяются дождеватели различных типов.

К ним относятся: среднеструйные дождевальные аппараты «Фрегат» №№1, 2, 3, 4 и 5; насадки секторного полива (СибНИИГиМ, УкрНИИГиМ, ЮжНИИГиМ и ВНИИ «Радуга»); насадка грибкового типа (СтавНИИГиМ); насадка центробежная (ВНИИ «Прогресс»); дождеватель типа «сегнерово колесо» (ВНИИ «Радуга»); насадка щелевого типа (ВИСХОМ); насадки дефлекторные (ВНИИГиМ и ВолжНИИГиМ) [24, 109, 156, 160, 170, 216, 217, 218, 278, 282].

Проведем анализ конструктивных особенностей, преимуществ и недостатков применяемых дождевателей различных типов.

Серийные дождевальные машины «Фрегат» изначально комплектовались среднеструйными дождевальными аппаратами (СДА) [213].

Достоинством среднеструйных дождевальных аппаратов «Фрегат» является значительный радиус полива (изменяющийся от 10 до 25 м в зависимости от расположения на трубопроводе), низкая средняя интенсивность дождя (от 0,05-0,40 мм/мин) [214, 215, 217] и высокая равномерность полива.

Недостаток серийных дождевальных аппаратов – высокая стоимость и большая крупность капель дождя. Средний диаметр капель вдоль машины «Фрегат» изменяется от 0,8 до 1,7 мм, а в конце струи его значения достигают 2,0-3,5 мм [216- 218], что оказывает негативное воздействие на сельскохозяйственные растения и почву, разрушая и уплотняя ее. Мгновенная интенсивность дождя также изменяется вдоль трубопровода машины «Фрегат» в границах от 1,2 до 2,6 мм/мин [160, 217].

Высота подъема дождевого облака составляет 5-8 м, что увеличивает возможность сноса. Кроме вышеперечисленного среднеструйные дождевальные аппараты отличаются ненадежностью работы и высокой вероятностью засорения.

Для интенсификации распыления струй известны устройства постоянного и периодического действия. К устройствам постоянного действия можно отнести: дефлекторные рассекатели или отражатели, насадки специальных форм, а также дополнительные стволы для создания многоструйности. К устройствам периодического действия относятся прерыватели кругового и гребенчатого типа [68, 216-219]. Повышения устойчивости струй к ветру можно добиться за счет снижения угла вылета струи к горизонту, дисперсности факела распыла и частоты вращения [22, 35, 88, 91, 217].

По сравнению с дождевальными аппаратами, применение дождевателей в виде дефлекторных насадок требует более частое их расположение на трубопроводе, поэтому вопрос снижения их стоимости стоит достаточно остро.

Так, например, число насадок конструкции СибНИИГиМ на дождевальной машине «Фрегат» составляет 159 штук, вместо 49 среднеструйных дождевальных аппаратов [216].

Насадка «грибкового типа», разработанная СтавНИИГиМ [216] создает тонкую пленку распыла, распадающуюся на мелкие капли. К недостаткам можно отнести большую вероятность засорения мусором, частые поломки края насадки; сложность регулировки расхода.

Секторные дождевальные насадки работают на машине «Фрегат» при давлении 0,6-0,7 МПа, и для обеспечения требуемого расход воды, диаметр сопла наса-

док в начале дождевого пояса машины составляет 1,5-2,0 мм, что способствует образованию мелкокапельной водяной пыли, подверженной воздействию ветра и испарению [131]. Они также подвержены частому засорению.

Центробежные насадки применяются в РФ и на Украине на дождевальных машинах типа ДДА-100М и ДДА-100МА [216, 217]. Особенностью их является невысокий коэффициент расхода воды ( $\mu = 0,27...0,30$ ) и формирование мелкокапельного дождя. Основным недостатком является небольшой радиус захвата дождя (не более 6 м), а соответственно большая интенсивность.

Дождеватель типа «сегнерово колесо» разработан во ВНИИ «Радуга» для широкозахватных дождевальных машин «Коломенка» [170]. Основными недостатками таких дождевателей являются большая металлоемкость, значительные затраты на монтаж и демонтаж.

Основными дождевателями, применяемыми на российских и импортных дождевальных машинах, являются (рис. 1.15) Komet KPS (низкого давления для бережного полива), Komet Twister (низкое давление до 0,14 МПа для почв с низкой скоростью инфильтрации); Senninger Superspray (увеличенное расстояние между соплом и дефлекторной пластинкой упрощает очистку и монтаж), Senninger LDN (для полива при небольшом ветре); Senninger i-Wob (с вращаемой дефлекторной пластиной, обеспечивающей большой радиус полива и низкую интенсивность дождя) [112, 271, 280, 287, 289, 297].



Рисунок 1.15 – Основные дождеватели Российских и импортных ДМ

Основными направлениями совершенствования дождевателей фирмы Komet Innovative Irrigation являются:

– равномерное распределение воды;

- постоянный диаметр капель;
- энергоэффективность;
- надежность.

Представляет интерес дождеватель «Komet 3-D Система движения», предназначенный для давлений 0,04-0,14 МПа с диаметрами сопла 2-10,3 мм, обеспечивающий дополнительные колебательные движения, что увеличивает диаметр зоны увлажнения (рис. 1.16).

Наиболее часто применяемыми в настоящее время как зарубежными, так и российскими компаниями – производителями дождевальных машин являются дождеватели фирмы Nelson Irrigation: Rotator (согласно рекомендациям производителей – большой радиус, равномерное орошение, низкие нормы полива для экономии воды и энергоресурсов); Accelerator (высокая равномерность); Spinner (для чувствительных культур и почв); Sprayhead (рассекатель, обеспечивающий большую ветроустойчивость); Orbitor (повышенная ветроустойчивость, меньшая засоряемость).

Отражатели (дефлекторы) Komet разделяются на следующие типы в зависимости от условий применения (рис. 1.17).



Рисунок 1.16 – «Komet 3-D Система движения»





Рисунок 1.17 – Дефлекторы Comet

Их основные характеристики и области применения представлены в таблице 1.13 [305].

Центральным критерием при разработке дождевателей компании Senninger является экономия природных ресурсов.






Одним из наиболее распространенных является дождеватель i-Wob Senninger с эффектом вращения и качания дефлектора с целью повышения равномерности (рис.1.18).






За счет различных форм дефлектора обеспечивается значительное разнообразие свойств сходящего потока.

Компания Senninger разработала дождеватели с несколькими, установленными друг над другом дефлекторами (рис. 1.19).

Также в зависимости от культуры дождеватели обеспечиваются съемной вставкой для направления подачи воды под определенным углом (рис. 1.20).

Таблица 1.13 – Характеристики насадок фирмы Nelson Irrigation

Наименование	Рисунок	Параметры давление, МПа радиус полива, м	Основные характеристики/ назначение
Rotator		0,07-0,34 МПа 15,2-22,6 м	Увеличенный радиус полива. Уменьшение интенсивности полива Равномерность за счет перекрытия струй
Accelerator		0,04-0,1 МПа 9,1-16,8 м	Спроектирован для дождевания изнутри стеблей. А3000 Accelerator увеличивает скорость вращения по мере увеличения диаметра форсунок, что максимально увеличивает площадь разбрызгивания, минимизируя потери от испарения при низкой интенсивности потока.
Spinner		0,07-0,14 МПа 12,8-16,5 м	Мягкое дождевание при низком давлении. Свободно вращающийся S3000 Spinner обеспечивает мягкие капли для чувствительных культур и почв.
Orbitor		0,04-0,14 МПа 11,0-18,3 м	Обтекаемая конструкция. Исключает распорки сплинклерного корпуса, обеспечивает однородность и оптимальный размер капель при низком давлении. Снижение засоряемости.
Sprayhead		0,04-0,28 МПа 4,9-12,2м	Насадка для проращивания семян, орошения. Съемная двусторонняя крышка позволяет менять структуру разбрызгивания

		<p>Рисунок 1.18 – Дождеватель i-Wob с линейкой дефлекторов</p>	
			
<p>Стандартный угол с 6 желобками Мелкие капли</p>	<p>Стандартный угол с 9 желобками Средние капли</p>	<p>Низкий угол с 9 желобками Средние капли</p>	<p>Низкий угол с 6 желобками Крупные капли</p>
Расход 0,1-1,15л/с	Расход 0,05-1,15л/с	Расход 0,05-1,15л/с	Расход 0,21,15л/с
Давление 0,06-0,1МПа			

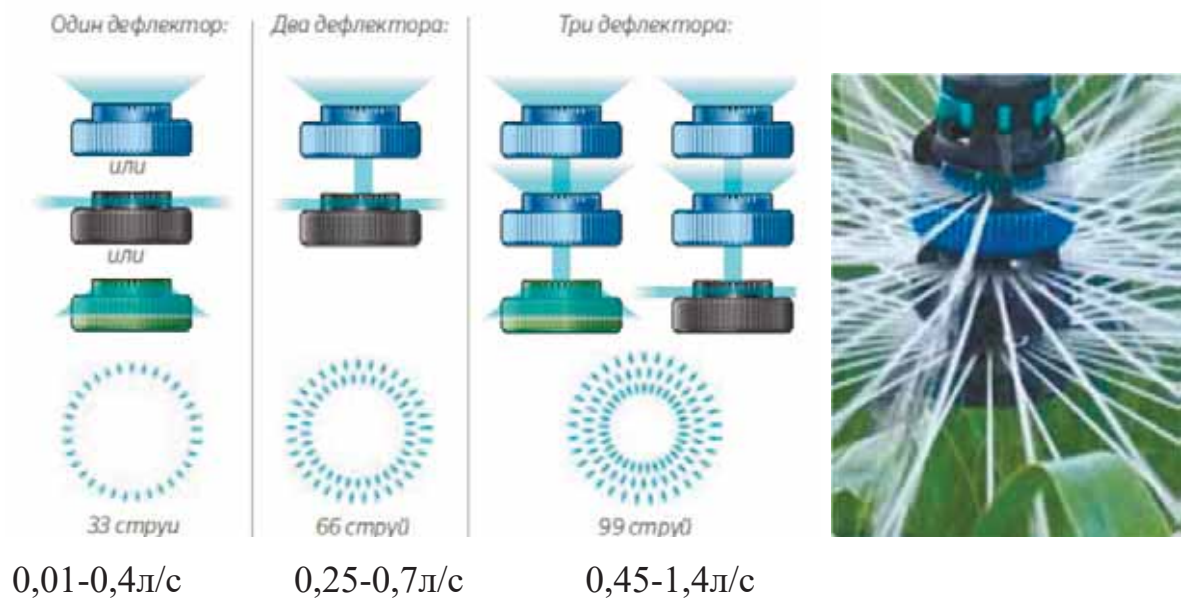


Рисунок 1.19 – Многоярусные дефлекторы [280]

Кукуруза. Вставка для обработки: 58°



Хлопок. Вставка для обработки: 15-30°

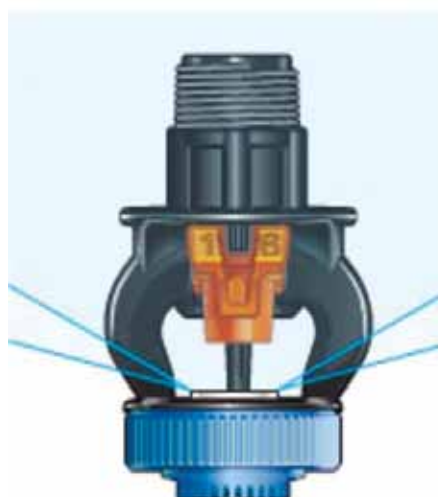


Рисунок 1.20 – Вставка для направления подачи воды

Дождеватель Super Spray от Senninger (рис.1.21), оснащен взаимозаменяемыми дефлекторами (22 вида дефлекторов), удовлетворяющими различным требованиям по размеру капель, культурам, климатическим условиям и типам почвы [112].

Дефлекторы Super Spray различаются по форме (плоский, вогнутый, выпуклый) и по типу поверхности (гладкий, со средними желобками или с глубокими желобками).

Форма и поверхность определяют схему полива и размер капель. Имеются дефлекторы для внесения агрохимикатов с поливной водой для высоких культур (кукуруза) и низких культур (хлопок), позволяющие достигать нижней стороны листовой.

Анализ показывает, что большинство зарубежных компаний при совершенствовании дождевателей идет по пути узкой специализации, усложнении конструкции, выполняя их модульными, т.е. с возможностью взаимозаменяемости и унификации основных элементов дождевателя (рис. 1.22) [299].

Рисунок 1.21 – Super Spray от Senninger



*Плоский с желобками*



*Вогнутый с желобками*



*Выпуклый с желобками*



*Плоский гладкий*



*Вогнутый гладкий*



*Выпуклый гладкий*

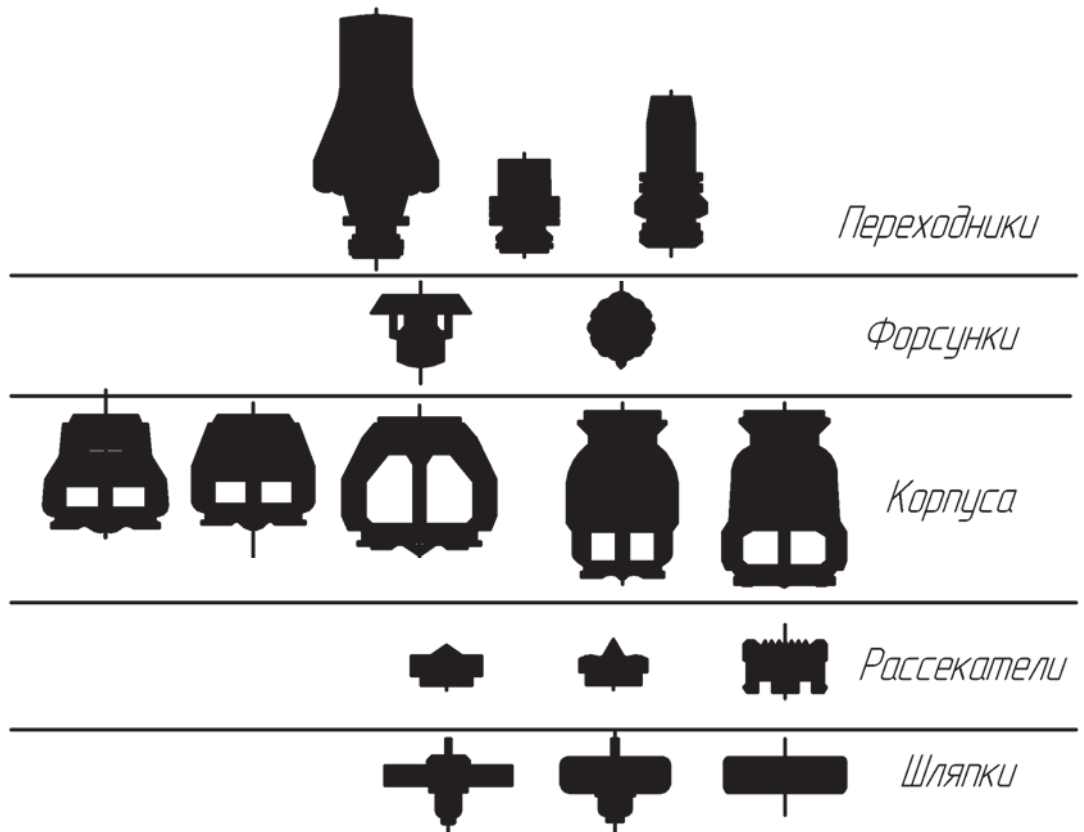


Рисунок 1.22 – Элементы дождевателей

Рассматривая номенклатурные ряды дождевателей, необходимо отметить наличие большого количества моделей и к ним различного типа дефлекторов, что не всегда является экономически целесообразным и оправданным.

Необходимо выделить наиболее значимые факторы, влияющие на процесс распыливания, и разработать ограниченный, но достаточный номенклатурный ряд дождевателей для различных эксплуатационных условий, применяемый для низконапорной российской и зарубежной техники [93].

Рассмотрим общие принципы разбрызгивания потока жидкости в зависимости от вида, формы и принципа работы дождевателя.

Струйные дождеватели представляют собой насадок с цилиндрическим или каким-либо другой формы соплом (рис. 1.23) [174]. Подаваемая из него струя распадается на капли, образуя полидисперсный факел с малым корневым углом. Распад жидкостных струй в значительной степени определяется формой струи, в свою очередь зависящей от формы сопла.

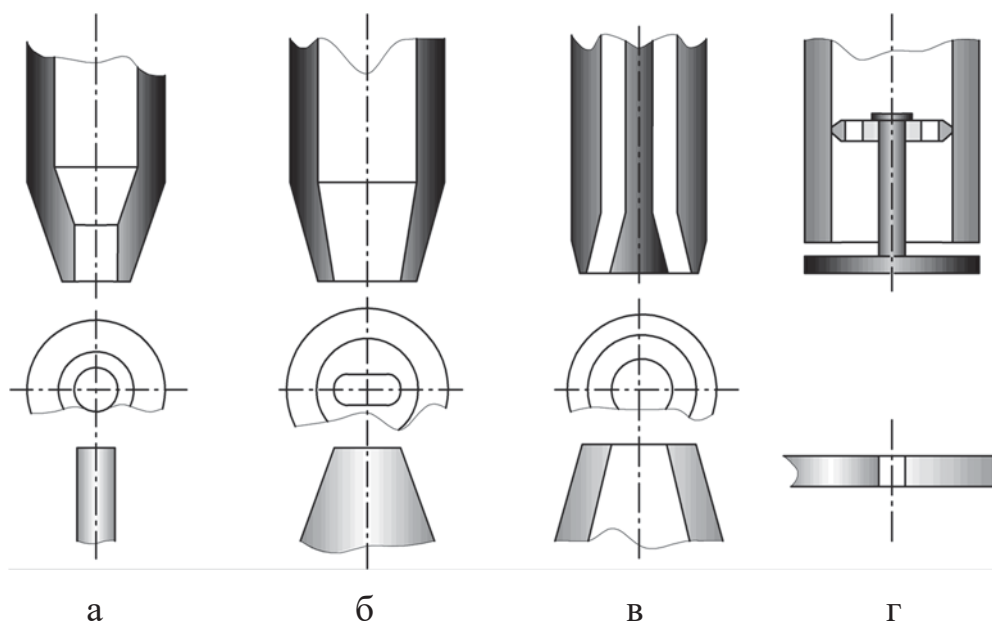


Рисунок 1.23 – Формы сопловых канавок и образующихся струй в струйных форсунках: а – цилиндрическое сопло (цилиндрическая струя), б – щелевидное сопло (плоская веерная струя), в – кольцевое сопло (плоская коническая струя), г – сопло в виде круговой прорези (радиально расширяющаяся струя)

Работа дождевателей с соударением струй основана на взаимодействии между собой нескольких струй, вытекающих из соответствующих насадков (рис. 1.24). Из точки столкновения результирующий поток подается в радиальной плоскости, образуя плоскую пленку, распадающуюся на капли. При соударении цилиндрических струй образуется плоский веерный факел, аналогичный факелу струйного дождевателя с щелевым соплом. При соударении плоских струй форма сечения факела близка к прямоугольной. Размеры факела и распределение жидкости в нем можно регулировать, изменяя параметры исходных плоских струй, их число и угол соударения.

В ударно-струйных дождевателях (дефлекторных) распыливание обеспечивается ударом струи о расположенный напротив сопла отражатель (рис. 1.25). Конфигурация отражателя задает факел в виде одиночного полого конуса или в виде нескольких конусов встроенных друг в друга.

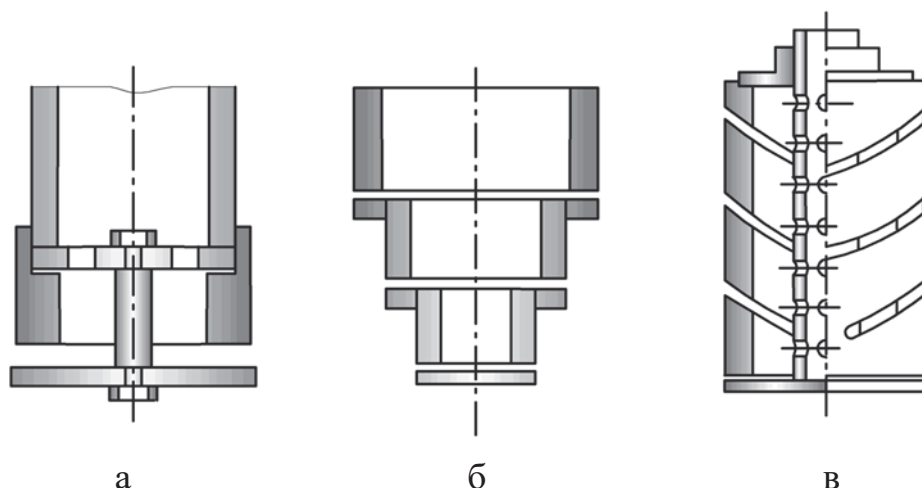


Рисунок 1.24 – Схемы струйных форсунок с соплом в виде круговой прорези: а – одноплечная, б – многоплечная; в – спиральная

Процесс распыливания, независимо от конструктивной схемы при этом, состоит из следующих фаз: течения жидкости в струе, течения в пленке по поверхности отражателя, срыва пленки с этой поверхности и распада на капли (распыла).

Центробежные насадки (рис. 1.26) имеют либо тангенциальные входные отверстия, либо направляющий шнек, задающие подаваемой жидкости вращательное движение. В сопловом канале жидкость движется вдоль его стенки в виде

тонкой пленки, а центр заполняет образующийся воздушный вихрь. При истечении из сопла пленка сходит в виде полого конуса.

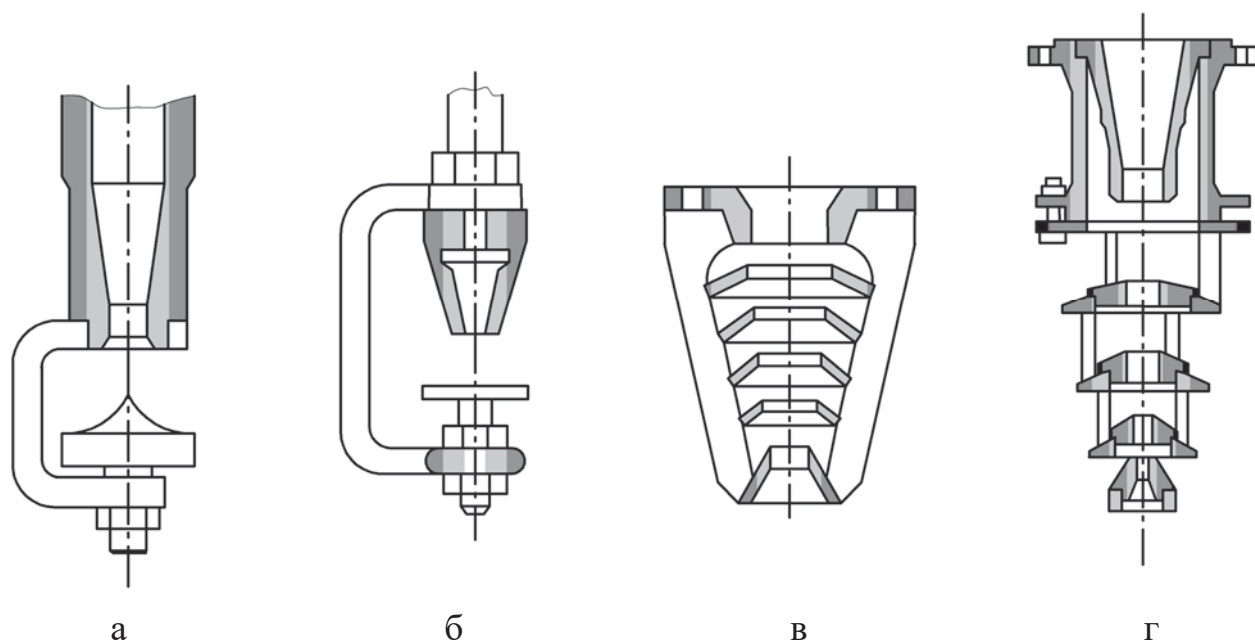


Рисунок 1.25 – Схемы ударно-струйных форсунок со сплошным отражателем (а, б) и каскадных (в, г)

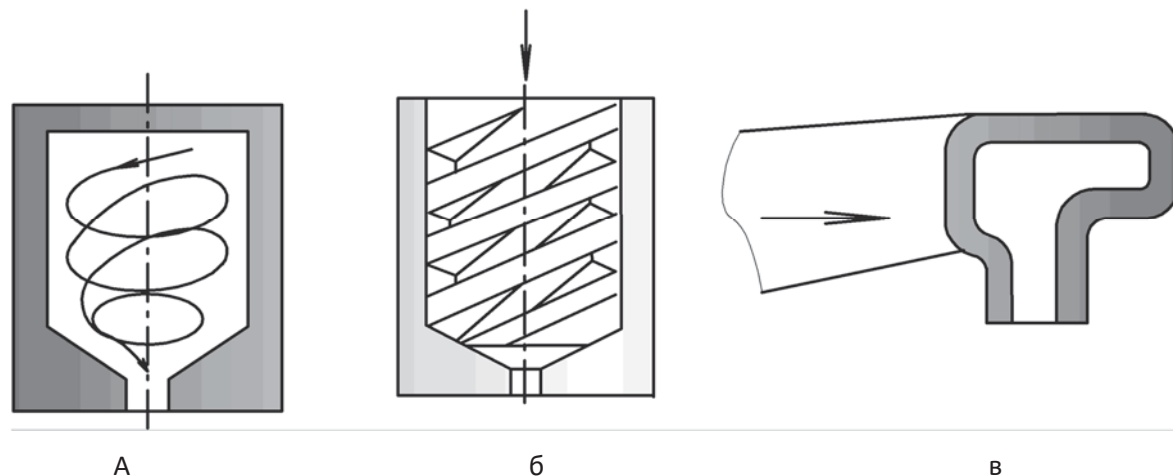


Рисунок 1.26 – Схемы центробежных форсунок: а – тангенциальная; б – шнековая; в – эвольвентная

### ***Конструктивные схемы рассекателей потока жидкости***

Рассекатели потока жидкости в общем виде можно разделить на две основные категории: статические и вращающиеся.

Форма рассекателя определяется требованием создания равномерной тонкой пленки и образования факела распыла. От формы рабочего элемента зависит ре-



жим течения, степень турбулизации, внутренние пульсации, а соответственно качество распыла.

Наибольшим многообразием конструктивных вариантов отличаются дисковые рассекатели (рис.1.27). Самым простым является тарельчатый диск или конусный.

Дисковые элементы создают широкий факел. Помимо гладких, в настоящее время получили распространение дисковые элементы с искусственной шероховатостью. Размер шероховатости должен быть соизмерим или превышать толщину пленки жидкости на диске и в этом случае жидкость срывается не только с периферии диска, но и с кромок шероховатостей, что увеличивает дробление потока. При этом чем ближе к оси вращения элемент шероховатости, тем меньше скорость жидкостной пленки и тем больше угол отклонения распыливаемой жидкости. Для плавного входа жидкости на диск применяется центральный конический выступ.

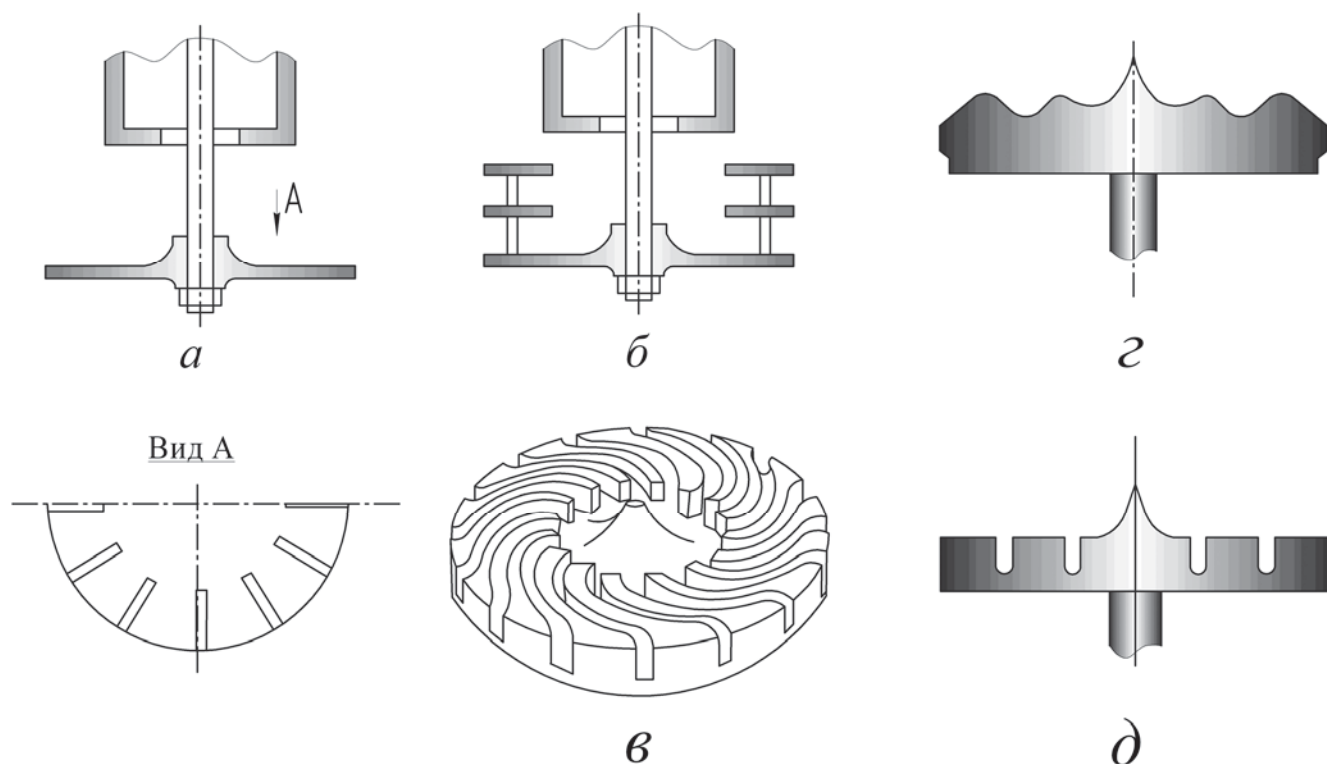


Рисунок 1.27 – Схемы распыливающих элементов: *a* – гладкий одиночный диск; *б* – лопастной, многоярусный; *в* – с криволинейными канавками-проточками прямого профиля; *г* – канавками обтекаемой формы; *д* – с канавками-проточками параболической формы

Во вращающихся дефлекторах каналы изогнуты таким образом, что жидкость сходит с них по касательной к внешнему диаметру. Создается некоторый момент силы реакции вытекающей струи, и дефлектор начинает вращаться вокруг оси. Плотность орошения можно регулировать шириной, расположением и количеством канавок, а размер орошаемой поверхности – высотой канавок и углом раствора прорези.

Частота вращения определяется параметрами нагнетаемой жидкости. При давлении жидкости выше 0,02 МПа распылитель начинает вращаться, подавая жидкость в виде пленки. Дальнейшее повышение давления приводит к увеличению числа оборотов распылителя. При давлении выше 0,07 МПа уменьшается жидкостная пленка, и распад жидкости на капли происходит непосредственно у сопла.

Многоярусный дисковый рассекатель позволяет пропорционально увеличивать единичную производительность, однако важным требованием эффективности является равномерность распределения потока по ярусам.

В настоящее время дождеватели в виде дефлекторных насадок – одно из самых перспективных направлений. Они формируют мелкокапельный дождь с небольшой высотой подъема дождевого облака. Радиус захвата дождем достигает 6-18 метров, средняя интенсивностью 0,3-0,8 мм/мин [24, 28, 29, 43, 82, 94, 109, 112, 155, 157, 159, 160, 216, 218, 219, 227].

Изготовление дождевателей в виде дефлекторных насадок из полимерных материалов, снижает их стоимость по сравнению с металлическими.

Перечисленные выше преимущества позволяют сделать вывод о перспективности их применения на ДМ кругового действия, формирующих мелкокапельный, ветроустойчивый и эрозионно-безопасный дождь.

Т.о. можно выделить следующие основные требования к дождевателям:

– обеспечение качественных показателей полива при работе на низком напоре (диаметр капель, интенсивность, ветроустойчивость, эрозионная безопасность);

- низкая стоимость;
- универсальность и унификация отдельных элементов дождевателей для различных условий эксплуатации.

При этом необходимо выделить четкий и ограниченный ряд конструктивных исполнений дождевателей для основных условий эксплуатации ДМ и строго систематизировать их под условия применения.

Факторы, влияющие на выбор дождевателя:

- характеристики почвы,
- выращиваемые культуры,
- перепады высоты на поле (необходимость использования регуляторов давления),
- режим эксплуатации,
- наличие ветра и испарения,
- внесение агрохимикатов.

### ***Устройства приповерхностного полива***

Устройства приповерхностного полива отличаются также конструктивным разнообразием и материалами (рис.1.28) [161]. Западные компании Senninger, Nelson как правило изготавливают их из коррозионностойких, устойчивых к УФ-излучению термопластов. При этом различают модели: одинарные 180°, одинарные 125° и двойные 125°, применяемые со специальными защелкивающими на шпренгелях устройствами [112, 293, 305].

Для поддержания постоянного заданного давления на выходе из дождевателя, вне зависимости от изменения давления на входе западные компании рекомендуют использовать регуляторы давления. К недостаткам их можно отнести значительную стоимость, засоряемость, узкий рабочий интервал модели и невозможность перенастройки (подавляющее большинство регуляторов не разборной конструкции), таблица 1.14 (рис. 1.29).



Одиная 180°



Двойные  
трубы-гусаки с  
углом 125°

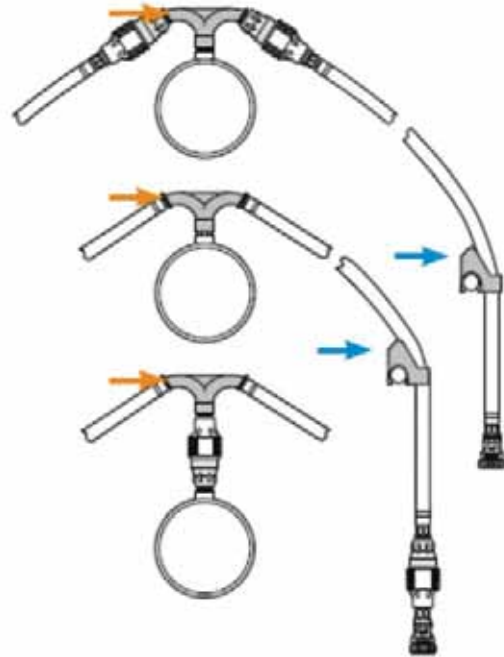
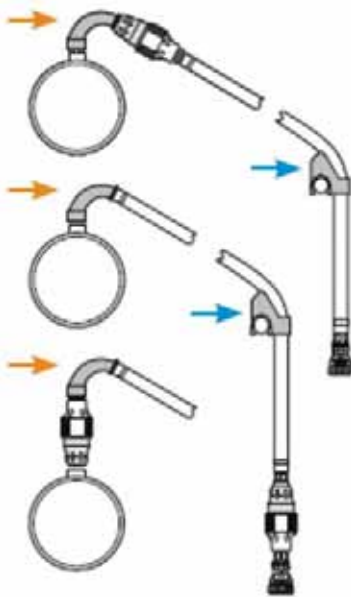
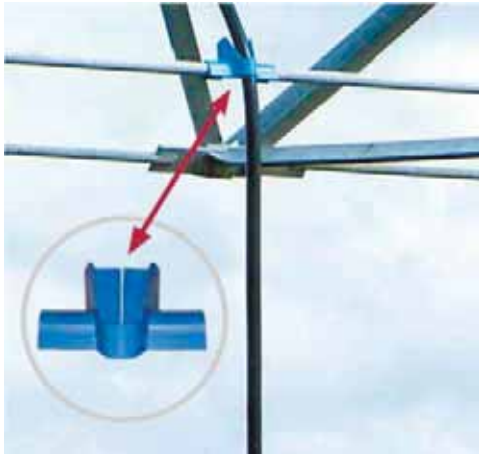


Рисунок 1.28 – Устройства приповерхностного полива

Таблица 1.14 – Технические характеристики линейки регуляторов давления «низкого и среднего расхода воды» Senninger

Модель	Заданное эксплуатационное давление, МПа	Максимальное давление на входе, МПа	Диапазон расхода воды, л/с	Модель	Заданное эксплуатационное давление, МПа	Максимальное давление на входе, МПа	Диапазон расхода воды, л/с
PRL06	0,041	0,551	0,03-0,31	PMR06MF	0,041	0,551	0,25-1,01
PRL10	0,069	0,620	0,03-0,50	PMR10MF	0,069	0,620	0,13-1,26
PRL12	0,083	0,620		PMR12MF	0,083	0,620	
PRL15	0,103	0,655		PMR15MF	0,103	0,655	
PRL20	0,138	0,689		PMR20MF	0,138	0,689	
PRL25	0,172	0,724		PMR25MF	0,172	0,724	
PRL30	0,207	0,758		PMR30MF	0,207	0,758	
PRL35	0,241	0,793		PMR35MF	0,241	0,793	
PRL40	0,276	0,827		PMR40MF	0,276	0,827	



Senninger



Senninger



Nelson



Nelson

Рисунок 1.29 – Регуляторы давления

Т.о. необходимо оценить необходимость их установки в зависимости от условий эксплуатации.

## 1.6 Критерии оценки дождевальных машин кругового действия

Технический уровень дождевальной машины – величина относительная. Она показывает, насколько изменилось значение того или иного параметра по сравнению с теми же параметрами ДМ, принятыми за эталон. При оценке технического уровня целесообразно вести сравнение с лучшими образцами аналогичных дождевальных машин.

Сравнение проводят по определенным показателям или признакам, которые выбирают в зависимости от функционального назначения изделия. Для дождевальных машин такими показателями могут быть потребляемая мощность привода, масса и габаритные размеры, соотношения длины, расхода и давления.

Основные параметры дождевальных машин определяются на этапах разработки исходных требований, технических заданий и конструкторской документации и отражают в основном общепринятые в конкретный период времени воззрения на техническое и технологическое совершенство ДМ и характеризуют также уровень производства.

Дождевальную машину проще всего рассматривать как объект проектирования по требованиям, предъявляемым параметрами среды.

Процесс создания машины можно представить как взаимодействие между основными классификационными признаками определяющими машину в концепции ее создания. Как видно из рисунка 1.30, концептуальная цепь технических показателей машины (вес, форма, размер, мощность) подвержена воздействию со стороны требований среды и должна быть согласована с показателями уровня развития данных технических средств.

Причем категории «вес, форма, размер» определяют общее понятие «конструкция». Цепь продолжается связью «конструкции» с мощностью, определяющей удельные показатели технических характеристик, является определяющей для характеристик «расход и затраты» и замыкается оценкой фактора целесообразности – стоимостью.

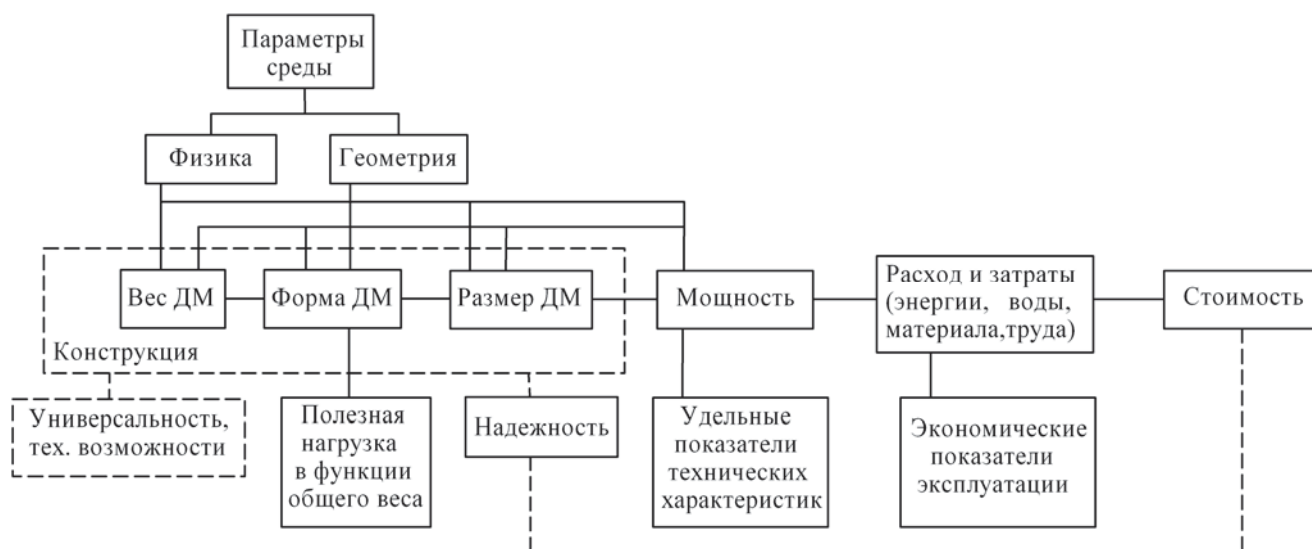


Рисунок 1.30 – Схема формирования концепции машины

Рассмотрим схему подробнее. Категорию «параметры среды» можно разделить на две основные категории: физика (например, физико-механические свойства почвы) и геометрия (геометрические параметры поля, рельеф местности, высота растений и др.)

Физико-механические свойства почвы (физика) ограничивают вес дождевальной машины, определяя ходовую систему. Размеры поливного участка, рельеф местности, высота растений – задают форму и размеры ДМ (ее длину, конструктивно-высотные свойства). Причем вес является лимитирующим фактором. Совершенство формы конструкции определяет полезную нагрузку в функции общего веса.

Заданные параметры ДМ через категории «вес», «форма» и «размер» определяют мощность, необходимую на привод машины. Данные три категории определяют конструкцию машины, которая характеризует надежность, универсальность и технические возможности, которые в свою очередь влияют на стоимость машины. Конструкция в целом является определяющим фактором мощности и группы «расход и затраты», поскольку она определяет расход энергии, воды, материалов на изготовление самой конструкции, затрат труда на обслуживание. «Конструкция» и «мощность» и определяют показатели уровня качества и

возможности ресурсосбережения как при изготовлении самой машины, так и в процессе эксплуатации.

После обработки концептуальных представлений формируются конкретные требования к дождевальная машине, ее параметрам и режимам функционирования (рис. 1.31). Цепь выработки требований к машине представляет собой последовательность взаимодействий, связанных с условиями среды, формирующими потребности в машине, и формирующими сами технические требования к машине.

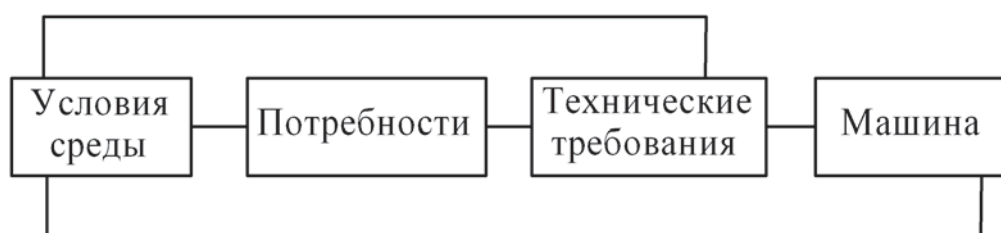


Рисунок 1.31 – Схема формирования требований к параметрам машины

### *Свойства ДМ и способы их оценки*

Все потребительские, технико-экономические и эксплуатационные свойства машины создаются ее конструкцией, теми или иными узлами и агрегатами.

Необходимо найти способ связи между принимаемыми конструктивными решениями отдельных узлов и их последствиями, возможностями ресурсосбережения и ограничивающими (лимитирующими) факторами (рис. 1.32).

Из рисунка 1.32 видно, что при создании дождевальных машин вопрос ресурсосбережения касается в основном снижения металлоемкости и стоимости. Оптимизация металлоконструкции (основная опора, ферма, водопроводящий трубопровод, опорные тележки) следует рассматривать с позиции экономии материальных и финансовых затрат. Лимитирующими факторами являются в основном прочность и жесткость конструкции.



Причем, при рассмотрении основной опоры и опорных тележек лимитирующим фактором помимо этого являются конструктивно-высотные свойства машины.

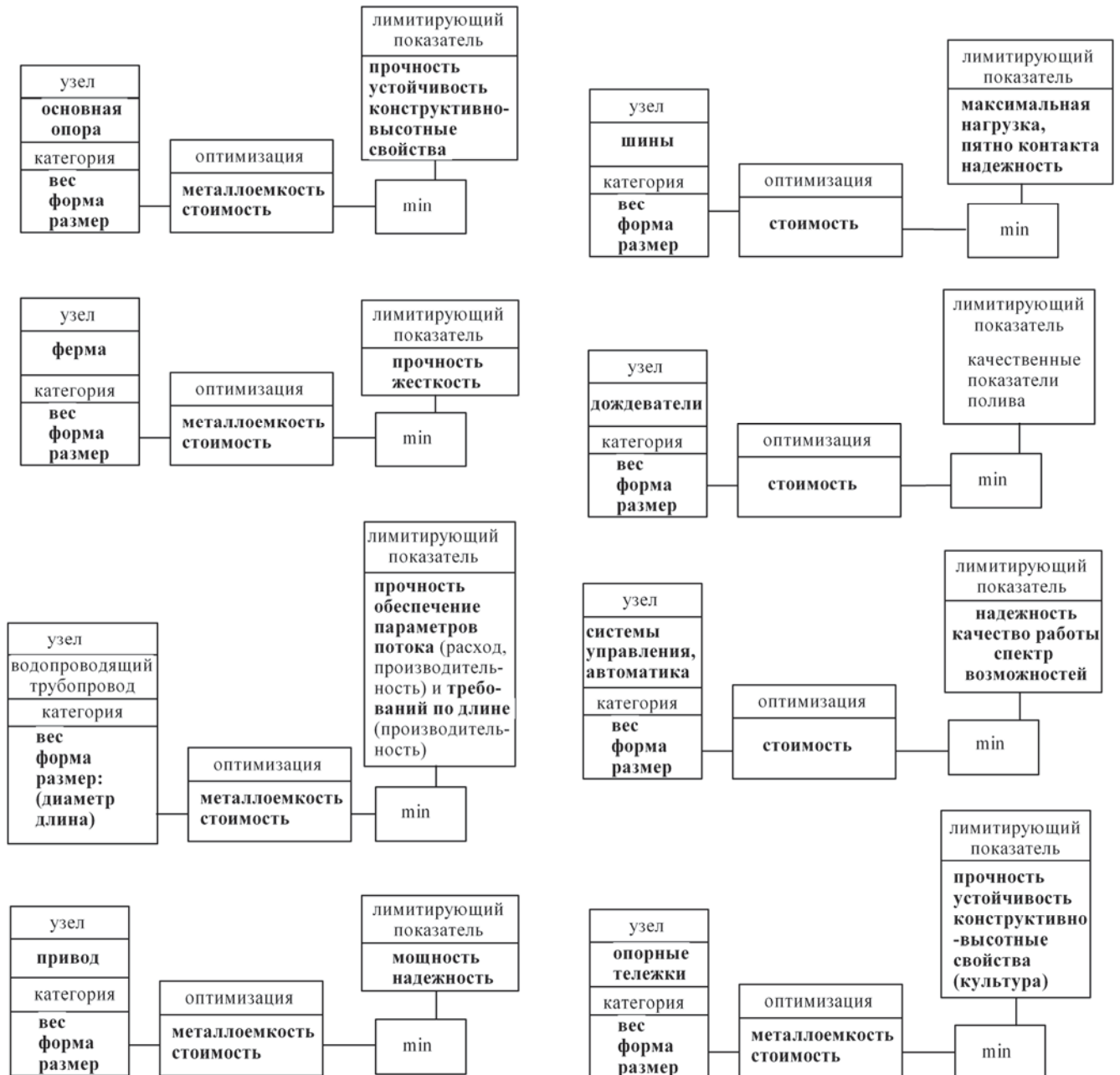


Рисунок 1.32 – Оптимизация параметров по узлам машины

При оценки водопроводящего пояса машины лимитирующими факторами снижения показателей «вес, форма размер» являются обеспечение параметров потока жидкости и общая длина машины, что требует более подробного рассмотре-

ния методики гидравлического расчета водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин.

Категория «шины» при снижении себестоимости ограничивается показателями «максимальная нагрузка на колесо и пятно контакта», влияющее на удельное давление, колею, а соответственно другие сопутствующие свойства.

При рассмотрении дождевателей необходимо ориентироваться на достижение максимальных характеристик и качества полива при минимальных затратах и оценить возможность выполнения их из полимерных материалов.

Категория «привод» лимитируется фактором требуемой мощности и надежность и сводится к рациональному выбору агрегатов.

При рассмотрении категории «система автоматики и управления» необходимо ориентироваться на обеспечение надежности выполнения технологического процесса. Расширение же технологических возможностей следует рассматривать как дополнительные опции по требованию.

### ***Критерии оценки ДМ кругового действия***

Проектируемые в настоящее время дождевальные машины не могут считаться универсальными, пригодными для всего разнообразия почвенно-климатических условий, культур, рельефов. Конструктивно-технологические особенности ДМ должны выбираться из предполагаемых условий эксплуатации, организационно-хозяйственных условий, структуры севооборотов, естественной увлажненности территории, экологического состояния земель, обеспеченности энергетическими и трудовыми ресурсами, на основе наиболее значимых, первостепенных требований.

Однако следует выделить комплекс показателей технического уровня качества дождевальных машин и критерии оптимизации, по которым имеется возможность ранжирования техники, согласно которым применимость сравниваемых видов ДМ будет научно обоснована (рис. 1.33).

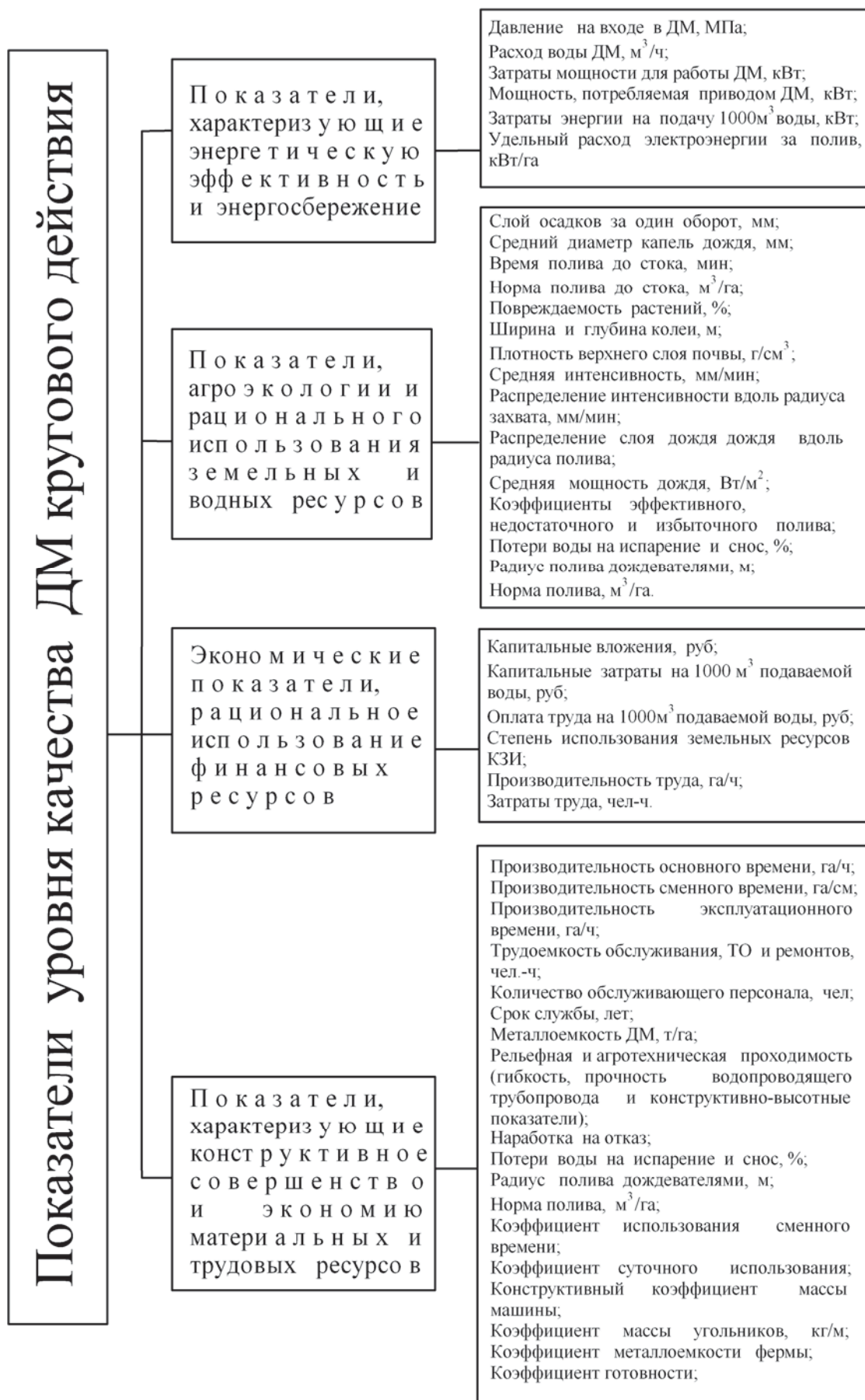


Рисунок – 1.33 Показатели уровня качества ДМ

Критерии оценки уровня ДМ можно условно разделить на четыре блока с однородными показателями:

1 – показатели, характеризующие энергетическую эффективность и энерго-сбережение;

2 – показатели агроэкологии и рационального использования земельных и водных ресурсов;

3 – экономические показатели и рациональное использование финансовых ресурсов;

4 – показатели, характеризующие конструктивное совершенство и экономию материальных и трудовых ресурсов.

Рассматривая все показатели, можно разделить их также на группы, которые стремятся к минимуму, имеющие широкие граничные условия и к максимуму, табл. 1.15.

Для оценки гидравлической эффективности ДМ принимаем следующие показатели, таблица 1.16.

За показатель гидравлической эффективности примем гидравлический (пьезометрический) уклон, характеризующий потерю напора на единицу длины.

Гидро модуль дождевальная машины,  $m_T$  – отношение расхода, л/с к площади полива, га.

Таблица 1.15 – Показатели дождевальных машин

Наименование показателя	Размерность	Критериальное значение
1	2	3
Энергоемкость орошения в расчете на 1000 м <sup>3</sup> поданной воды, $N_{op}$	кВт · ч/1000м <sup>3</sup>	→ min
Удельный расход энергии на полив, Э	кВт/га	→ min
Затраты мощности для работы дождевальной машины, $N_{SP}$	кВт	→ min
Расход ДМ, $Q_0$	м <sup>3</sup> /ч	→ min
Металлоемкость ДМ, М,	т/га	→ min
Конструктивный коэффициент массы машины, $K_{ККМ}$		→ min

1	2	3
Коэффициент массы угольников, $K_{УГ}$		→ min
Коэффициент металлоемкости фермы, $K_{ФП}$		→ min
Трудоемкость обслуживания, ТО и ремонтов	чел.-ч	→ min
Затраты труда, $Z_T$	чел.-ч	→ min
Оплата труда на 1000 м <sup>3</sup> подаваемой воды,	руб	→ min
Капитальные вложения на 1000 м <sup>3</sup> воды $\Pi_{1000КАП}$	руб/1000 м <sup>3</sup>	→ min
Капитальные вложения $\Pi_{КАП}$	руб	→ min
Коэффициенты: недостаточного $K_{НП}$ и избыточного полива $K_{ИЗ П}$		→ min
Средняя мощность дождя, $N_{УД}$	Вт/м <sup>2</sup>	→ min
Средняя интенсивности дождя, $\rho_{ср}$	мм/мин	→ min
Плотность верхнего слоя почвы,	г/см <sup>3</sup>	→ min
Ширина и глубина колеи, $H''$ , $B_K$	м	→ min
Повреждаемость растений,	%	→ min
Давление на входе в ДМ, $P_B$	МПа	→ min
Количество обслуживающего персонала,	чел	→ min
Потери воды на испарение и снос,	%	→ min
Норма полива до стока, $m_{дост.}$	м <sup>3</sup> /га	→ max
Время полива до стока $t$ ,	мин	→ max
Степень использования земельных ресурсов КЗИ		→ max (КЗИ ≥ 0,97)
Наработка на отказ	ч	→ max
Производительность труда $\Pi_T$	га/ч	→ max
Производительность: – основного времени, – сменного времени.	га/ч га/см	→ max
Срок службы	лет	→ max
Коэффициент готовности ДМ к работе, $K_T$		→ max ( $K_T \geq 0,96$ )
Коэффициент использования сменного времени ДМ $K_{СМ}$		→ max ( $K_{СМ} > 0,95$ )
Коэффициент использования суточного времени ДМ $K_{СУТ}$		→ max ( $K_{СУТ} > 0,90$ )
Коэффициент эффективного полива $K_{ЭП}$		→ max ( $K_{ЭП} > 0,85$ )
Слой осадков, $h_{ос}$	мм	
Средний диаметр капель $d_{ср}$	мм	$d_{ср} \leq 1,5$

Таблица 1.16 – Показатели гидравлической эффективности ДМ

Наименование показателя	Размерность	Критериальное значение
Давление на входе в машину: для ДМ типа «Кубань», для ДМ типа «Фрегат»	МПа МПа	0,3-0,45 0,6-0,7
Гидравлический уклон		→ min
Гидромодуль $m_{г}$	л/с/га	→ 1,0

### 1.7 Проблемная ситуация, выводы, направления исследований

1. Важнейшим фактором повышения конкурентоспособности современных широкозахватных дождевальных машин является широкое применение ресурсосберегающих технологий, т.е рациональное использование водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов.

2. Ресурсосбережение при создании ДМ, обеспечение эффективной и производительной работы в различных условиях эксплуатации, при различных требованиях к режимам работы, на полях, имеющих значительную изменчивость физико-механических свойств почвы, представляет собой сложную техническую задачу оптимизации всех параметров, определения их взаимозависимостей, зависимостей от внешних факторов и требует решения комплекса научных и практических задач.

3. Конструктивно-технологические особенности широкозахватных дождевальных машин должны выбираться из предполагаемых условий эксплуатации, организационно-хозяйственных условий, структуры севооборотов, естественной увлажненности территории, экологического состояния земель, обеспеченности энергетическими и трудовыми ресурсами, для чего были определены наиболее значимые требования и критерии качества.

4. Эффективное использование водных ресурсов и качество дождевания обеспечивается за счет мелкокапельной структуры дождя, его равномерного распределения по орошаемой площади, исключения лужеобразования от стока воды по поверхности орошения, а также минимальных потерь на испарение и снос ветром, что требует дальнейшего совершенствования дождеобразующих устройств и схем их расстановки. При этом необходимо выделить четкий и ограниченный ряд конструктивных исполнений дождевателей для основных условий эксплуатации ДМ и строго систематизировать их под условия применения.

5. Оценка и выбор таких показателей как длина пролета, конструктивно-высотные свойства, конструкция фермы и диаметры водопроводящего трубопровода, выбор ходовых систем необходимы на стадии их проектирования или последующего выбора модификации или компоновки машины, для чего должны быть разработаны четкие рекомендации и критерии оценки.

6. В настоящее время в мелиоративной отрасли ощущается значительная нехватка современной и высокоэффективной отечественной дождевальной техники. Необходимо усовершенствование уже существующих ДМ в низконапорные экономичные модификации, а также разработка новых высокоэффективных дождевальных машин, отвечающих современным требованиям.

Исходя из вышеизложенного, научной проблемой является теоретическое обоснование параметров, обобщение основных закономерностей и конструктивно-технологических решений при создании дождевальных машин кругового действия, обеспечивающих высокое качество и ресурсосбережение при поливе.

Обобщенно схема проведения исследований и полученные результаты представлена на рисунке 1.34.

В конечном счете, это позволит обеспечить ресурсосбережение при проектировании и работе дождевальных машин, усовершенствовать существующие и разработать и создать новые, обеспечивающие в различных условиях экологически-безопасные и эффективные технологии полива.

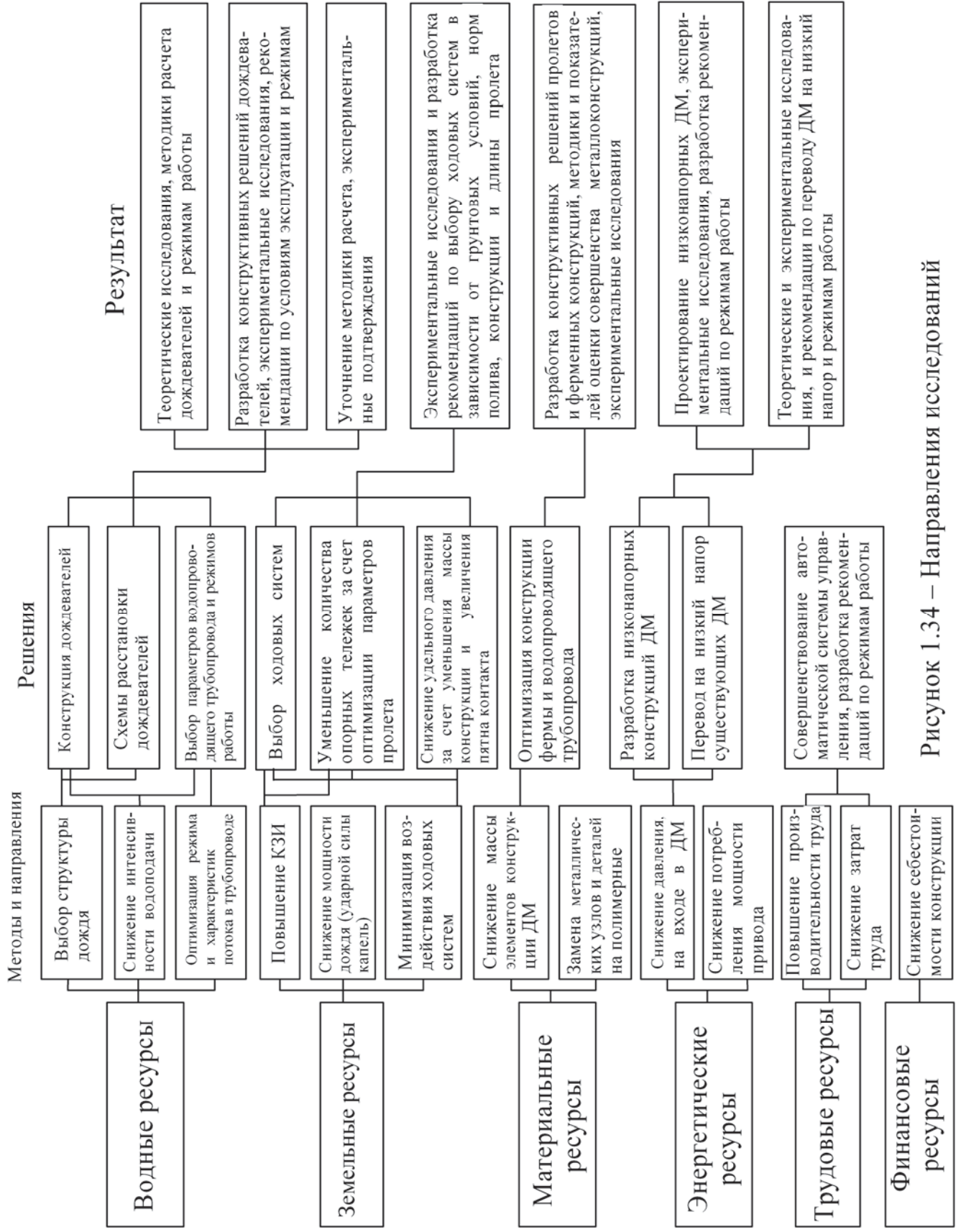


Рисунок 1.34 – Направления исследований



## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

### 2.1 Этапы создания дождевальных машин

Процесс разработки новых образцов дождевальной техники включает в себя много этапов, основными из которых являются: выполнение научно-исследовательских (НИР), опытно-конструкторских (ОКР) и технологических работ, опытное производство, а также выпуск первой промышленной партии (рис. 2.1).

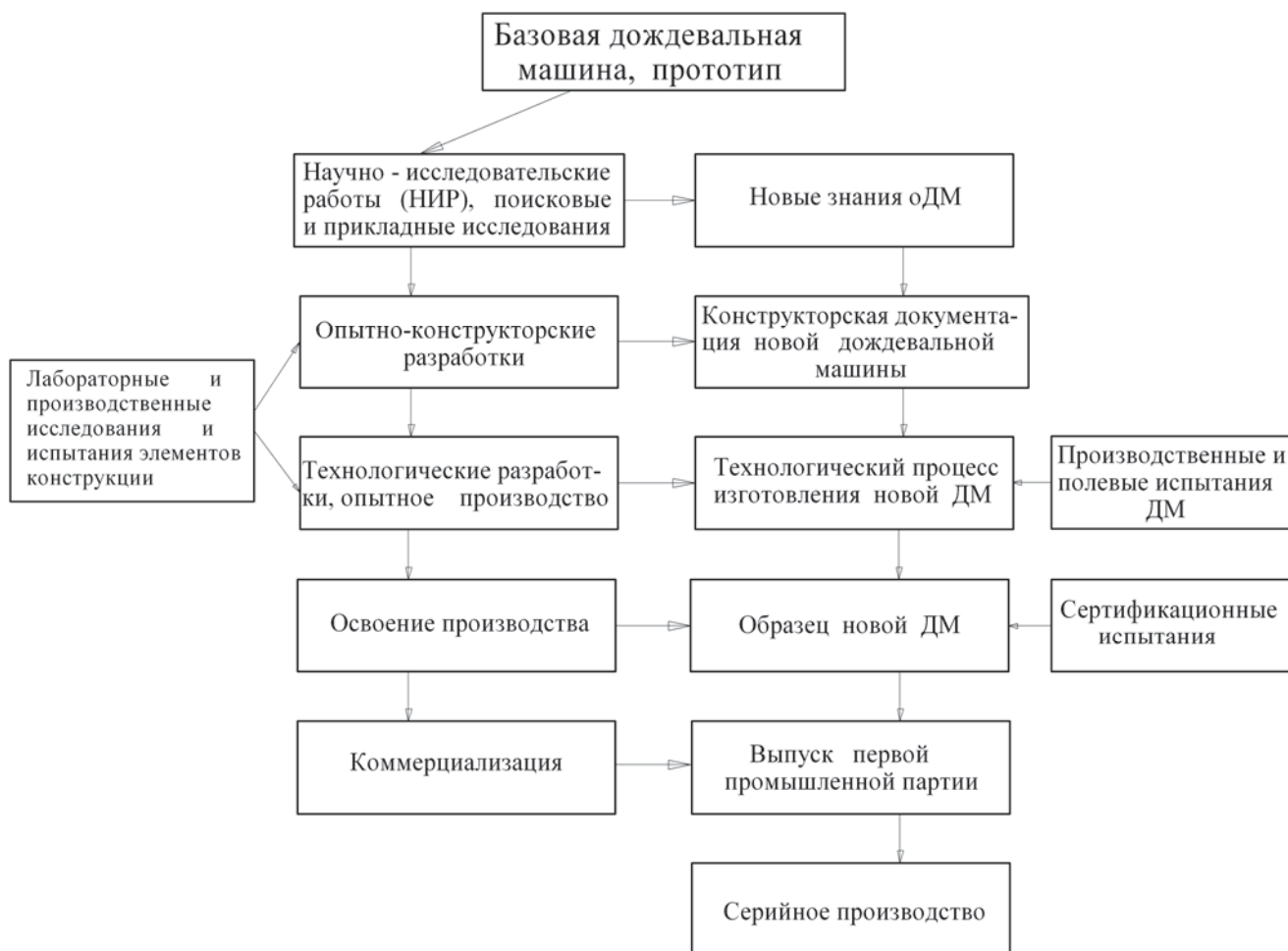


Рисунок 2.1 – Схема циклов процесса создания новой ДМ

Степень новизны дождевальнoй техники, при этом, может быть разной:

- конструкции усовершенствованные и частично измененные;
- принципиально новые конструктивные решения;
- частично измененные технологические процессы, повышающие эффективность работы машины.

Как правило, целью исследования является поиск новых конструктивных решений, превосходящих уже существующие по основным технико-экономическим качествам. Тем не менее, при разработке даже новой конструкции опираются на уже существующие.

За последнее десятилетие значительно повысились технико-экономические показатели дождевальных машин, увеличивается степень автоматизации, эксплуатационная надежность, появляются новые машины одинакового назначения, но принципиально иных конструктивно-компоновочных схем.

Выбору параметров должно предшествовать полное исследование всех факторов, определяющих конкурентоспособность машины. Необходимо изучить опыт выполненных зарубежных и отечественных машин, провести сравнительный анализ их достоинств и недостатков, выбрать правильные прототипы, выяснить тенденции развития и потребности данной отрасли сельского хозяйства.

Рассмотрев варианты технологических процессов, необходимо выбрать наиболее экономичный из вариантов. Поэтому выбор ресурсосберегающего технологического процесса заключается в оптимизации каждой операции по минимуму потребления материальных, трудовых, энергетических ресурсов (рис. 2.2).

Важным показателем является снижение себестоимости, связанное с применением лучшего технологического процесса. Для упрощения расчетов экономии определяется и сопоставляется не полная, а технологическая себестоимость, включающая только те элементы затрат на изготовление, величина которых различна для сравниваемых вариантов.

Заключительным этапом является подбор режима работы машины, обеспечивающего наибольшую экономию ресурсов. Для дождевальных машин это режимы обеспечивающие наиболее экономное расходование воды и электроэнергии.



Рисунок 2.2 – Ресурсосбережение на этапах создания

## 2.2 Разработка новых образцов дождевальнoй техники

Новые эффективные технические средства полива были апробированы и внедрены в СГАУ имени Н.И. Вавилова совместно с ООО «Мелиоративные машины» при участии автора.

Этапы создания и модернизации дождевальных машин включали в себя этап исследовательских работ и поисково-прикладных исследований, на котором были запатентованы ряд дождевателей и других устройств [175-184, 187-188] Приложение 1.

На этапе опытно-конструкторских работ были созданы чертежи новых конструкций ДМ и опытных образцов, элементов конструкций, макеты, опытный образец машины (рис. 2.3-2.4).

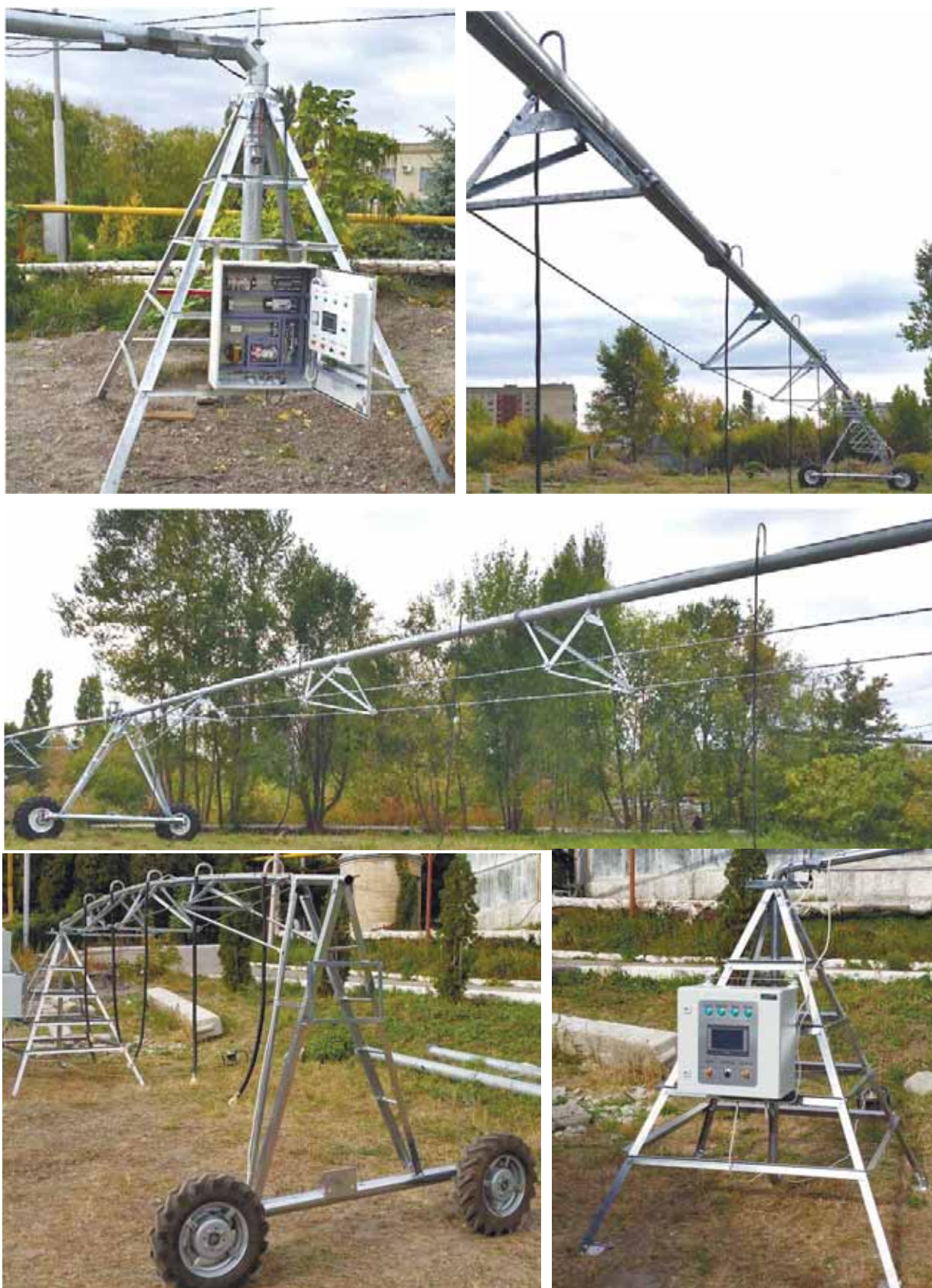


Рисунок 2.3 – «Кубань-ЛК1М» (опытный образец) и демонстрационный макет машины



Рисунок 2.4 – Элементы конструкции «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

На этапе освоения производства были разработаны: кондукторы для изготовления водопроводящего трубопровода, обеспечивающие точность размеров и пространственную ориентацию элементов креплений, водоотводов, фланцев (рис. 2.5), а для изготовления опорных тележек, обеспечивающие точность установки редукторов, необходимые углы наклона балок и др. (рис. 2.6).



Рисунок 2.5 – Кондуктор изготовления водопроводящего трубопровода



Рисунок 2.6 – Кондуктор изготовления опорных тележек



Рисунок 2.7 – Монтаж «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)



Первой моделью ДМ стала «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) с техническими характеристиками представленными в таблице 2.1 (рис. 2.7- 2.8).

Таблица 2.1– Основные технические характеристики машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД»

Наименование показателей	Показатель	
	1	3
Условное наименование	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	«КАСКАД»
Привод передвижения машины	Колесная, многоопорная, электрифицированная, кругового перемещения, с забором воды от закрытой оросительной сети или из скважины	
Источник питания	Электромеханический, реверсивный, индивидуальный для каждой тележки, от мотор-редуктора	
Скорость движения последней тележки, регулируемая в пределах, м/с, (м/мин)	Внешняя трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью номинальным напряжением 380 в, 50 гц	
Дорожный просвет, мм, не менее	1,6x10 <sup>-3</sup> (0,1) – 30,0x10 <sup>-3</sup> (1,8)	
Расстояние от поверхности земли до нижнего пояса металлоконструкции, м	450	
Комбинированность	2,7	2,8 – 2,9
Механическая повреждаемость растений, %, не более	Могут вноситься жидкие и растворимые минеральные удобрения, химелиоранты, почвенные гербициды	
Способ дождевания	1,0	
Тип водопроводящего трубопровода	В движении машины по кругу по направлению и против направления движения часовой стрелки	
Диаметры водопроводящего трубопровода, мм	Секционный, ферменной конструкции	
Диаметры труб консоли, мм	159	219, 203, 168, 159, 133
Длины пролетов, м	133	133, 114, 108, 89
	48,7	48,7; 53,7; 59,5; 65,25

1	2	3
Количество опорных тележек, шт	1-10	1-10 (8 пролетов по 65,25 м и консоль 31м)
Максимальная длина машины, м (с консолью 31м)	518	553
Диаметры стояка неподвижной опоры, мм	168, 203	168; 203; 219; 244,5; 273
Колесная база	3700	3700, 4200
Максимальная длина консоли, м	31	31
Остановка машины в заранее заданном оператором месте	автоматическая	
Расход воды при нулевом общем уклоне, л/с	до 90	
Давление воды на входе в машину МПа при длине 500 м	0,43	
Колеса самоходных тележек:	пневматические, камерные по два колеса на каждой тележке	
Мотор-редукторы	УМС	
Колесные редукторы самоходных тележек, тип	червячные	
Расположение органов оперативного управления	– щит управления на неподвижной опоре; – дистанционный пульт управления внешней оросительной системы	
режимы работы машины GSM управление	– в движении с поливом; – в движении без полива (перегон) опция	
режимы движения машины	непрерывный, старт-стопный (программный)	
Интенсивность дождя средняя, мм/мин не более	0,66	
Норма полива за проход (в пределах регулирования), м <sup>3</sup> /га	95-600	
Минимальное время полного оборота машины, ч, при максимальной длине 500 м	32,8	
Ходовые системы	с возможностью регулировки угла поворота и поворота при буксировки как опция	



Рисунок 2.8 – «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) в работе

На этапе сертификации были проведены приемочные испытания «Поволжской государственной зональной машиноиспытательной станцией» (г. Кинель) (протокол №08-11П-2016 от 11 ноября 2016 г) и сертификационные испытания испытательным центром «Поволжский Агротех Тест Центр» (протокол №37-19-2016 от 3 августа 2016 г) [199, 200], в результате которых был получен сертификат Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» (Приложение 2).

Развитие и совершенствование машины получило при разработке серии ДМ «КАСКАД» с усовершенствованной конструкцией фермы, системы креплений, опорных тележек и увеличенными пролетами 59,5 и 65,2 м при диаметре трубопровода 159 мм (рис.2.9).

В настоящий момент пролет 65,25 м с трубой диаметром 159 мм – самый длинный пролет с одноточечной схемой креплений шпренгелей в отрасли. Пролет на 0,32 м длиннее Reinke и имеет большее сечение трубопровода, а соответственно и производительность. Самый длинный пролет Reinke 64,93 м, где в качестве трубопровода используются трубы диаметром 152 мм.



Рисунок 2.9 – Дождевальная машина КАСКАД в работе

Максимально допустимые уклоны местности:

стандартная колесная база: продольный уклон – 8-10% (зависит от длины пролета и диаметра трубопровода); поперечный уклон – до 12%.

расширенная колесная база: продольный уклон – 10-14%;

поперечный уклон – до 14%.

Максимальная высота трубопровода над землей 4800 мм.

На ДМ «КАСКАД» был также получен сертификат Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» (Приложение 3).

## **2.3 Разработка низконапорных дождеобразующих устройств**

### **2.3.1 Краткий обзор исследований конструктивных и технологических параметров дождеобразующих устройств. Направления совершенствования**

Как было сказано ранее, сбережение водных и земельных ресурсов зависят в первую очередь от улучшения качества полива, повышения равномерности увлажнения поливной площади, снижения интенсивности водоподдачи, и определяются совершенством конструкции дождеобразующих устройств, правильным выбором конструктивного исполнения и основных параметров в зависимости от условий эксплуатации.

Подбору основных параметров дождеобразующих устройств посвящены работы многих ученых [22, 24, 35, 40, 59, 64, 86, 137, 170, 216, 265, 304] и др.

Основными вопросами исследования при дождевании являются: расход воды через сопло, радиус полива, средняя интенсивность дождя, распад струи на капли, испарение при дождевании, снос ветром и др.

Величина расхода воды и значения коэффициента расхода дождевателей рассмотрены в работах Б.М. Лебедева [137], Н.Ф. Рыжко, [214, 216-219], М.А. Бубенчикова [24], Б.А. Васильева [29], В.Е. Хабарова [270] и др.

По данным Б.М. Лебедева [137] коэффициент расхода можно принять равным  $\mu=0,8$  – для дождевателей в виде насадок, кромка которых имеет фаску и  $\mu = 0,9$  если, у насадок кромка отверстия закруглена.

Определение радиуса полива, влияние скорости ветра на величину радиуса полива и площадь захвата исследовали Н.П. Бредихин [22], Н.Ф. Рыжко [216-219], В.В. Вуколов [35] и др.

Для дождевателей в виде дефлекторных насадок радиус захвата дождем при  $0,2 < H_D/d_D < 2,0$  рекомендуется определять по известной формуле Б.М. Лебедева [137]:

$$R' = \frac{H_D}{0,43 + 1,4 \frac{H_D}{d_0}}, \quad (2.1)$$

где  $R'$  – радиус захвата дождем, м;

$H_D$  – напор перед дождевателем, м вод. ст.;

$d_0$  – диаметр сопла дождевателя, мм.

Исследования показывают, что значения расхода воды и радиуса захвата дождем, зависят главным образом от напора, диаметра сопла, формы, размеров и формы дефлектора.

Общей проблемой является то, что в исследованиях приводятся данные частного характера для конкретных типов дождевателей и режимов работы и условий проведения эксперимента, большая часть полученных данных основывается на эмпирических зависимостях.

Вопросы распределения интенсивности дождя вдоль радиуса захвата дождевателем и расстановки дождевателей, определения рационального расстояния между ними рассмотрены Б.М. Лебедевым [137], А.Г. Васильевым [29], Н.Ф. Рыжко [216], Б.П. Фокиным [267] и др.

Многочисленные исследования были посвящены исследованию величин испарения при дождевании. Причем результаты исследований значительно отличаются в границах от 2 до 30%.

По данным [64] потери воды на испарение и снос при поливе при скорости ветра 1...2; 1,5...2,0; 2...3; 3...5 м/с составляет соответственно 13,7; 13,3; 17,6; 19,0 %.

Таким образом, в настоящее время накоплен достаточно большой опыт по определению параметров дождеобразующих устройств различных типов машин и дождевателей.

Тем не менее, нет обобщенного принципа расчета, критериев оптимизации конструкции дождеобразующих устройств и их применимости в зависимости от

метеорологических условий, расположения их на водопротяжном трубопроводе машины, и это является актуальной задачей.

Основные факторы, влияющие на выбор параметров дождеобразующего устройства, можно разделить на две категории:

– природные факторы (климат, ветровой режим, тип и физико-механические свойства почвы, выращиваемые культуры);

– хозяйственные (производственные) факторы (вид дождевальной машины, определяющий напор, расположение дождеобразующего устройства на водопротяжном трубопроводе, высота установки дождевателя в дождеобразующем устройстве над поверхностью почвы).

Основными критериями оптимизации дождеобразующего устройства являются параметры самого дождевателя: диаметр сопла, форма и конструкция дефлектора, а также расположение дождеобразующего устройства по длине водопротяжного трубопровода и высота дождевателя в дождеобразующем устройстве над поверхностью почвы.

Для средних условий эксплуатации в начале трубопровода важную роль играют потери воды на испарение и равномерность полива, а в середине и конце трубопровода – норма полива до стока, интенсивность дождя, крупность капель и мощность дождя.

При выборе оптимальных параметров дождевателей, установленных на трубопроводе машины кругового действия, необходимо весь трубопровод условно разбить на участки полива с определяющими по важности показателями.

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

Рассматривая подачу воды через дождеобразующее устройство, определяющее в конечном счете радиус и качество полива, можно выделить три процесса взаимодействия (рис 2.10) [101]:

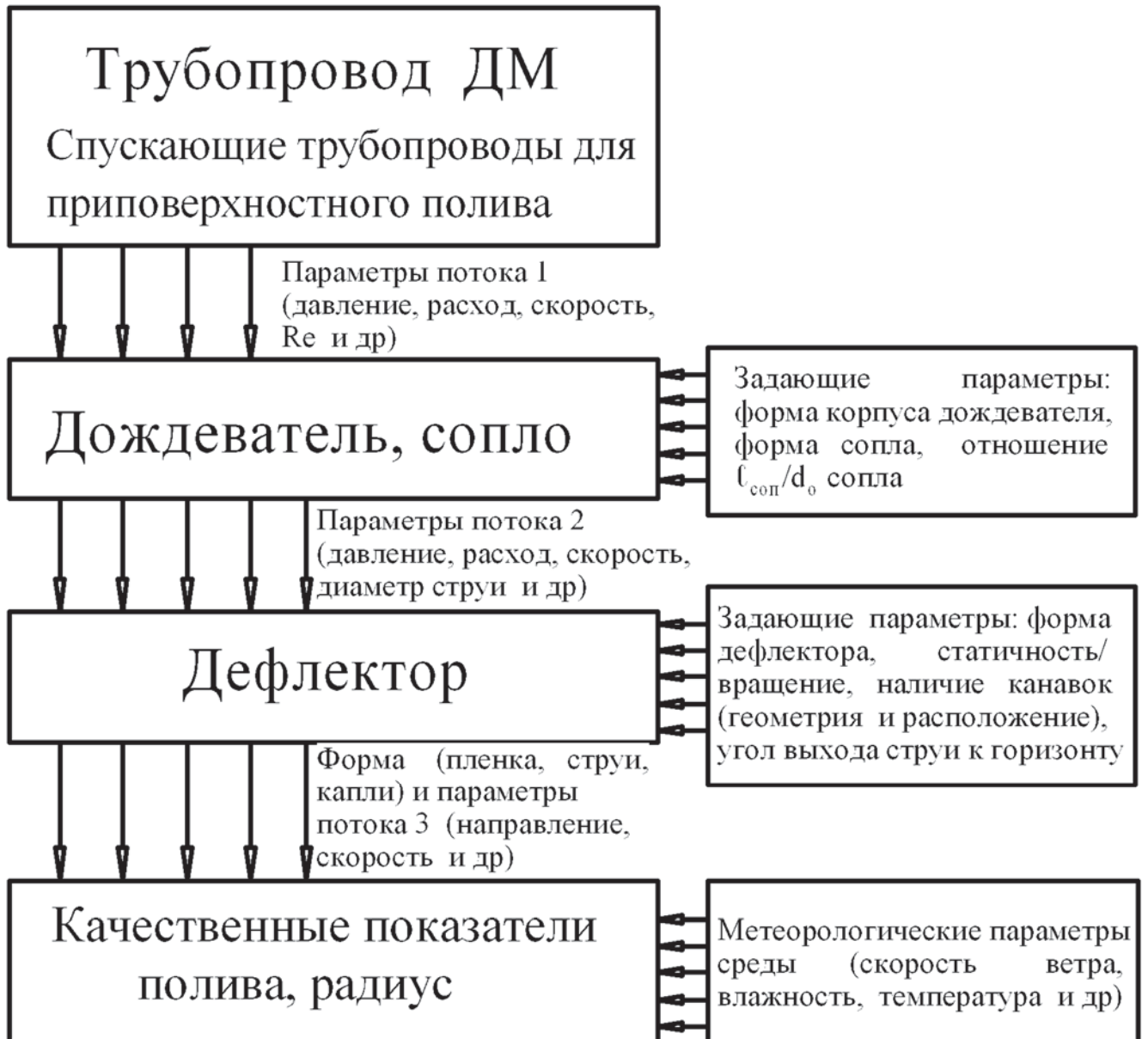


Рисунок 2.10 – Схема формирования характеристик дождя

1. Прохождение воды по корпусу и соплу дождевателя.

Входящими параметрами являются гидравлические параметры потока воды из трубопровода.

Задающим параметром является конструкция дождевателя и сопла. Основными выходными параметрами являются скорость, диаметр струи, расход воды дождевателя.

2. Взаимодействие потока воды с дефлектором.



Входящими параметрами являются параметры потока воды из сопла.

Задающими является конструкция дефлектора (форма, статичность/вращение, наличие канавок, их геометрия и расположение, угол выхода струи к горизонту.)

Основными выходными параметрами являются форма потока (пленка, отдельные струи, отдельные капли) и параметры потока (скорость, направление, диаметр капель) и др.

### 3. Сход пленки, струй или одиночных капель воды с дефлектора.

Входящим параметром является параметры схода потока с дефлектора (скорость, толщина пленки, форма).

Задающими фактором являются метеорологические параметры среды: скорость ветра, температура, влажность и др.

Рассмотрим процессы взаимодействия потока воды и дождевателя в виде дефлекторной насадки более подробно. Корпус дождевателя представляет собой цилиндр. Струя при входе из него в сопло под действием центробежных сил сжимается, причем диаметр наиболее узкого сечения струи меньше входного диаметра сопла. В зависимости от длины сопла, его формы и конфигурации входной кромки течение воды будет заметно отличаться (рис. 2.11) [173].

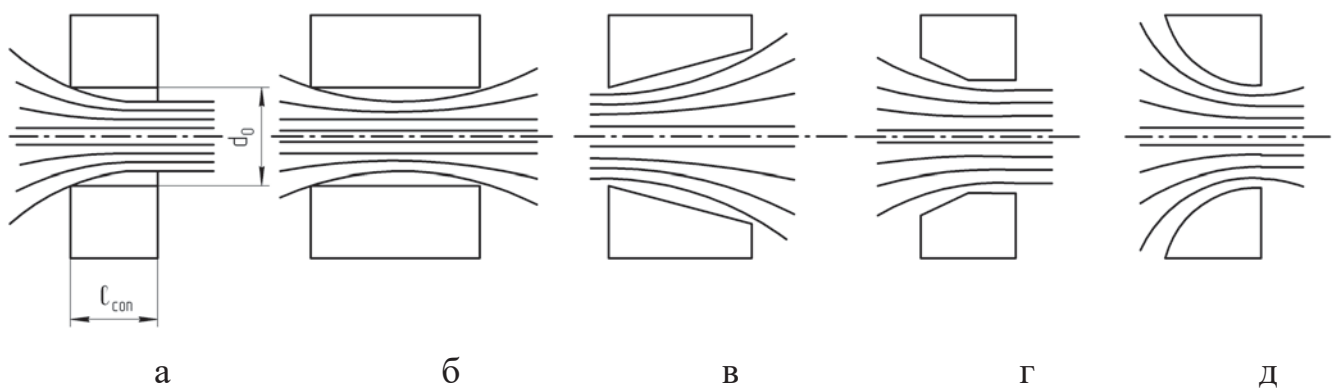


Рисунок 2.11 – Типы сопловых каналов: а – короткий цилиндрический; б – длинный цилиндрический; в – конический расходящийся; г – конический сходящийся; д – коноидальной входной кромкой

При небольшой длине сопла ( $l_{\text{соп}}/d_0 < 1,5-2$ ) струя воды не касается стенок сопла (а). Коэффициент расхода устойчив к колебаниям перепада давления

( $\mu=0,6-0,62$ ), коэффициент скорости при увеличении давления будет возрастать, а коэффициент сжатия струи уменьшаться [281], таблица 2.2.

Таблица 2. 2 – Значения коэффициентов расхода  $\mu$ , скорости  $\varphi$  и сжатия сечения  $\varepsilon$  для сопел различной формы [281]:

Сопло	$\varphi$	$\varepsilon$	$\mu$
Короткое цилиндрическое	0,97	0,64	0,62
Длинное цилиндрическое	0,82	1	0,82
Конически расходящееся *	0,45-0,5	1	0,45-0,5
Конически сходящееся*	0,96	0,98	0,94
Коноидальное*	0,98	1	0,98

\* – параметры отнесены к выходному сечению

При увеличении относительной длины  $\ell_{\text{соп}}/d_0$  ( $\delta$ ), струя, первоначально сжимается, затем расширяясь, заполняет сопловой канал. В области сжатия создается разрежение, увеличивая скорость в узком сечении; возрастает коэффициент расхода. Оптимальным является соотношение  $\ell_{\text{соп}} = (3 - 4)d_0$  [281]. При дальнейшем увеличении длины увеличиваются потери на трение.

В соплах с коническим расходящимся соплом в области сжатия струи создается более глубокое разрежение, возрастающее с увеличением угла конусности. При углах более  $5-7^\circ$  может произойти отрыв струи от стенок сопла [173]. В соплах такой формы наблюдаются значительные потери энергии – скорость истечения из них наименьшая.

Форма конически сходящихся сопел приближается к форме струи, практически устраняется сжатие и коэффициент скорости возрастает. Коэффициент расхода максимален при  $13^\circ$ .

Коноидальная форма сопла (д) практически совпадает с формой струи, обеспечивает минимальные потери энергии, но технологически более сложно в изготовлении.

Корневой угол невелик; по данным различных авторов, он находится в пределах от 5 до 20° в зависимости от типа соплового отверстия. Наименьший угол (5-10°) у форсунок с длинным цилиндрическим каналом, а также каналом, имеющим конически сходящийся (5°) или коноидальный вход [173-174].

В дальнейших исследованиях, с учетом небольшого расстояния между соплом и дефлектором, принимаем форму струи, поступающей из сопла на дефлектор, цилиндрической формы.

Рассмотрим движение жидкости, вытекающей под давлением из дождевателя.

Начальная скорость струи, м/с, определяется как [173]:

$$V_0 = \varphi \sqrt{\frac{2(P_D - P_0)}{\rho_B}}, \quad (2.2)$$

где  $P_0$  – давление атмосферы, МПа;

$P_D$  – давление на выходе из сопла дождевателя, Па;

$\varphi$  – коэффициент скорости истечения;

$\rho_B$  – плотность жидкости (воды), кг/м<sup>3</sup>.

Расход, м<sup>3</sup>/с, можно также выразить по расходу через отверстие согласно выражению [106]:

$$Q_H = \mu \omega_0 \sqrt{2gH_{ВХ}}, \quad (2.3)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;

$\omega_0$  – площадь сечения сопла, м<sup>2</sup>,

$H_{ВХ}$  – напор на входе в дождеватель, м.

Механизм дробления потока, покинувшего сопло, зависит главным образом от формы вытекающей струи и скорости.

Непосредственным рабочим элементом дождевателя, осуществляющим передачу энергии необходимую для дробления поступающей на него воды является дефлектор. Характеристики распыла – размер факела, дисперсность определяются кинематическими параметрами дефлектора, в частности диаметром, формой, окружной скоростью. Распад струи или пленки воды происходит на сходе потока с дефлектора.

Задача дефлектора – создание определенной формы схода воды, т.е. тонкой пленки или струй равномерно по всему периметру и образованию определенного факела с минимальной разницей в размерах. Дефлектор формирует режим течения, задавая степень ее турбулизации и величину внутренних пульсаций, что способствует лучшему дроблению. Эти явления в настоящее время еще недостаточно исследованы, однако прямо или косвенно наблюдаются на практике, в результате чего появилось значительное разнообразие конструкций дефлекторов.

### ***Жестко закрепленный статический гладкий дефлектор***

Важное значение имеет определение толщины водяной пленки, сходящей с дефлектора конической формы, поскольку толщина пленки влияет на ее распад и расход дефлектора. Пленка, обтекающая дефлектор, принимает устойчивую коническую форму и на некотором расстоянии распадается на отдельные капли.

В большинстве исследований толщина пленки, а также силовое взаимодействие между жидкостью и дефлектором определяется без учета сил трения [19, 21, 105, 137, 241, 280]. Т.е. толщина пленки на коническом дефлекторе и положение точки потери устойчивости пленки не зависят от скорости подачи струи жидкости на дефлектор [105, 137], что противоречит экспериментальным данным.

Рассмотрим обтекание осредненным турбулентным потоком жидкости дефлектора конической формы с углом при вершине  $2\beta$  (рис. 2.12). Принимая давление избыточным, составим уравнение Бернулли для сечений 0-0, 1-1 относительно плоскости сравнения 0-0 [78]:

$$\alpha_0 \frac{V_0^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_0 + h_f, \quad (2.4)$$

где  $h_f$  – суммарные потери напора, определяемые работой сил трения на поверхности конического дефлектора и на поверхности раздела жидкость – воздух;

$V_0, V_1$  – средние скорости движения жидкости в сечениях 0-0 площадью  $\omega_0 = \pi r_0^2$  и 1-1 площадью  $\omega_1 = \pi \delta (2r + \delta \cos \beta)$ , соответственно;

$\delta$  – толщина пленки в сечении 1-1;

$\alpha_0, \alpha_1$  – коэффициенты Кориолиса;

$r_0$  – радиус сопла дождевателя;

$r$  – радиус конического дефлектора.

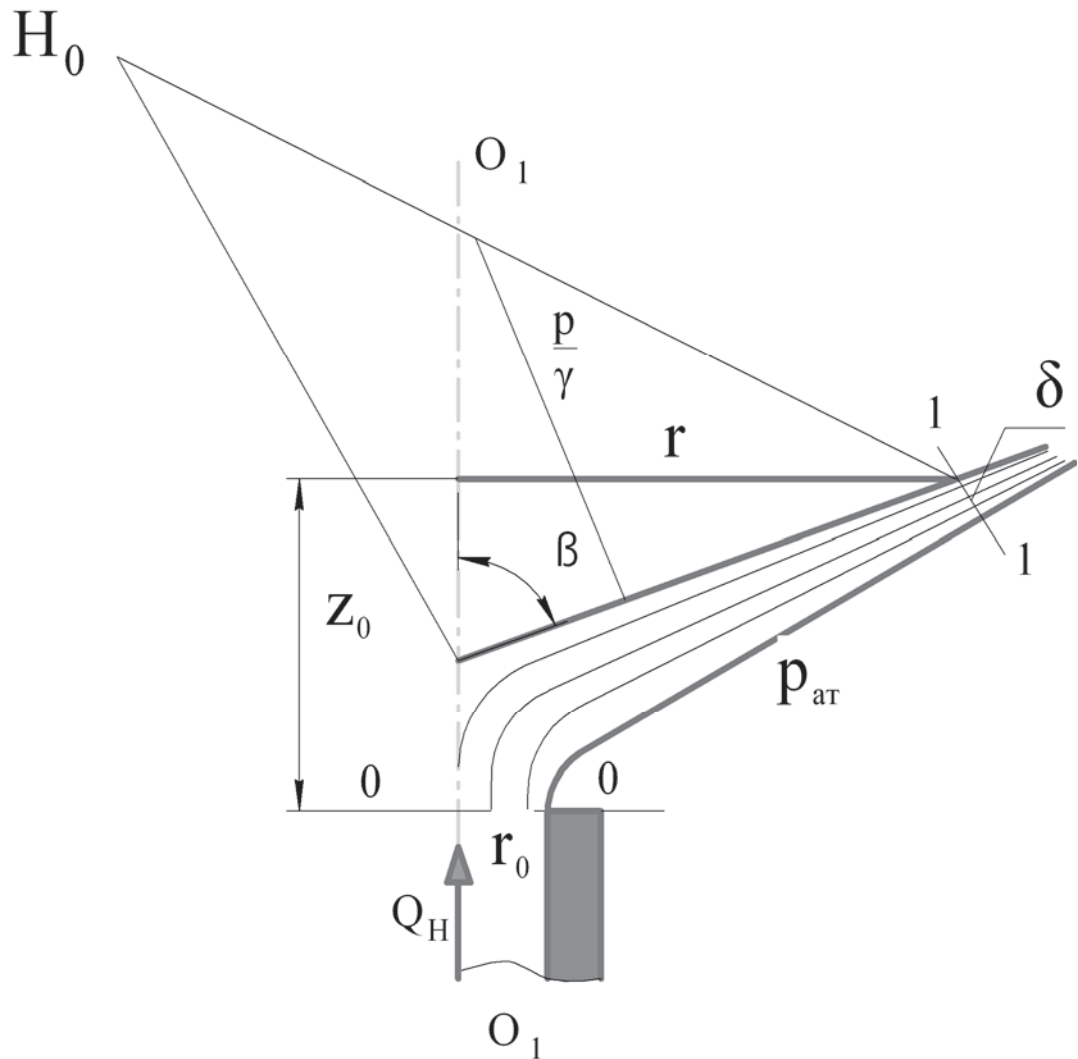


Рисунок 2.12 – Схема для определения толщины пленки жидкости

Суммарные потери напора по формуле Вейсбаха [281] имеют вид:

$$h_f = \zeta \frac{V_1^2}{2g}, \quad (2.5)$$

Полагая для турбулентного потока жидкости  $\alpha_0 = \alpha_1 = 1$ , и исключив из уравнения (2.4) средние скорости жидкости через расход  $Q_H$ , выразим:

$$Q_H = m_0 \omega_0 \sqrt{2gz_0}, \quad (2.6)$$

$$\text{где } m_0 = \left[ 1 - (1 + \zeta) \left( \frac{\omega_0}{\omega_1} \right)^2 \right]^{-0,5}, \quad (2.7)$$

– коэффициент расхода системы [281], отнесенный к сечению 1-1;

$\zeta$  – полный гидравлический коэффициент сопротивления, учитывающий потери напора на поверхности конического дефлектора и на поверхности раздела жидкость – воздух.

Поскольку, из (2.6) следует:

$$m_0 = \frac{Q_0}{\omega_0 \sqrt{2gz_0}} = \frac{V_0}{\sqrt{2gz_0}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_0}{\sqrt{gz_0}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{V_0^2}{gz_0}} = \sqrt{\frac{Fr_0}{2}}, \quad (2.8)$$

где  $Fr_0$  – число Фруда набегающего потока.

Приравняв выражения (2.7) и (2.8), находим уравнение для определения толщины пленки:

$$\delta^2 + \frac{2r}{\cos\beta} \delta - k_0 \frac{r_0^2}{\cos\beta} = 0, \quad (2.9)$$

где

$$k_0 = \sqrt{\frac{1 + \zeta}{1 - \frac{2}{Fr_0}}}, \quad (2.10)$$

– поправочный коэффициент, учитывающий работу сил трения и кинетичность набегающего потока жидкости;

График зависимости коэффициента  $k_0$  от  $\zeta$  и  $Fr_0$  представлен на рис. 2.13.

График зависимости  $k_0$  от кинетичности потока при различных значениях коэффициента сопротивления  $\zeta$  представлен на рис.2.14.

Уравнения (2.9) принимает вид

$$\delta = -\frac{r}{\cos\beta} + \sqrt{\frac{r^2}{\cos^2\beta} + k_0 \frac{r_0^2}{\cos\beta}}, \quad (2.11)$$

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

При  $k_0=1$  из формулы (2.11) можно выразить формулу А.П. Исаева [105], т.е. – это предельный случай обобщенной формулы (2.11) при  $\zeta \rightarrow 0$ ,  $Fr_0 \rightarrow \infty$ .

При  $\beta=90^\circ$  из (2.9) толщина пленки определяется как:

$$\delta = 0,5k_0 \frac{r_0^2}{r}. \quad (2.12)$$

Выражение также является обобщением формулы [105].

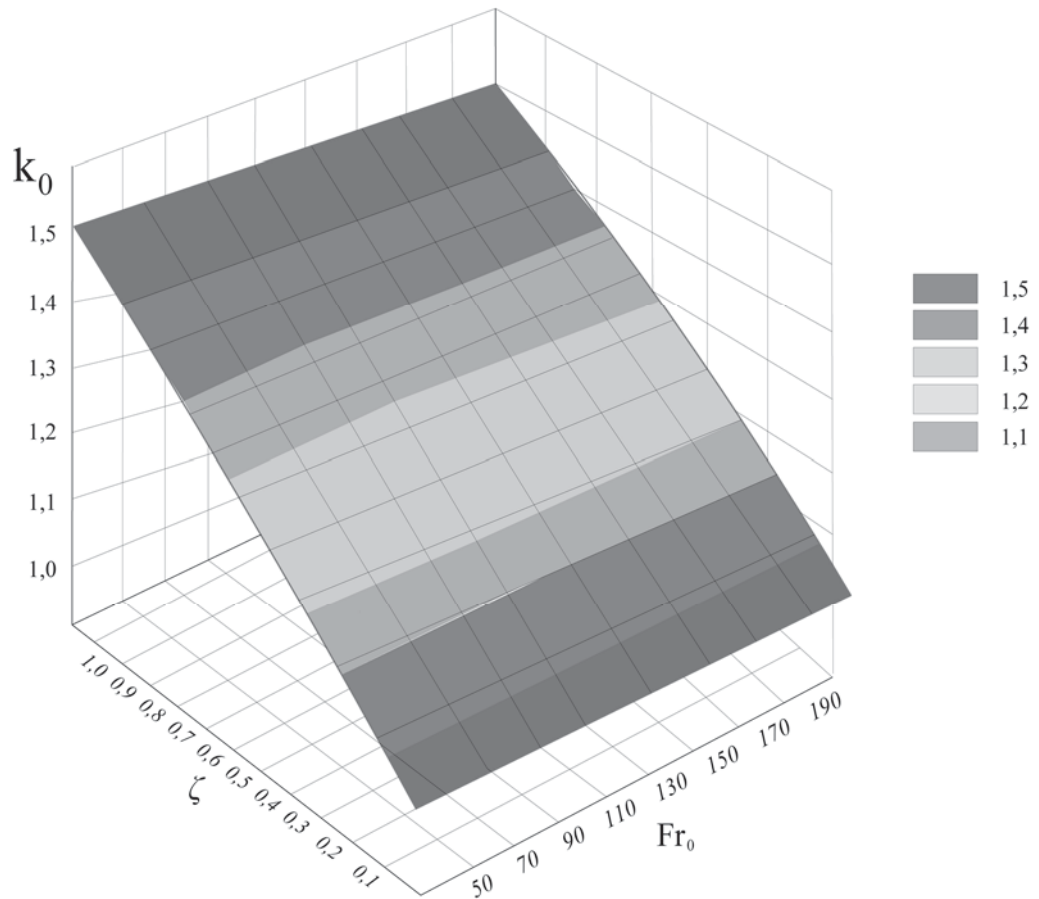


Рисунок 2.13 – Зависимость коэффициента  $k_0$  от  $\zeta$  и  $Fr_0$

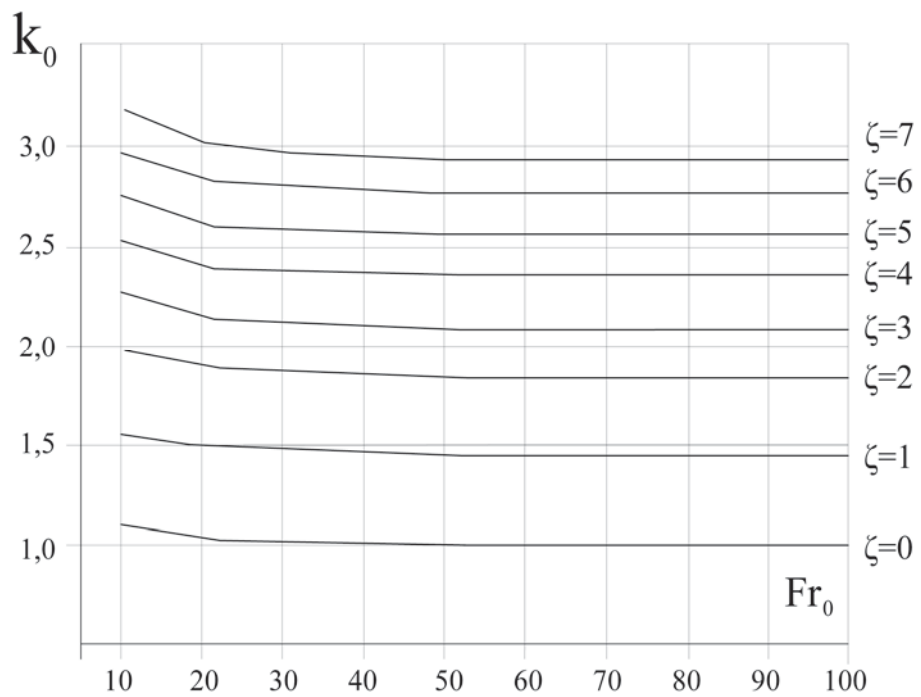


Рисунок 2.14 – Зависимость  $k_0$  от кинетичности потока при различных значениях коэффициента сопротивления  $\zeta$

Поскольку, как показывают экспериментальные исследования, числа Фруда в набегающем потоке имеют порядок десятков и даже сотен, коэффициент  $k_0$  можно выразить через приближенную зависимость, используя разложение в асимптотический ряд функции

$$\left(1 - \frac{2}{Fr_0}\right)^{-1/2} \cong 1 + \frac{1}{Fr_0} - \dots \quad (2.13)$$

$$\text{Тогда } k_0 \cong \sqrt{1 + \zeta} \left(1 + \frac{1}{Fr_0} - \dots\right), \quad (2.14)$$

Считая  $\zeta \ll 1$ , формулу можно упростить:

$$k_0 \cong \left(1 + \frac{1}{2}\zeta + \dots\right) \left(1 + \frac{1}{Fr_0} - \dots\right) \approx 1 + \frac{1}{2}\zeta + \frac{1}{Fr_0}. \quad (2.15)$$

Преобразовав формулу (2.11) к безразмерному виду, получим:

$$\frac{\delta}{r} \cos\beta = \sqrt{1 + k_0 \left(\frac{r_0}{r} \sqrt{\cos\beta}\right)^2} - 1, \quad (2.16)$$

Зависимость (2.16) при различных значениях параметра  $k_0$  представлена на графике (рис. 2.15).

Из рис. 2.13 и 2.14 видно, что коэффициент  $k_0$  мало зависит от параметра кинетичности потока, а при числах Фруда  $Fr_0 > 60$  практически не зависит (область автомодельности по числу Фруда) [142].

Согласно выражению [18] сила динамического воздействия струи  $P$  на дефлектор конической формы определяется в виде

$$P = \rho_V V_0 \omega_0 (V_0 - V_1 \cos\beta), \quad (2.17)$$

где  $\rho_V$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Выражая среднюю скорость  $V_1$  из уравнения (2.4):

$$V_1 = \frac{V_0}{\sqrt{1 + \zeta}} \sqrt{1 - \frac{2}{Fr_0}} = \frac{V_0}{k_0}, \quad (2.18)$$

Подставив (2.18) в (2.17), получим:

$$P = \rho_V V_0^2 \omega_0 \left(1 - \frac{\cos\beta}{k_0}\right), \quad (2.19)$$



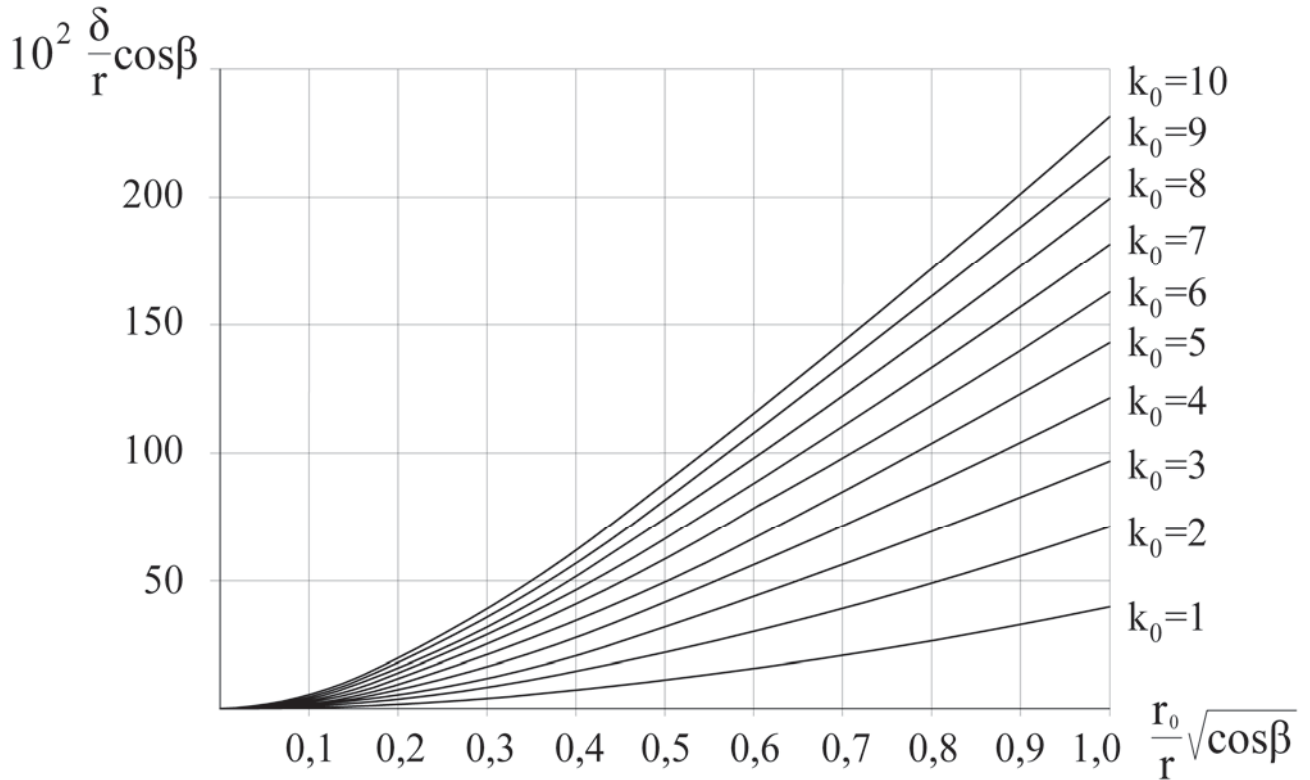


Рисунок 2.15 – Зависимость (2.16) при различных значениях параметра  $k_0$

Наибольшее значение радиуса конического дефлектора  $r_{\max}$ , при котором возможно безотрывное обтекание жидкостью, можно получить из выражения (2.9) (рис. 2.16) [78]:

$$r_{\max} = k_0 \frac{r_0^2}{2\delta_{\max}} - \frac{\delta_{\max}}{2} \cos \beta, \quad (2.20)$$

Т.о. наибольшее значение радиуса  $r_{\max}$  зависит от полного гидравлического коэффициента сопротивления  $\zeta$ , числа Фруда  $Fr_0$ , радиуса сопла  $r_0$  и угла конусности  $\beta$ .

### ***Каскадные дождеватели для приповерхностного полива***

Увеличение производительности без изменения качества распыливания может быть обеспечено применением каскадных, многоярусных дождевателей (рис. 2.17).

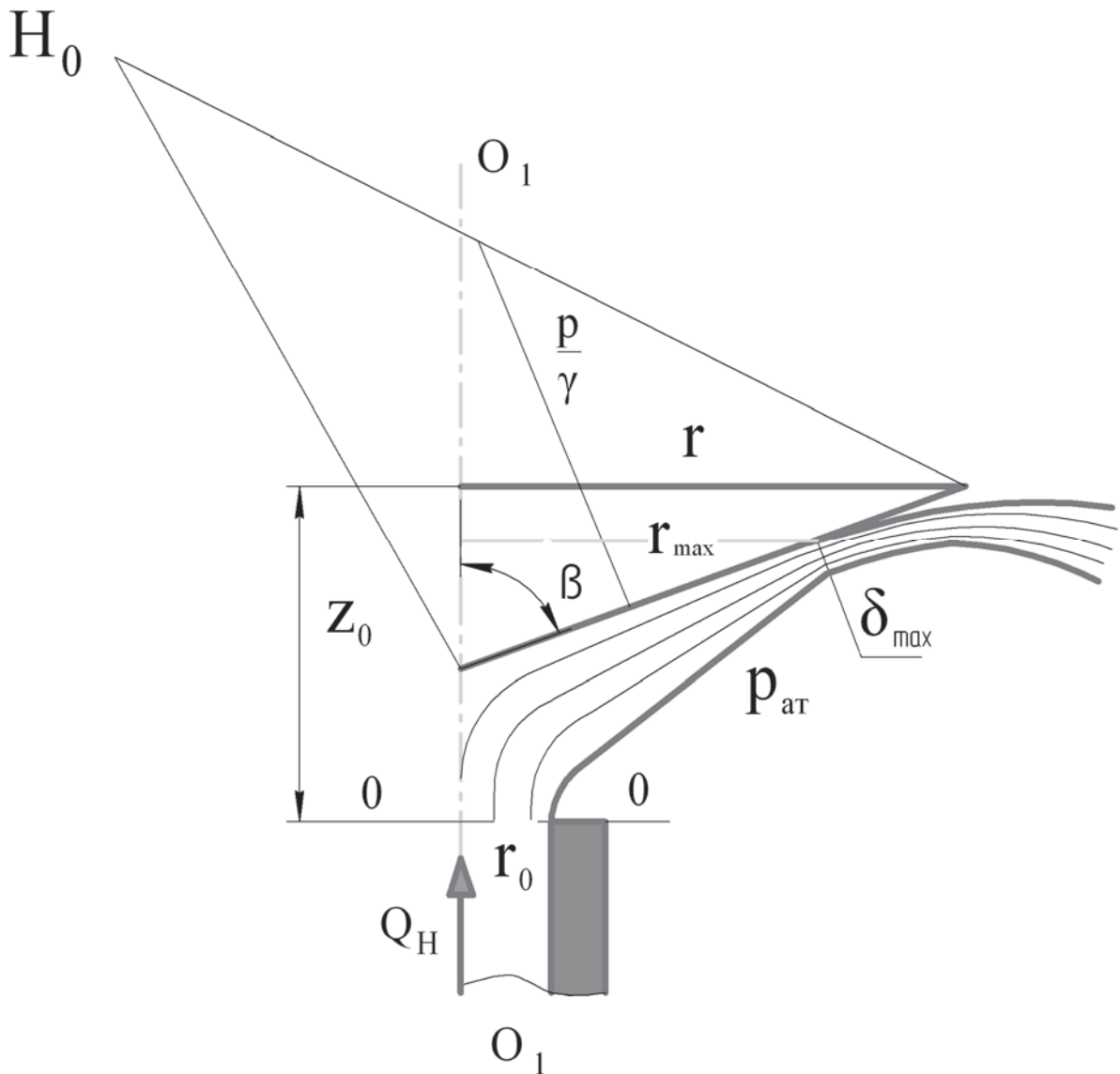


Рисунок 2.16 – Схема для определения максимального радиуса безотрывного течения

В каскадных дождевателях внешние слои струи воды «срезаются» последовательно установленными дефлекторами.

Принимая расход из сопла насадки как  $Q_H$ , м<sup>3</sup>/с [101]

$$Q_H = \mu \omega_0 V_0, \quad (2.21)$$

Расход, обеспечивающий сходящий поток первого дефлектора определяется площадью кольца

$$Q_{1H} = \mu \pi (r_0^2 - r_{1K}^2) V_0, \quad (2.22)$$

$r_0$  – радиус сопла дождевателя, м;

$r_{1K}$  – радиус отверстия первого дефлектора, м;

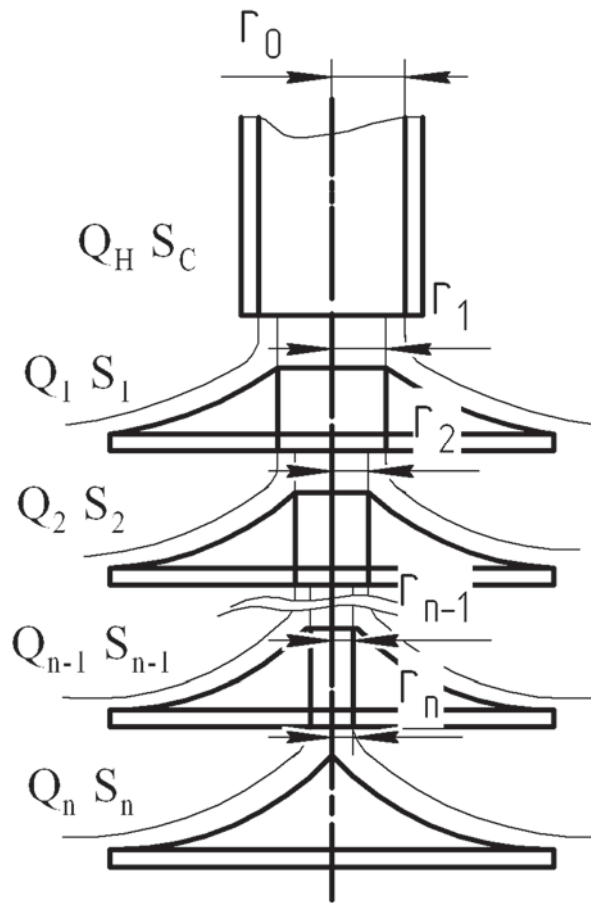


Рисунок 2.17 – Схема распределения расхода по дефлекторам каскадного дождевателя

$$\text{Для второго дефлектора} \quad Q_{2H} = \mu\pi(r_{1K}^2 - r_{2K}^2)V_0, \quad (2.23)$$

$r_{2K}$  – радиус отверстия второго дефлектора, м.

$$\text{Для предпоследнего дефлектора} \quad Q_{n-1H} = \mu\pi(r_{n-1}^2 - r_n^2)V_0, \quad (2.24)$$

$$\text{Для последнего дефлектора} \quad Q_n = \pi\mu r_n^2 V_0, \quad (2.25)$$

$$Q_H = Q_{1H} + Q_{2H} + \dots + Q_{(n-1)H} + Q_{nH}, \quad (2.26)$$

При обеспечении равного расхода с каждого дефлектора:

$$\begin{aligned} Q_{1H} = Q_{2H} = Q_{(n-1)H} = Q_{nH} &= \pi\mu(r_0^2 - r_{1K}^2)V_0 = \pi\mu(r_{1K}^2 - r_{2K}^2)V_0 = \\ &= \pi\mu(r_{n-1}^2 - r_n^2)V_0 = \pi\mu r_n^2 V_0, \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$Q_H = n_K \pi\mu(r_{n-1}^2 - r_n^2)V_0 = \mu\pi R_0^2 V_0, \quad (2.28)$$

$$\pi\mu(r_{n-1}^2 - r_n^2)V_0 = \pi\mu r_n^2 V_0, \quad (2.29)$$

$$r_n = 0,71r_{n-1}, \quad (2.30)$$

Т.о. зная радиус сопла дождевателя, подбираются параметры отверстий в дефлекторе для обеспечения равного расхода с каждого дефлектора. Соотношение радиуса сопла дождевателя и отверстия в дефлекторе также 1:0,71.

Соотношения диаметра сопла и отверстия в верхнем дефлекторе дождевателя представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Соотношения диаметров сопла и отверстия в верхнем дефлекторе

Диаметр сопла, мм	8	10	12	14	15
Диаметр отверстия верхнего дефлектора, мм	5	7	8	10	11
Диаметр отверстия второго дефлектора, мм	3,5	5	6	7	8

Применение каскадных дождевателей рационально при диаметре сопла более 10 мм, т.е. на трубопроводе длиной более 350 м во второй половине или последней трети трубопровода.

Размер образующихся капель  $d_k$  можно определить по эмпирической зависимости [174]:

$$d_k = 4,71 \cdot 10^{-2} d_0 Ga^{-0,59} Fr_0^{-0,5}, \quad (2.31)$$

где  $Ga$  – критерий Галилея;  $Fr_0$  – критерий Фруда.

$$Ga = \frac{gd_0^3 \rho_B^2}{\nu^2}, \quad (2.32)$$

$d_0$  – диаметр сопла насадки, м.

$\rho_B$  – плотность жидкости (воды), кг/м<sup>3</sup>;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воды, м<sup>2</sup>/с.

Зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра капель от давления на выходе из сопла дождевателя, построенная по (2.31) представлена на рис. 2.18. Резкое увеличение диаметра капель при снижении давления необходимо учитывать при выборе типа дождевателей, установленных в конце трубопровода машины, а также выборе регуляторов давления.

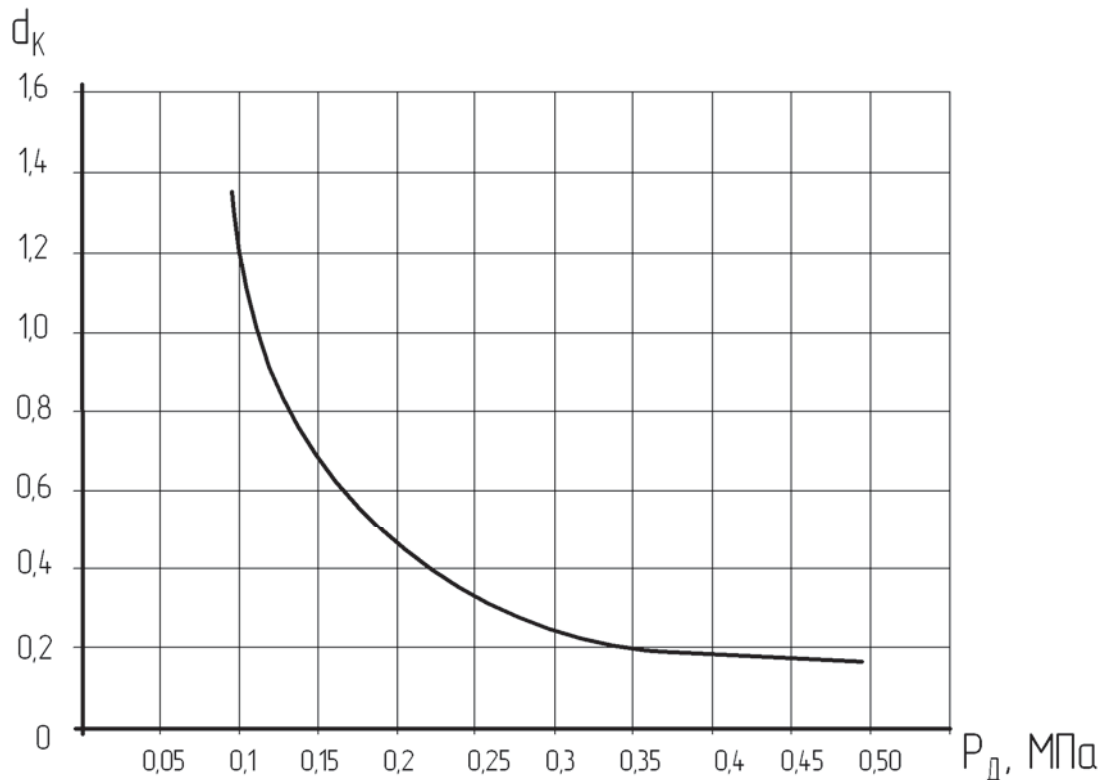


Рисунок 2.18 – Зависимость размера капель от давления на выходе из сопла:  $d_0 = 5\text{мм}$ .

### ***Вращающийся дефлектор для дождевателей приповерхностного полива***

Рассмотрим взаимодействие жидкости с вращающимся дефлектором для дождевателей устанавливаемых на гибких спускных трубопроводах для приповерхностного полива.

Под действием центробежных сил вода течет по дефлектору и распыливается за его пределами. Конструктивными особенностями обеспечивается различный характер распределения воды по дефлектору.

Поток воды попадает в криволинейные каналы, изогнутые таким образом, что создается момент силы реакции вытекающей струи и дефлектор начинает вращаться вокруг оси, достигая определенной частоты. В дальнейшем поток поступает на вращающийся с определенной частотой дефлектор.

В процессе схода потока жидкости с дефлектора образуются наиболее однородные по размерам основные капли (первичные) и более мелкие капельки-спутники.

Для определения диаметра образующихся основных капель, исходя из условия равенства действующих на капельку центробежной силы и силы поверхностного натяжения  $\sigma$ , можно воспользоваться выражением Д.Г. Пажи [173]:

$$d_K = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{r\rho_B}}, \quad (2.33)$$

где  $\rho_B$  – плотность жидкости (воды), кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – угловая скорость дефлектора, с<sup>-1</sup>;

$r$  – радиус дефлектора, м;

$c$  – константа.

Справедливость соотношения проверена в диапазоне изменения  $\omega$  от 30 до 1000 с<sup>-1</sup>,  $r$  от 10 до 110 мм. В этом диапазоне изменения параметров значение  $c$  варьировалось в границах от 1,9 до 4,6 [173].

На рисунке 2.19 представлена зависимость (медианного) диаметра капель от окружной скорости вращения дефлектора, построенная по (2.33). С увеличением окружной скорости размеры капель уменьшаются, что говорит о возможности установки дождевателя с вращающимся дефлектором с целью уменьшения диаметра капель.

Плотность орошения можно регулировать шириной, расположением и количеством канавок на дефлекторе, а размер орошаемой поверхности – высотой канавок и углом раствора.

Дефлекторы могут иметь радиальные или наклонно расположенные канавки. Траектория канавок на дефлекторе оказывает существенное влияние на формирование скорости и траектории полета капель воды.

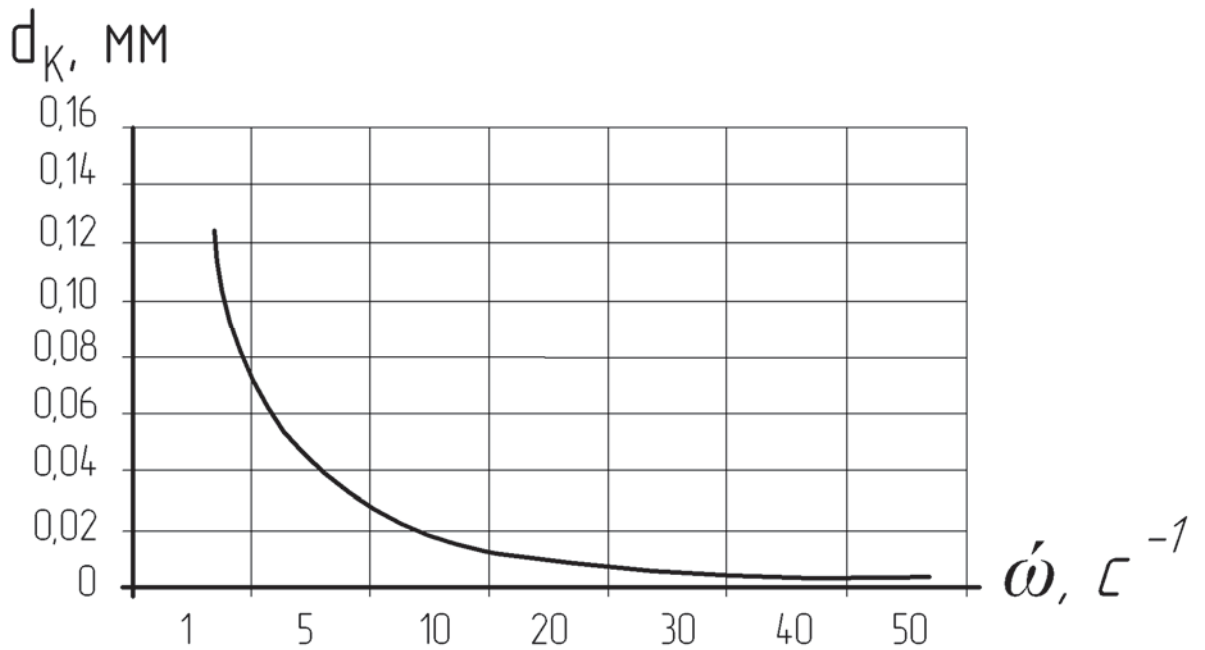


Рисунок 2.19 – Зависимость диаметра капель от угловой скорости дефлектора

В том случае, когда дефлектор снабжен канавками или проточками (рис. 2.20), выражение для определения скорости воды  $V_1$  при выходе с дефлектора будет иметь вид [21, 101]:

$$V_1 = 0,75 \frac{\omega^{0,8} D'^{0,4}}{B^{0,4}} \left( 1 - \frac{0,9}{B^{0,92} \omega^{0,42} D^{1,43}} \right)^{0,4}, \quad (2.34)$$

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

$B = 0,105 b^{0,35} \nu^{0,25} n_K^{0,8} Q_H^{-0,8}$  – для прямоугольных канавок.

$\gamma_K$  – радиус канавки, м;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воды, м<sup>2</sup>/с.

$Q_H$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с;

$n_K$  – число канавок на дефлекторе, ед;

$D'$  – диаметр дефлектора, м;

$b$  – ширина канавки, м.

Увеличение расхода при прочих равных условиях ведет к увеличению радиальной скорости схода потока для всех типов дождевателей, а соответственно радиусу захвата дождем (рис. 2.21).

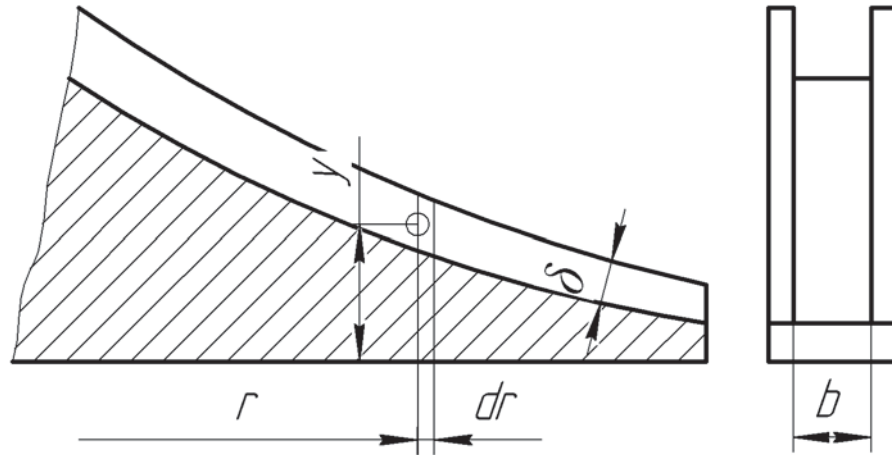


Рисунок 2.20 – Схема элемента вращающегося дефлектора:  $y$  – вертикальная координата;  $r$  – радиальная координата;  $\delta$  – толщина пленки жидкости

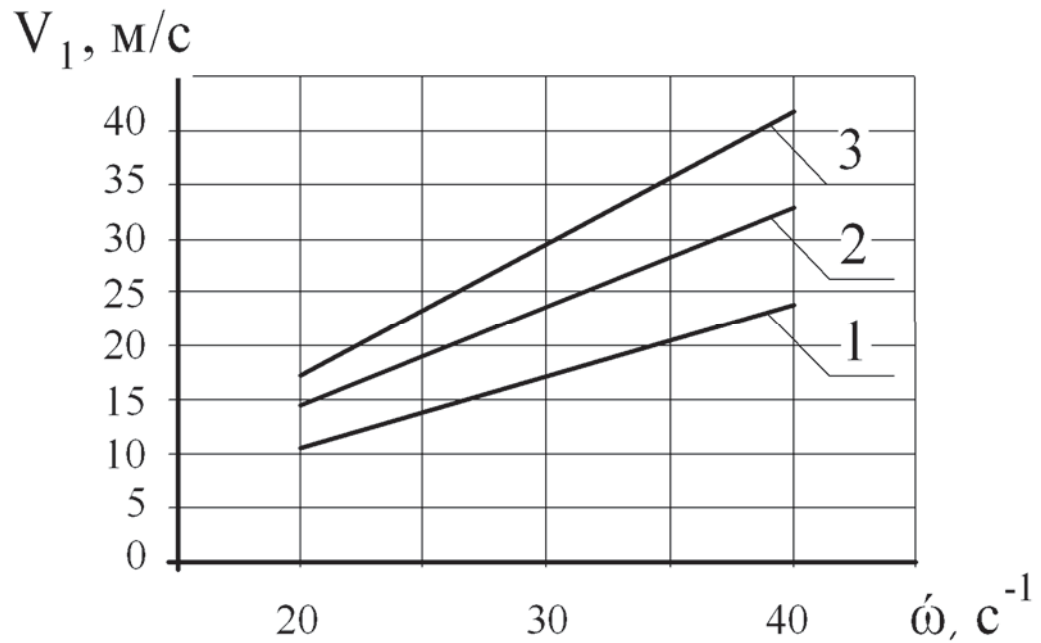


Рисунок 2.21 – Зависимость скорости  $V_1$  от угловой скорости дефлектора  $\omega$  при постоянных  $r_K=1$  мм,  $n_K=30$ ,  $D'=0,06$  м: 1 –  $Q_H=0,1$  л/с; 2 –  $Q_H=1$  л/с; 3 –  $Q_H=3$  л/с

Рассмотрим влияние размера и количества канавок на дефлекторе. Из рисунка 2.22 видно, что увеличение радиуса канавок при малых расходах ведет к снижению радиальной скорости на сходе с дефлектора.



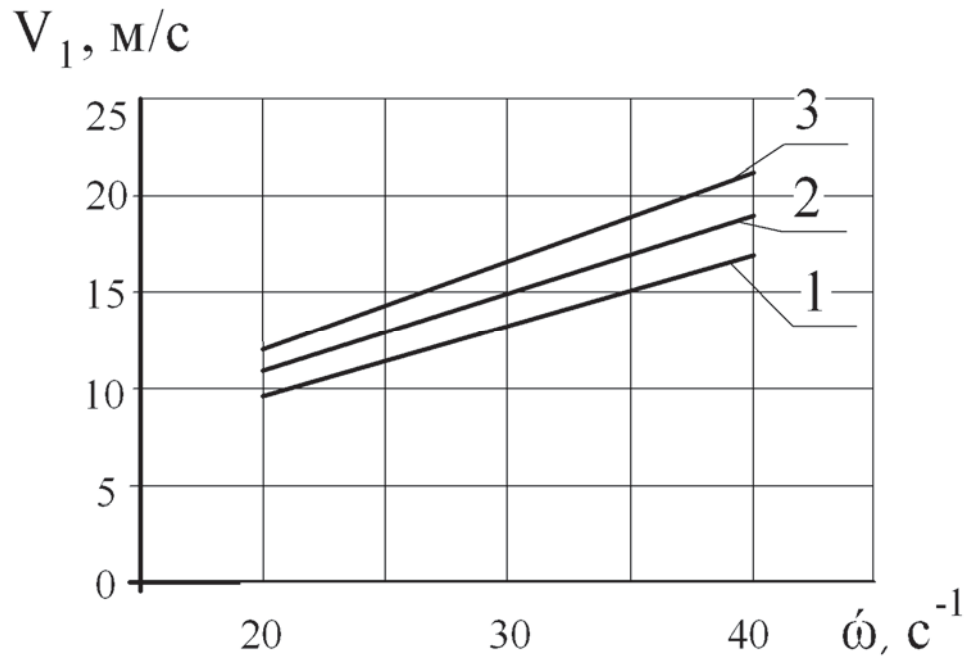


Рисунок 2.22 – Зависимость радиальной скорости  $V_1$  от угловой скорости дефлектора  $\omega$  при постоянных  $n_k = 40$ ,  $D' = 0,06\text{м}$ ,  $Q_H = 0,5\text{л/с}$ : 1 –  $r_k = 5\text{мм}$ ; 2 –  $r_k = 2\text{мм}$ ; 3 –  $r_k = 1\text{мм}$

Увеличение дефлектора в некоторой степени способствует увеличению скорости, однако диаметр ограничивается общими габаритами дождевателя.

Наибольшую скорость приобретает вода при выходе с вращающегося дефлектора, имеющего радиус канавок  $r_k = 3-5\text{мм}$  при расходе  $2-3,5\text{л/с}$  и мелкие канавки  $1,5-2,5\text{мм}$ , занимающие площадь всего дефлектора при малом расходе до  $2\text{л/с}$  [101].

### ***Параметры потока после схода с дефлектора***

Далее при работе дождевателя можно выделить 3 участка струи. Участок сплошного потока 1 – (порядка  $2...3\text{см}$ ), в некоторых случаях он может быть мал или отсутствовать, 2 – участок раздробленного потока, 3 – распыленный участок, где наблюдается полет отдельных капель дождя, что согласуется с исследованиями [21, 35, 40, 84, 88, 109, 216-218].

Поскольку образование капель начинается в начале частично раздробленной части или на сходе с дефлектора и заканчивается в распыленной части струи, то

определить теоретически координаты начала движения и стартовые скорости тех или иных капель невозможно.

Согласно исследованиям [140, 153-154, 173-174, 296] механизм дробления жидкости, покинувшей распылитель, зависит главным образом от формы вытекающей струи и соотношения скоростей струи и окружающего газа, которые в свою очередь определяются способом распыливания, классом и конструкцией дождевателя.

Определяющим фактором длины третьего участка, который в большинстве случаев и определяет радиус разбрызгивания, является скорость капель дождя, а также скорость и направление ветра.

Принимаем  $\alpha_0'$  – угол вылета струи к горизонту, зависящий от формы дефлектора (рис. 2.23).

Капли дождя летят как независимые материальные точки, на которые действуют две силы: сила тяжести  $G'$  и сила сопротивления воздуха  $V_B'$ .

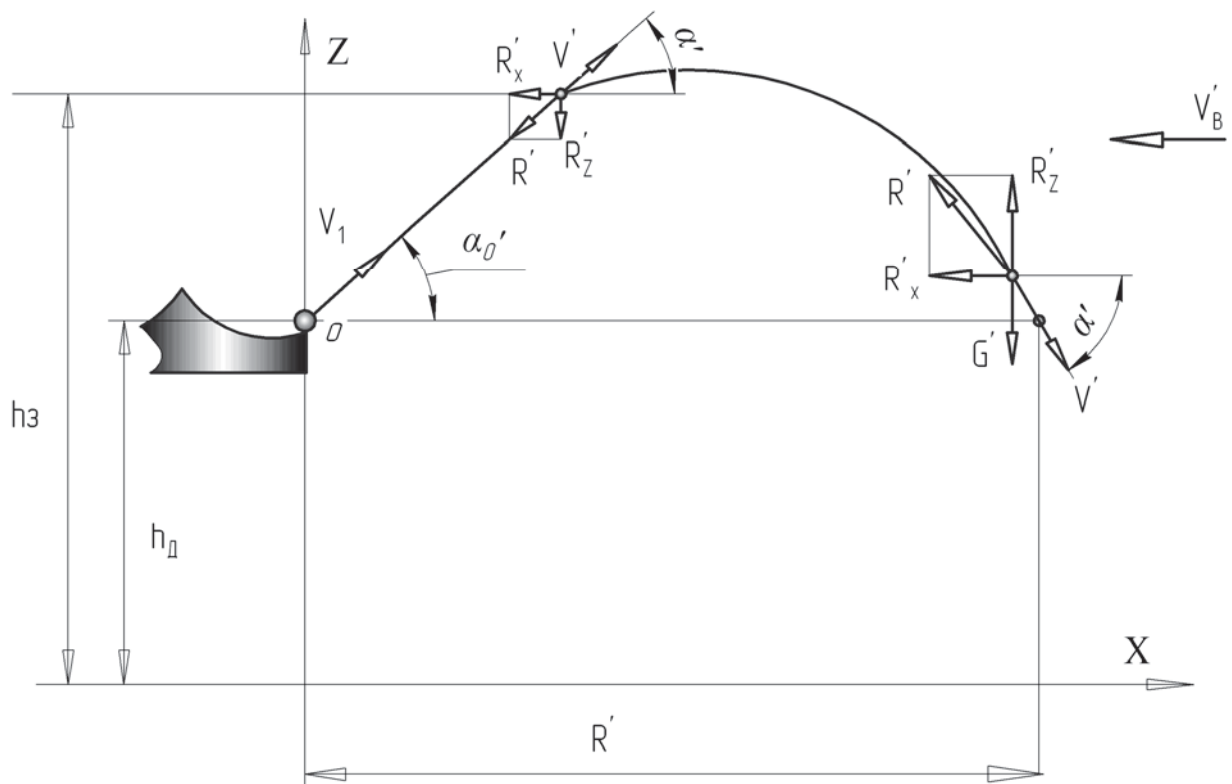


Рисунок 2.23 – Схема приложения сил и скоростей при сходе потока с дефлектора дождевателя

Дальность полета капель с учетом ветра можно определить из выражения [35]:

$$R' = \frac{1}{k_C} (V_1 \cos \alpha' + V_B' \cos \beta') (1 - e^{-tk_C}) - (V_B' \cos \beta) t, \quad (2.35)$$

высота подъема [35]:

$$Z = \frac{1}{k_C^2} \left[ (g + k_C V_1 \sin \alpha') (1 - e^{-tk_C}) - \frac{g}{k_C} t \right], \quad (2.36)$$

где  $V_1$  – скорость выхода струи с дефлектора, м/с;

$m_K$  – масса капли;

$k_C$  – коэффициент сопротивления среды;

$g$  – ускорение свободного падения;  $t$  – время, с;

$\beta'$  – угол между направлением движения капли и направлением ветра.

Рассмотрим влияние сопротивления среды.

Для диапазона чисел Рейнольдса  $0 < Re < 10^4$  принята эмпирическая зависимость коэффициента лобового сопротивления  $k_C$  [154]:

$$k_C = \frac{24}{Re} + \frac{4,565}{\sqrt[3]{Re}} - \frac{0,491}{\sqrt{Re}}, \quad (2.37)$$

Расчетное значение числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_1 d_K}{\nu_{\text{воз}}}, \quad (2.38)$$

где  $d_K$  – диаметр капли, м;

$\nu_{\text{воз}}$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с (при температуре воздуха 20°С  $\nu_{\text{воз}} = 15,7 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с). Дальности полета капель в зависимости от наличия и направления ветра через 1 с от начала движения представлены в таблице 2.4 (рис. 2.24).

Из таблицы 2.4 видно, что наиболее «чувствительны» к влиянию ветра капли размером до 0,5 мм, а также капли с небольшой скоростью. Чем меньше диаметр капли, ее начальная скорость и больше скорость ветра, тем сильнее влияние силы сопротивления.

Так, для мелких капель до 0,5 мм время торможения попутным ветром составляет не более 0,3 с, а при встречном направлении ветра это время уменьшается в 1,5-2 раза, рис. 2.24-2.25.

Для мелких капель при скорости ветра более 2 м/с возможно перемещение в отрицательном направлении оси X.

При малой скорости ветра и при попутном ветре влияние силы сопротивления незначительно, поэтому траектории движения таких капель близки к параболе, рис. 2.26.

Таблица 2.4 – Значение дальности полета капель в зависимости от наличия и направления ветра

Скорость $V'_0$ , м/с	Диаметр капли $d_k$ , мм	Коэффициент лобового сопротивления $k_c$	Дальность полета без ветра $R'$ , м, ( $t=1c$ )	Скорость ветра $V'_B$ , м/с	Дальность полета против ветра $R'$ , м, ( $t=1c$ )	Дальность полета по ветру $R'$ , м, ( $t=1c$ )
5	0,5	0,957	2,98	3	1,69	3,8
	1	0,717	3,30	3	2,28	4,02
	1,5	0,612	3,46	3	2,54	4,47
	2	0,548	3,56	3	2,6	3,9
10	0,5	0,718	6,2	3	5,28	7,0
	1	0,514	6,9	3	5,8	7,29
	1,5	0,473	7,0	3	6,1	7,4
	2	0,426	7,2	3	6,3	7,5
20	0,5	0,717	12,6	3	11,1	12,9
	1	0,548	13,6	3	12,5	13,9
	1,5	0,474	14,0	3	12,8	14,1
	2	0,425	14,4	3	13,2	14,5
30	0,5	0,472	21,1	3	20	21,3
	1	0,369	22,2	3	21,0	21,6
	1,5	0,32	22,5	3	21,3	22,7

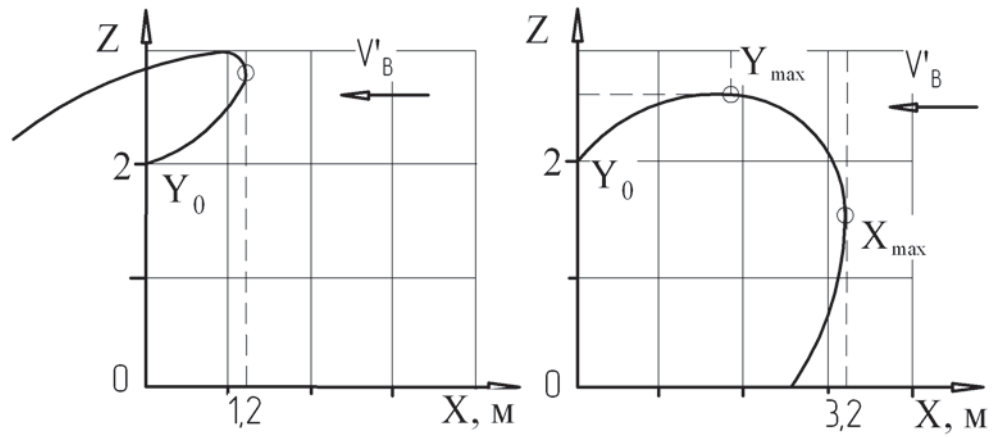


Рисунок 2.24 – Траектории движения при встречном направлении ветра для капель размерами: а)  $d_k=0,3$  мм при  $V_B=3$  м/с; б)  $d_k=0,8$  мм при  $V_B=3$  м/с

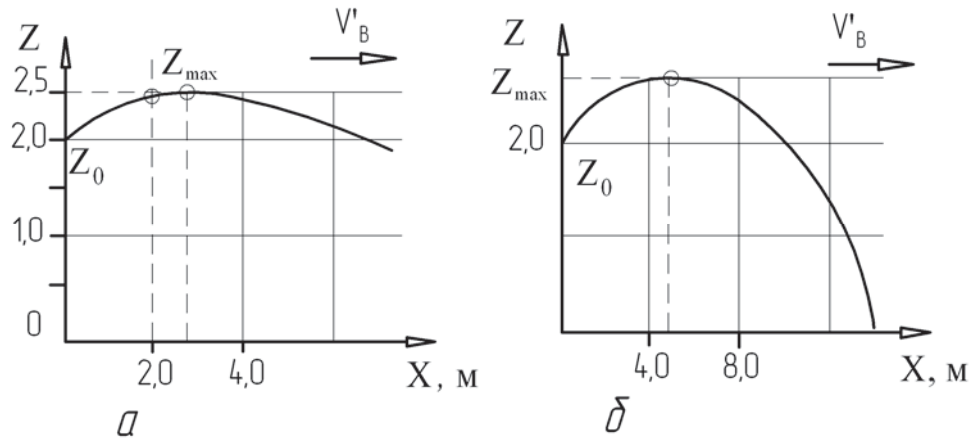


Рисунок 2.25 – Траектории движения при попутном направлении ветра для капель размерами: а)  $d_k=0,3$  мм при  $V_B=1,5$  м/с; б)  $d_k=0,8$  мм при  $V_B=1,5$  м/с

$Z, \text{ м}$

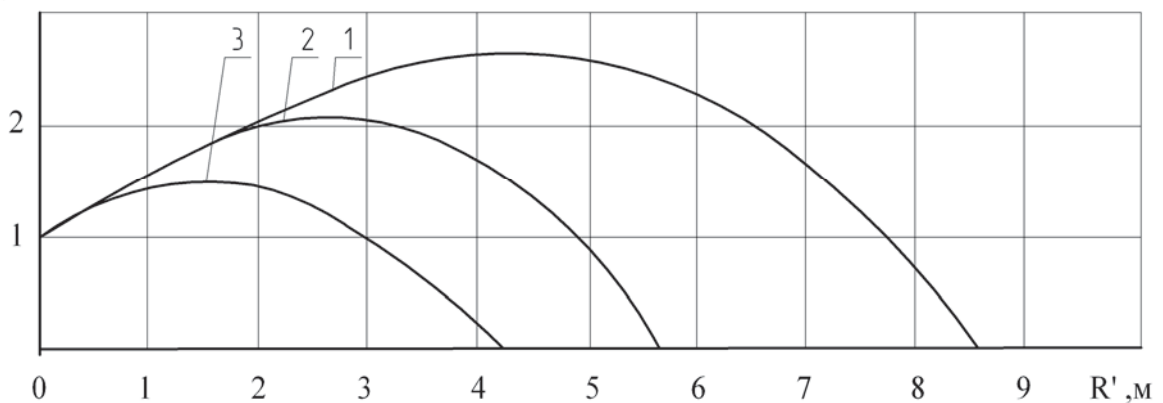


Рисунок 2.26 – Расчетные траектории движения капель при начальной скорости 15 м/с в попутном направлении ветра  $V'_B=2$  м/с;  $\alpha'=30^\circ$ ;

1 –  $d_k=2$  мм; 2 –  $d_k=1$  мм; 3 –  $d_k=0,5$  мм;

Известно, что скорость ветра по высоте подчиняется логарифмическому закону [64]:

$$V_z = \frac{V_D}{\chi} \ln \frac{z}{Z_0}, \quad (2.39)$$

где:  $V_D$  – динамическая скорость, м/с;

$\chi$  – постоянная Кармана ( $\chi=0,38$ );

$Z_0$  – высота шероховатости (где  $V_D = 0$ , обычно равна 20% высоты растительного покрова, но не менее 0,03).

Согласно нормативам [254], скорость ветра при испытаниях дождевальных машин, определяется на высоте 2м. Тогда зависимость будет иметь вид:

$$V_2 = \frac{V_D}{0,38} \ln \frac{2}{Z_0}, \quad (2.40)$$

тогда

$$V_D = 0,38V_2 \ln \frac{2}{Z_0}, \quad (2.41)$$

Поскольку  $V'_B = V_D$ ,

$$R' = \frac{1}{k_C} \left( V_1 \cos \alpha' + 0,38 \cos \beta V_2 \ln \frac{2}{Z_0} \right) (1 - e^{-tk_C}) - \left( 0,38 V_2 \ln \frac{2}{Z_0} \cos \beta \right) t. \quad (2.42)$$

Рассматривая влияние угла вылета струи на дальность полета, легко можно определить рациональный угол в зависимости от скорости ветра (рис. 2.27).

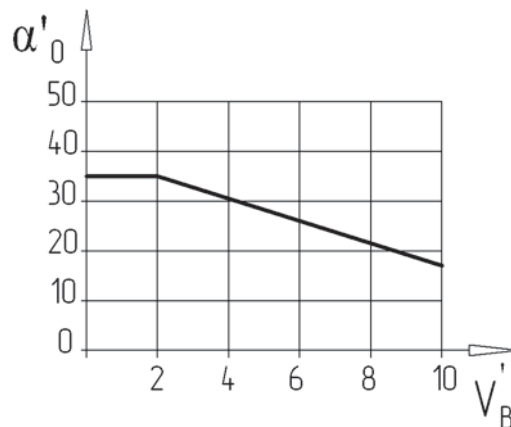


Рисунок 2.27 – Схема к определению рационального угла вылета струи к горизонту в зависимости от скорости ветра

При средних значениях ветра 3-5 м/с рациональным углом вылета струи к горизонту составляют 25-35°.

### *Характеристики дисперсности дождевателей. Равномерность полива*

Для того чтобы количественно оценить процесс распыливания (дисперсность), необходимо рассмотреть распределение капель по их диаметрам и дальности полета.

По дисперсной характеристике дождевателя можно составить функцию распределения объемов капель по диаметрам  $V(d_{ki})$ , разбить на отдельные интервалы  $\Delta d_{ki}$ :

$$V(d_{ki}) = \frac{d_{ki}^3 n_i}{\Delta d_k \sum_{i=1}^{m'} d_{ki}^3 n_i}, \quad (2.43)$$

где  $n_i$  – количество капель, размеры которых находятся в интервале

$$d_{ki-1} \leq d_{ki} < \Delta d_{ki+1};$$

$m'$  – количество групп, на которые разбит весь спектр размеров капель.

Если условно длину зоны орошения разделить на  $j$  колец шириной  $\Delta L = X_{j+1} - X_j$ , то количество воды, попавшей в каждое кольцо в единицу времени может быть найдено расчетом траекторий капель всех интервалов размеров (рис. 2.28).

$$q_a = \sum_{i=1}^{m'} V(d_{ki}), \quad (2.44)$$

$$q_a = p_1 q_{1a} + p_2 q_{2a} + \dots + p_i q_{ia} \quad (2.45)$$

Величина  $p_i$  – вероятность частоты появления капель размера  $d_{ki}$ .

При значительном влиянии ветра форма площади орошения принимает форму эллипса. Для уменьшения вредного влияния ветра также необходимо менять угол наклона струи к горизонтальной плоскости. При направлении струи против ветра угол наклона струи должен быть меньше 30°, что согласуется с исследованиями [258].

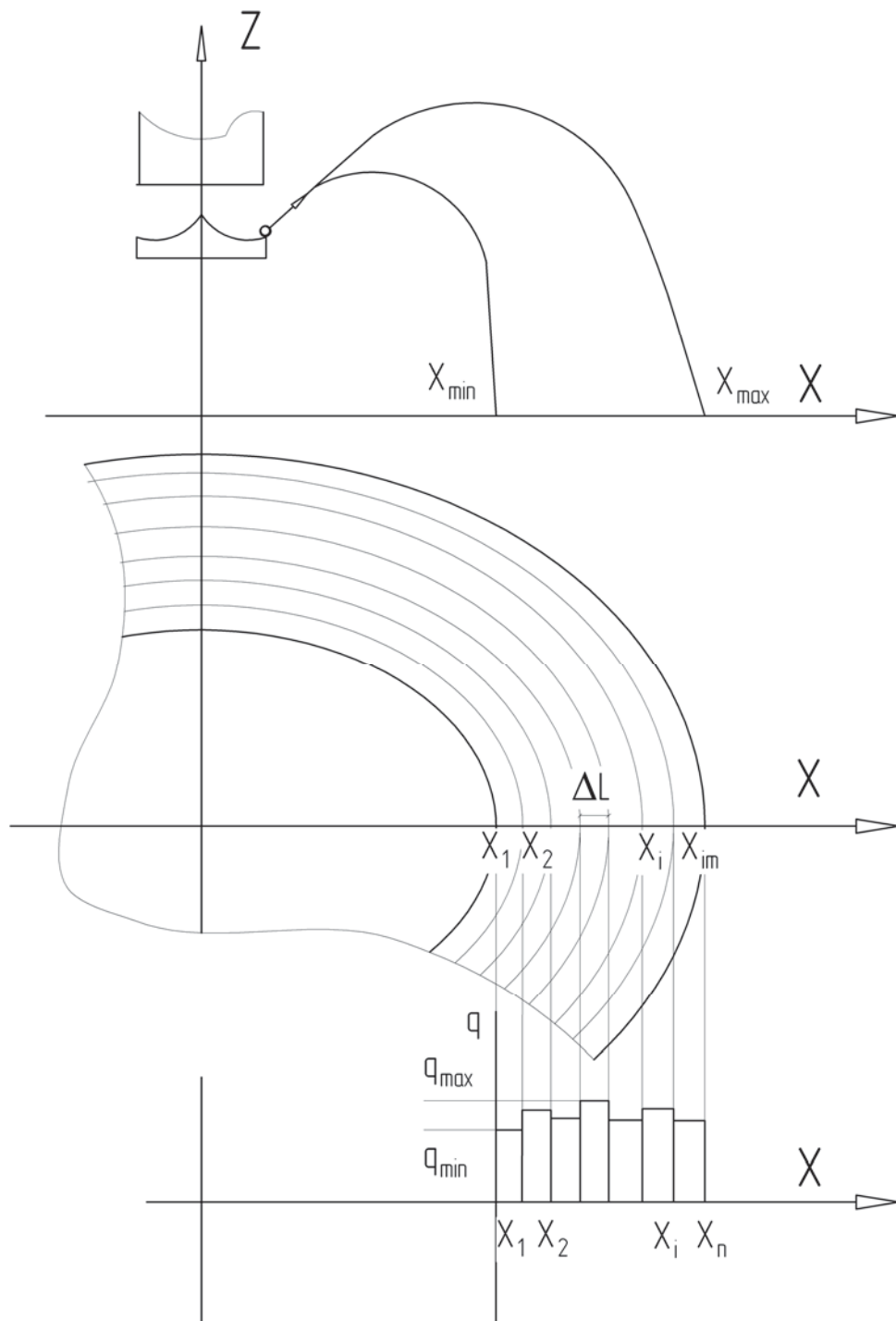


Рисунок 2.28 – Форма орошаемой площади и распределение расхода жидкости с учетом метеорологических условий

Равномерность полива дождевальных машин определяется характером взаимного перекрытия осадков от соседних дождевателей. Равномерность распределения дождя по площади полива после прохода дождевальной машины характеризуется отклонением суммарных значений слоя дождя от среднего слоя для всего участка полива. Суммарная интенсивность дождя в  $i$ -ой точке поля после про-



хода машины складывается из суммарной интенсивности дождя от основного дождевателя и суммарных интенсивностей от соседних дождевателей.

Агротехническими требованиями на дождевальные машины устанавливаются нижние границы равномерности полива: коэффициент эффективного полива  $K_{\text{эп}} \geq 0,7$ , коэффициент недостаточного полива  $K_{\text{нп}} \leq 0,15$  [170, 254].

Задача нахождения оптимальных расстояний между дождевателями состоит в нахождении области, в которой соблюдаются агротехнические требования к интенсивности и равномерности распределения дождя с учетом влияния ветра в границах разрешенной эксплуатации машины.

Важным параметром при выборе расстояния между отводами под дождеобразующие устройства является степень перекрытия ( $K_{\text{п}}$ ) дождя. Чем больше дождь дифференцирован по интенсивности и структуре капель, тем выше должна быть степень перекрытия [272-273].

Методика, разработанная [64], рекомендует уменьшать расстояние между позициями дождевателей в зависимости от ветровых режимов.

При наличии нестабильных ветровых режимов:

$$L_{\text{д}} = 1,42\varepsilon R', \quad (2.46)$$

$L_{\text{д}}$  – расстояние между отводами под дождеобразующие устройства, м;

$R'$  – радиус, м;

$\varepsilon$  – коэффициент сужения.

Т.е. при увеличении напора на входе в машину расстояние между отводами под дождеобразующие устройства следует увеличивать.

Также в зависимости от типа дождевателя: ориентировочно можно отметить, что при прочих равных условиях расстояние между дождевателями с гладким дефлектором должно быть на 20-40% меньше, за счет меньшей скорости потока при сходе с дефлектора, а соответственно меньшего радиуса полива, чем дождевателей с вращающимся дефлектором.

Т.е. вращающийся дефлектор с канавками при оптимальной равномерности будет способствовать увеличению дальности разбрызгивания.

Пользуясь рекомендациями [64, 143] рациональным расстоянием между дождевателями с гладким дефлектором является 3,5 м. Для дождевателей с вращающимся дефлектором 4-4,5 м.

### *Обоснование конструкции дождевателей для ДМ кругового действия.*

#### *Требования к ним*

При обосновании конструкций дождевателей для дождевальных машин кругового действия основными требованиями было: обеспечение качественного распыла дождя в большом диапазоне расхода воды (0,1...3,8 л/с), возможность регулирования на требуемый расход воды, простота конструкции и изготовления, низкая стоимость.

Для подтверждения теоретических исследований был разработан ряд дождевателей для дождеобразующих устройств приповерхностного полива с диаметром сопла от 3 до 15 мм, диаметром дефлектора 40, 50, 60 мм.

Согласно исследованиям Н.Ф. Рыжко [216-218] с целью снижения вероятности засорения дефлектора мусором высота ножек дефлектора должна соответствовать условию  $h_n \approx d_0$ .

Низконапорные дождеватели были изготовлены следующих типов:

Дождеватель Тип 1 выполненные из оцинкованной стали (рис. 2.29).

Дождеватель Тип 2 выполненные из полиамида ПА-6 (рис.2.30).

Дождевальная насадка типа 1 содержит монтируемый на водопроводящем трубопроводе корпус с водовыпускным отверстием, в нижней части которого с помощью резьбы устанавливаются сменные сопла, регулирующие расход воды. Дефлектор выполнен в виде обращенной в сторону корпуса вогнутой чаши. Симметрично расположенные друг напротив друга стойки, выполнены плоскими для уменьшения сопротивления подачи воды.



Рисунок 2.29 – Дождеватель из оцинкованной стали типа 1, сменные deflectоры разной геометрии

Грузило, закрепленное в нижней части втулки исключает колебания дождевальной насадки под воздействием ветра, что повышает равномерность

полива. Основной задачей было упростить конструкцию и повысить надежность работы. Полезная модель №173434.



Рисунок 2.30 – Дождеватель из полиамида ПА-6 -Тип 2. Исполнение 1. Общий вид насадки

Дождевальная насадка Тип 2 выполнена из полиамида ПА–6 .

С целью упрощения конструкции и повышения ее надежности дефлектор, стойки, выполненные обтекаемыми, в горизонтальной плоскости и кольцевая пластина изготовлены единой деталью из пластмассы.

Для снижения себестоимости и увеличения массы грузило может быть выполнено металлическим или из влагостойкого бетона или полимербетона.

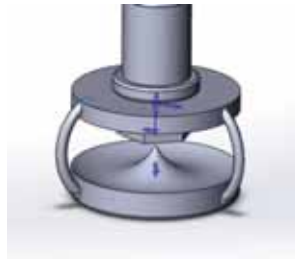
Полезная модель 173433.

Ножки дождевателя должны плавно обтекаться потоком воды, поэтому поперечное сечение ножки представляет собой форму линзы, либо для металлических – из тонкого листа.

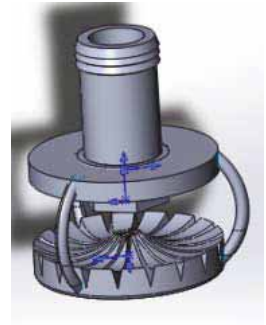
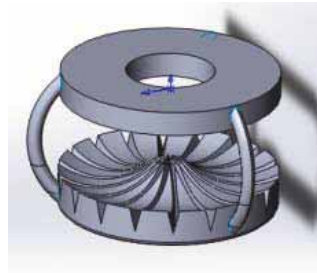
Исполнения дождевателей, выполненные для проведения исследований (рис. 2.31):

- 1 – с гладким статическим дефлектором;
- 2 – со статическим дефлектором с канавками треугольной формы (шириной от 1,5 до 5 мм);
- 3 – со статическим дефлектором с канавками полукруглой формы (менялась ширина канавок от 2 до 5мм и глубина от 2 до 6 мм);
- 4 – с вращающимися дефлекторами треугольными канавками (ширина канавок менялась от 1,5 до 5 мм и глубина от 2 до 6 мм);
- 5 – с вращающимися дефлекторами полукруглыми канавками (ширина канавок от 2 до 5 мм и глубина от 2 до 6 мм);
- 6 – каскадный (менялись диаметры отверстий в конусах и расстояния между конусами).

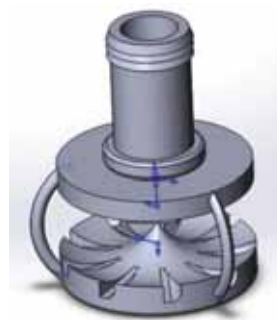
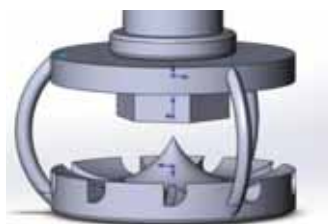
Для подтверждения теоретических исследований необходимо провести ряд испытаний по определению качественных показателей полива различных типов дождевателей.



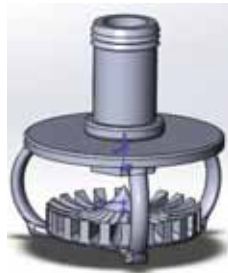
Исполнение 1



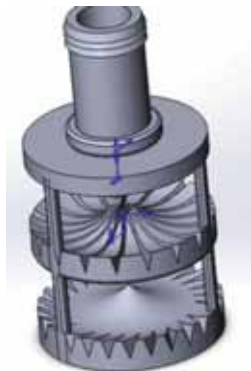
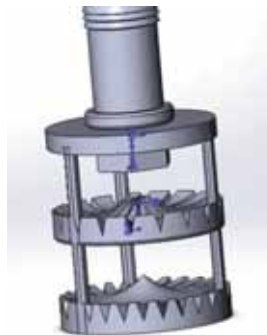
Исполнение 2



Исполнение 3



Исполнение 4-5



Исполнение 6

Рисунок 2.31 – Исполнение дождевателей

## 2.4 Теоретические основы проектирования водопроводящего трубопровода ДМ кругового действия

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

Основные факторы, влияющие на выбор параметров водопроводящего пояса можно разделить на две основные категории: природные и хозяйственные (рис. 2.32).

Природные факторы включают четыре основные подгруппы: климатические особенности местности, тип и физико-механические свойства почвы, выращиваемые культуры и рельеф местности. Эти подгруппы являются определяющими при задании основного показателя-нормы полива или слоя осадков. Важнейшим показателем будет являться расход, соответственно, диаметр водопроводящего пояса или ряд диаметров от основной опоры к концевому аппарату.

Хозяйственные (производственные) факторы: существующая оросительная система, если таковая имеется (гидранты, имеющаяся насосная станция), определяющая напор на входе в машину; размеры и форма поля, задающие длину машины. Принципиально хозяйственные факторы отличаются от природных тем, что их можно при необходимости видоизменять в процессе хозяйственной деятельности, что однако требует финансовых и трудовых затрат.

Критериями оптимизации водопроводящего пояса машины являются: диаметр трубопровода, длина и диаметр секций трубопровода при его переменном сечении, расстояния между водоотводами дождеобразующих устройств и площадь сечения сопла дождевателя, влияющие на выбор конструкции и параметров самого дождевателей.

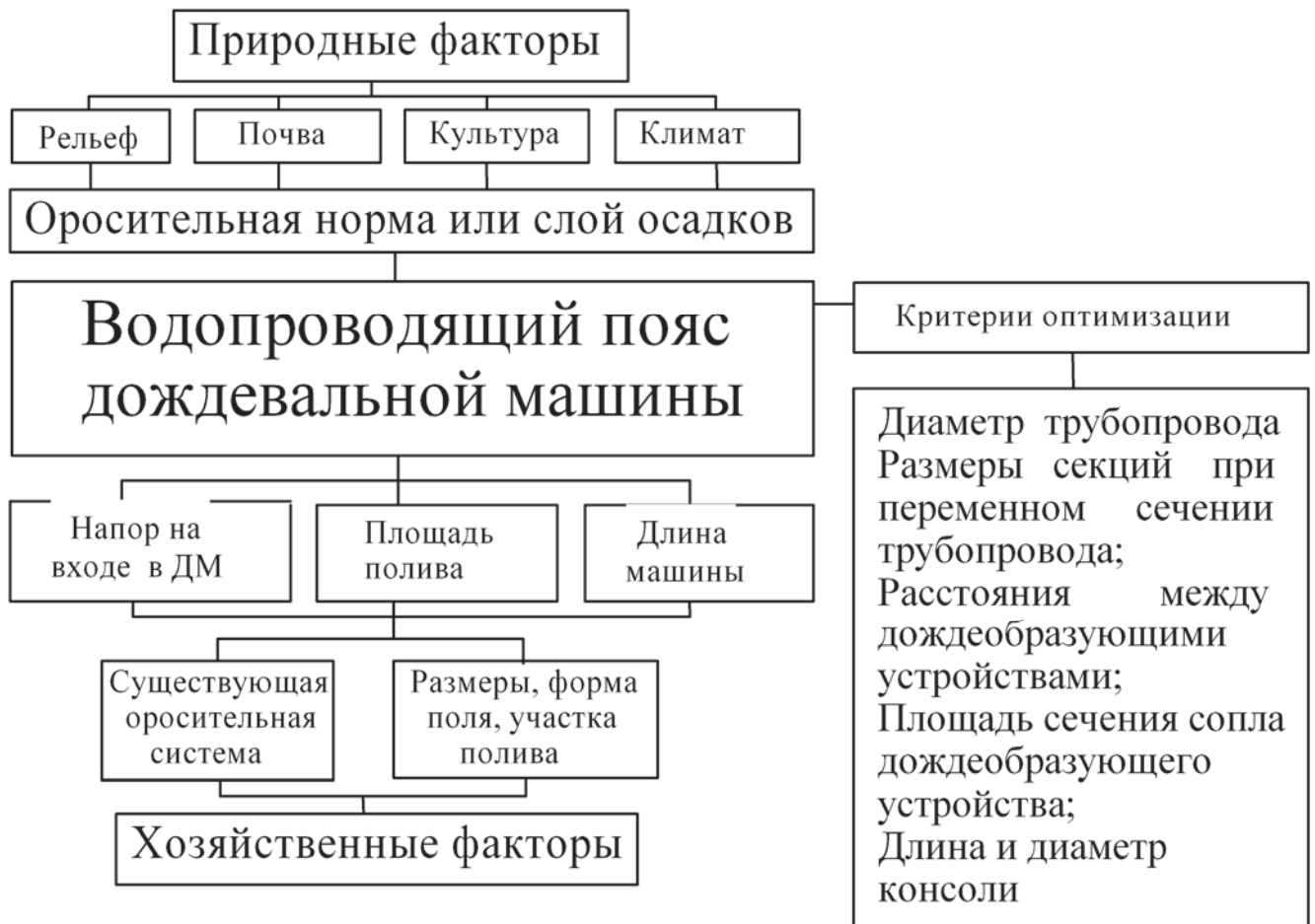


Рисунок 2.32 – Критерии оптимизации водопроводящего пояса

Целью исследований является разработка методики гидравлического расчета водопроводящего пояса широкозахватных дождевальных машин кругового действия, позволяющей определять оптимальные параметры трубопровода, обосновать расположение дождеобразующих устройств, повысить эффективность и экономичность ДМ в целом.

Значительная металлоемкость, высокая стоимость конструкции широкозахватной дождевальной техники не позволяет проводить необходимые полноценные натурные и лабораторные исследования в полном объеме, и математическое моделирование является основным экономически целесообразным методом проектирования [74, 76, 77].



Применение математического моделирования позволяет усовершенствовать конструкцию, уменьшить металлоемкость и стоимость, оптимизировать параметры, дает значительную экономию материальных и трудовых ресурсов.

Движение жидкости с изменением массы вдоль пути впервые рассмотрено в работах Хайндса [295] и Фавра [292]. В последствии идеи Хайндса и Фавра детализированы в работах [186, 288, 294, 298, 302, 305] применительно к гидравлическому расчету поливных трубопроводов капельного орошения. Однако все указанные авторы при определении потерь напора по длине использовали формулу Хазена - Вильямса [294], которая дает значительные погрешности в расчетах при непрерывном отборе жидкости.

Рассмотрим гидравлический расчет напорного трубопровода при заданном неравномерном отборе расхода при расчете водопроводящего пояса дождеваль-ной машины кругового действия.

При решении данной задачи традиционно используется модель непрерывно-го отбора расхода [295] по линейному закону [132]:

$$Q_2 = Q_L \frac{s}{L_M}, \quad (2.47)$$

где  $Q_2$  – отбираемый расход;

$Q_L, L_M$  – расход в последнем отводе (максимальный расход) и физическая длина дождевальной машины, соответственно;

$s$  – текущее значение полярного радиуса.

Следуя И.М. Коновалову [146, 186, 262], в этом случае можно получить сравнительно простое дифференциальное уравнение установившегося движения воды с переменной массой в трубопроводе постоянного сечения при наличии отбираемого расхода:

$$\frac{a_0''(a_2 - 2)Q}{g\omega^2} \cdot \frac{dQ_2}{ds} + \frac{dH}{ds} + \frac{Q^2}{K^2} = 0, \quad (2.48)$$

где  $a_0''$  – коэффициент Буссинеска;

$a_2$  – коэффициент отсоединения расхода;

$Q$ ,  $K$  – расход и модуль расхода в произвольном сечении потока, соответственно;

$H$  – гидродинамический напор;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\omega$  – площадь живого сечения потока.

Интегрирование уравнения (2.48) с условием (2.47) в полярных координатах дает уравнение пьезометрической линии для трубопровода машины кругового действия [262,132]:

$$H = -L_M \frac{\bar{s}}{K^2} \left( 1 - \frac{2}{3} \bar{s}^2 + \frac{1}{5} \bar{s}^4 \right) Q_M^2 + a_0'' \frac{a_2 - 2}{2g\omega^2} \bar{s}^2 (2 - \bar{s}^2) Q_M^2, \quad (2.49)$$

где  $\bar{s} = s/L_M$  – относительная координата;

$Q_M$  – расход ДМ.

Из (2.49) следует, что полная потеря напора по длине трубопровода составляет:

$$H_{\text{полн}} = \left( \frac{8}{15} \frac{L_M}{K^2} - a_0'' \frac{a_2 - 2}{2g\omega^2} \right) Q_M^2. \quad (2.50)$$

Основным недостатком решения (2.49), (2.50) являются предположения о том, что:

1) модуль расхода  $K$  и коэффициент отсоединения расхода  $a_2$  не зависят от координаты  $s$ ;

2) отбор расхода  $Q_2$  по длине трубопровода происходит непрерывно; в то время как в действительности модуль расхода  $K$  и коэффициент отсоединения расхода  $a_2$  изменяются по длине трубопровода, а отбор расхода  $Q_2$  происходит дискретно [292, 295].

В работе А.А. Федорца [262] этот недостаток частично устраняется введением в формулу (2.50) множителем эмпирического параметра дискретности  $K_d$ , который зависит от частоты размещения отводов  $\gamma' = L_{OT}/L_M$ , где  $L_{OT}$  - расстояние между отводами. В результате автором предложена эмпирическая зависимость:

$$K_d = 1 + 1,7\gamma'^{1,04}. \quad (2.51)$$

Коэффициент отсоединения расхода  $a_2$  из физических соображений находится в интервале  $0 \leq a_2 < 1$ . А.А. Федорцом [262] для коэффициента  $a_2$  получена эмпирическая формула

$$a_2 = \frac{0,00112 \cdot \text{Re}^{0,6422}}{e^{0,11 \cdot \text{Re} \cdot 10^{-4}}}, \quad (2.52)$$

где  $\text{Re}$  – число Рейнольдса, определяемое по диаметру трубопровода и полному расходу  $Q_M$ .

Математическая модель (2.49)-(2.52), полученная на основе дифференциального уравнения установившегося движения воды с переменной массой, дает достаточно хорошее совпадение с экспериментами в работах А.А. Федорца [262]. Однако область применения этой модели ограничивается применением эмпирических зависимостей для коэффициентов дискретности  $K_d$  и отсоединения расхода  $a_2$ , полученных для конкретных условий эксперимента. В теоретических исследованиях А.А. Федорца не учитывается также материал труб. Ниже показано, как можно построить модель дискретного отбора воды непосредственно из гидравлических представлений, не используя дифференциальные уравнения.

Предположим, что дождевальная машина кругового действия должна обеспечить выдачу поливной нормы  $m_{\Pi}$  согласно Б.П. Фокину и А.К. Носову [266],  $\text{м}^3/\text{га}$ :

$$\frac{m_{\Pi}}{10} \equiv h_{\text{ос}}, \quad (2.53)$$

$h_{\text{ос}}$  – слой осадков, мм.

При равномерном распределении отводов по длине трубопровода на расстоянии  $L_{\text{от}}$  друг от друга расчетная площадь орошения составит:

$$S_0 = \pi \left( L_M^2 - \frac{L_{\text{от}}^2}{4} \right) \cdot 10^{-4}, \text{ га}, \quad (2.54)$$

а необходимый расход дождевальной машины по Б.П. Фокину и А.К. Носову [266] может быть описан выражением:

$$Q_M = \frac{25h_{\text{ос}}}{9 \cdot 24T_0} S_0, \text{ л/с}, \quad (2.55)$$

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

Количество отводов на трубопроводе, который в общем случае может быть переменного сечения, определяется как:

$$N = \text{INT} \left( \frac{L_M}{L_{OT}} \right). \quad (2.56)$$

Каждый из отводов должен обеспечивать выдачу поливной нормы  $h_{OC}$  для соответствующего поливаемого кольца площадью

$$S_i = 2\pi L_{OT}^2 i, \quad \text{м}^2; \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.57)$$

Тогда расход каждого отвода должен составлять:

$$Q_i = \frac{h_{OC}}{24 \cdot 3600 T_0} S_i, \quad \text{л/с} \quad (2.58)$$

Соответственно, для расходов по участкам между отводами имеем:

$$\left. \begin{aligned} Q_{TP}^{(1)} &= Q_0; \\ Q_{TP}^{(i)} &= Q_{TP}^{(i-1)} - Q_{i-1}, \quad i = 2, 3, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (2.59)$$

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

$$V_i = Q_{TP}^{(i)} / \omega / 1000, \quad \text{м/с}, \quad (2.60)$$

где  $\omega = \pi d_{вн}^2 / 4$ .

Заметим, что из экономических соображений средние скорости на участках трубопровода не должны превышать 3 м/с [292].

Согласно исследованиям А.А. Федорца [262] при выполнении условия

$$\frac{L_{OT}}{d_{вн}}, \frac{d_{вн}}{d_{вн}^{OTB}} > 7 - 10, \quad (2.61)$$

где  $d_{вн}^{OTB}$  – внутренний диаметр отвода, потерями напора на «смешение масс» и перепадом восстановления напора [186] можно пренебречь и вычислять потери напора между отводами по формулам равномерного движения.

Для определения потерь напора на участках трубопровода между отводами воспользуемся апробированной методикой расчета потерь напора по длине потока для новых стальных труб Ф.А. Шевелева [277]:

$$\left. \begin{aligned} h_1^{(i)} &= \theta_i A Q_i^2 L_{от}; \quad A = \frac{0,001478}{d^{5,226}}; \\ \theta_i &= 0,889 \left( 1 + \frac{0,684}{V_i} \right)^{0,226}; \quad i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (2.62)$$

Местные потери напора в трубопроводе учтем добавкой 5% от потерь напора по длине, что согласуется с данными А.А. Федорца [262]:

$$h_{тр}^{(i)} = 1,05 h_1^{(i)}. \quad (2.63)$$

Тогда суммарные потери напора в трубопроводе составят:

$$h_{тр} = \sum_{i=1}^N h_{тр}^{(i)}. \quad (2.64)$$

Зная геодезический напор и задавая свободный напор на последнем отводе, можно определить потребный напор на гидранте дождевальной машины. Алгоритм вычислений (2.53) - (2.64) легко реализуется на любом алгоритмическом языке [75,76] (приложение 4).

Ниже рассмотрен пример моделирования работы водопроводящего пояса дождевальной машины по следующим исходным данным: длина трубопровода диаметром  $d = 159$  мм составляет  $L_M = 500$  м; расстояние между отводами  $L_{от} = 1,45$  м; поливная норма  $h_{ос} = 40$  мм; время работы  $T_0 = 7$  суток; геодезический напор (высота дождевальной машины)  $H_r = 4,5$  м; напор на излив на последнем отводе 1 м.

В результате расчета по модели (2.53) - (2.62) получено: количество отводов 344; фактическая поливаемая площадь 78,39 га; необходимый расход дождевальной машины  $Q_M = 51,84$  л/с; скорость движения последней опорной тележки  $V_{ср} = 0,31$  м/мин. Другие результаты расчетов представлены в таблице 2.5 и на рис. 2.33 – 2.34.

Таблица 2.5 – Характеристики потока

№ отвода (участка)	Q(i), л/с	Q <sub>тр</sub> (i), л/с	V(i), м/с	H(i), м
0(гидрант)	0,000	51,84	2,83	24,66
24	0,021	51,60	2,81	22,15
44	0,038	51,02	2,78	20,13
64	0,056	50,08	2,72	18,17
84	0,073	48,80	2,65	16,29
104	0,091	47,17	2,57	14,52
124	0,108	45,18	2,46	12,88
144	0,126	42,85	2,33	11,39
164	0,143	40,17	2,18	10,05
184	0,161	37,14	2,02	8,90
204	0,178	33,76	1,836	7,92
224	0,196	30,02	1,63	7,12
244	0,213	25,94	1,41	6,50
264	0,231	21,51	1,17	6,05
284	0,248	16,74	0,91	5,75
304	0,266	11,61	0,63	5,58
324	0,283	6,13	0,33	5,51
344	0,301	0,301	0,0163	5,50

Суммарные потери напора в водопроводящем тракте составляют  $\Sigma h_{тр} = 19,16$  м, а потребный напор на гидранте дождевальной машины  $H_{потр} = 24,66$  м.

Расчет по модели непрерывного распределения расхода (2.50) - (2.52) дает суммарные потери напора  $\Sigma h_{тр} = 18,88$  м, т.е. расхождение составляет 1,5%.

На основе математической модели (2.53) - (2.62) реализован также расчет водопроводящего пояса дождевальной машины переменного диаметра, с тупиковым и параллельным отводом, консолью, с концевым дождевальным аппаратом.

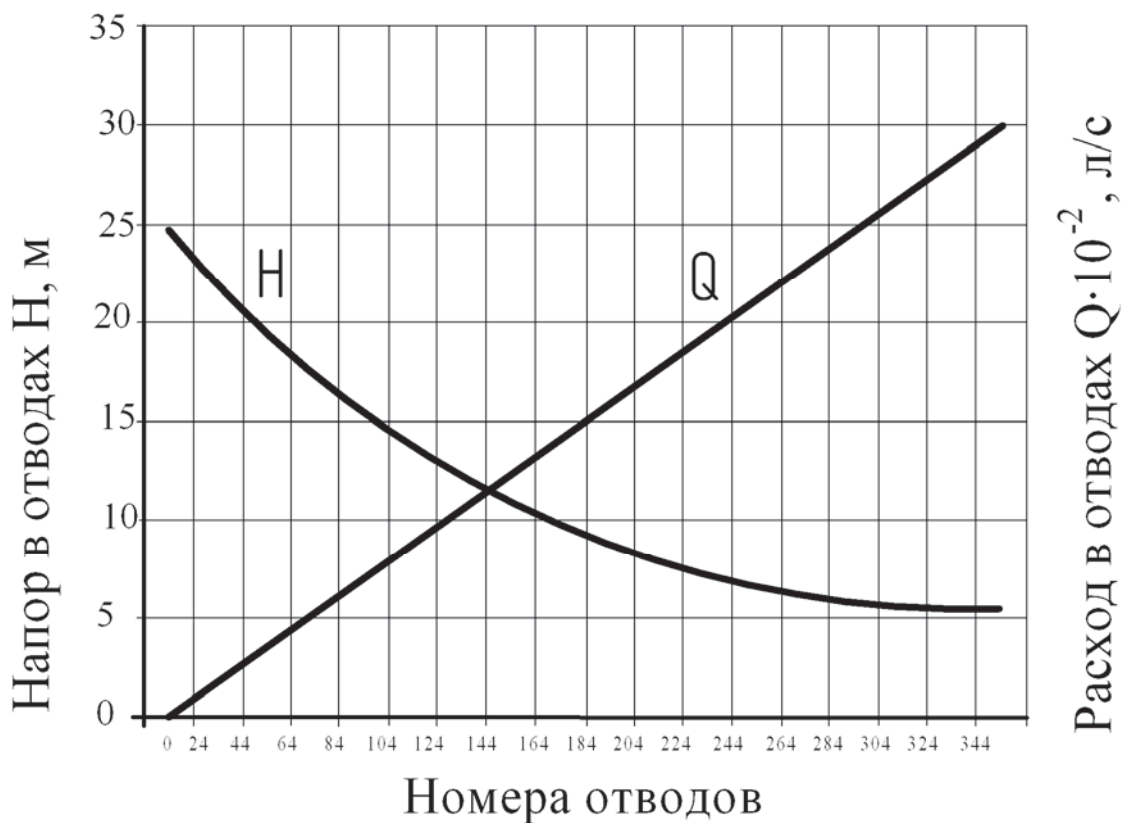


Рисунок 2.33 – Напор и расход в отводах трубопровода

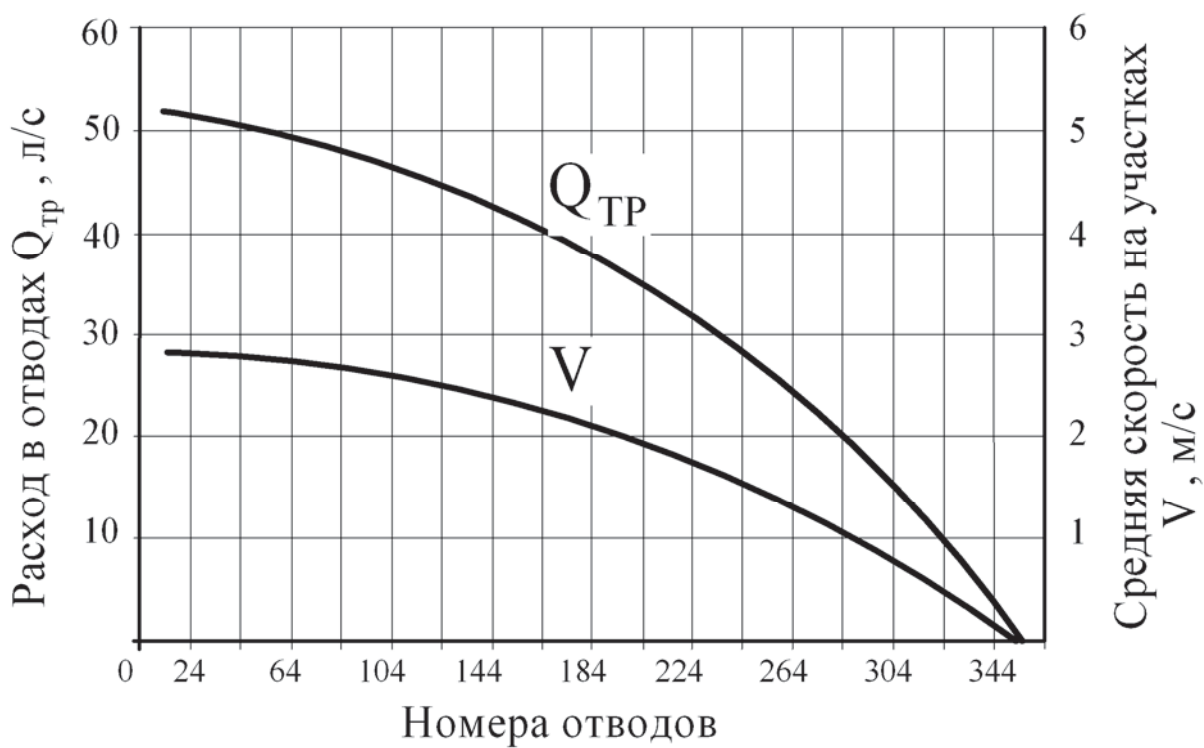


Рисунок 2.34 – Расход и средняя скорость на участках трубопровода

На основе представленной методики был спроектирован номенклатурный ряд дождеобразующих устройств и реализован на примере широкозахватной дождевальнoй машины кругового действия «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ – ООО «Мелиоративные машины» [76, 78].

Пример расчета ДМ с консолью: общая длина машины 527 м с консолью 27 м; фактическая поливаемая площадь 87,2 га; длина трубопровода диаметром  $d = 159$  мм (внутренний диаметр 153 мм) составляет  $L_M = 500$  м; консоль в виде трубы 13,5 м внутренним диаметром 147,2 мм и длиной 13,5 м – 96 мм; расстояние между отводами  $L_{от} = 1,45$  м; слой осадков  $h_{ос} = 40$  мм; геодезический напор  $H_r = 4,5$  м; напор на последнем отводе 2 м.

Скорость движения последней опорной тележки  $V_{ср} = 0,31$  м/мин. Для работы машины необходим расход  $Q_M = 57,72$  л/с.

Суммарные потери напора в водопроводящем тракте составляют  $\Sigma h_{тр} = 24,9$  м, а потребный напор на гидранте дождевальной машины  $H_{потр} = 31,4$  м. Диаметр сопла дождевателей изменялся по длине от 2,5 до 12 мм.

Условиями выбора при рассмотрении вариантов при конструировании должны быть следующие:

- скорость движения воды в водопроводящем трубопроводе не должна превышать 3 м/с;
- гидромодуль – т.е. количество воды (удельный расход), передаваемое на единицу площади в единицу времени должен быть максимально приближен к единице.



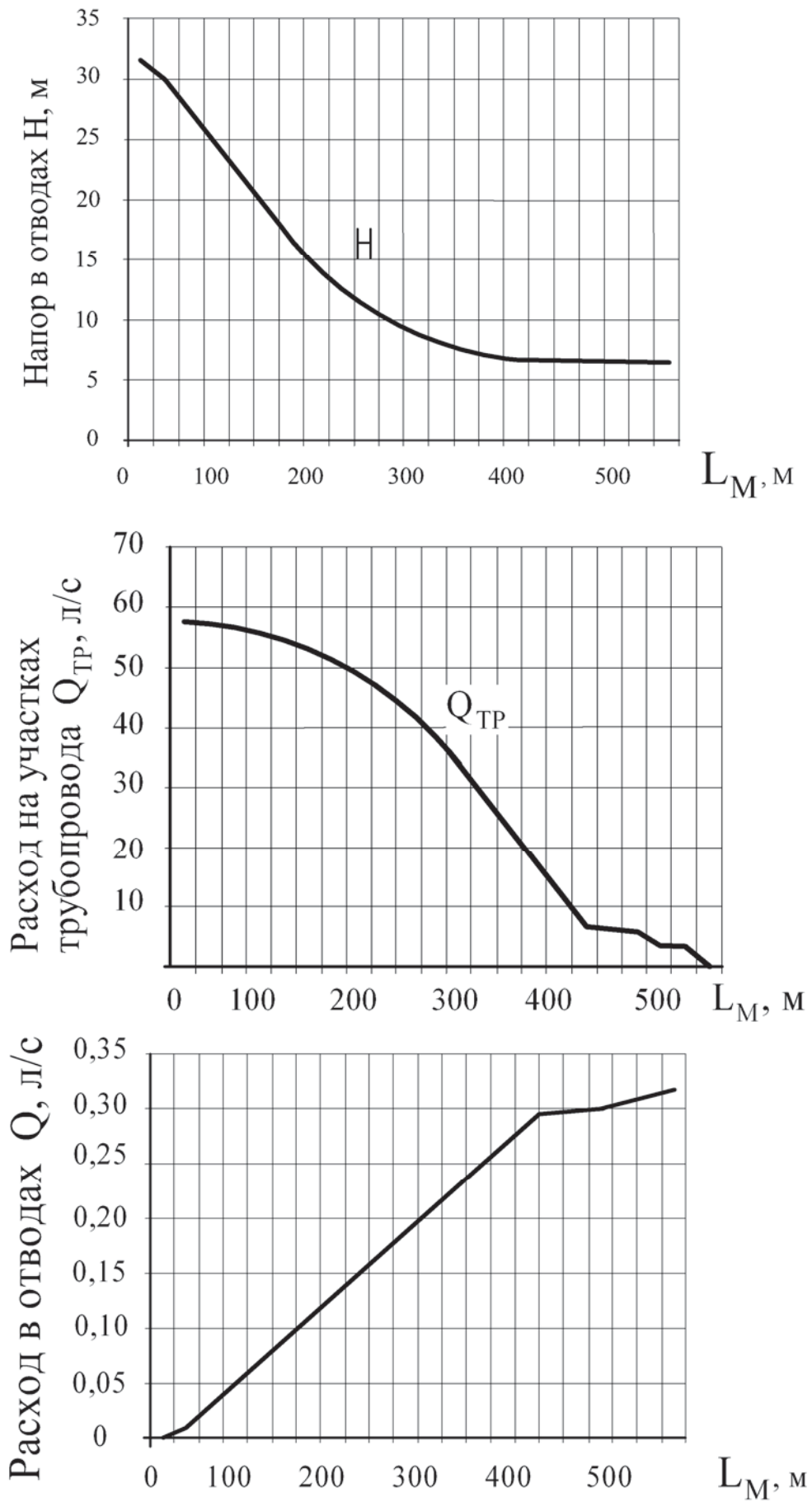


Рисунок 2.35 – Характеристики потока по длине трубопровода ДМ с консолью

## 2.5 Снижение материальных ресурсов при проектировании широкозахватных ДМ кругового действия

### 2.5.1 Оптимизация длины пролета и конструктивно-высотных свойств

Одним из путей экономии материальных ресурсов является оптимизация конструкций дождевальных машин, которая проявляется в снижении их металлоемкости [5, 61-63].

Рассмотрим металлоемкость дождевальных машин, т/га, как отношение:

$$M = \sum m_M / S_0; \quad (2.65)$$

где  $\sum m_M$  – масса машины, т;

$S_0$  – площадь полива, га.

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

$$\sum m_M = m_{оп} + n_T m_T + m_{ВТ} + m_K, \quad (2.66)$$

где  $n_T$  – количество тележек.

Количество опорных тележек можно выразить как

$$n_T = \text{INT} \left( \frac{L_M - \ell_{кон}}{\ell_{пр}} \right), \quad (2.67)$$

$L_M$  – длина машины;

$\ell_{кон}$  – длина консоли;

$\ell_{пр}$  – расстояние между пролетами.

Массу водопроводящего трубопровода с системой крепления можно выразить как:

$$m_{ВТ} = m_{1ВТ} (L_M - \ell_{кон}), \quad (2.68)$$

$m_{1ВТ}$  – масса метра водопроводящего трубопровода с средней массой, приходящихся на него систем шпренгелей и креплений

$$\sum m_M = m_{оп} + \left( \frac{L_M - \ell_{кон}}{\ell_{пр}} \right) m_T + m_{1ВТ} L_M + m_K, \quad (2.69)$$

Т.о. очевидными путями снижения металлоемкости машины являются:

1. Увеличением пролетов между тележками (уменьшение количество тележек);
2. Уменьшением массы водопроводящего трубопровода за счет оптимизации шпренгельных систем и применения трубопровода с переменным диаметром труб по длине машины.

Рассмотрим отдельно водопроводящий трубопровод машины, его диаметр, соотношение длин пролетов и общую длину машины для ДМ типа «Фрегат» и ДМ «Кубань».

ДМ «Фрегат» изготавливается в двух исполнениях: «Фрегат-1» – машины марки ДМУ-А и «Фрегат-2» – машины марки ДМУ-Б [129, 268, 269].

ДМУ-А – машины, водопроводящий трубопровод которых состоит из труб Ø 152,4 мм. Для работы на полях с повышенными местными уклонами на трубопроводе этих машин могут быть установлены гибкие вставки; ДМУ-Б - машины, водопроводящий трубопровод которых состоит из труб Ø 177,8 и 152,4 мм. Гибкие вставки на трубопроводе не устанавливаются [64].

Номенклатурный ряд ДМ «Кубань-ЛК1» представлен на рис. 2.36. Для ДМ с максимальной длиной диаметр труб по длине машины изменяется от основной опоры как 203 мм, 168 мм и консоль 152,4 мм и 102 мм.

Металлоемкость ДМ типа «Кубань ЛК1», табл. 2.6 значительно выше ДМ типа «Фрегат» и явно требует детального анализа и оптимизации конструкции.

Снижение массы машин «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48,7 м в сравнении с классическим исполнением «Кубань-ЛК1» объясняется снижением массы трубопровода за счет уменьшения диаметра труб до 159 мм представленного модельного ряда.

На основании анализа металлоемкости, представленного в таблице 2.6, построим графики, рис. 2.37-2.38. При увеличении площади полива, охватываемой одной дождевальнoй машиной, металлоемкость снижается, поскольку достаточно значительная масса приходится на основную опору, присутствующую в любой машине независимо от длины, а соответственно площади захвата. Также хорошо

заметно снижение металлоемкости при увеличении длины пролетов с 48,7 до 59,5м и 65,25 м.

### Схема расположения ферм модификаций машины с консолью ЭФ-20.0

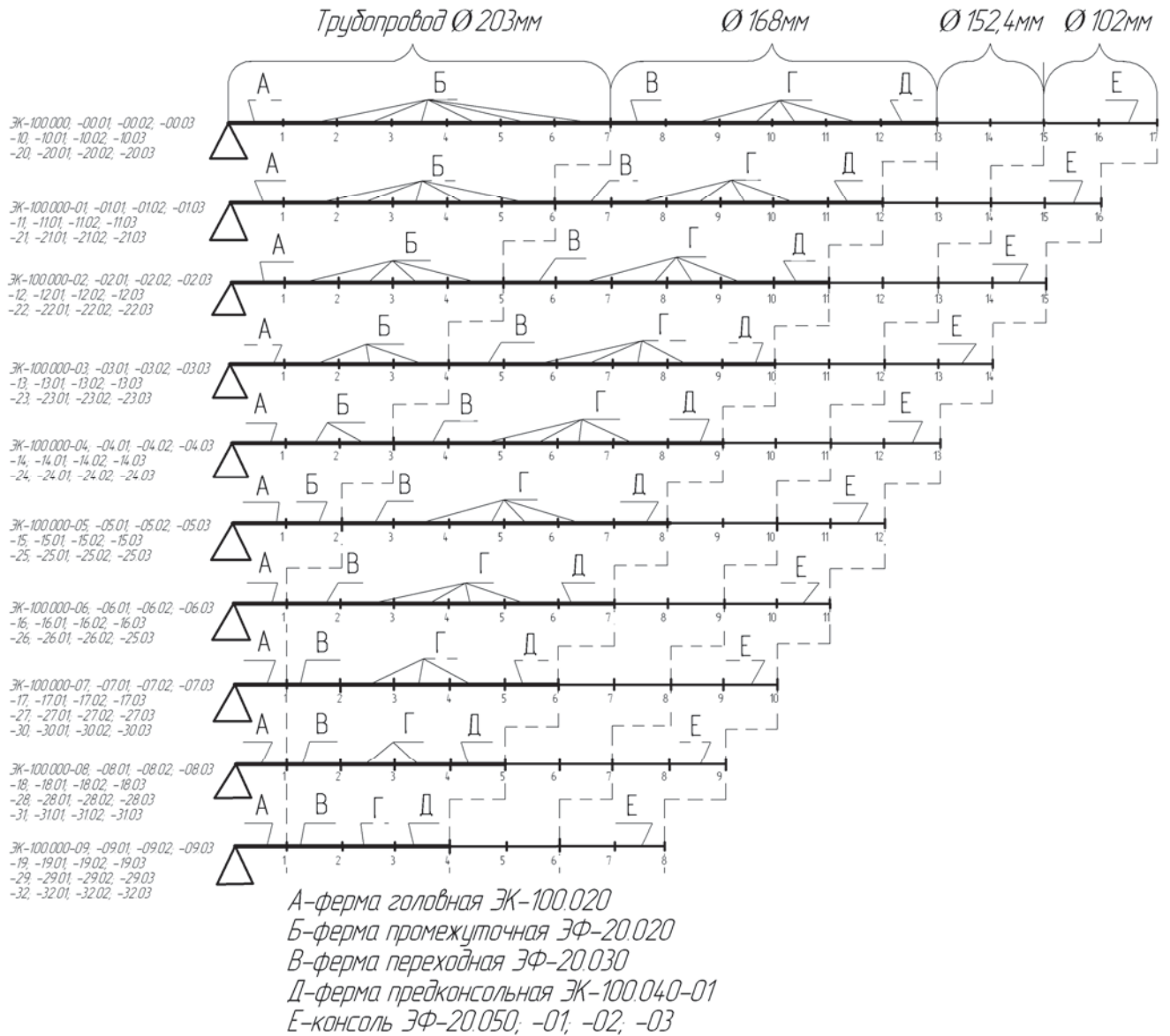


Рисунок 2.36 – Модельный ряд ДМ «Кубань-ЛК1»

Таблица 2.6 – Металлоемкость машин кругового действия

«Фрегат-ДМ»				«Фрегат-ДМУ А»				«Фрегат-ДМУ Б»			
модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га	модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га	модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га
454	15,0	64,7	0,23	199	6,5	12,43	0,52	349	12,20	38,2	0,34
424	14,1	56,4	0,25	299	7,4	28,07	0,26	409	13,20	52,52	0,25
394	13,2	48,7	0,27	253	8,2	20,09	0,1	434	14,00	59,14	0,23
365	12,3	41,8	0,29	293	9,2	26,95	0,34	463	15,00	67,31	0,22
335	11,4	35,2	0,32	308	10,0	29,78	0,33	488	15,80	74,77	0,21
				337	10,3	35,66	0,29	518	16,80	84,25	0,20
				362	11,7	41,14	0,28	542	17,60	92,58	0,19
				392	12,6	48,25	0,26	572	18,60	102,7	0,18
				417	13,4	54,60	0,245				
«Кубань-ЛК1»				МДЭК (КАСКАД) (59,5м)				МДЭК «КАСКАД» (65,2м)			
Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га	модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость	модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость
212	9,0	14,1	0,64	146*	4,4	6,69	0,66	130	3,33	5,30	0,63
251	10,9	19,7	0,55	205*	6,2	13,19	0,47	195	5,30	11,93	0,44
300	12,8	28,2	0,45	265*	8,0	22,05	0,36	260	7,84	21,22	0,37
358	14,6	40,2	0,36	324*	9,8	32,96	0,29	326	9,83	33,37	0,29
397	15,5	49,4	0,32	384*	11,6	46,30	0,25	391	11,79	48,00	0,24
435	18,4	59,4	0,31	443*	13,4	61,62	0,21	456	13,75	65,29	0,21
474	20,3	70,5	0,28	497*	15,1	77,56	0,20	521	15,71	85,23	0,18
512	22,2	82,3	0,27	503*	15,2	79,44	0,19				
551	24,1	95,3	0,25	562*	17,0	99,17	0,17				
589	25,9	108,9	0,23								

\*консоль 27,2м; длина пролета 59,5м

«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (48,7)

Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га
124	3,27	4,82	0,67
173	5,72	9,39	0,61
222	8,19	15,47	0,52
270	9,84	22,89	0,43
319	11,05	31,95	0,34
368	12,43	42,52	0,29
416	14,64	54,34	0,26
465	16,7	67,89	0,24

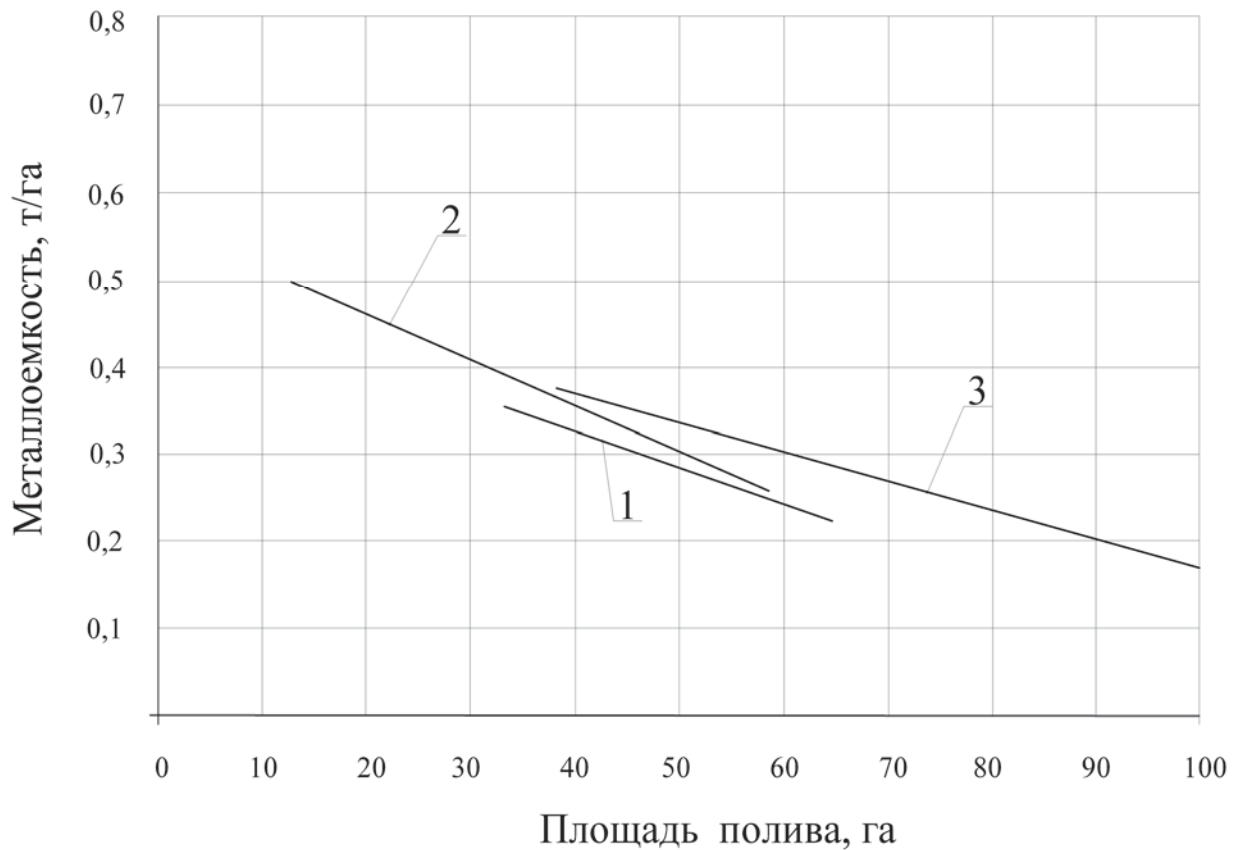


Рисунок 2.37 – Зависимость металлоемкости от площади полива:

1 – «Фрегат-ДМУ-Б»; 2 – «Фрегат-ДМ»; 3 – «Фрегат-ДМУ-А»

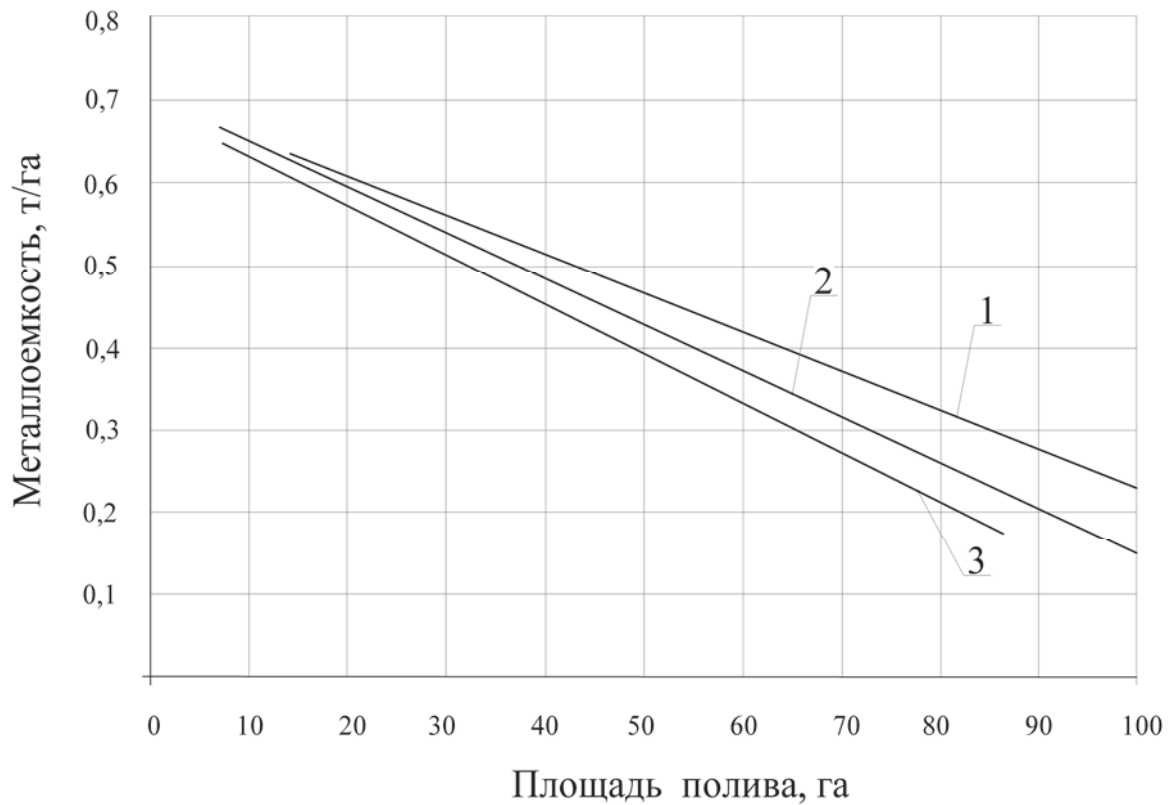


Рисунок 2.38 – Зависимость металлоемкости от площади полива

1 – «Кубань-ЛК1»; 2 – «КАСКАД» (59,5 м); 3 – ДМ «КАСКАД» (65,2 м).

Определим ряд показателей и коэффициентов, по которым возможно будет оценить и сравнить различные конструкции и модификации между собой по материалоемкости.

Установим конструктивный коэффициент массы машин [5, 62], т.е. отношение общей массы к массе водопроводящего пояса. В табл. 2.7 приведены данные коэффициента для различных типов машин. Конструктивный коэффициент имеет незначительные колебания между модификациями по максимуму и минимуму и составляет для ДМ «Фрегат» от 4,13 до 4,62 и для ДМ типа «Кубань» 3,17 до 3,97.

Поэтому для каждого типа машин можно принять их средние значения.

Также анализ показывает следующее:

1. Конструктивный коэффициент массы у машин с переменным диаметром водопроводящего трубопровода при прочих равных условиях («Фрегат-ДМ»,

"Фрегат-ДМУБ") значительно ниже, чем у машин с постоянным диаметром тросового троса ("Фрегат-ДМУА").

2. Конструктивный коэффициент у машин с жесткой фермой ("Кубань-ЛК1", «Кубань-ЛК1М (КАСКАД)») несколько ниже, чем у машин с вантовой подвеской фермы "Фрегат"), что говорит о перспективности данного направления.

3. Общая масса ДМ «КАСКАД» с системой пролетов 59,5 и 65,2м снижена по сравнению с ДМ «Кубань-ЛК1» за счет конструктивно иного исполнения фермы, шпренгельной системы подвески и креплений, а также диаметра и толщины тросового троса.

4. Увеличение пролетов с 48,7м до 59,5 и 65,25 м, а соответственно уменьшение количества опорных тележек, приводов также способствует снижению общей массы машины. Рассмотрим соотношение длины пролетов машин и конструктивной массы (табл.2.8).

Представим зависимость массы машины от ее длины для различных модификаций с разными длинами пролетов (рис. 2.39-2.40). Из рисунков видно, что увеличение длины пролетов способствует снижению массы, а значит и стоимости машины в целом, что особенно видно на примере ДМ «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД».

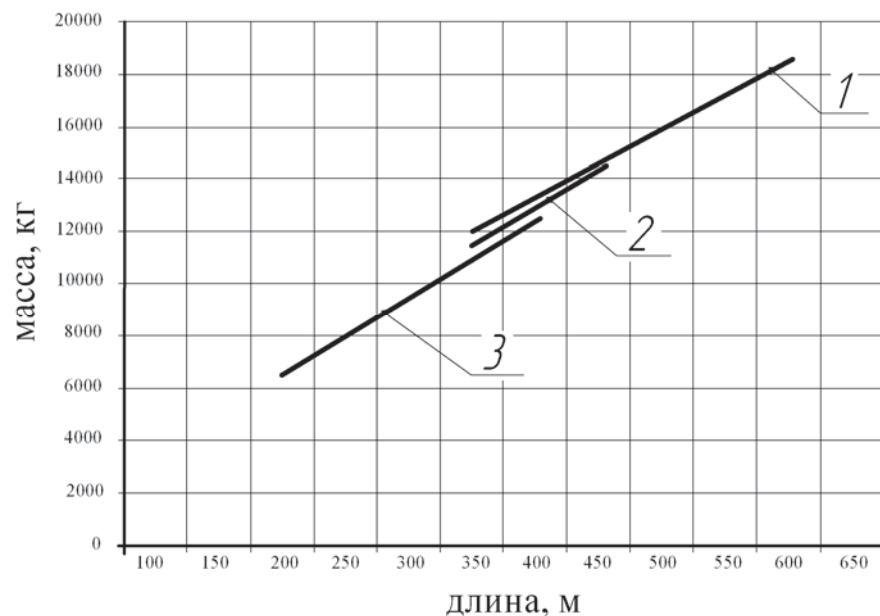


Рисунок 2.39 – Зависимость массы машины «Фрегат» от длины:  
1 – «Фрегат»-ДМУ Б; 2 – ДМ «Фрегат»; 3 – «Фрегат»-ДМУ А.



Таблица 2.7 – Конструктивный коэффициент массы ДМ

«Фрегат-ДМ»				«Фрегат-ДМУ А»				«Фрегат-ДМУ Б»			
модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент
	машины	водопроводящего пояса			машины	водопроводящего пояса			машины	водопроводящего пояса	
454	15000	3628	4,134	199	6500	1406	4,623	349	12200	2903	4,202
424	14100	3393	4,156	299	7400	1641	4,509	409	13200	3147	4,194
394	13200	3158	4,18	253	8200	1790	4,581	434	14000	3350	4,179
365	12300	2922	4,209	293	9200	2025	4,543	463	15000	3594	4,174
335	11400	2687	4,243	308	10000	2173	4,602	488	15800	3798	4,16
				337	10300	2403	4,525	518	16800	4042	4,156
				362	11700	2557	4,576	542	17600	4245	4,176
				392	12600	2792	4,513	572	18600	4489	4,143
				417	13400	2941	4,556				
Средний конструктивный коэффициент			4,18				4,55				4,173
МДЭК «Кубань-ЛК1»				МДЭК «КАСКАД»*				МДЭК «КАСКАД»**			
модификации	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификации	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификации	Масса, кг		Конструктивный коэффициент
	машины	водопроводящего пояса			машины	водопроводящего пояса			машины	водопроводящего пояса	
212	9045	2273	3,98	12-146,2*	4456	1169	3,81	130**	3300	968	3,41
251	10929	2800	3,90	15-205,7*	6266	1666	3,76	195**	5306	1570	3,38
300	12815	3326	3,85	20-265,2*	8077	2171	3,72	260**	7845	2357	3,32
358	14695	3852	3,85	27-324,7*	9879	2699	3,66	326**	9832	3005	3,27
397	10572	4350	3,81	24-384*	11688	3228	3,62	391**	11790	3627	3,25
435	18458	4859	3,79	45-443,7*	13477	3785	3,56	456**	13750	4263	3,22
474	20338	5356	3,79	58-503,2*	15259	4347	3,51	521**	15711	4951	3,17
512	22215	5897	3,78	68-562,7*	17052	4928	3,46				
551	24091	6371	3,78	497-90*	15117	4282	3,53				
589	25983	6874	3,78								
Средний			3,83				3,62				3,28

\*консоль 27,2м; длина пролета 59,5 м; \*\*длина пролета 65,25м

Таблица 2.8 – Соотношение длины пролета и конструктивной массы ДМ

«Фрегат-ДМ»				«Фрегат-ДМУ А»				«Фрегат-ДМУ Б»			
модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент
	машины	Длина пролета			машины	Длина пролета			машины	Длина пролета	
454	15000	24,7м	4,13	199	6500	24,7м	4,62	349	12200	29,6	4,202
424	14100	(1-7 опоры)- 29,6м (7-16 опоры)	4,15	299	7400	(1-7 опоры)	4,50	409	13200		4,194
394	13200		4,18	253	8200	(7-16 опоры)	4,58	434	14000		4,179
365	12300		4,20	293	9200		4,54	463	15000		4,174
335	11400		4,24	308	10000		4,60	488	15800		4,16
					337	10300		4,52	518		16800
				362	11700		4,57	542	17600		4,176
				392	12600		4,51	572	18600		4,143
				417	13400		4,55				
Средний конструктивный коэффициент		кон-коэф-	4,18				4,55				4,173
МДЭК «Кубань-ЛК1»				МДЭК «КАСКАД»*				МДЭК «КАСКАД»**			
модификации	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификации	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификации	Масса		Конструктивный коэффициент
	машины	Длина пролета, м			машины	Длина пролета			машины	Длина пролета, м	
212	9045	48,7	3,97	12-146,2*	4456	59,5	3,81	130	3300	65,2	3,41
251	10929		3,90	15-205,7*	6266		3,76	195	5306		3,38
300	12815		3,85	20-265,2*	8077		3,72	260	7845		3,32
358	14695		3,85	27-324,7*	9879		3,66	326	9832		3,27
397	15572		3,81	24-384*	11688		3,62	391	11790		3,25
435	18458		3,79	45-443,7*	13477		3,56	456	13750		3,22
474	20338		3,79	58-503,2*	15259		3,51	521	15711		3,17
512	22215		3,78	68-562,7*	17052		3,46				
551	24091		3,78	497-90*	15117		3,53				
589	25983		3,78								
Средний констр. коэффициент		констр.	3,83				3,62				3,28
*консоль 27,2м											

Продолжение таблицы 2.8

МДЭК «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)			
Модификации	Масса, кг		Конструктивный коэффициент
	машины	Длина пролета	
124*	3270	48,7	3,88
173*	5720		3,83
222*	8195		3,78
270*	9840		3,74
319*	11050		3,70
368*	12430		3,66
416*	14640		3,61
465*	16700		3,58
*консоль 27,2м			
Средний конструктивный коэффициент			3,62

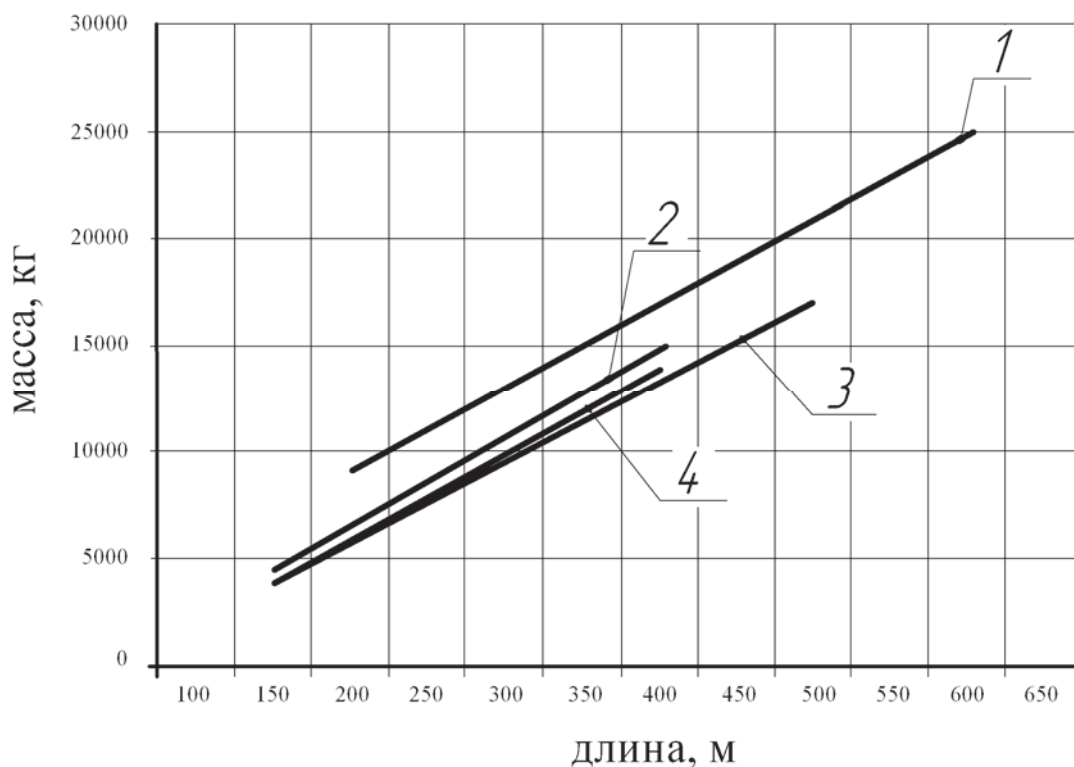


Рисунок 2.40 – Зависимость массы машины «Кубань» и «КАСКАД» от длины: 1 – «Кубань-ЛК1» (пролет 48,7м); 2 – МДЭК «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (пролет 48,7м); 3 – ДМ «КАСКАД» (пролет 59,5 м); 4 – ДМ «КАСКАД» (пролет 65,25 м);

Тем не менее длина пролетов ограничивается следующими факторами: прочностью системы, массой, оказывающей влияние на глубину колеи и условиями эксплуатации, т.е. рельефом, характеристиками почв. При значительных неровностях поверхности поля следует уменьшать длину пролетов и увеличивать количество опорных тележек.

Исследования на прочность проводились серией лабораторных и эксплуатационных испытаний, в том числе ФГБУ «Поволжской государственной зональной машиноиспытательной станцией», что отражено в ПД 100-00-000СБ «Обоснования безопасности дождевальная машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) [185], протокол №08-11П-2016 от 11 ноября 2016 года приемочных испытаний [200], протокол испытаний №37 -19-2016 от 03.08.2016 Испытательного центра Автономной некоммерческой организации «Поволжский Агротех Тест Центр» [199]. На основании их были получены сертификат соответствия Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» № ТС RUC-RU. AE56.B.00561. Серия RUN№0142042 на «Кубань-ЛК1» (КАСКАД) и № ТС RUC-RU.AE56.B.00705. Серия RUN№0148041 на «КАСКАД» ООО Самарским центром испытаний и сертификации.

Рассмотрим ограничения длины пролетов условиями эксплуатации. Наибольшее влияние оказывает соответствие рельефа местности и профильных свойств машины.

Профильные свойства ДМ кругового действия при достаточной мощности привода и опорно-сцепных характеристиках определяются гибкостью и прочностью водопроводящего трубопровода (рельефная проходимость) и конструктивно-высотными показателями (агротехническая проходимость).

Гибкость трубопровода ДМ обеспечивается установкой по длине водопроводящего трубопровода гибких соединений и систем подвески или муфт (шарниров карданного типа).

Конструктивно-высотные свойства определяют возможность повреждения растений, задеванием орошаемой площади, ведут к буксованию, остановке или поломке.

У машин типа «Фрегат» агротехнический просвет  $H_1$  уменьшается в основном из-за прогиба и образования колеи (рис 2.41) [221].

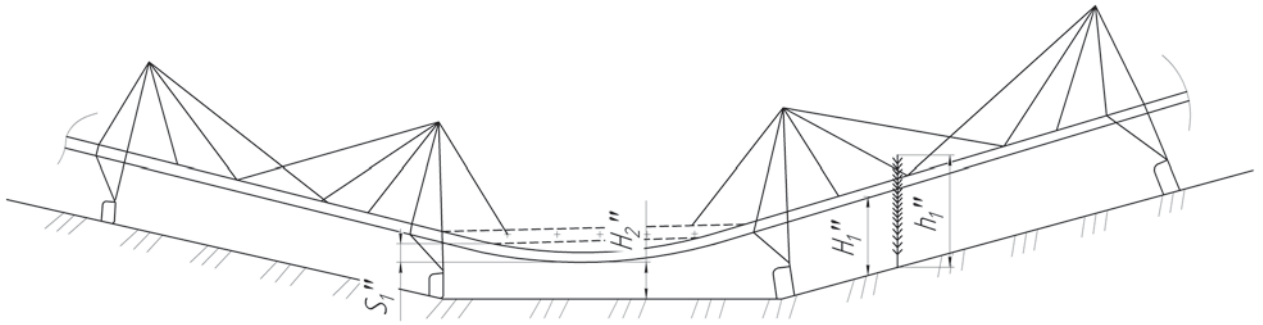


Рисунок 2.41 – Схема определения конструктивно-высотных свойств ДМ «Фрегат»

Для машин типа «Кубань-ЛК1» (с ферменными пролетами) просвет уменьшается из-за выпуклости рельефа и колееобразования при незначительных прогибах от веса (рис. 2.42) [221].

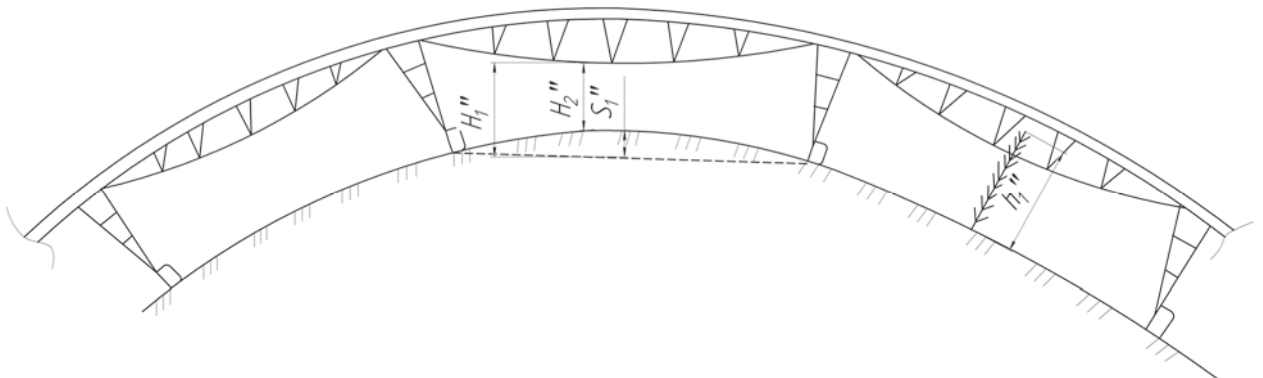


Рисунок 2.42 – Схема определения конструктивно-высотных свойств ДМ типа «Кубань»

Предложенный А.И. Рязанцевым критерий агротехнической проходимости ДМ выражается как отношение агропросвета на сложном рельефе к высоте растений, которое должно составлять не менее определенного постоянного значения, [221] т.е.

$$H_2/h_1 \geq \text{const}, \quad (2.70)$$

$H_2$  – агротехнический просвет машины,  $H_2 = H_1 - S_1$ ;

$S_1$  – величина уменьшения агротехнического просвета, м;

$h''_1$  – высота растений, м.

Допускаемое уменьшение агропросвета для ДМ «Фрегат» и ДМ типа «Кубань» определяется соответственно выражениями:

$$S''_1 = f_1'' + f_2'' + H'', \quad (2.71)$$

$$S''_1 = h_2'' + h_3'' + H'', \quad (2.72)$$

$f_1''$  и  $f_2''$  – прогиб гибкого пролета от уклона поля и веса трубопровода, м;

$H''$  – глубина погружения колес, м;

$h''_2$  и  $h''_3$  – уменьшение агропросвета из-за выпуклости рельефа и прогиба пролета, м.

Агротехнический просвет для ДМ «Фрегат» 2,2 м. Высота растений на примере кукурузы порядка 3 м. Тогда для ДМ «Фрегат»  $2,2/3 = 0,7 \geq \text{const}$  – для ровного рельефа.

Агротехнический просвет для ДМ «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» (КАС-КАД) 2,7 м. Высота растений на примере кукурузы 3 м. Тогда для ДМ «Кубань-ЛК1»  $2,7/3 = 0,9 \geq \text{const}$ . Для «КАСКАД» с пролетом 59,5 м – 2,9 м.  $2,9/3 = 0,96 \geq \text{const}$  – для ровного рельефа.

Согласно данным руководства по эксплуатации ЭК-100.000РЭ «Кубань-ЛК1» [210] допускается прогиб в середине машины до 0,6 м при пролетах 48,7 м. При глубине колеи 0,25 м снижение агропросвета происходит до 0,61. При увеличении длины пролета до 65,2 м, допускаемой величины прогиба 0,7 [211-212] и глубине колеи также 0,25 м для обеспечения агропросвета в пределах 0,6 – необходимо увеличить высоту подъема трубопровода минимум до 2,8 м.

При местных выпуклостях рельефа снижение агропросвета может быть значительнее.

### 2.5.2 Оптимизация ферменной конструкции водопроводящего пояса

Рассмотрим снижение металлоемкости ферменной конструкции водопроводящего пояса ДМ.

В результате прочностного расчета были получены сечения элементов ферм, массы панелей и всей фермы.

Важным показателем ферм является металлоемкость (в кг/м), т.к. она позволяет сравнивать равные конструкции ферм и выбирать из них наиболее экономичные.

Ферма в известной мере диктует требования к основной опоре и опорным тележкам, так как от массы ее зависит удельное давление на грунт, проходимость, устойчивость на опрокидывание. Масса фермы зависит от типа поперечного сечения, числа и размеров элементов (угольников).

В настоящее время для ДМ типа «Кубань» и «КАСКАД» используются два типа ферм (креплений, системы шпренгелей и угольников).

Ферма типа 1, применяемая на ДМ «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48,7 м в поперечном сечении имеет равнобедренный треугольник с разными длинами стоек и раскосов (рис. 2.43).

Ферма 2 типа, усовершенствованный вариант, установлена на ДМ «КАСКАД» с пролетами 59,5 м и ДМ «КАСКАД» с пролетами 65,2 м в поперечном сечении также представляет собой равнобедренный треугольник с равновеликими тягами и раскосами и креплением в одной точке (рис. 2.44).

Введем показатель, характеризующий совершенство системы ферменного пояса – коэффициент металлоемкости фермы, как отношение общего периметра угольников на пролет к длине пролета:

$$K_{\text{ФП}} = \frac{\sum P_{\text{УГ}}}{\ell_{\text{ПР}}}, \quad (2.73)$$

где  $\sum P_{\text{УГ}}$  – общий периметр угольников на пролет, м;

$\ell_{\text{ПР}}$  – длина пролета, м .

Общий периметр угольников на пролет  $\sum P$  для «Кубань-ЛК1» и «Кубань – ЛК1М» с пролетом 48,7м:

$$\sum P = P_2 + 2P_5 + 2P_6 + P_8 = 58,79 \text{ м}$$

$P_2, P_5, P_6, P_8$  – периметры соответственно угольников 2, 5, 6, 8.

$$K_{\text{ФП}} = \frac{58,79}{48,7} = 1,2.$$

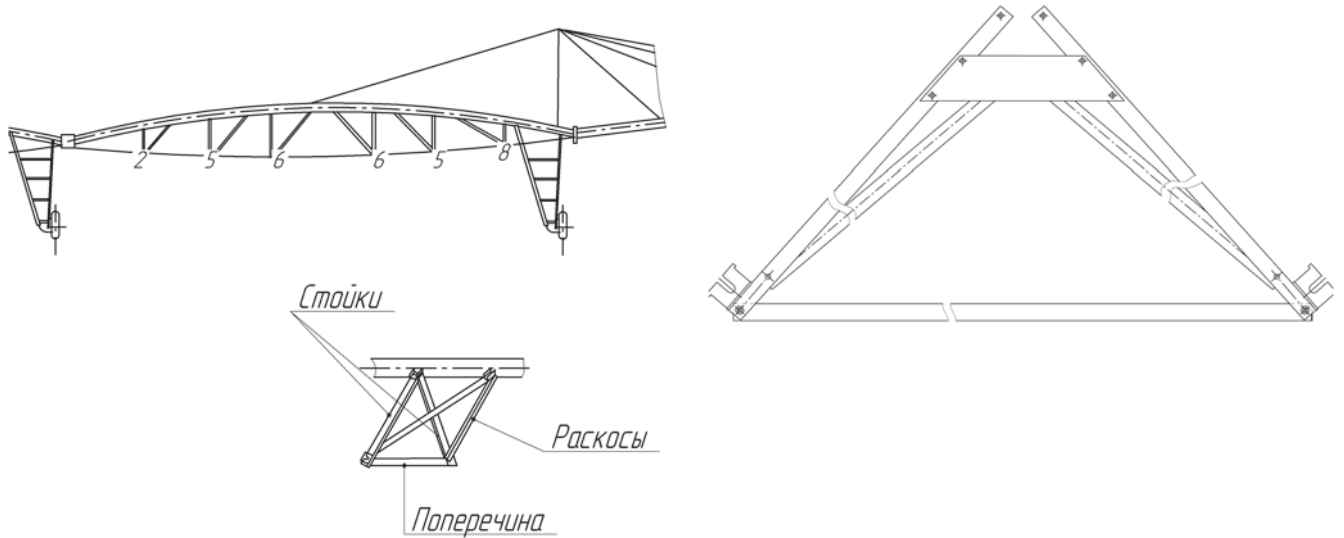


Рисунок 2.43 – Ферменная конструкция «Кубань-ЛК-1М» с длиной пролета 48,7м

ДМ – «КАСКАД»: (пролет 59,5м)

$$\sum P = 2P_1 + 2P_2 + 2P_3 + P_4 = 62,24 \text{ м}$$

$P_1, P_2, P_3, P_4$  – периметры соответственно угольников 1, 2, 3, 4.

ДМ – «КАСКАД»: (пролет 65,2м)

$$\sum P = 2P_1 + 2P_2 + 2P_3 + 2P_4 = 67,72 \text{ м}$$

$P_1, P_2, P_3, P_4$  – периметры соответственно угольников 1, 2, 3, 4.

Т.о. для ДМ «КАСКАД» с пролетами 59,5м и ДМ «КАСКАД» с длиной пролетов 65,2 м:  $K_{ФП} = 1,04$ .





Рисунок 2.44 – Ферменная конструкция ДМ «КАСКАД» с длиной пролета 59,5м

Введем показатель, характеризующий массу угольников ферменного пояса – коэффициент массы угольников, как отношение общей массы угольников на пролет к длине пролета:

$$K_{\text{уг}} = \frac{\sum m_{\text{уг}}}{\ell_{\text{пр}}}, \quad (2.74)$$

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

$\ell_{\text{пр}}$  – длина пролета, м.

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Характеристики ферменной конструкции ДМ «Кубань» и «КАСКАД»

Тип ДМ	«Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	«КАСКАД» (59,5м)	«КАСКАД» (65,25м)
Масса угольников шпренгельной системы на пролет, кг	198,12	209,74	228,21
Периметр шпренгельной системы на пролет, м	58,79	62,24	67,72
Длина пролета, м	48,7	59,5	65,25
Коэффициент металлоемкости фермы	1,2	1,04	1,04
Коэффициент массы угольников	4,0	3,5	3,5
Процент увеличения длины пролета, %	0	22,1	33,8
Процент увеличения массы угольников системы на пролет, %	0	5,8	15,1

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

Т.о. в качестве основных направлений снижения металлоемкости широкозахватных дождевальных машин можно выделить как основные: увеличение длины пролетов между опорными тележками, уменьшение массы водопроводящего трубопровода за счет оптимизации ферменного пояса, шпренгельных систем и применения трубопровода с переменным диаметром труб по длине машины.

## 2.6 Разработка системы автоматизации и управления ДМ кругового действия

Как известно, снижение трудовых ресурсов возможно при:

- увеличении производительности,
- автоматизации системы управления на базе компьютерных технологий, позволяющих уменьшить численность обслуживающего персонала и простои поливной техники.

Коэффициент использования времени смены, также как и число дождевальных машин, обслуживаемых одним человеком, зависит от возможностей автоматизации процесса полива.

На требованиях к системе автоматизации и управления остановимся более подробно. Автоматизация процессов орошения дождеванием осуществляется по следующим направлениям:

- автоматизация комплекса "Насосная станция - оросительная сеть - дождевальная техника";
- автоматизация отдельных технологических процессов;
- наличие GSM контроля оборудования (для осуществления дистанционного управления машиной, контроля движения, качества полива, автоматизация сбора, переработки и передачи информации с орошаемого поля).

Автоматизация полива с помощью гидроуправляемых задвижек, включение – выключение которых осуществляется по сигналу с насосной станции дает возможность варьировать поливными нормами без резкого снижения коэффициента использования времени.

Установлено [62] что, при работе с использованием гидрозадвижек затраты времени на их переключение составляют не более одной минуты, необходимость их установки очевидна.

Скорость перемещения всей машины, а, следовательно, и величина слоя дожда, создаваемого дождевателями, зависит от скорости крайних тележек. Режим движения всех типов машин «Кубань» старт-стопный, средняя скорость переме-

щения определяется длительностью импульсов и пауз, которые задаются в пределах от 6 до 60 с.

При движении промежуточных тележек за счет возникающих боковых усилий сжатия образуется стрела прогиба  $D_{\text{выб}}$  (рис. 2.45). Для своевременного срабатывания приборов синхронизации движения тележек в линию (ПСЛ) задается значение угла отклонения  $\alpha$ . Для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) он составляет  $1,6^\circ$ , определяется общей прочностью ферменной системы и сцепного устройства [210]. Соотношение между стрелой прогиба, длиной пролета и значением установочного угла  $\alpha$  имеет вид:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{D_{\text{выб}}}{\ell_{\text{ПР}}}\right), \quad (2.75)$$

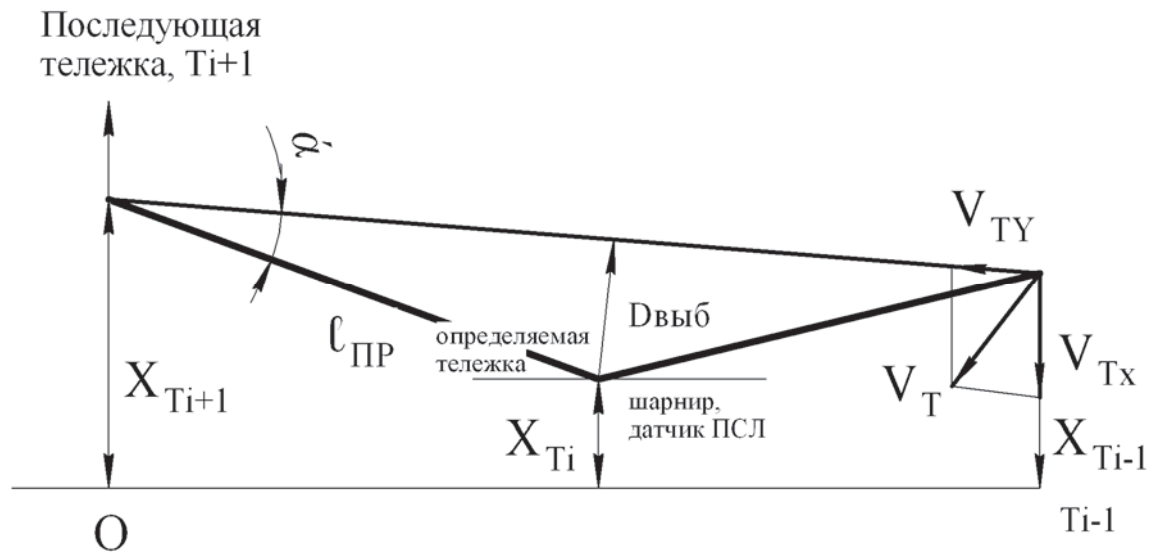


Рисунок 2.45 – Расчетная схема водопроводящего трубопровода при движении:  $X_{Ti}$ ,  $X_{Ti+1}$ ,  $Y_{Ti}$ ,  $Y_{Ti+1}$  – соответственно, координаты положения определяемой и последующей тележек;  $V_{Tx}$ ,  $V_{Ty}$ ,  $V_T$  – соответственно скорости перемещения, боковая и линейная.

Промежуточные тележки ДМ работают в старт-стопном режиме, поэтому динамика их работы определяется наличием величины выбега (отставания) от двух соседних.

Для ДМ «Кубань-ЛК1» с пролетом 48,7 м угол будет определяться как:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{1,4}{48,7}\right) = 1,6^\circ$$

Значения выбега от длины пролета при срабатывании ПСЛ для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» сведем в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Параметры выбега тележек

Длина пролета, м	Угол отклонения, град	Выбег, м
48,7	1,6	1,4
59,5	1,6	1,66
65,2	1,6	1,82

Необходимо отметить, что  $\dot{\alpha} = f(t)$

$$\dot{\alpha} = \omega_T(t - t_i) \quad (2.76)$$

$\omega_T$  – угловая скорость изменения координаты,

$$\omega_T = \frac{V_T}{\ell_{пр}}, \quad (2.77)$$

$V_T$  – линейная скорость движения тележки.

Скорость движения последней тележки для «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) регулируется в пределах 0,1-1,8 м/мин.

Время движения  $i$ -й тележки относительно  $(i+1)$  без паузы [44], с.

$$(t - t_i) = \frac{\ell_{пр}\dot{\alpha}}{V_T}, \quad (2.78)$$

$\dot{\alpha}$  – в радианах,  $V_T$  – в м/с.

Время движения в зависимости от скорости движения, выбега при разных длинах пролетов представим в таблице 2.11.

Установлено, что с уменьшением скорости ДМ (увеличение нормы полива), резко возрастает суммарное количество включений тележек. Так при скорости 0,5 м/мин, время движения в 2,6 раз больше, чем при скорости 1,3 м/мин, а соответственно и включений будет больше.

При работе ДМ на режимах с нормами более 500-600 м<sup>3</sup>/га суммарное количество включений резко возрастает и, следовательно – увеличивается интенсивность работы систем ПСЛ, ПСК.

Таблица 2.11 – Время движения в зависимости от скорости движения и длины пролетов при непрерывном движении

Длина пролета, м	Выбег, м	Время движения (с) в зависимости от скорости движения (м/мин)							
		0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
48,7	1,4	441	165	120	88	73	63	53	47
59,5	1,66	539	202	147	108	90	77	65	58
65,2	1,82	591	220	160	117	98	84	70	65

Любое отклонение в движении, буксование приводит к местному переполиву, усилению стока воды, дополнительным условиям для искривления, что необходимо учитывать при задании режима работы.

Как было сказано ранее, важным требованием к автоматической системе управления является возможность смены режима полива при прохождении круга с возможностью задания точек смены скорости по окружности в зависимости от заданных координат или угла сектора, а также возможность реверса при работе.

Это позволит проводить полив с разными поливными нормами на одном участке, т.е. при выращивании разных культур, повысить эффективность использования для полива участков с разным уровнем грунтовых вод, исключить орошение на участках, не требующих полива, при применении технологии полива в несколько приемов повысится КЗИ при поливе нестандартных участков.

Для повышения качества полива рассмотрим возможность регулирования поливной нормы в зависимости от расположения машины на поле.

Допустим, машина осуществляет полив начальной поливной нормой  $m_{п}$ ,  $m^3/га$  поле, разбитое на три участка виде сектора (рис. 2.46). На каждом участке обозначим среднюю точку пути движения машины с некоторым значением времени, нормы полива и скорости движения машины.

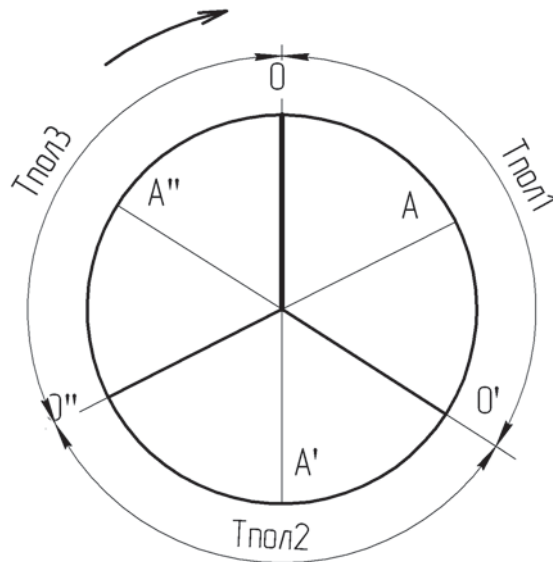


Рисунок 2.46 – Схема работы ДМ при секторном поливе

Зная поливную норму, можно определить время, за которое машина осуществит полив каждого участка:

$$Q_M T_{\text{пол}} = m_{\text{п}} S_0, \quad (2.79)$$

где  $Q_M$  – расход дождевальной машины, м<sup>3</sup>/ч;

$T_{\text{пол}}$  – время полива дождевальной машиной каждого участка, ч;

$S_0$  – площадь полива дождевальной машиной, га.

Откуда время полива каждого участка

$$T_{\text{пол}} = \frac{S_0 m_{\text{п}}}{Q_M}. \quad (2.80)$$

Площадь полива каждого участка

$$F_{\text{пол}} = \frac{S_0}{n_{\text{уч}}}, \quad (2.81)$$

где  $n_{\text{уч}}$  – количество участков.

Зная время  $T_{\text{пол}}$ , скорость движения  $V_{\text{по}}$ , м/с, по каждому участку можно найти из выражения:

$$V_{\text{по}} = \frac{\ell_s}{3600 n_{\text{уч}} T_{\text{пол}}} = \frac{\pi R_M}{1800 n_{\text{уч}} T_{\text{пол}}}, \quad (2.82)$$

где  $\ell_s$  – длина пути движения последней тележки, м.

$$\ell_s = 2\pi R_M, \quad (2.83)$$

При первом поливе, необходимое количество влаги в точке А  $W_A$ , м<sup>3</sup>/га:

$$W_A = m_{\Pi} + 0,5E_1T_{\text{пол1}}, \quad (2.84)$$

где  $E_1$  – среднечасовое водопотребление на первом участке, м<sup>3</sup>/га;

$T_{\text{пол1}}$  – среднее время полива ДМ участка, ч.

Суммарное водопотребление ( $E$ ) представляет расход воды на одном гектаре, то есть расход на испарение с поверхности почвы и на транспирацию. Существует несколько методов определения суммарного водопотребления, из них наиболее распространенными являются метод водного баланса активного слоя и биоклиматический метод [97].

Необходимая поливная норма:

$$m_1 = \frac{Q_M T_{\text{пол1}}}{F_{\text{пол}}} = \frac{360Q_M T_{\text{пол1}}}{\pi R_M^2 \alpha_{\text{пол}}}, \quad (2.85)$$

где  $R_M$  – радиус полива, м;  $R_M = L_M$ .

$\alpha_{\text{пол}}$  – угол сектора полива, град.

Приравнивая между собой выражения для  $W_A$  и  $m_{\Pi}$ , после преобразования получим выражение для среднего времени полива на первом участке:

$$T_{\text{пол1}} = \frac{F_{\text{пол}} m_{\Pi}}{Q - 0,5F_{\text{пол}} E_1}, \quad (2.86)$$

Средняя скорость движения дождевальной машины по данному участку:

$$V_{\text{пол1}} = \frac{\pi R_M}{1800n_{\text{уч}} T_{\text{пол1}}}, \quad (2.87)$$

Определим необходимое количество влаги на втором участке  $W_{A'}$ , м<sup>3</sup>/га, в точке А':

$$W_{A'} = m_{\Pi} + E_1 T_{\text{пол1}} + 0,5E_2 T_{\text{пол2}}, \quad (2.88)$$

где  $E_2$  – среднечасовое водопотребление на втором участке, м<sup>3</sup>/га;

$T_{\text{пол2}}$  – среднее время полива дождевальной машиной второго участка, ч.

При этом поливная норма:

$$m_{2\Pi} = \frac{Q_M T_{\text{пол2}}}{F_{\text{пол}}} = \frac{360Q_M T_{\text{пол2}}}{\pi R_M^2 \alpha_{\text{пол}}}. \quad (2.89)$$

Среднее время полива:



$$T_{\text{ПОЛ2}} = \frac{F_{\text{ПОЛ}}(m_{\text{П}} + E_1 T_{\text{ПОЛ1}})}{Q_{\text{ОБЩ}} - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_2}, \quad (2.90)$$

Средняя скорость движения дождевальной машины по данному участку

$$V_{\text{ПОЛ2}} = \frac{\pi R_{\text{М}}}{1800n_{\text{УЧ}} T_{\text{ПОЛ2}}}, \quad (2.91)$$

Определим необходимое количество влаги  $W_{A''}$ , м<sup>3</sup>/га, в точке А'':

$$W_{A''} = m_{\text{П}} + E_1 T_{\text{ПОЛ1}} + E_2 T_{\text{ПОЛ2}} + 0,5E_3 T_{\text{ПОЛ3}}, \quad (2.92)$$

где  $E_3$  – среднечасовое водопотребление на третьем участке, м<sup>3</sup>/га;

$T_{\text{ПОЛ3}}$  – среднее время полива ДМ третьего участка, ч.

При этом поливная норма

$$m_{\text{П}} = \frac{Q_{\text{М}} T_{\text{ПОЛ3}}}{F_{\text{ПОЛ}}} = \frac{360Q_{\text{М}} T_{\text{ПОЛ3}}}{\pi R_{\text{М}}^2 \alpha_{\text{ПОЛ}}}, \quad (2.93)$$

Среднее время полива ДМ третьего участка

$$T_3 = \frac{F_{\text{ПОЛ}}(m_{\text{П}} + E_1 T_{\text{ПОЛ1}} + E_2 T_{\text{ПОЛ2}})}{Q_{\text{М}} - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_3}. \quad (2.94)$$

Средняя скорость движения ДМ по третьему участку

$$V_{\text{ПОЛ3}} = \frac{\pi R_{\text{М}}}{1800n_{\text{УЧ}} T_{\text{ПОЛ3}}}. \quad (2.95)$$

Площадь сектора, т.е. площадь поливаемого участка определяется по известной зависимости:

$$F_{\text{ПОЛ}} = \frac{\pi R_{\text{М}}^2 \alpha_{\text{ПОЛ}}}{360}. \quad (2.96)$$

Таким образом, мы определили среднее время, норму полива и скорость дождевальной машины на каждом участке орошаемого поля при первом поливе. Аналогичным образом можно определить параметры последующих поливов (Приложение 5).

Т.о. при задании водопотребления, длины машины, количества участков с разными условиями полива и расхода машины должна автоматически задаваться скорость движения последней тележки, время полива участка, точки смены режима работы в зависимости от градуса поворота.

## 2.7 Производительность. Режимы полива ДМ кругового действия

Повышение производительности может быть достигнуто за счет:

- увеличением расхода воды;
- автоматизации процесса полива дождевальными машинами;
- многоцелевого использования дождевальной техники;
- за счет увеличения ширины захвата.

Производительность дождевальной машины определяется по зависимости, га/ч [85, 130]:

$$P_M = \frac{3,6Q_M K_{CM}}{\beta_{И} m_{П}}, \quad (2.97)$$

$Q_M$  – расход воды машиной, л/с;

$K_{CM}$  – коэффициент использования времени смены,  $K_{CM} = 0,85$ , [100];

$m_{П}$  – норма полива, м<sup>3</sup>/га.

$\beta_{И}$  – коэффициент, характеризующий испарение воды,  $\beta_{И}=1,05-1,3$ , [100].

Производительность труда, га/ч:

$$P_T = P_M n_{DM}, \quad (2.98)$$

$n_{DM}$  – число дождевальных машин, обслуживаемых одним человеком.

Количество обслуживающего персонала для «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД» – 1 чел. на 6 машин без применения дистанционного управления.

Затраты труда, ч/га:

$$Z_T = \frac{1}{P_T}, \quad (2.99)$$

Рассматривая производительность отдельной машины, можно сказать, что высокорасходные машины более производительные и в практическом применении кажутся предпочтительнее. Однако если говорить о ресурсосбережении в мелиорации, то ясно – расход ДМ должен быть наименьшим из возможных.

Рассмотрим производительность на примере ДМ «КАСКАД», с пролетами 59,5 м и консолью 27 м (табл. 2.12-2.13).

Таблица 2.12 – Основные характеристики ДМ «КАСКАД»

Модификация установки	Кол-во тележек, шт.	Длина установки, м	Общий расход установки, л/с	Давление воды на входе в установку, МПа	Площадь полива, га	Радиус полива, м	Необходимая мощность генератора, кВт
86	1	86,7	6,5	0,19	2,3	86,7	2,5
146	2	146,2	11,7	0,2	6,7	146,2	3
205	3	205,7	14,6	0,21	13,2	205,7	3,5
265	4	265,2	20,2	0,23	22,1	265,2	4
324	5	324,7	26,9	0,25	33,1	324,7	5
384	6	384,2	34,2	0,27	46,3	384,2	6
443	7	443,7	45,2	0,29	61,8	443,7	6,5
503	8	503,2	57,7	0,31	79,5	503,2	7,4

Таблица 2.13 – Производительность ДМ «КАСКАД» в зависимости от нормы полива за проход (трубопровод Ø133 и 159мм)

Модификация (длина машины, м)	Минимальный /максимальный расход, л/с	Производительность ДМ, га/ч:					
		Норма полива, м <sup>3</sup> /га					
		200	300	400	500	600	700
86	6,5/44	0,1	0,07	0,05	0,04	0,035	0,03
146	11,7/44	<b>0,19</b>	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05
205	16,6/44	<b>0,23</b>	<b>0,15</b>	0,12	0,09	0,07	0,06
265	20,2/64	<b>0,32</b>	<b>0,21</b>	<b>0,16</b>	0,13	0,11	0,09
324	26,9/64	<b>0,52</b>	<b>0,29</b>	<b>0,22</b>	<b>0,17</b>	0,14	0,12
384	34,2/64	<b>0,56</b>	<b>0,36</b>	<b>0,27</b>	<b>0,22</b>	<b>0,18</b>	0,15
443	45,2/64	<b>0,72</b>	<b>0,48</b>	<b>0,36</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24</b>	<b>0,2</b>
503	57,7/64	<b>0,92</b>	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>	<b>0,37</b>	<b>0,31</b>	<b>0,26</b>

Определим производительность ДМ различных модификаций в зависимости от нормы полива и расхода воды установкой.

Из таблицы 2.13 видно, что на больших нормах полива рационально увеличение длины машины.

Характеристики трубопровода представлены в таблице 2.14. Максимальный расход трубопроводов дождевальная машины при скорости потока 3,5 м/с.

Таблица 2.14 – Характеристики трубопроводов, применяемых для ДМ «КАСКАД»

Трубопровод	Площадь рабочего сечения трубы, м <sup>2</sup>	Вместимость погонного метра трубы, л	Максимальный расход воды	
			л/с	м <sup>3</sup> /ч
Ø89	0,0054	5,410	18,93	68,15
Ø108	0,0082	8,171	28,59	102,92
Ø114	0,0092	9,160	32,06	115,42
Ø133	0,0126	12,66	44,33	159,59
Ø159	0,01838	18,38	64,34	231,62
Ø168	0,02061	20,61	72,14	259,70
Ø203	0,03048	30,48	106,68	384,05
Ø219	0,03563	35,63	124,71	448,96

Тогда рекомендуемые соотношения применяемых на ДМ диаметров трубопроводов, длин машины и норм полива представлены в таблице 2.15.

Рекомендуемые сочетания:

Длина ДМ от 290м до 450м – сочетание трубопроводов Ø159х3мм и Ø133мм.

Длина ДМ от 450м до 500м – в зависимости от давления на входе:

– при 0,3-0,37 МПа, сочетание трубопроводов Ø159мм и Ø133мм;

– при 0,28-0,35 МПа, сочетание трубопроводов Ø168мм и Ø159мм или Ø133мм.

Длина ДМ от 500м до 550м – в зависимости от давления на входе:

– при 0,37-0,43 МПа, сочетание трубопроводов Ø159мм и Ø133мм;

– при 0,34-0,37 МПа, сочетание трубопроводов Ø168мм и Ø159мм или Ø133мм;

– при 0,27-0,34 МПа, сочетание трубопроводов Ø203мм и Ø168мм или Ø159мм.

Длина ДМ от 550м до 650м – сочетание трубопроводов Ø203мм и Ø168мм или Ø159мм.

Длина ДМ свыше 650м – сочетание трубопроводов Ø219мм и Ø203мм или Ø168мм.

Таблица 2.15 – Рекомендуемые соотношения параметров

Характеристики трубопровода		Характеристики ДМ		
Диаметр трубопровода, мм	Максимальный расход, л/с	Длина ДМ, м	Норма полива за проход, м <sup>3</sup> /га	Рекомендуемая модель
Ø89	18,9	Для консолей либо в рекомендуемых сочетаниях	<200	86
Ø108	28,5		200-300	146
Ø114	32,0		200-350	205; 265
Ø133	44,3	До 290	300-450	265, 324
Ø159	64,3	290-520	300-450	384, 443, 503
Ø168	72,1	520	400-650	443, 503
Ø203	106,6	520	500-700	503
Ø219	124,7	Более 520	500-800	503

### *Влияние режима работы на производительность машины*

Работа дождевальной машины в режиме "старт-стоп" как бы совмещает полив в движении с позиционным поливом при непрерывной подаче воды. Установкой на таймере соответствующих значений соотношения между периодами движения и остановкой изменяется скорость движения и выдаваемая норма полива. При этом, чем меньше время импульса «старт» и больше время паузы «стоп», тем выше значение нормы полива.

Норму полива за проход машины можно представить в виде [246]:

$$m_{п} = m_{ст} + m_{дв}, \quad (2.100)$$

$m_{ст}$  – позиционная норма полива, м<sup>3</sup>/га;

$m_{дв}$  – норма полива, выдаваемая в процессе движения машины,  $m^3/га$ .

Норма позиционного полива зависит от интенсивности дождя и времени стоянки машины  $t_{СТ}$  и равна [62]:

$$m_{СТ} = 10\rho_{ср} t_{СТ} = 600Q_M t_{СТ} / b_M l_M, \quad (2.101)$$

$\rho_{ср}$  – средняя интенсивность дождя, мм/мин,

$t_{СТ}$  – время стоянки дождевальная машины, мин;

$Q_M$  – расход воды машиной на полив, л/с;

$b_M$  и  $l_M$  – ширина и длина захвата дождем машины, м. В данном случае принимаем  $l_M = L_M$

Норма, выдаваемая за время движения машины, равна [246]

$$m_{дв} = \frac{600Q_M}{L_M V_{ср}}, \quad (2.102)$$

где  $V_{ср}$  – средняя скорость движения опорной тележки, м/мин;

$L_M$  – длина машины, м.

Подставив выражения (2.101-2.102) в выражение (2.100), после преобразований, получим:

$$m_{П} = \frac{600Q_M}{L_M} \left( \frac{t_{СТ}}{b_M} + \frac{1}{V_{ср}} \right). \quad (2.103)$$

Еще одной особенностью является то, что при расчете следует принимать не паспортную, а фактическую скорость движения дождевальная машины, поскольку при движении в режиме "старт-стоп" имеет место пробуксовывание. Оно зависит от агрофона, типа почвы, скорости передвижения машины, влажности почвогрунта. Из-за снижения скорости тележки возникает переполив.

Помимо этого, передвижение колес опорных тележек по колее приводит к дополнительному уплотнению почвы и, как следствие, к ухудшению впитывания воды, и затрудняющему передвижение машины.

Поэтому фактическая и средняя скорость движения машин при передвижении с позиции на позицию всегда ниже паспортной, а выдаваемая норма полива выше, что необходимо учитывать при расчетах эксплуатационных режимов орошения.

Скорость движения тележки можно выразить как

$$V_T = \Delta S_M / t_{ДВ}, \quad (2.104)$$

$\Delta S_M$  – шаг движения машины;

$t_{ДВ}$  – время движения машины;

$$\text{а шаг } \Delta S_M = \ell_S / n_{Ш}, \quad (2.105)$$

$\ell_S$  – длина дуги траектории движения тележки;

$n_{Ш}$  – число шагов.

$$\ell_S = 2\pi L_M. \quad (2.106)$$

Шаг машины с учетом коэффициента буксования примет вид [246]:

$$\Delta S_M = V_T t_{ДВ} \beta_T / 60, \quad (2.107)$$

$\beta_T$  – коэффициент пробуксовывания.

Таким образом происходит замедление скорости движения машины между позициями и средней скорости движения, что уменьшит шаг машины, увеличит число циклов и норму полива за проход.

$\lambda_V$  – коэффициент, учитывающий соотношение между средней скоростью и скоростью движения между позициями:

$$\lambda_V = V_{CP} / V_T, \quad (2.108)$$

Среднюю скорость движения в зависимости от времени цикла можно определить по формуле

$$V_{CP} = 60 \Delta S_M \beta_T / t_{Ц}, \quad (2.109)$$

Время каждого цикла для машин "Кубань-ЛК1М" и "КАСКАД"

$t_{Ц} = 100$ с. Оно включает время движения  $t_{ДВ}$  и стоянки  $t_{СТ}$  машины:

$$t_{Ц} = t_{ДВ} + t_{СТ}. \quad (2.110)$$

Рассмотрим более подробно режим работы для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), при следующих заданных параметрах: длина машины – 487,7 м; радиус полива концевой аппаратуры – 25 м; расход – 64 л/с; частота вращения двигателя – 1390 мин<sup>-1</sup>; передаточное отношение мотор-редуктора – 64; передаточное отношение колесного редуктора – 50; статический радиус колеса – 0,62м; время цикла – 100 с; скорость тележки (max) – 1,8 м/мин; время (min) полного оборота – 30 ч; площадь полива – 82,5 га; минимальная норма полива – 40,5 м<sup>3</sup>/га.

Тогда соотношения полученных параметров работы можно представить в виде таблицы 2.16.

Представленные расчеты позволяют задать режим движения, т.е. скорость, а соответственно и норму полива с помощью процентного таймера (соотношения времени хода и паузы).

Таблица 2.16 – Характеристики работы ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Норма полива, м <sup>3</sup> /га	Радиус полива с учетом концевой аппарата, м	Скорость по внешнему радиусу полива, м/мин	Скорость тележки, м/мин	Ход, с	Пауза, с	Ход, %	Пауза, %	Время оборота, ч
50	512,7	1,44	1,378	48,7	11,3	81	19	37,02
100		0,72	0,689	24,4	35,6	41	59	74,05
200		0,36	0,344	12,2	47,8	20	80	148,10
300		0,24	0,230	8,2	51,8	14	86	222,15
400		0,18	0,172	6,1	53,9	10	90	296,20
500		0,14	0,138	4,9	55,1	8	92	370,25
600		0,12	0,115	4,1	55,9	7	93	444,30
700		0,10	0,098	3,5	56,5	6	94	518,35
				0	60	0	100	

## 2.8 Повышение эффективности использования земельных ресурсов

### 2.8.1 Уменьшение воздействия ходовых систем на почву

Основными показателями физических свойств почвы, определяющими ее несущие свойства, являются механический состав, удельный и объемный вес, водопроницаемость и влажность.

Наиболее сильное влияние на изменение характеристик почвы имеет влажность. Ухудшение прочностных свойств почвы при увеличении влажности вызывает возрастание буксования колес и приводит к возрастанию потерь на перека-



тивание. Это наблюдается при работе ДМ с большими поливными нормами, когда почва на глубине 0,2-0,3 м увлажняется до предела текучести.

Характер влияния процесса полива на несущие свойства почвы четко прослеживается по динамике колееобразования. Рассмотрим более подробно.

При качении колес ДМ имеют место два основных вида деформации почвы: сжатие почвы опорной поверхностью и срез почвы зацепами колеса.

В своих исследованиях А.И. Рязанцев [223] предлагает смоделировать данные процессы как взаимодействие с почвой конусно-крыльчатых наконечников пенетрирующих устройств для оценки прочности.

При этом сопротивление грунта сжатию может определяться зависимостью, кПа [223]:

$$\sigma_{СЖ} = u_T \gamma_{гр} r_{КП} + N'_T c_{2Г}, \quad (2.111)$$

где  $u_T$  и  $N'_T$  – безразмерные коэффициенты несущей способности грунта, зависящие от угла внутреннего трения;

$\gamma_{гр}$  – объемный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>;

$r_{КП}$  – радиус основания наконечника, м;

$c_{2Г}$  – удельное сцепление грунта, кПа.

В условиях испытаний грунтов непосредственно в поверхностном слое собственным весом грунта в пределах глубины погружения наконечника можно пренебречь. Поэтому касательную составляющую напряжений или другими словами удельное сопротивление почвы вращательному срезу в этих условиях с достаточной достоверностью можно отождествлять со сцеплением грунта:  $\tau_{Г} = c_{2Г}$

Несущую способность почвы определяли согласно зависимости, кПа [221]

$$R_{ДП} = 0,318 N'_K c_{2Г}, \quad (2.112)$$

$N'_K$  – коэффициент, зависящий от величины угла внутреннего трения грунта.

Несущую способность почв после полива можно описать выражением:

$$R_{ПП} = R_{ДП} - \Delta P, \quad (2.113)$$

где  $R_{ДП}$  – несущая способность почвы до полива;

$\Delta P$  – величина уменьшения несущей способности почвы.

В процессе дождевания на первом этапе происходит инфильтрационный процесс, т.е. донасыщение почвы, определяемый параметром досточковой поливной нормы, затем второй этап – фильтрационный процесс, т.е. движение жидкости в нижние слои с образованием поверхностного стока [90, 194, 205-207, 276].

При инфильтрационном процессе допускается, что чем меньше объемный вес почвы, т.е. чем больше в ней пор, тем больше ее инфильтрационная способность, а соответственно меньше несущая способность [38].

Несущие свойства почвы уменьшаются при увеличении поверхностного стока, определяемого характеристикой впитывания воды, интенсивностью, диаметром капель и др. характеристиками процесса фильтрации [90].

Анализ теоретических предпосылок показывает, что на изменение прочностных показателей почвы при поливе существенное влияние оказывают ее инфильтрационные свойства и режим орошения, определяемый природно-климатическими условиями и конструктивными особенностями дождевальных машин [190, 194, 283, 284].

### ***Зависимость несущих свойств почвы от режима орошения***

Согласно исследованиям А.И. Рязанцева [223] несущую способность почвы можно определить, кПа:

$$R_{ПП} = R_{ДП} - (1,4m_{дост}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{ст}}). \quad (2.114)$$

Как показали исследования оценки изменения несущей способности почвы от эффективных норм полива (300-600 м<sup>3</sup>/га), для наиболее часто встречающихся типов почв, величина уменьшения несущей способности почвы резко возрастает при увеличении значений досточковой нормы и еще в большей степени уменьшается при возрастании величины поверхностного стока.

Так, например, увеличение поливной нормы с 300 до 500 м<sup>3</sup>/га для среднесуглинистых черноземов вызывает уменьшение их несущих свойств с 160 до 140 кПа, а при наличии стока (20-25%) до 125 кПа [220].

В процессе полива при движении круговых машин по полю колесами ходовых опор создается колея.

Ширина образующейся колеи  $B_K$  зависит от диаметра опорных колес  $D_K$ , ширины обода  $b_K$ , глубины погружения колеса в грунт  $H''$ , расстояния от неподвижной опоры  $R_{iM}$  и может быть записана в виде [155]:

$$B_K = \sqrt{\left(R_{iM} + \frac{b_K}{2}\right)^2 + H''(D_K - H'')} - \left(R_{iM} - \frac{b_K}{2}\right), \quad (2.115)$$

Глубина колеи может быть выражена следующей зависимостью [155]:

$$H'' = \frac{1,2Q_K}{P_{ДП} b_K \sqrt{D_K}}; \quad (2.116)$$

Тогда с учетом несущей способности почвы можно выразить:

$$H'' = \frac{1,2Q_K}{\left[P_{ДП} - \left(1,4m_{дост}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{ст}}\right)\right] b_K \sqrt{D_K}}, \quad (2.117)$$

$$B_K = \left\{ \left(R_{iM} + \frac{b_K}{2}\right)^2 + \frac{1,2Q_K}{\left[P_{ДП} - \left(1,4m_{дост}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{ст}}\right)\right] b_K \sqrt{D_K}} \right\} \times \quad (2.118)$$

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

Оценим величину  $1,01^{m_{ст}}$

Определим границы значимости для величины стока

$$1,01^{m_{ст}} \approx 1,1$$

$$m_{ст} \log 1,01 = \log 1,1$$

$$m_{ст} = \frac{\log 1,1}{\log 1,01} = 9,6$$

Т.е. при

$$m_{ст} < 10 \text{ м}^3/\text{Га}, \quad 1,01^{m_{ст}} \approx 1$$

Достоковая поливная норма,  $\text{м}^3/\text{Га}$  [122]:

$$m_{дост} = 2850 \left( 1,14 - \sqrt[5]{d_K} \right) \frac{\rho_{ср}}{\rho_1} K; \quad (2.119)$$

где:  $Q_K$  – нагрузка на колесо, кН;

$P_{ДП}$  – несущая способность почвы, МПа;

$m_{\text{СТ}}$  – величина стока,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$d_K$  – средний диаметр капель, мм;

$\rho_{\text{ср}}$  – интенсивность дождя, мм/мин;

$\rho_1$  – заданная интенсивность дождя, мм/мин;

$K$  – коэффициент, учитывающий водопроницаемость почв ( $K=0,6-1,5$ ).

Установлено, что при поливе водой для обеспечения допустимого в конце поливного сезона максимального значения глубины колеи ( $H''=15$  см), ее величина после первого прохода не должна превышать  $5\pm 1$  см. Эта глубина колеи обеспечивается при давлении колес машина почву не более 100 кПа. Давление 80-100 кПа рекомендуется и для сельскохозяйственных тракторов [220].

Исследования ДМ «Фрегат» показывают, что жесткие колеса за первый проход образуют колею более 0,05 м, так как их давление на почву превышает допустимое (100 кПа) - 160 кПа, таблица 2.17 [221].

Таблица 2.17 – Средние значения параметров колеи под жесткими колесами

Параметры колеи	Номер опорной тележки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ширина колеи по верху, м	0,265	0,260	0,250	0,257	0,270	0,272	0,258	0,230	0,225	0,220
Глубина колеи, м	0,081	0,080	0,071	0,066	0,061	0,062	0,063	0,056	0,055	0,054
Второй проход										
Ширина колеи по верху, м	0,270	0,270	0,260	0,260	0,270	0,275	0,265	0,240	0,230	0,220
Глубина колеи, м	0,12	0,01	0,09	0,09	0,075	0,08	0,070	0,065	0,065	0,06

Таблица 2.19 показывает, что наибольшая глубина колеи у первых опор, и уменьшается она к концу машины. Это происходит потому, что по мере удаления

от неподвижной опоры увеличивается скорость движения тележек и сокращается время воздействия колес на почву.

С увеличением числа проходов, растет глубина колеи. В конце поливного сезона, после 10-12 проходов глубина колеи может достигать 0,3-0,45 м [221]. Глубокая колея отрицательно воздействует на ходовые характеристики машины, приводит к буксованию колес и переполиву.

На глубину колеи влияет агрофон. Согласно исследованиям Рязанцева А.И. на всех агрофонах за один проход глубина образующейся колеи от жестких колес не бывает меньше 0,08...0,09 м [221], а согласно агротребований она не должна быть более 0,05 м [222].

Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на серийных ходовых системах показывает, что машина становится неработоспособной в среднем после 10 прохода, при глубине колеи, достигающей 1/3 диаметра колеса [225].

Теоретические зависимости глубины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД», построенные в соответствии с выражением (2.117) представлены на рис. 2.47-2.49.

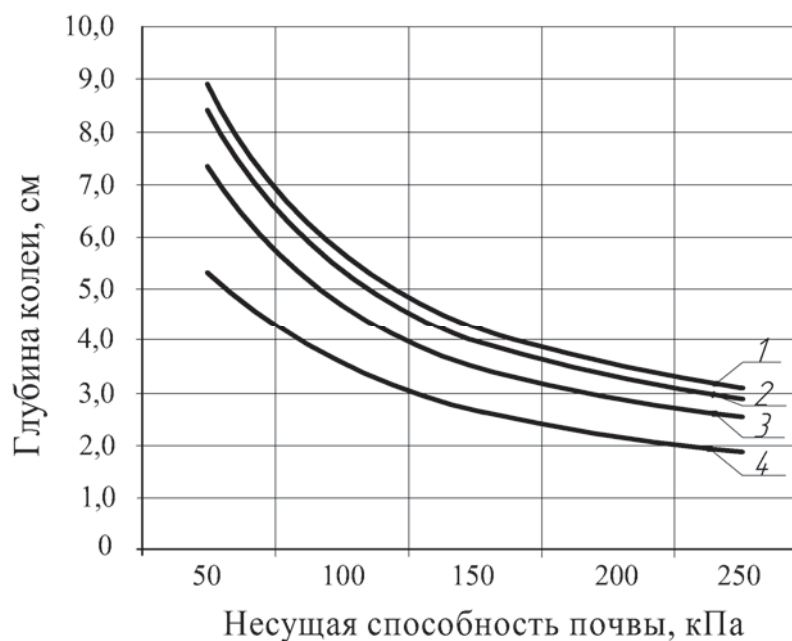


Рисунок 2.47 – Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «Кубань-ЛК1» (КАСКАД) (шины 14,9-24) (труба 159мм) для первой опоры: 1 – пролет 65м; 2 – пролет 59,5 м; 3 – пролет 48,7 м; 4 – пролет 30 м

Рассматривая зависимость величины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «КАСКАД», можно сделать вывод о возможности увеличения пролета до 65 м, при которых величина колеи не превышает нормативных значений при несущей способности более 100 кПа и поливной норме порядка 300-350 м<sup>3</sup>/га.

Для почв с низкой несущей способностью и машин с длиной пролетов более 59 м рационально применение колес с шинами не менее 16,9-24, а при уменьшении несущей способности - шины 18,4-26 (рис. 2.48-2.49).

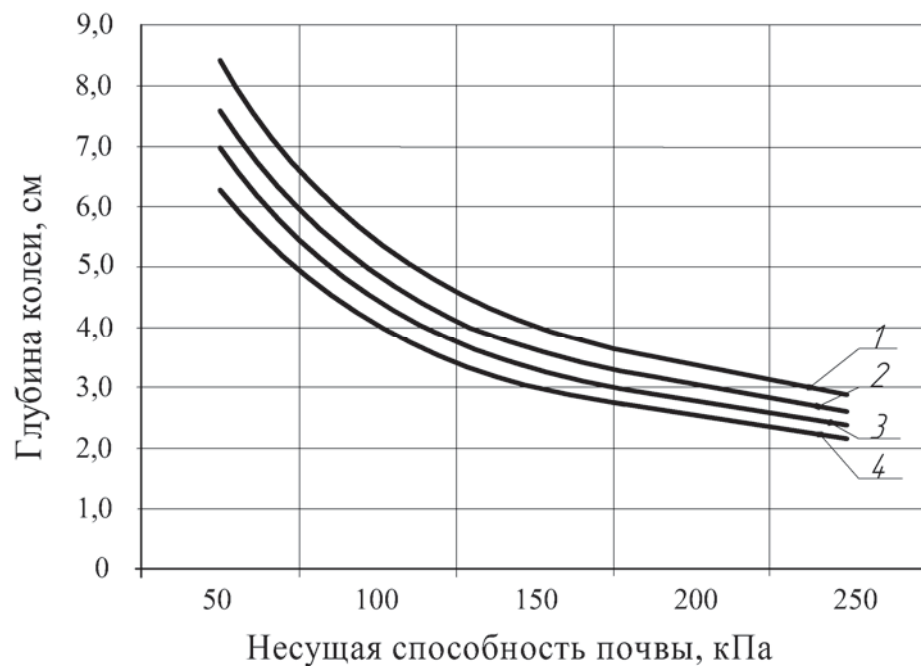


Рисунок 2.48 – Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «КАСКАД» пролет 59,5 м (труба 159 мм) для первой опоры: 1 – шины 14,9-24; 2 – шины 16,9-24; 3 – шины 18,4-24; 4 – шины 23,1-26

Теоретические зависимости ширины колеи от порядкового номера опорной тележки на примере ДМ «КАСКАД», построенные в соответствии с выражением (2.118) представлены на рис. 2.50.

Ширина колеи для всех модификаций машин и колес уменьшается с увеличением расстояния от центральной опоры.

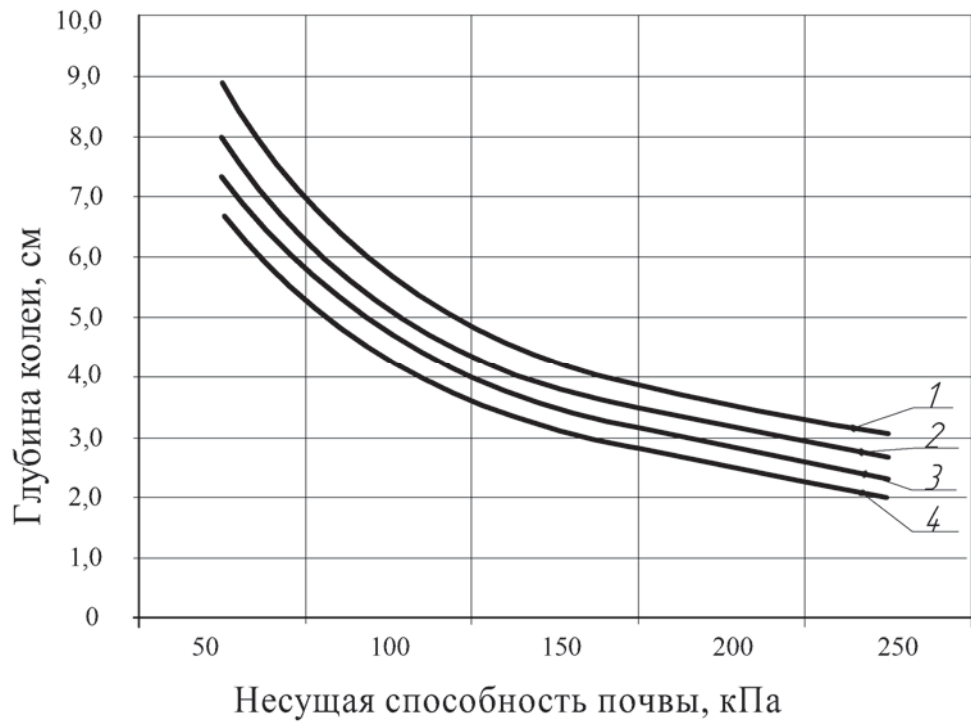


Рисунок 2.49 – Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «КАСКАД» пролет 65,2 (труба 159 мм) для первой опоры: 1 – шины 14,9-24; 2 – шины 16,9-24; 3 – шины 18,4-26; 4 – шины 23,1-26

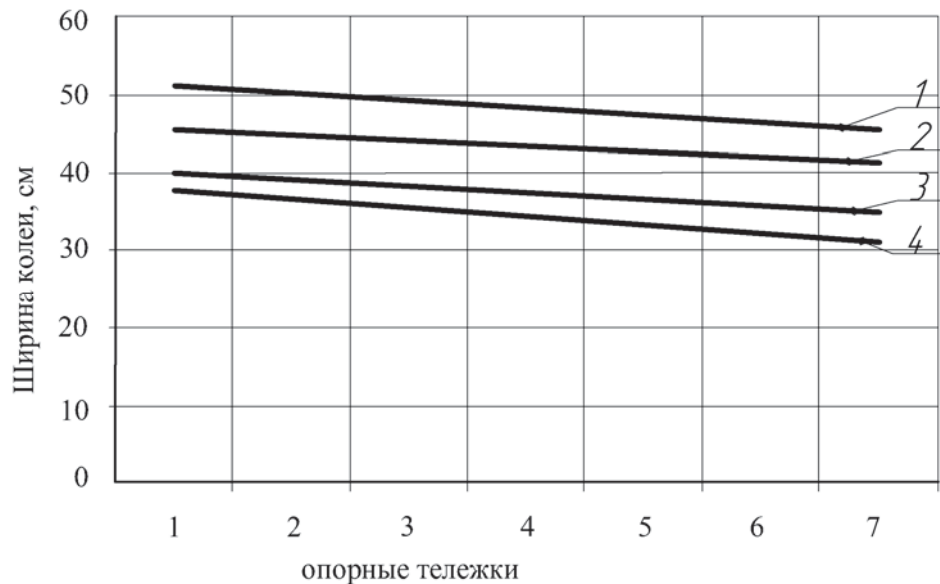


Рисунок 2.50 – Зависимость ширины колеи от порядкового номера опорной тележки (расстояние от основной опоры) для ДМ «КАСКАД» (несущая способность почвы 100 кПа): 1– шины 18,4-24; 2 – шины 16-20; 3 – шины 15,5-38; 4 – шины 14,9-24.

Для уменьшения глубины колеи возможно применение колес более широкого профиля или снижение массы за счет уменьшения диаметра трубопровода, что целесообразно при работе с меньшими расходами.

### 2.8.2 Повышение коэффициента земельного использования

Уплотняемая колесами машин площадь поля определяется выражением:

$$S_{\Pi} = \sum \ell_{iT} B_K, \quad (2.120)$$

где  $\sum \ell_{iT}$  – суммарная длина пути всех тележек;

$B_K$  – средняя ширина колеи, м.

Для первой опорной тележки  $\ell_{1T} = 2\pi \ell_{\Pi}$ ; для второй  $\ell_{2T} = 2\pi 2 \ell_{\Pi}$ ;

для десятой  $\ell_{10T} = 2\pi 10 \ell_{\Pi}$ , для  $i$ -ой  $\ell_{iT} = 2\pi i \ell_{\Pi}$ ,

$n_T$  – количество опорных тележек.

Общая длина для  $i$  тележек:

$$\begin{aligned} \sum \ell_{iT} &= \ell_{1T} + \ell_{2T} + \dots + \ell_{m_T T} = 2\pi \ell_{\Pi} + 2\pi 2 \ell_{\Pi} + 2\pi 3 \ell_{\Pi} + \dots + 2\pi m_T \ell_{\Pi} = \\ &= 2\pi \ell_{\Pi} (1 + 2 + 3 + \dots + m_T) = \pi \ell_{\Pi} m_T (1 + m_T), \end{aligned} \quad (2.121)$$

$$S_{\Pi} = \pi \ell_{\Pi} n_T B_K (1 + n_T), \quad (2.122)$$

$\ell_{\Pi}$  – длина пролета, м.

Рассмотрим площади уплотнения для ДМ длиной 500 м. При длине пролета 48,7 м ходовая система будет представлять собой 10 тележек. При длине 59,5 – 8 тележек. При длине пролета 65,2 – 7 тележек.

Т.о. уплотняемая колесами машин площадь зависит от количества тележек и ширины колеи. При увеличении длины пролета количество тележек сокращается, соответственно уменьшается уплотняемая площадь. Данные по площади уплотнения представлены в таблице 2.18 и на рис. 2.51.

Т.о. для пролета 48,7 м (шины 18,4-26) площадь уплотнения составляет 8410,45 м<sup>2</sup>, в то время как при 59,5 м – 6725,8 м<sup>2</sup> и при 65,2 м – 5732,35 м<sup>2</sup>, что соответственно меньше на 20 и 31,8%. Разница площади уплотнения между машинами с пролетом 48,7 и 65,2 м составляет 0,34% от всей площади полива.



Таблица 2.18 – Площадь уплотнения ходовыми системами

Порядковый номер пролета	Длина пути, м	Площадь уплотнения ходовыми системами, м <sup>2</sup>			
		14,9-24	15,5-38	16,9-24	18,4-26
1	2	3	4	5	6
«Кубань-ЛК1М» с пролетом 48,7 м					
1 пролет	305,83	110,1	116,21	134,56	152,91
2 пролет	611,67	220,2	232,43	269,13	305,83
3 пролет	917,50	330,3	348,65	403,70	458,75
4 пролет	1223,34	440,4	464,87	538,26	611,67
5 пролет	1529,18	550,5	581,08	672,84	764,59
6 пролет	1835,01	660,6	697,30	807,40	917,50
7 пролет	2140,85	770,7	813,52	941,97	1070,42
8 пролет	2446,68	880,8	923,73	1076,54	1223,34
9 пролет	2752,52	990,9	1045,95	1211,1	1376,26
10 пролет	3058,36	1101,0	1162,17	1345,67	1529,18
<b>Итого</b>	<b>16820,94</b>	<b>6055,53</b>	<b>6391,95</b>	<b>7401,2</b>	<b>8410,45</b>
«КАСКАД» с пролетом 59,5 м					
1 пролет	373,66	134,51	141,99	164,41	186,83
2 пролет	747,32	269,03	283,98	328,82	373,66
3 пролет	1120,98	403,55	425,97	493,23	560,49
4 пролет	1494,64	538,07	567,96	657,64	747,32
5 пролет	1868,30	672,58	709,95	822,05	934,15
6 пролет	2241,96	807,10	851,94	986,46	1120,98
7 пролет	2615,62	941,62	993,9	1150,87	1307,81
8 пролет	2989,28	1076,14	1135,92	1315,28	1494,64
<b>Итого</b>	<b>13451,7</b>	<b>4842,6</b>	<b>5111,59</b>	<b>5918,71</b>	<b>6725,8</b>
«КАСКАД» с пролетом 65,2 м					
1 пролет	409,45	147,40	155,59	180,15	204,72
2 пролет	818,91	294,81	311,18	360,32	409,45

1	2	3	4	5	6
3 пролет	1228,36	442,21	466,77	540,47	614,18
4 пролет	1637,82	589,61	622,37	720,64	818,91
5 пролет	2047,28	737,02	777,96	900,80	1023,64
6 пролет	2456,73	884,42	933,55	1080,96	1228,36
7 пролет	2866,19	1031,82	1089,15	1261,12	1433,09
<b>Итого</b>	<b>11464,7</b>	<b>4127,29</b>	<b>4356,57</b>	<b>5044,46</b>	<b>5732,35</b>



Рисунок 2.51 – Площадь уплотнения в зависимости от длины пролета для ходовых систем с шинами: 1 –14,9-24; 2 –15,5-38; 3 –16,9-24; 4 –18,4-26

Необходимо отметить, что при искривлениях водопроводящего трубопровода и сдвиге колеи площадь уплотнения ходовыми системами будет возрастать.

## 2.9 Выводы по главе

1. Процесс совершенствования существующих образцов дождевальной техники и разработка новых включают в себя несколько этапов, на каждом из которых должны быть соблюдены принципы ресурсосбережения.

Принцип водосбережения на этапе создания и работы широкозахватных ДМ обеспечивается: переводом на низконапорный режим работы, разработкой новых низконапорных образцов дождевальной техники и дождевателей; улучшением качественных показателей полива.

2. Теоретические исследования взаимодействия потока жидкости с конструктивными элементами дождевателей позволили разработать методику расчета и подбора конструктивных параметров дождевателей и спроектировать номенклатурный ряд для различных условий эксплуатации и режимов работы.

3. Анализ распада и полета струй различных дождевателей позволил уточнить зависимости для определения радиуса полива и другие характеристики с учетом степени распыла струй, скорости ветра, конструктивного исполнения дефлектора дождевателя, обосновать направления их совершенствования для повышения ветроустойчивости и обеспечения эрозионно-безопасного полива.

Для нахождения оптимальных расстояний между дождевателями были рассмотрены характеристики дисперсности в безветренную погоду и при ветре и даны рекомендации по их расстановки.

4. Совершенствование конструкции ДМ напрямую связано с оптимизацией водопроводящего трубопровода машины, подобранные параметры которого позволят уменьшить материалоемкость и стоимость машины, повысить эффективность работы, оптимизировать режимы полива, снизить интенсивность водоподдачи.

5. Уточненная методика гидравлического расчета водопроводящего трубопровода позволила определять оптимальные параметры (диаметр, длину трубо-

провода при его постоянном и переменном сечении, расстояния между водоотводами дождеобразующих устройств и площадь сечения сопла дождевателей).

6. Снижение материальных ресурсов при проектировании широкозахватных дождевальными машин основано на оптимизации длины пролетов и конструктивно-высотных свойств, ферменной конструкции водопроводящего пояса. В методике были предложены ряд показателей и коэффициентов по которым возможно оценить и сравнить различные конструкции и модификации между собой по материалоемкости.

7. Снижение трудовых ресурсов при работе ДМ и повышение производительности в значительной степени определяется возможностями автоматической системы управления.

Возможность смены режима полива при прохождении круга с заданием точек смены скорости по окружности в зависимости от заданных координат или угла сектора, а также возможность реверса позволит проводить полив с разными поливными нормами на одном участке, т.е. при выращивании разных культур, повысить эффективность, исключить орошение на участках не требующих полива, повысить КЗИ при поливе нестандартных участков.

8. Теоретически исследована возможность корректировки поливных норм в зависимости от обеспеченности почвы влагой, времени полива и скорости движения при делении круга полива на несколько участков с разными режимами. Рассмотрено влияние режима работы машины на производительность.

9. Для обеспечения повышения эффективности использования земельных ресурсов рассмотрены возможности уменьшения воздействия ходовых систем на почву, значения параметров колеи от типа шин, порядкового номера опорных тележек и количества проходов. Рекомендованы соотношения диаметров трубопроводов, длины пролетов и применяемых колесных опор.

10. Необходимо провести экспериментальные исследования и проверить данные теоретических расчетов и методик и эффективность их применения на ДМ «Фрегат», «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД».

## **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Программа проведения исследований**

В зависимости от поставленной в работе цели и вытекающих из нее задач были выбраны методы исследований. Полученные теоретические положения проверялись в лабораторно-полевых и производственных условиях.

Основная программа экспериментальных исследований включала в себя:

- лабораторные исследования характеристики дождевателей;
- лабораторные исследования гидравлических параметров потока в водопроводящих трубопроводах;
- полевые исследования качественных показателей полива модернизированных и новых образцов ДМ кругового действия, оборудованных разработанными низконапорными дождевателями;
- полевые исследования несущих свойств почвы при поливе;
- полевые исследования характеристик работы модернизированных и новых образцов ДМ кругового действия в зависимости от их конструктивного исполнения;
- полевые испытания модернизированных и новых образцов ДМ кругового действия ДМ «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), ДМ «КАСКАД» для оптимизации режимов работы и разработки рекомендаций.

#### **3.1.1 Программа проведения лабораторных исследований**

Программа проведения лабораторных исследований включает в себя:

- определение расходно–напорных характеристик дождевателей;
- определение радиуса захвата дождем и высоты подъема капель дождя в зависимости от конструктивных параметров дождевателей и режимов работы;
- исследование средней и мгновенной интенсивности дождя, крупности капель и их распределения вдоль радиуса и на площади полива;

- определение коэффициента гидравлического трения в трубопроводах с водоотводами и изменяющимся по длине расходом;
- определение параметра дискретности;
- лабораторные испытания функционирования щита управления, приборов управления и контроля прямолинейности ПСЛ 1...10 имитаторами сигналов.

### **3.1.2 Программа проведения полевых исследований ДМ кругового действия**

Программа проведения полевых исследований включала в себя:

- определение равномерности полива модернизированными и новыми образцами ДМ кругового действия с установленными низконапорными дождевателями;
- исследование потерь воды на испарение и снос;
- определение влажности почвы, нормы полива до стока ДМ с разными схемами установки дождевателей;
- исследование несущих свойств почвы при поливе;
- определение ширины и глубины колеи ДМ при различных условиях эксплуатации;
- оценка конструктивно-высотных свойств;
- установление оптимальных режимов работы новых образцов ДМ кругового действия «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД, разработка рекомендации по настройке таймера для различных моделей ДМ;
- оценка работоспособности автоматической системы управления при работе по секторам полива, реверса и системы GSM контроля.

### 3.1.3 Программа испытаний новой дождевальнoй техники с учетом требований Машиноиспытательной станции

#### Приемочные испытания

Приемочные испытания проводила ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция» (г. Кинель). Протокол №08-11П-2016 от 11 ноября 2016 года (приложение 7).

Испытания проводились на соответствие машины требованиям ТУ 473422-002-26833660-2016 [259], по рабочей программе – методике, утвержденной 01.07.16г. главным инженером ФГБУ «Поволжская МИС» и в соответствии с договором №7/1п-16 от 11 февраля 2016 года.

Дата поступления на испытания		Период испытаний	Объем работы, ч	
			По плану	Факт.
По плану	Факт.	01.07-11.11.16	По плану	Факт.
30.05. 16	29.06.16		600	600

#### Первичная техническая экспертиза

Включала в себя:

- оценку качества изготовления машины на соответствие ТУ (качество крепежных изделий, окраски и оцинковки);
- способ упаковки;
- соответствие комплектности, состава деталей, узлов, агрегатов ТУ;
- легкость монтажа;
- соответствие требованиям «Системы стандартов безопасности труда»;
- трудоемкость досборки и монтажа;
- наличие инструмента, прилагаемого к машине;
- наличие технической и товаросопроводительной документации согласно требованиям ТУ и ГОСТ Р 54783-2011.

Первичная экспертиза была проведена по ГОСТ Р 54784-2011, ГОСТ Р 54783-2011, ГОСТ 2.114-95, ГОСТ 27388-87, ГОСТ 15140-78, ГОСТ 3242-79.

### **Агротехническая оценка**

Агротехническая оценка проводилась по СТО АИСТ 11.1-2010.

Оценка электропривода проводилась по ГОСТ 52777-2008.

Эксплуатационно-технологическая оценка проводилась по ГОСТ Р 52778-2007, [49-51].

### **Программа включала в себя:**

– **определение показателей качества выполнения технологического процесса** (общий расход воды машиной, расход по дождемерам, расход воды на испарение и снос ветром, гидравлические потери давления в водопроводящем трубопроводе, средняя интенсивность дождя, средний слой осадков за проход, рабочая длина захвата);

– **исследование показателей равномерности распределения дождя по площади полива** (коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива, коэффициент равномерности полива по Кристиансену, процент не политой площади; средний диаметр капель дождя, норма полива до стока, коэффициент земельного использования; повреждаемость растений, влажность почвы по слоям; неравномерность увлажнения почвы, глубина колеи);

– **определение энергетических показателей машины и затрат электроэнергии** (давление на входе в машину и выходе, скорость движения, поливная норма, производительность за время основной работы, потребляемая мощность дизель-генератора, потребляемая мощность на входе в установку, потребляемая мощность в конце трубопровода);

– **определение эксплуатационно-технологических показателей** (удельный расход топлива за время сменной работы, эксплуатационно-технологические коэффициенты, количество обслуживающего персонала);

– **исследование баланса времени работы агрегата за нормативную продолжительность смены** (время основной работы, затраты времени на ежесмен-



ное техническое обслуживание, на подготовку и окончание работ, на периодическое техническое обслуживание, на устранение технических отказов и повреждений).

### **Оценка безопасности и надежности машины**

#### **Программа включала в себя:**

- выявление затруднений доступа к местам технического и технологического обслуживания;
- наличие ограждений;
- исследование вредного воздействия на окружающую среду и загрязнение почвы;
- определение показателей безопасности и эргономичности конструкции машины;
- отсутствие самопроизвольного пуска и снижение эффективности защитных устройств;
- определение показателей надежности (наработка, общее количество отказов, наработка на отказ, среднее время восстановления, коэффициент готовности);
- определение показателей трудоемкости (трудоемкость ежесменного ТО, удельная суммарная трудоемкость ТО, удельная суммарная трудоемкость устранения отказов и повреждений).

Оценка безопасности и эргономичности конструкции проводилась по ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.042-2013, ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ Р 52543-2006, ГОСТ Р 53055-2008, ГОСТ 12.2.120-2005, ГОСТ 32617-2014, ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007, ГОСТ Р 53489-2009.

Оценка надежности проводилась по СТО АИСТ 2.8-2010.

### **Сертификационные испытания**

Сертификационные испытания проводились Испытательным Центром Автономной Некоммерческой Организации «Поволжский Агротех Тест Центр (г. Кинель). Протокол №37-19-2016 г. от 3 августа 2016 года (приложение 8).

### **Программа включала в себя**

оценку требований безопасности по следующим пунктам:

- исследование материалов конструкции на вредное воздействие на человека и создание пожаровзрывоопасных ситуаций;
- оценка разрушающих нагрузок;
- наличие ограждений;
- устойчивость и самопроизвольное смещение, ослабление креплений;
- наличие защиты блоков управления;
- наличие органов управления аварийным останом;
- наличие устройств обеспечения электробезопасности;
- оценка допустимых значения уровня шума, вибрации, концентрации вредных веществ и пыли.

## **3.2 Описание лабораторных установок и оборудования**

### **3.2.1 Лабораторная установка и оборудование для определения качественных показателей работы дождевателей**

Испытательный стенд состоит из стойки 1 с закрепленным спускным трубопроводом 2 и установленными сменными дождевателями 3. Вода подается в напорный трубопровод центробежным насосом 4 через расходомер 5 (рис.3.1-3.2).

Давление устанавливается регулировочным краном 6 и замеряется манометром 7. Мерные емкости 7 размещаются по лучам радиусов полива с интервалом 0,5 м и углом 10-15°. Гибкий спускной трубопровод имеет возможность перемещения в вертикальной плоскости для регулирования расстояния дождевателя над поверхностью земли.

Технические средства: образцовый манометр ГОСТ2405-88, секундомер ГОСТ 1197-70, анемометр ручной крыльчатый АСО-3, рулетка RemoColor, №5006, психрометр аспирационный М-34 Ассмана.

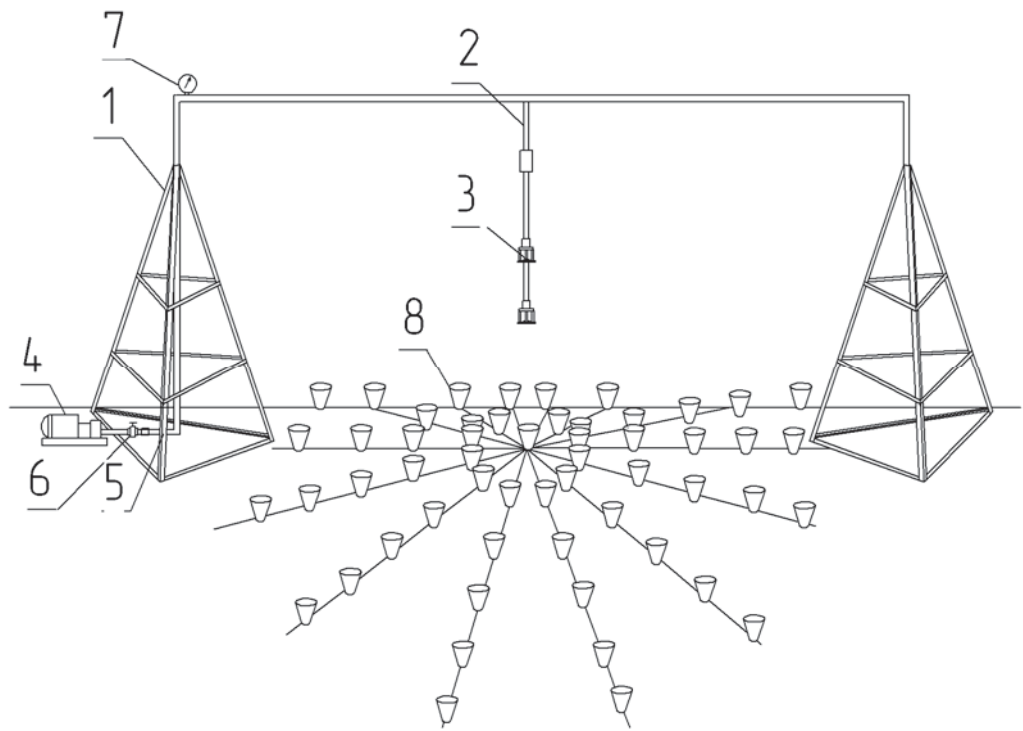


Рисунок 3.1 – Схема стенда для испытаний дождевателей



Рисунок 3.2 – Стенд для испытаний дождевателей

### 3.2.2 Лабораторная установка и оборудование для определения характеристик потока в водопроводящих трубопроводах

Лабораторная установка включает в себя: 1 – напорный бак, 2 – сменные трубы разного диаметра с перфорацией, 3 – пьезометры (больше 0,1МПа–манометры); 4 – мерный бак; 5 – сливной бак; 6 – насосная установка (рис.3.3-3.4).

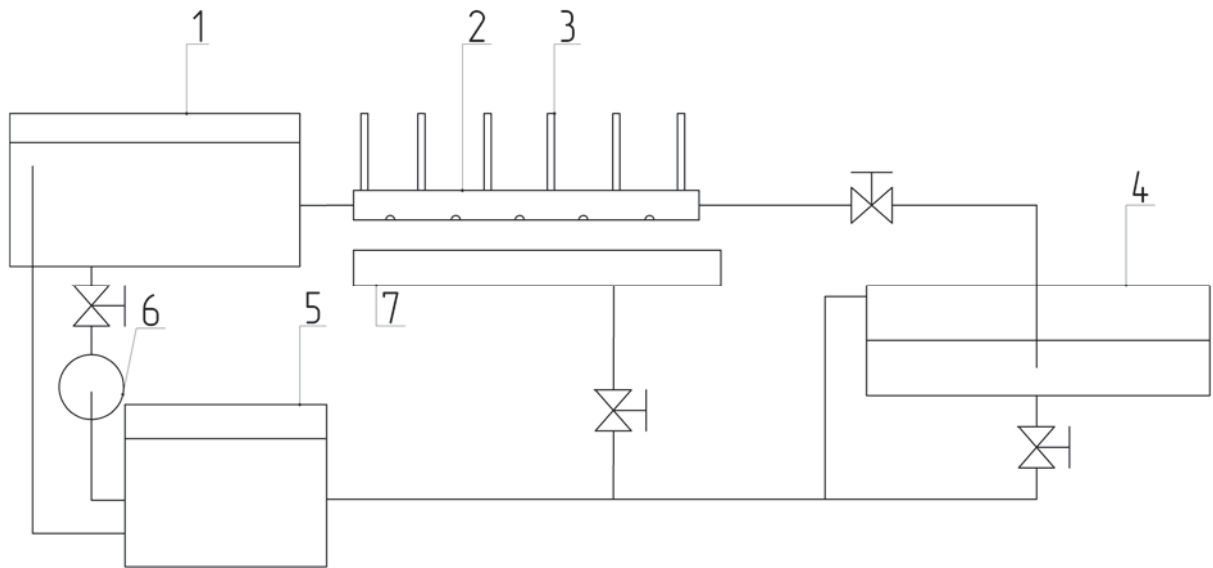


Рисунок 3.3 – Схема установки для определения характеристик потока



Рисунок 3.4 – Лабораторная установка для определения характеристик потока

Технические средства: образцовый манометр ГОСТ2405-88; секундомер ГОСТ 1197-70; рулетка RemoColor №5006; штангенциркуль ШЦ-II 0-250-0,05№311313.

### **3.2.3 Лабораторные установки и оборудование для определения функционирования системы автоматки машины**

Для проверки и испытания щита управления ЩУ-001.2, приборов управления и контроля прямолинейности ПСЛ 1...10 дождевальнoй машины кругового действия были использованы лабораторные приборы – имитаторы ЛП-01.1, ЛП-01.2, ЛП-01.3 и ЛП-01.4 (рис. 3.5-3.6).

С их помощью в лабораторных условиях проверялась работоспособность всех элементов автоматки и схемы соединения. Они обеспечивали подачу входных сигналов на контакты устройств управления от тумблеров с панели управления имитатора. Обеспечивали визуальную проверку срабатывания реле устройств защиты по индикации их состояния при помощи светодиодов на панели управления.

Программное обеспечение OWEN Logic. Электрические схемы приборов представлены в приложении 7.



Рисунок 3.5 – Лабораторные приборы для проверки и испытания системы автоматизации и управления



Рисунок 3.6 – Лабораторные приборы для настройки ПСЛ

### 3.2.4 Экспериментальные установки для изготовления металлоконструкций

#### Установка изготовления и подбора конструктивных размеров ходовой тележки

Установка для упрощения процесса изготовления металлоконструкции ходовой тележки и подбора углов установки стоек для обеспечения конструктивно-высотных размеров включает в себя основную балку 1, угловые рамы 2 для пространственной ориентации опорных стоек (рис. 3.7). На основной балке смонтированы шаблоны для установки колесных редукторов 3 и мотор-редуктора 4 и для направления режущего инструмента при получении отверстий.

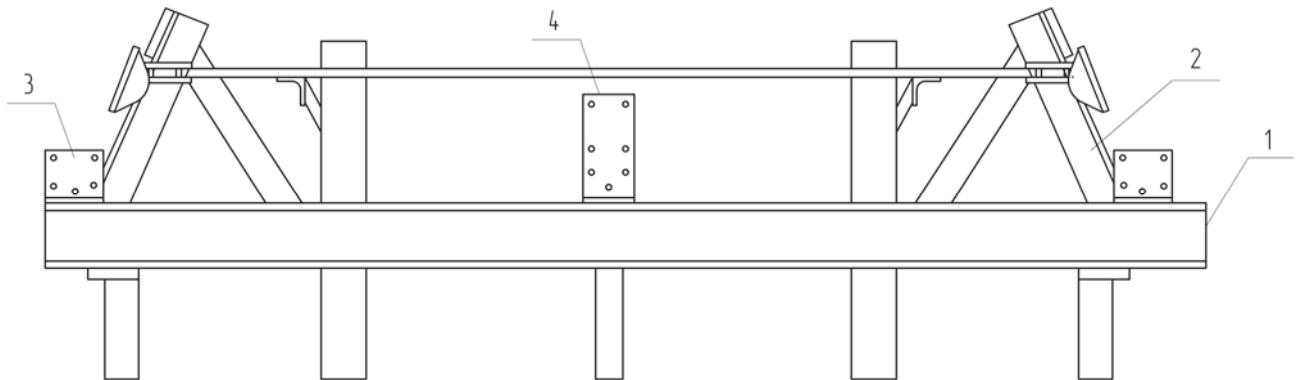


Рисунок 3.7 – Экспериментальная установка для изготовления и подбора конструктивных размеров ходовой тележки



### Установка изготовления и подбора конструктивных размеров водопроводящего трубопровода

Установка для изготовления секций водопроводящего трубопровода, выдерживания размеров, точного пространственного позиционирования креплений, фланцев и расположения водоотводов и других параметров пролета (рис. 3.8-3.9).

Включает в себя основную балку 1, на которой смонтированы фиксаторы трубы 2 и шаблоны для разметки отверстий и приваривания водоотводов под дождеобразующие устройства 3 и установки и приваривания креплений 4.

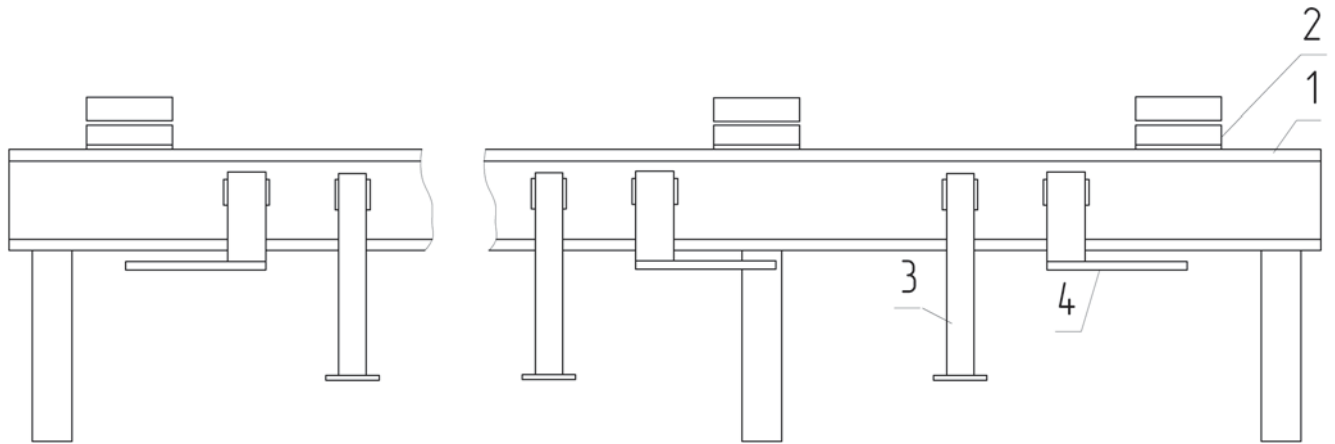


Рисунок 3.8 – Схема установки для изготовления секций водопроводящего трубопровода



Рисунок 3.9 – Экспериментальная установка для изготовления и подбора конструктивных размеров водопроводящего трубопровода

### 3.3 Экспериментальные ДМ кругового действия

#### 3.3.1 Описание ДМ «КАСКАД» при проведении полевых исследований

Основные характеристики ДМ «КАСКАД» при проведении полевых исследований представлены в таблице 2.1, 3.1.

Таблица 3.1 – Основные технические характеристики машин «КАСКАД»

Наименование показателей	Значение	
Длина пролета, м	59,5	65,2
Количество опорных тележек	8	6
Длина машины, м	497,5	434
Расстояние от поверхности земли до нижнего пояса металлоконструкции, м	2,8±0,3	2,9±0,3
Давление воды на входе в машину МПа	0,30-0,43	0,35-0,4
Номинальные размеры поперечных сечений труб ферм и консоли, мм	159	
Расстановка дождевателей	Через 3,5 м	Через 4,5 м

#### 3.3.2 Описание модернизированной ДМ «Кубань-ЛК1» при проведении полевых исследований

Технические характеристики ДМ «Кубань-ЛК1» представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные характеристики ДМ «Кубань-ЛК1»

Показатель	Значение показателя
1	2
Марка	«Кубань-ЛК1» МДЭК 212
Привод	Дизель-электрический
Тип дизельного генераторного агрегата	AD10-T400
Мощность двигателя, кВт	6
Расход воды машиной, л/с	16
Минимальное давление на входе в машину, МПа	0,21

1	2
Максимальное давление на входе в машину, МПа	0,4
Тип дождевателей	1 исполнение 1 (металлические оцинкованные с гладким дефлектором)
Скорость движения машины, м/мин	0,1-1,8
Длина машины, м;	212
Количество передвижных опор, шт	4
Количество дождевателей	58
Длина пролета, м	48,7
Колеса опорных тележек: -тип -количество	Пневматические камерные по два на тележку Ф148 16-20
Расположение органов оперативного управления	-щит управления на неподвижной опоре
Режим работы машины	Непрерывный, старт-стопный – движение с поливом – движение без полива

### 3.3.3 Схемы расстановки дождевателей

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

1. Установка через 5 и 6 м на 25 и 30-метровых пролетах при напоре на входе в машину 0,34 МПа, для машин марки «Фрегат» ДМУ-Б 463-90 дождевателей типа 1 (стальные оцинкованный с гладким дефлектором).

2. Установка через 3,5 м при напоре на входе в машину 0,2-0,4 МПа ДМ «Кубань-ЛК1» модели 212 дождевателей типа 1 (стальные оцинкованный с гладким дефлектором).

3. Установка через 3,5 м при напоре на входе в машину 0,35 МПа ДМ «КАС-КАД» модели 497-90 дождевателями типа 2 исполнения 2 (из полиамида, дефлектор с канавками треугольной формы).

4. Установка через 3,5 м при напоре на входе в машину 0,3 МПа ДМ «КАС-КАД» модели 497-90 дождевателей исполнения 1 типа 2 до 1/2 водопроводящего пояса (с гладкими дефлекторами) и типа 2 исполнения 5 (из полиамида с враща-

ющимися дефлекторами и полукруглыми канавками) с 1/2 водопроводящего пояса.

5. Установка через 4,5 м при напоре на входе в машину 0,35 МПа ДМ «КАСКАД» длиной 434 м через 4,5 м дождевателей типа 2 исполнения 2 (дефлекторы с канавками) до 2/3 длины водопроводящего трубопровода и дождевателей типа 2 исполнения 6 (из полиамида с двумя дефлекторами) с 2/3 водопроводящего трубопровода.

6. Установка по учащенной схеме через 3,5 м при напоре на входе в машину 0,35-0,43 МПа ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) длиной 441,5 м дождевателей типа 1 исполнения 1 (стальные оцинкованный с дефлектором гладким).

### 3.3.4 Описание ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) при проведении приемочных и сертификационных испытаний

Основные характеристики ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) при проведении приемочных и сертификационных испытаний представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Основные характеристики ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) при проведении приемочных и сертификационных испытаний

Показатель	Значение показателя по:	
	ТУ	Данным испытаний
1	2	3
Тип машины	Колесная, многоопорная, электрифицированная, кругового действия, с забором воды от закрытой оросительной сети или скважины	
Марка	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	
Привод	Дизель-электрический	
Тип дизельного генераторного агрегата	AD10-T400	
Мощность двигателя, кВт	10	10
Расход воды машиной, л/с	До 90	72,5
Давление, МПа в начале водопроводящего трубопровода в конце водопроводящего трубопровода	0,43	0,43  0,29

1	2	3
Скорость движения машины, м/час	До 110	10,0
Длина машины, м;	До 497,5	441,5
Количество передвижных опор, шт	До 10	9
Диаметр трубопровода, мм	159	159
Высота расположения дождевальных аппаратов над поверхностью земли, мм		1600
Количество концевых аппаратов, шт		1
Марка концевого разбрызгивателя	Idromeccanica Rossi R25S	
Диаметр сопла концевого аппарата, мм	16	
Обслуживающий персонал, чел	1	
Рабочее напряжение системы, В	380	380
Управляющее напряжение системы, В	230	230
Количество карданных передач		18
Количество редукторов, шт		18
Количество эл. двигателей, шт		9
Ширина колеи между двумя передвижными опорами, м	48,7	48,9
Трудоемкость досборки, чел.-ч		210
Дорожный просвет, не менее, мм	450	460
Колеса опорных тележек: -тип -марка Мотор-редукторы опорных тележек Колесные редукторы опорных тележек	Пневматические камерные Ф148 18.4-24 РЧМ-00 червячные	Пневматические камерные Ф 148 18.4-24 РЧМ-00 червячные
Расположение органов оперативного управления	-дистанционный пульт управления внешней оросительной системой -щит управления на неподвижной опоре	
Режим работы машины	Непрерывный, старт-стопный (программный) -движение с поливом -движение без полива	

### 3.4 Методика проведения исследований

#### 3.4.1 Экспериментальные исследования водопроводящего трубопровода дождевальных машин

##### *Методика определения коэффициента гидравлического трения*

Коэффициент гидравлического трения трубопроводов с отводами выше, чем в случае гладких трубопроводов [132, 133, 146, 262-264]. Для подтверждения теоретических исследований проведены эксперименты [202].

Исследования характеристик потока жидкости проводились на стальных водопроводящих трубопроводах 16; 20; 25; 30,0; 48,0; 60 мм с отводами диаметром. Длина трубопроводов изменялась от 2 до 6 м. Для обеспечения различной интенсивности отбора жидкости изменялись следующие условия: расстояния между отверстиями: 0,125; 0,25; 0,5; 1,0 м; диаметры отверстий: 1; 1,5; 3; 5 мм. Давление жидкости в трубопроводе: от 0,06 до 0,35 МПа. При этом числа Рейнольдса изменялись в пределах 1000-100000.

Лабораторная установка, рис.3.3-3.4. Расход находился объемным способом. Путевой расход на измеряемом участке собирался с помощью желоба. Заданный расход в трубопроводе устанавливается задвижкой. Температура воды измерялась термометром.

Объем мерного сосуда определялся с погрешностью  $\pm 10 \text{ см}^3$ , время его наполнения с погрешностью  $\pm 0,2 \text{ с}$ . Температура воды определялась при помощи термометра с погрешностью  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Внутренний диаметр трубы измерялся при помощи штангенциркуля с погрешностью не более 0,1 мм.

При обработке опытных данных гидравлические параметры потока на каждом участке определялись по средним значениям измерений трехкратной повторности опыта.

Расход определялся как:

$$Q = V_B / t, \quad (3.1)$$

где  $V_B$  – объем мерного бачка;

$t$  – время, с.

По показаниям пьезометров (манометров) определялись напоры на каждом метре трубопровода.

Средняя скорость движения жидкости:

$$V_1 = Q/\omega, \quad (3.2)$$

$\omega$  – площадь сечения трубы.

По разности показаний пьезометров определялись потери напора по длине трубопровода на участках

$$h_w = \frac{p_1}{\gamma_1} - \frac{p_2}{\gamma_2} = \lambda \frac{L_{\text{уч}} V^2}{d 2g} \quad (3.3)$$

$\frac{p_1}{\gamma_1} - \frac{p_2}{\gamma_2}$  – пьезометрический напор для соответствующих сечений потока;

$L_{\text{уч}}$  – длина участка, м;

$d$  – диаметр трубопровода;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения по длине.

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_1 d}{\nu}, \quad (3.4)$$

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воды, м<sup>2</sup>/с.

Транзитный расход определяется как:

$$Q_{\text{ТР}} = V\omega, \quad (3.5)$$

$V$  – скорость транзитного потока в рассматриваемом сечении.

$$Q_n = Q_0 - Q_{\text{ТР}}, \quad (3.6)$$

$Q_0$  – расход в начале трубопровода, является для каждого опыта постоянной величиной.

Относительная интенсивность отбора жидкости, определяемая как

$$\tau_0 = \frac{Q_{\text{ТР}}}{Q_n}, \quad (3.7)$$

где  $\frac{Q_{\text{ТР}}}{Q_n}$  – отношение транзитного расхода к путевому расходу жидкости.

Некоторые полученные результаты для стальных труб приведены в таблице 3.4 (рис.3.10).



Таблица 3.4 – Результаты исследований коэффициентов гидравлического трения

Re	Коэффициент гидравлического трения в трубопроводах с отводами $\lambda_n$	Коэффициент гидравлического трения при равномерном движении жидкости $\lambda_0$	Относительная интенсивность отбора жидкости $\tau_0 = \frac{Q_{TP}}{Q_n}$	$f(\tau_0) = \frac{\lambda_n}{\lambda_0}$
3728	0,073	0,039	1,45	1,86
5694	0,064	0,036	2,67	1,78
7806	0,055	0,033	3,36	1,66
11402	0,048	0,031	4,58	1,54
14830	0,042	0,028	5,05	1,48
16726	0,039	0,027	5,86	1,41
18872	0,037	0,027	6,32	1,36
19980	0,031	0,024	7,44	1,29
24112	0,029	0,023	8,12	1,25
31424	0,027	0,022	8,89	1,19
45458	0,025	0,022	10,12	1,12

Проведенные эксперименты подтверждают, что при значительных числах Рейнольдса величина коэффициента гидравлического трения в трубопроводах с отводами примерно равна величине коэффициента гидравлического трения при равномерном движении жидкости  $\lambda_n \approx \lambda_0$ .

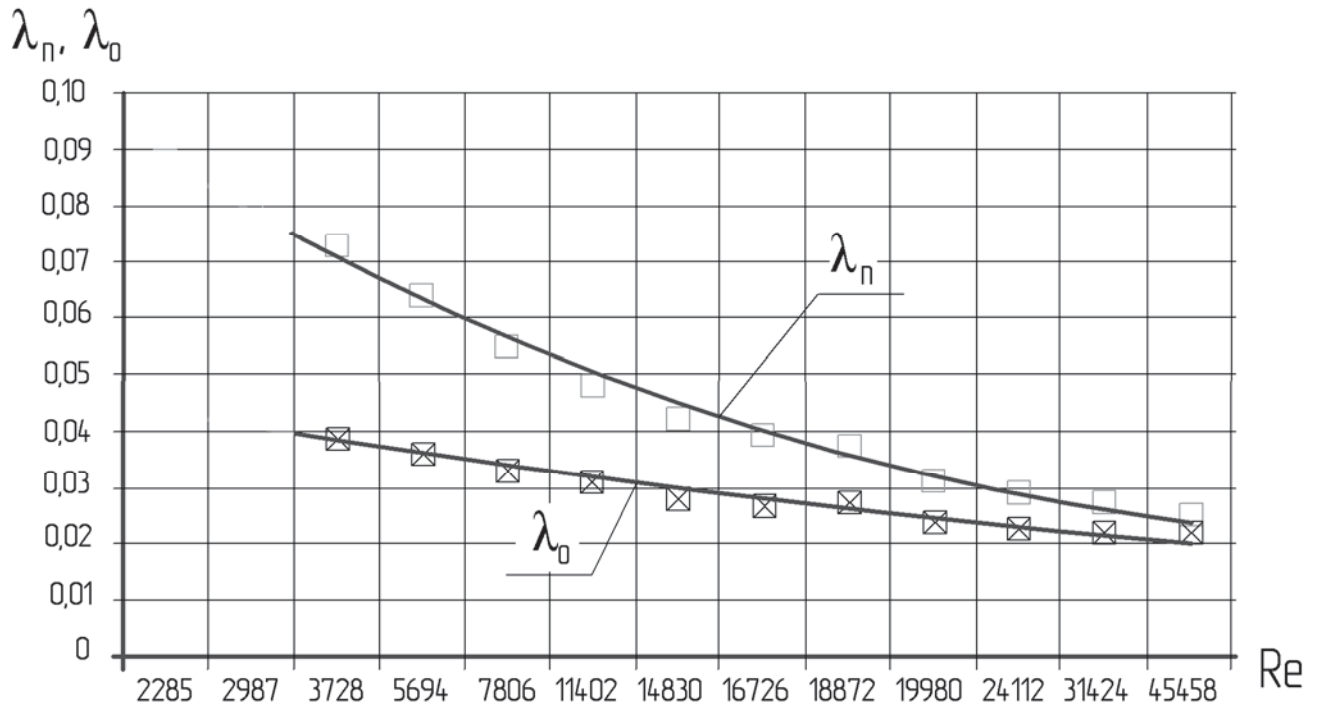


Рисунок 3.10 – Изменения коэффициентов гидравлического трения в трубопроводах с отводами и при равномерном движении воды от числа Рейнольдса:  $\lambda_p=3,271Re^{-0,45}$ ,  $R^2=0,982$ ;  $\lambda_0=0,347Re^{-0,26}$ ,  $R^2=0,977$ .

### *Параметр дискретности*

Экспериментальная установка представляла собой установленные на раме стальные трубопроводы диаметром 20; 30; 48; 63; 159 мм. Длина трубопроводов 6 м, разделенные на участки по одному метру с отверстиями 1,5; 3; 5; 10; 14 мм, расстояния между отверстиями: 0,25; 0,5; 1,0 м (рис. 3.11).

Давление жидкости в трубопроводе изменялось от 0,06 до 0,35 МПа. Потери напора на участках измерялись манометрами, установленными через 1 м. Путевой и транзитный расход определялся объемным способом. Путевой расход на измеряемом участке собирался с помощью желоба. Транзитный расход регулировался с помощью вентиля. Часть результатов опытов представлены в таблице 3.5.

Сравнение экспериментальных значений с теоретическими по предлагаемой методике дает хорошее совпадение и хорошо согласуется с исследованиями А. А. Федорца [262].



Рисунок 3.11 – Экспериментальное определение характеристик потока

Таблица 3.5 – Данные для определения параметра дискретности

$\ell_{\text{отв}}$	$Q_n, \text{л/с}$	Диаметр $d, \text{мм}$	Диаметр $d_{\text{отв}}, \text{мм}$	$Q_{\text{тр}}, \text{л/с}$	Re	Параметр дискретно- сти $K_d$
1	2	3	4	5	6	7
0,25	7,8	48	10	39	14257	1,06
	31,6	60	20	151,6	17821	
	62	159	24	61,56	4770	
0,25	1,9	60	5	12,2	1852	1,06
	20	60	16	98	15621	
	5	60	8	40,3	22101	
0,5	3,9	48	10	17,2	13556	1,12
	15,6	60	20	62,4	14267	
	30	159	24	280	46225	
0,5	0,96	60	5	5,6	19885	1,12
	10	60	16	160,2	17523	
	2,4	60	8	12,6	18665	

1	2	3	4	5	6	7
1	1,9	48	5	9,5	13557	1,26
	7,8	60	20	31,2	16425	
	15,4	159	24	154	42556	
1	0,48	60	5	2,4	13823	1,26
	5	60	16	20,1	14558	
	1,2	60	8	27,2	17533	

### **3.4.2 Экспериментальные исследования низконапорных дождевателей**

#### **3.4.2.1 Методика определения характеристик дождевателей в зависимости от конструктивных параметров и рабочего напора**

Лабораторные исследования проводились в соответствии с требованиями СТО АИСТ 001–2010 и методиками [50, 51, 58, 192, 253, 254]. Опыты выполняли в Саратовском аграрном университете им. Н.И. Вавилова (рис.3.12-3.14).

Испытательный стенд представлен на рис. 3.12. Давление устанавливалось регулировочным краном и замерялось манометром. Мерные емкости размещались по лучам радиусов полива с интервалом 0,5м и углом 10-15°.

Полное давление на выходе струи из сопла дождевателя измерялось путем ввода трубки Пито в струю на расстоянии 3-5 мм от дождевателя. Трубка устанавливалась отверстием наконечника против движения потока жидкости. На дождеватель устанавливался заборный колпак, из которого вода подавалась в мерный бак емкостью 40 л. Время заполнения мерного бака замерялось секундомером (ГОСТ 1197-70). Расход определялся по формуле 3.5.

Для определения максимальной дальности полета струи дождеватель устанавливался на различную высоту от 1,0 до 2,5 м. Максимальная дальность полета струи измерялась от оси установки дождевателя до точки падения последних капель.

Диаметр сопла дождевателя изменялся от 3,0 до 15,0 мм, давление перед гибким спускным трубопроводом– от 0,07 до 0,45 МПа.



Рисунок 3.12 – Испытание дождевателей

Для измерения скорости ветра использовался анемометр ручной крыльчатый АСО-3, позволяющий определять скорость ветра в диапазоне 0,1-5 м/с. Делением разности конечного и начального показания счетчика анемометра на время экспозиции определялось количество делений, приходящихся на 1с, а затем по калибровочному графику находилась скорость ветра.

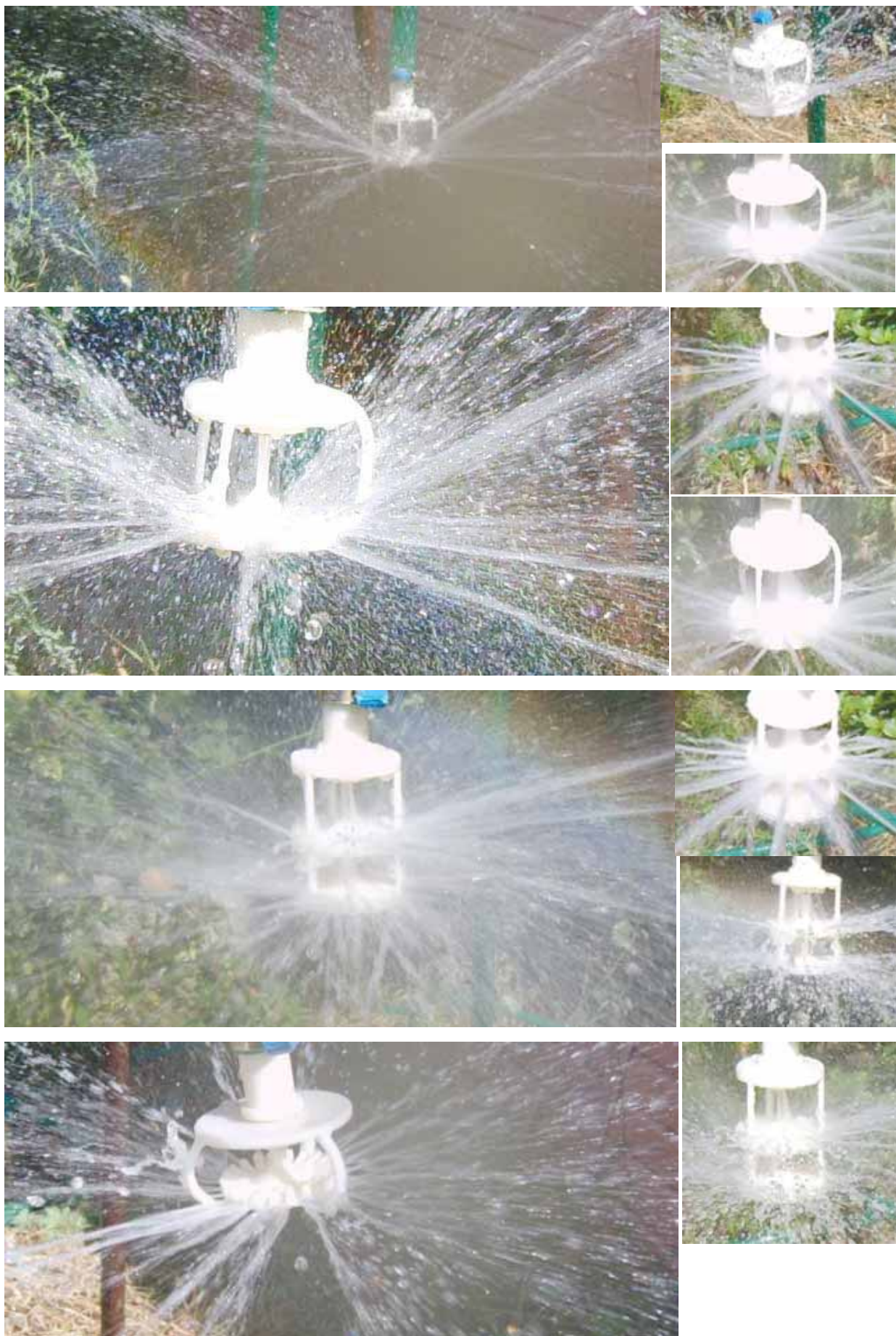


Рисунок 3.13 – Формы дефлектора, режимы и формы сходящего потока



Рисунок. 3.14 – Расстановка дождемеров при лабораторных исследованиях

Определение направление ветра осуществлялось через каждые 5-15 минут в период опыта и фиксировалось в ведомости.

Для измерения относительной влажности воздуха использовался психрометр аспирационный М-34 Ассмана. По разнице показателей определялась относительная влажность воздуха по психрометрической таблице.

#### 3.4.2.2 Методика определения интенсивности и крупности капель

Средняя действительная интенсивность  $\rho_{\text{ср}}$ , мм/мин определялась делением расхода воды  $Q_{\text{н}}$  на мгновенную площадь полива [41]:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{60Q_{\text{н}}}{\pi R'^2}, \quad (3.8)$$

где  $Q_{\text{н}}$  – расход воды, л/с;

$R'$  – радиус захвата дождем, м;

Диаметр капель дождя определялся с помощью обеззоленных бумажных фильтров, натертых чернильным порошком. Связь между отпечатком капель и их диаметром устанавливалась по тарировочной кривой [217]:

$$d_K = C_{KB} \sqrt[3]{d_{OK}^2}, \quad (3.9)$$

где  $d_K$  – фактический диаметр капель;

$C_{KB}$  – коэффициент качества бумаги;

$$C_{KB} = \sqrt[3]{\frac{3k_{ПБ}\delta_B}{2}}, \quad (3.10)$$

$k_{ПБ}$  – коэффициент пористости бумаги;

$\delta_B$  – толщина бумаги, мм;

$d_{OK}$  – диаметр отпечатка капли, мм.

Как показывают опыты, коэффициент  $C_{KB}$  остается постоянным для данного сорта бумаги. В дальнейшей по данной формуле строится тарировочная кривая.

Диаметр отпечатка капли на фильтре измерялся микроскопом по вертикали и горизонтали с точностью измерений 0,1 мм.

В результате проведения теоретических расчетов и практических замеров диаметра капель дождя сравнивались и определялись отклонения от расчетных значений по зависимости:

$$\Delta d_K = \frac{d_{Kp} - d_{Kоп}}{d_{Kp}} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

$d_{Kp}$  – теоретическое значение диаметра капли, мм;

$d_{Kоп}$  – значение полевого опыта диаметра капли, мм.

В большинстве случаев теоретические расчеты имеют допустимое отклонение до ( $\pm 10\%$ ), что говорит об достаточной точности.

Для обработки отбирались по 100-120 капель в начале, середине и конце струи. Отбор капель дождя производился на высоте 0,8-1,0 м от поверхности почвы.



Улавливание на один лист капель в различных местах дождевого облака позволило определить процентное соотношение капель различного диаметра, а также средний диаметр и сравнить полученные данные с теоретическими расчетами.

Для оценки равномерности полива по эшорам распределения интенсивности дождя по радиусу полива использовали:

- коэффициент эффективности полива по 100-120 замерам [254];
- коэффициент неравномерности полива [216]:

$$K_H = \Sigma ( | \rho_i - \rho_{cp} | ) \cdot K_i / (\rho_{cp} \cdot \Sigma K_i), \quad (3.12)$$

где  $\rho_i$  – значения интенсивности дождя в  $i$ -ой точке радиуса, мм/мин;

$\rho_{cp}$  – среднее значение интенсивности дождя вдоль радиуса полива, мм/мин;

$K_i$  – коэффициент площади дождемера, оценивающего  $i$ -ю точку радиуса.

- коэффициент равномерности по Кристиансену [217]:

$$\sigma_0 = 100 \left( 1 - \frac{\Sigma / h_i - h_{oc} /}{h_{oc} \cdot n_{изм}} \right), \quad (3.13)$$

где  $/ h_i - h_{oc} /$  – абсолютная величина отклонения измерения от среднего слоя осадков, мм;

$h_{oc}$  – средний слой осадков, мм;

$n_{изм}$  – число измерений.

Соответствие теоретических расчетов фактическим значениям распределения дождя дождевателем, оценивалось критерием Пирсона  $X^2$  [70]:

$$X^2 = \Sigma (\rho_f - \rho_t)^2 / \rho_t, \quad (3.14)$$

где  $\rho_f, \rho_t$  – фактическое и теоретическое значение интенсивности дождя в  $i$ -ой точке радиуса полива, мм/мин.

### **3.4.3 Экспериментальные исследования ДМ оборудованных низконапорными дождевателями**

Полевые исследования проводились на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энгельсского района Саратовской области),

УНПК Агроцентра СГАУ; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марковский район).

Сертификационные испытания ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) были проведены на соответствие требованиям ТУ 473422-002-26833660-2016 [259, 260] по рабочей программе-методике, утвержденной 01.07.16 г. главным инженером ФГБУ «Поволжская МИС» в ООО «Наше дело». Протокол сертификационных испытаний дождевальная машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) №37-19-2016 от 3 августа 2016 г представлен в приложении 6.

Протокол приемочных испытаний дождевальная машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) №08-11П-2016 от 11 ноября 2016г.

Условия полевых испытаний в ООО «Наше дело» представлены в таблице 3.6, методики проведения испытаний [70,71].

Таблица 3.6 – Условия полевых испытаний в ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марковский район)

Показатель	Значение показателя по:			
	ТУ	Данным испытаний		
		Лабораторно-полевых	Эксплуатационно-технологических	На надежность
1	2	3	4	5
Вид работы	Полив кормовых, зерновых, технических культур, включая высокостебельные	Полив кукурузы		
Тип почвы и название по механическому составу	Все типы почв	Темно-каштановый суглинок		
Общий уклон участка, %	-	0		
Уклон вдоль трассы трубопровода	То же	0		
Уклон по ходу движения машины	-	0		
Микрорельеф	-	слабовыраженный		
Наименьшая влагоемкость почвы, %	-	11,3		

1	2	3	4	5
Влажность почвы, %, в слое, см:				
0-10		8,9	8,9	7,4-10,6
10-20		11,8	11,8	10,9-12,3
20-30		12,8	12,8	12,5-13,0
30-40		11,2	11,2	10,8-12,3
40-50		12,8	12,8	11,7-13,5
Твердость почвы, МПа, в слое, см:	-			
0-10		2,8	2,8	2,7-2,8
10-20		3,9	3,9	3,8-3,9
20-30		3,9	3,9	3,8-3,9
30-40		4,0	4,0	4,0-4,1
40-50		4,0	4,0	4,0-4,1
Температура воздуха, °С	+5 – +45	25,0	25,0	23-25,0
Относительная влажность воздуха, %	-	45	45	44-46
Температура воды, °С	-	22,0	22,0	21,0-33,0
Наименование культуры	с/х культу- туры	кукуруза		
Фаза развития растений	-	цветение		
Высота растений, см	-	166,2	166,2	160,0- 173,0
Число растений, тыс. шт/га	-	104	104	80-120
Содержание в воде взвешенных частиц, г/л (мг/л), не более	5	0,1	0,1	0,05-0,1
Предшествующая обработка почвы	Нет дан- ных	Без обработки		

Показатели условий испытаний определены по ГОСТ 20915-2011 и СТО АИСТ 11.1-2010. Технические средства измерения представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Технические средства проведения испытаний

Наименование определяемой характеристики, параметра	Наименование испытательного оборудования, прибора, его номер, ГОСТ
1	2
Линейные параметры	Рулетка RemoColor, №5006; Штангенциркуль ШЦ-II 0-250-0,05 №311313; Мерный циркуль, №0940; Дальномер лазерный LeikaDistopro, №263532
Весовые параметры	Весы GM-612, №13809603
Время	Секундомер СОСпр-26-2-000 №5018

1	2
Расход	Манометр дифференцированный ДТ-50№359311 ТУ-25-01-818
Давление	Манометр МТ-100
Температура	Термометр лабораторный, ТЛ-4, №588
Твердость почвы	Твердомер Ревякина, №138
Влажность почвы	Сушильный шкаф СШ-3
Влажность воздуха	Психометр МВ-4, №7936
Рельеф	Угломер КИ13926№ 1949
Скорость ветра	Анемометр чашечный МС-13№8716
Расход топлива	Расходомер топлива DFM 100СК, №635 0560

### 3.4.3.1 Методика определения равномерности полива

Фактическая средняя норма полива, м<sup>3</sup>/га, после прохода дождевальнoй машины определялась по формуле:

$$m_{\text{ф}} = 10 \cdot h_{\text{ос}}, \quad (3.15)$$

где  $h_{\text{ос}}$  – средний слой дождя на участке полива, мм.

При определении распределения слоя и интенсивности дождя вдоль трубопровода машины использовались дождемеры с приемной площадью 25 см<sup>2</sup> и объемом 3 л, которые расставлялись в радиальном направлении в 2...3 ряда с центральным углом 3-5° и интервалом от 1 до 5 м. Объем воды в дождемерах замерялся мензуркой, время полива дождем и время опыта замерялись секундомером (ГОСТ 1197-70) и часами.

Коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива определялись по частотному графику распределения слоя дождя вдоль водопроводящего трубопровода. При построении частотного графика использовались значения коэффициентов площади под каждым дождемером. Площадь полива под  $i$ -м дождемером [217]:

$$S_{\text{ид}} = \pi (R_{i+1}^2 - R_i^2) / n_{\text{рд}}, \quad (3.16)$$

где  $R_{\text{ид}}$ ,  $R_{\text{ид}+1}$  – величина радиуса от неподвижной опоры до центра интервала между  $i+1$  и  $i$ -м дождемером, м;

$n_{\text{рд}}$  – число рядов дождемеров, шт.

Отношение площади  $i$ -го кольца к площади первого кольца обозначили коэффициентом площади дождемера  $K_{iД}$ :

$$K_{iД} = S_{iД} / S_{1Д}. \quad (3.17)$$

Значения коэффициентов принимают целые значения  $K_{iД}=1, 3, 5, 7, 9, \dots$

Для частотного графика:

1. Определялось распределение слоя дождя на участке поля [217, 273]:

$$h_{OC} = \frac{10 \cdot V_d}{S_d}, \quad (3.18)$$

где  $h_{OC}$  – слой дождя; мм;

$V_d$  – объем воды в дождемере, мл;

$S_d$  – приемная площадь дождемера, см<sup>2</sup>.

2. Выбиралось минимальное  $h_{min}$  и максимальное  $h_{max}$  значение и определялась величина интервала [217]:

$$J = \frac{h_{OCmax} - h_{OCmin}}{10 \dots 12}, \quad (3.19)$$

где 10-12 – число интервалов.

3. Определялся коэффициент площади  $K_{iД}$  под каждым дождемером.

4. По данным построился частотный график распределения слоя дождя и отклонение от него в пределах  $\pm 25\%$  – площадь эффективного полива  $F_{эф}$ . Как отклонения от нее – площадь недостаточного полива  $F_n$ , и площадь избыточного полива  $F_{из}$ . Численные значения этих площадей определяли планометрированием частотного графика [254]. Отношение указанных площадей к общей площади дает соответствующие значения коэффициентов распределения дождя.

Равномерность полива на небольших участках с числом замеров 30-40 оценивалась коэффициентом вариации [67]:

$$KB = (\sigma_{от} / h_{OC}) \cdot 100\%, \quad (3.20)$$

где  $\sigma_{от}$  – среднеквадратичное отклонение,

$$\sigma_{от} = \left[ \frac{(h_i - h_{CP})}{n_{ИЗМ} - 1} \right]^{0.5}, \quad (3.21)$$

$h_i, h_{CP}$  – слой дождя в  $i$ -м дождемере и средний на участке полива, мм;  $n_{изм}$  – число измерений слоя дождя, шт.

Давление на входе в машину определяли по манометру. Скорость ветра в течение опыта замерялась ручным анемометром, который устанавливался на расстоянии 100-200 м от машины на высоте 2 м.

### 3.4.3.2 Методика определения потерь воды на испарение и снос

Величина потерь на испарение и снос ветром оценивалась по разнице между объемами воды, поданными дождевальными машинами и собранными у поверхности почвы с помощью дождемеров. Для сбора воды с поверхности почвы применялись специальные пробоотборники, представляющие собой воронку, помещенную в стеклянную емкость. С целью снижения испарения воды, собранной в пробоотборники, бутылка оборачивалась в два слоя хлопчатобумажной тканью.

Величину потерь дождя и сноса ветром определяли по формуле [216, 217, 218]:

$$E_{ис} = \frac{m_p - m_{\phi}}{m_{\phi}} \cdot 100\%, \quad (3.22)$$

где  $m_p, m_{\phi}$  – расчетная и фактическая поливная норма, мм.

Фактическая поливная норма определялась при помощи дождемеров и мерной мензурки сразу после полива дождевальной машины.

Расчетная поливная норма определялась как средняя в зоне полива дождевателя по формуле (2.103).

Скорость падения капель дождя определялась по методике А.П. Исаева [105] с использованием опытных данных по диаметру капель и высоты их падения.

Среднюю интенсивность определили одним из статистических методов как среднюю арифметическую величину из интенсивностей в точках площади полива с перекрытием и без перекрытия [254].

При выборе участка для проведения агрооценки исходили из условия, что высота растений не должна превышать высоты дождемеров. Для оценки показателей качества площадь орошения разбивали на равновеликие площадки с помощью мерной ленты или теодолита. Количество площадок должно входить целым числом в площадь полива с перекрытием. В центрах площадок устанавливали дождемеры по радиусу на всю ширину захвата машины без перекрытия. Расстояние между центрами дождемеров не более 2 м. Измерение выполняли на трех лучах, расположенных друг от друга под углом 30° на расстоянии 10-12 м.

Для определения рабочей скорости измеряли длину пути и продолжительность движения машины вперед (назад) за повторность опыта. Измерения выполняли в трехкратной повторности на каждом заданном режиме.

### 3.4.3.3 Определение влажности почвы

Влажность почвы определяли до и после поливов в слое 0-100 см через 10 см в трехкратной повторности и рассчитывали по формуле [48, 109, 144]:

$$V_{\text{п}} = \frac{100 \cdot m_{\text{в}}}{m_{\text{сп}}} = 100 \frac{m_{1\text{с}} - m_{0\text{с}}}{m_{0\text{с}} - m_{\text{с}}}, \quad (3.23)$$

где  $V_{\text{п}}$  – полевая влажность, %;

$m_{\text{в}}$  – масса испарившейся влаги, г;

$m_{\text{сп}}$  – масса сухой почвы, г;

$m_{\text{с}}$  – масса пустого стаканчика с крышкой, г;

$m_{1\text{с}}$  – масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

$m_{0\text{с}}$  – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

Пробу грунта массой 15 - 50 г для определения влажности отбирали способом квартования, помещали в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывали крышкой. Грунт высушивали до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$  в течение 5 ч (рис. 3.15) [38, 144].



Рисунок 3.15 – Измерения влажности почвы

При выборе местоположения опытных площадок учитывалась однородность почвенного покрова, рельефа и технология возделывания сельскохозяйственных культур. Сток воды определялся по общепринятой методике по стоковым площадкам площадью  $1000 \text{ см}^2$ . Площадки располагали на повышенных элементах микрорельефа поля с тем, чтобы промачивание почвы осуществлялось только водой, успевающей впитываться в процессе дождевания.



Норма полива до стока в зоне полива дождевателей определялась по моменту образования устойчивых луж на поверхности поля [152, 256].

При проведении опыта определялись также: средняя и мгновенная интенсивность дождя; средний диаметр капель дождя; тип почв; механический состав в слое 0-50 см; объемная масса почвы по слоям и в слое 0-50 см; предполивная влажность почвы в слое 0-50 см; уклон поверхности почвы; наличие почвенной корки; вид сельскохозяйственного растения и густота их стояния; вид основной и дополнительной обработки почвы.

### **3.4.4 Оценка режима орошения ДМ «Кубань –ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» при различных их конструктивно-технологических решениях**

#### **3.4.4.1 Определение несущих свойств почвы при поливе ДМ**

Несущие свойства почв определялись на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энгельсского района); УНПК Агроцентр СГАУ (г. Саратов); ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район).

Оценка несущих свойств почв от их режима орошения ДМ производилась на различных по типу почвах и механическому составу участках. Для лабораторно-полевых исследований по оценке изменения несущих свойств почв, при их орошении ДМ, применялся ручной почвомер–пенетромтр с конусно-крыльчатый наконечником согласно ГОСТ 19912-2001 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием».

Максимальное усилие пенетрации 1570 Н, площадь конусов наконечников 10 и 20 см<sup>2</sup>. Высота прибора со штангой и наконечником 920 мм. Усилие вдавливания наконечника в почву фиксировали динамометром. По нему и площади поперечного сечения конуса на глубине вдавливания определялось удельное сопротивление почвы сжатию  $\sigma_{сж}$  (несущая способность для минеральных почв) (рис. 3.16). Максимальная глубина погружения 0,25м.

Вращательный момент фиксировался по лимбу при повороте крыльчатки. По замеренному моменту и константе крыльчатки (статическому моменту сопротивления  $k_\tau$ ) находилось удельное сопротивление срезу  $\tau$ .

Внедрение конуса проводилось при 5-8 последовательно возрастающих вертикальных нагрузках, с измерением соответствующих глубин погружения. По результатам строился график инвариантности удельного сопротивления пенетрации от глубины погружения.

Вначале погружался конический наконечник на полную высоту  $h_k=0,06$  м и определялось усилие на вдавливание. По усилию пенетрации определялось удельное сопротивление сжатию  $\sigma_{сж}$ , Па [26]:

$$\sigma_{сж}=P_n / S_K, \quad (3.24)$$

$P_n$  – усилие пенетрации, Н;

$S_K$  – площадь поперечного сечения конуса, м<sup>2</sup>.

Затем вдавливалась крыльчатка и определялось удельное сопротивление срезу  $\tau'$ :

$$\tau'=M_{МАКС}/ k_\tau, \quad (3.25)$$

$M_{МАКС}$  – максимальный внешний момент, Нм;

$k_\tau$  – статический момент поверхностей среза (константа крыльчатки).

Расстояние между соседними точками определения показателей прочности почвы было принято равным 0,3-0,4 м.

Перед проведением исследований на орошаемом участке размечались по его радиусу контрольные сечения по величинам поливной нормы. При прохождении машиной каждого из контрольных сечений участка, под последним ее пролетом определялись по установленным дождемерам и стоковым площадкам величины эффективной и досточковой поливных норм, а также значение стока.

До и после прохода контрольных сечений производились замеры ручным почвомером-пенетрометром в 10-и кратной повторности по длине пролета показателей несущих и сдвиговых характеристик почвы в сухом и увлажненном ее состоянии.

Несущую способность почвы определяли согласно зависимости А.И. Рязанцева [221] по выражению (2.112).

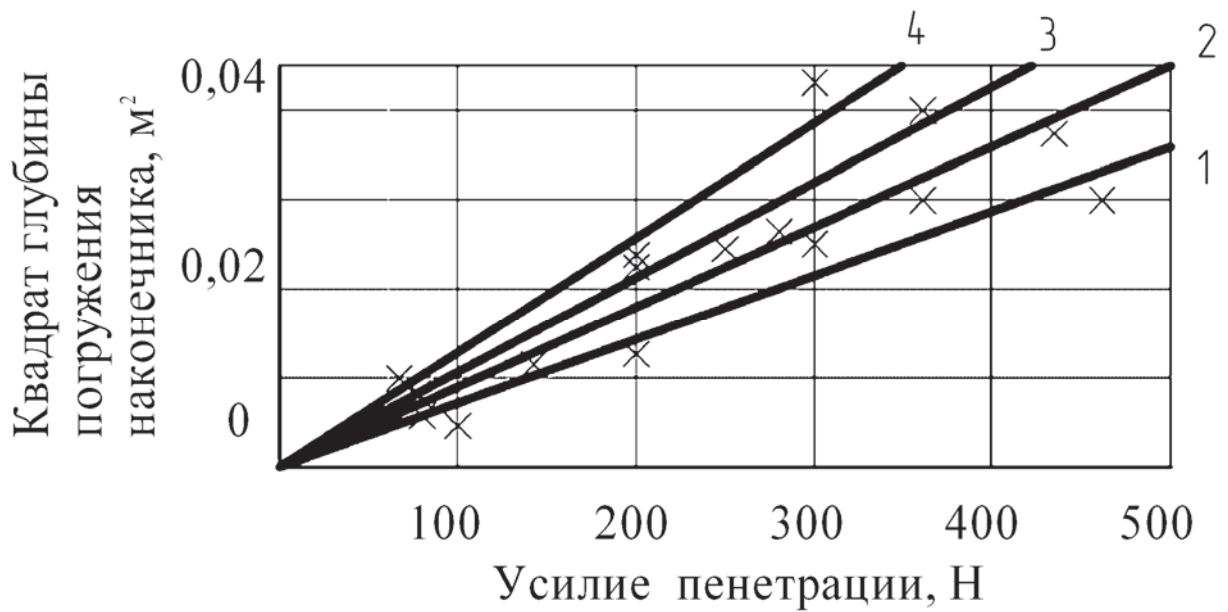


Рисунок 3.16 – Определение усилия пенетрации на контрольных сечениях орошаемого участка, поливная норма  $500 \text{ м}^3/\text{га}$

### 3.4.4.2 Определение ширины и глубины колеи ДМ при различных условиях эксплуатации и оснащении низконапорными дождевателями различных типов

Исследование колееобразования проводилось в начале, середине и конце поливного периода. Замеры глубины колеи проводились с помощью линейки (рис. 3.17).

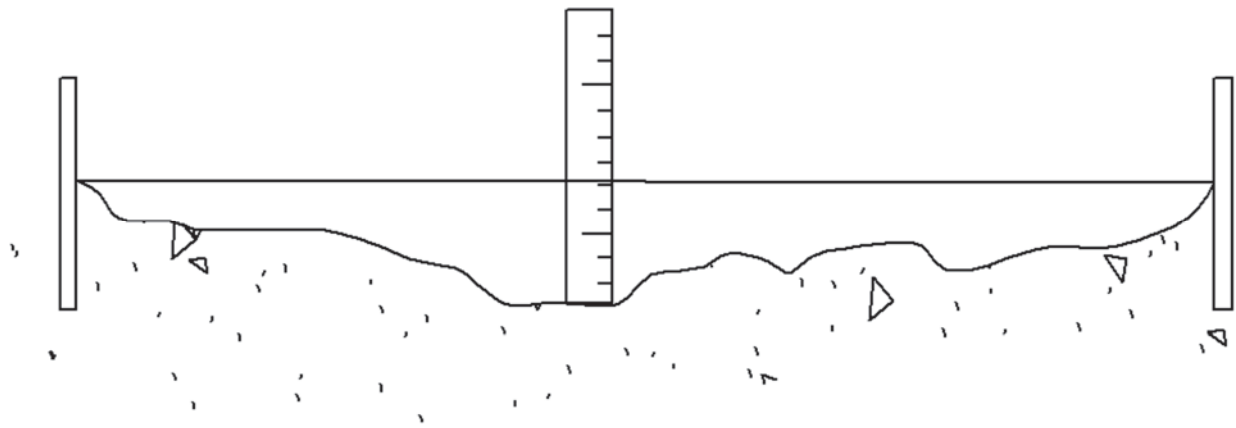


Рисунок 3.17 – Измерение колеи

Такие показатели как глубина и ширина колеи определялись по длине трубопровода в не менее чем в 3-х контрольных сечениях участка (в начале, середине и конце). При этом из измерений исключались записи грубых местных неровностей (поперечная колея, канава и др). Условия экспериментальных исследований представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Условия экспериментальных исследований по оценке конструктивно-высотных, несущих свойств и колеи

Наименование показателя	Марка дождевальной машины				
	«Фрегат» ДМ-463-90	Кубань ЛК-1 МДЭК-212	Кубань «КАС-КАД» (59,5м)	Кубань-«КАСКАД» (65,2м)	Кубань ЛК1М 497-90 (48м)
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
Хозяйство	Наше Дело	Агро-центр	Наше Дело	Наше Дело	Наше Дело
Дата проведения исследований	10.07-25.07.	15.06-30.06	10.07-25.07	1.05-20.05.	18.06-27.06.
Тип почвы	Темно-каштановый суглинок	Чернозем	Темно-каштановый суглинок	Темно-каштановый суглинок	Темно-каштановый суглинок
Микрорельеф	выровненный	холмистый	слабовыраженный	слабовыраженный	слабовыраженный
Агрофон	Посевы кукурузы		Посевы кукурузы	Посевы кукурузы	Посевы кукурузы
Влажность почвы в слое 0-10	12,8		9,6	23,9	20,3
10-20	14,9		12,7	23,8	20,0
20-30	16,8		13,5	24,1	21,9
30-40	17,5		14,0	24,3	21,6
40-50	15,7		13,5	23,7	20,2
Норма полива, м <sup>3</sup> /га	200-300	400-500	157	580	500
Температура воздуха, °С	16	24	25	25	23-25
Скорость ветра, м/с	3,0	2,3	1,3	1,5	1,6
Относительная влажность воздуха, %	44	44	45	45	44
Температура воды	19	18	22	22	21-22
Твердость почвы, МПа, в слое, см: 0-10			2,8	2,8	2,7
10-20			3,9	3,9	3,8
20-30			3,9	3,9	3,8
30-40			4,0	4,0	4,0
40-50			4,0	4,0	4,0
Коэффициент полива: –эффективного, не ниже	0,7	0,72	0,76	0,86	0,84
–недостаточного, не более	0,15	0,12	0,11	0,06	0,08
–избыточного	0,12	0,13	0,13	0,08	0,09
Коэффициент равномерности полива по Кристиансену			85,95	88,88	87,60

1	2	3	4	5	6
Неравномерность увлажнения почвы, %				1,0	1,5
Шины		16-20	18,4-24	18,4-24	14,9R24 18.4-24

### 3.4.4.3 Оценка конструктивно-высотных параметров машины

Условия проведения лабораторно-полевых исследований для оценки конструктивно-высотных свойств приведены в табл. 3.9.

Исследования проводились на базовых модификациях машин «Фрегат» ДМ-463-90, «Кубань –ЛК1» МДЭК-212, «Кубань-ЛК1М» модели 497-90 с пролетом 48 м и «КАСКАД» с пролетами 59,5 м и 65,2 м, оснащенных низконапорными дождевателями.

Для ДМ «Фрегат» определялся прогиб, затем глубина погружения колес. Далее определяли допустимый агротехнический просвет Н" на ровном рельефе и уменьшение агротехнического просвета. Аналогичным образом до линии трубопровода определялись показатели для ДМ «Кубань».

Оценка конструктивно-высотных свойств проводилась для тележек установленных в начале, середине и конце водопроводящего трубопровода, а также на имеющихся местных неровностях и уклонах. Техническая характеристика исследуемых машин приведена в табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Технические характеристики ДМ

Наименование показателей	Марка дождевальных машин				
	ДМУ-Б 463-90	«Кубань-ЛК1» МДЭК-212	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) 497-90 48м	«КАСКАД» 59,5м	«КАСКАД» 65,2м
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
Тип привода тележек машины	Гидравлический	электрический			
Давление воды на входе в машину при нулевом общем уклоне, МПа	0,55	0,21	0,43	0,35	0,35
Расход воды при нулевом общем уклоне, л/с	50	16	90	72	65
Тип схемы расстановки дождевателей	1	2	4, 6	3	5
Максимально допустимый общий уклон поля вдоль водопроводящего трубопровода машины	0,05	0,07	0,05	0,07	0,07
Допустимые уклоны по ходу движения тележек, не более	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Максимально допустимая разность местных уклонов положения каждой тележки относительно двух соседних	0,16-0,22	0,08	0,08	0,07	0,07
Скорость движения последней тележки, регулируемая, м/мин	0,21-1,0	0,1-1,8			
Габаритные размеры, м: –расстояние от поверхности земли до трубопровода при нулевых местных уклонах, –дорожный просвет.	2,20 0,50	2,70 0,45	2,70 0,5	2,80 0,5	2,90 0,5
Тип опорных колес	Жесткие	Пневматические камерные			

### 3.4.5 Методика оценки режима работы ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД»

Испытания проводились на землях сельскохозяйственного назначения в ООО «Наше Дело», Марксовского района Саратовской области ДМ – «Кубань-ЛК1М» модели 497-90\* и Агроцентра СГАУ – «Кубань-ЛК1» модели 212.

Для определения времени перемещения и расстояний по краю экспериментального участка по линии окружности движения последней тележки, с помощью теодолита по намеченным позициям устанавливались постоянные реперы (веш-

ки). По линии движения промежуточных тележек – временные с расстоянием 2-3 м.

Машина осуществляла круговое движение в режиме ручного и автоматического управления. Выбор режима работы, направления движения и поворота, а так же пуск и остановку в ручном режиме осуществляли со щита управления.

Скорость движения задавалась со щита управления (рис. 3.18) путём изменения ПВ% (продолжительность включения) электродвигателя последней тележки. Движение остальных тележек машины происходило в старт-стоповом режиме, при этом управление движением каждой тележки осуществлялось автономно прибором синхронизации движения в линию промежуточных тележек 1ПСЛ-П-01-1ПСЛ-П-09 (рис. 3.19).

Установка задающего таймера производилась заданием в секундах длительностью импульса (И) и паузы (П), соотношение которых определяет продолжительность включения (ПВ%) электродвигателя крайней опорной тележки в течение цикла в зависимости от требуемой нормы полива

$$\text{ПВ}\% = \frac{\text{И}}{\text{И} + \text{П}} 100\%, \quad (3.26)$$

Для требуемой нормы полива ( $m_{\text{тр}}$ ) при минимальной норме полива по ( $m_{\text{min}}$ ) устанавливалась продолжительность включения:

$$\text{ПВ}\% = \frac{m_{\text{min}}}{m_{\text{тр}}} 100\%, \quad (3.27)$$





Рисунок 3.18 – Щит управления



Рисунок 3.19 – Приборы синхронизации движения в линию промежуточных тележек

### 3.5 Обработка результатов экспериментальных исследований и определение статистических характеристик

Для оценки достоверности экспериментальных данных применены методики планирования эксперимента и методы математической статистики [20, 33, 65, 67, 70-72, 96, 145, 151, 163, 191, 285]. Все экспериментальные значения параметров обрабатывались методами математической статистики. Распределение параметров  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$  характеризовалось:

Средней величиной распределения

$$X = \Sigma X_i / n_{\text{изм}}, \quad (3.28)$$

где  $X_i$  - результат отдельного измерения;

$n_{\text{изм}}$  – число измерений.

Дисперсией распределения:

$$D = \frac{\Sigma (X_i - \bar{X})^2}{n_{\text{изм}} - 1}; \quad (3.29)$$

Среднеквадратичным отклонением:

$$\sigma_{OT} = D^{0,5}; \quad (3.30)$$

Коэффициентом вариации:

$$KB = \frac{100 \cdot \sigma_{OT}}{\bar{X}}; \quad (3.31)$$

Точностью опыта:

$$P_{оп} = \frac{100 \cdot \sigma_{OT}}{\bar{X} \cdot n_{ИЗМ}^{0,5}}. \quad (3.32)$$

Для определения корреляционной и статистической зависимости между переменными  $X$  и  $Y$  проводили  $n_{ИЗМ}$  число парных наблюдений и вычисляли коэффициент парной корреляции. Коэффициенты регрессии определялись методом наименьших квадратов:

$$(Y_i - Y_p)^2 = \min, \quad (3.33)$$

где  $Y_i$  - фактическое значение зависимого показателя;  $Y_p$  - расчетные значения, найденные из уравнения регрессии.

Относительная величина радиуса полива, которому соответствует максимальная величина эпюры распределения дождя, определяется по формуле:

$$\left( \frac{X_i}{R} \right)_{\max} = \frac{\gamma - 1}{(\gamma + \eta + 2)}. \quad (3.34)$$

Параметры  $\gamma$  и  $\eta$  связаны со средней величиной  $X$  и среднеквадратичной величиной распределения  $\sigma_C$  следующими зависимостями:

$$\eta = [(1 - X)/\sigma_C^2] \cdot [X \cdot (1 - X) - \sigma_C^2], \quad (3.35)$$

$$\gamma = X \cdot \eta / (1 - X). \quad (3.36)$$

Остаточная дисперсия:

$$D_{ост}^2 = \sum (Y_{ф} - Y_p)^2 / (N - V_{ф} - 1), \quad (3.37)$$

где  $V_{ф}$  - количество факторов.

Оценка адекватности уравнения регрессии осуществлялась по критерию Фишера:

$$F = D^2 / D_{ост}^2, \quad (3.38)$$

Коэффициент множественной корреляции:

$$R_m = (1 - D_{ост}^2 / D^2)^{0,5}. \quad (3.39)$$

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты исследований разработанных низконапорных дождевателей

#### 4.1.1 Расход воды дождевателями

Исследованиями установлено, что при увеличении диаметра сопла с 3 до 15 мм и давления с 0,1 до 0,35 МПа, расход воды дождевателя увеличивается с 0,1 до 4,5 л/с. Среднее значение коэффициента расхода воды для дождевателей принимаем 0,80 при оптимизированных параметрах сопла [243].

Характеристика расход-давление дождевателей показана на графике (рис. 4.1).

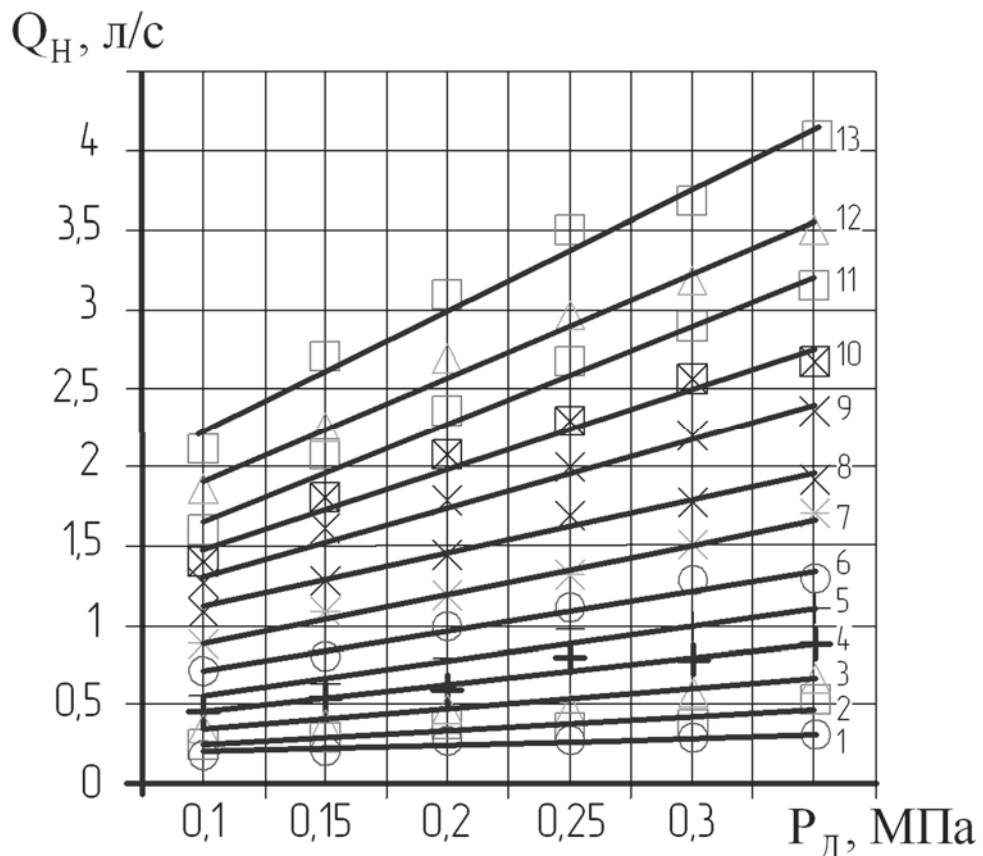


Рисунок 4.1 – Характеристика дождевателей «расход – давление» при различных диаметрах сопла:

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

#### 4.1.2 Радиус захвата дождем при поливе дождевателями

В результате проведенных лабораторных исследований разработанных дождевателей, было установлено, что радиус захвата дождем зависит в основном от таких показателей как диаметр сопла, давление перед дождевателем, высота установки над поверхностью поля.

Максимальный радиус захвата дождем при изменении диаметра сопла от 3 до 15 мм при напоре 0,3 МПа составляет 4,5 – 13 м (рис. 4.2-4.3) [243].

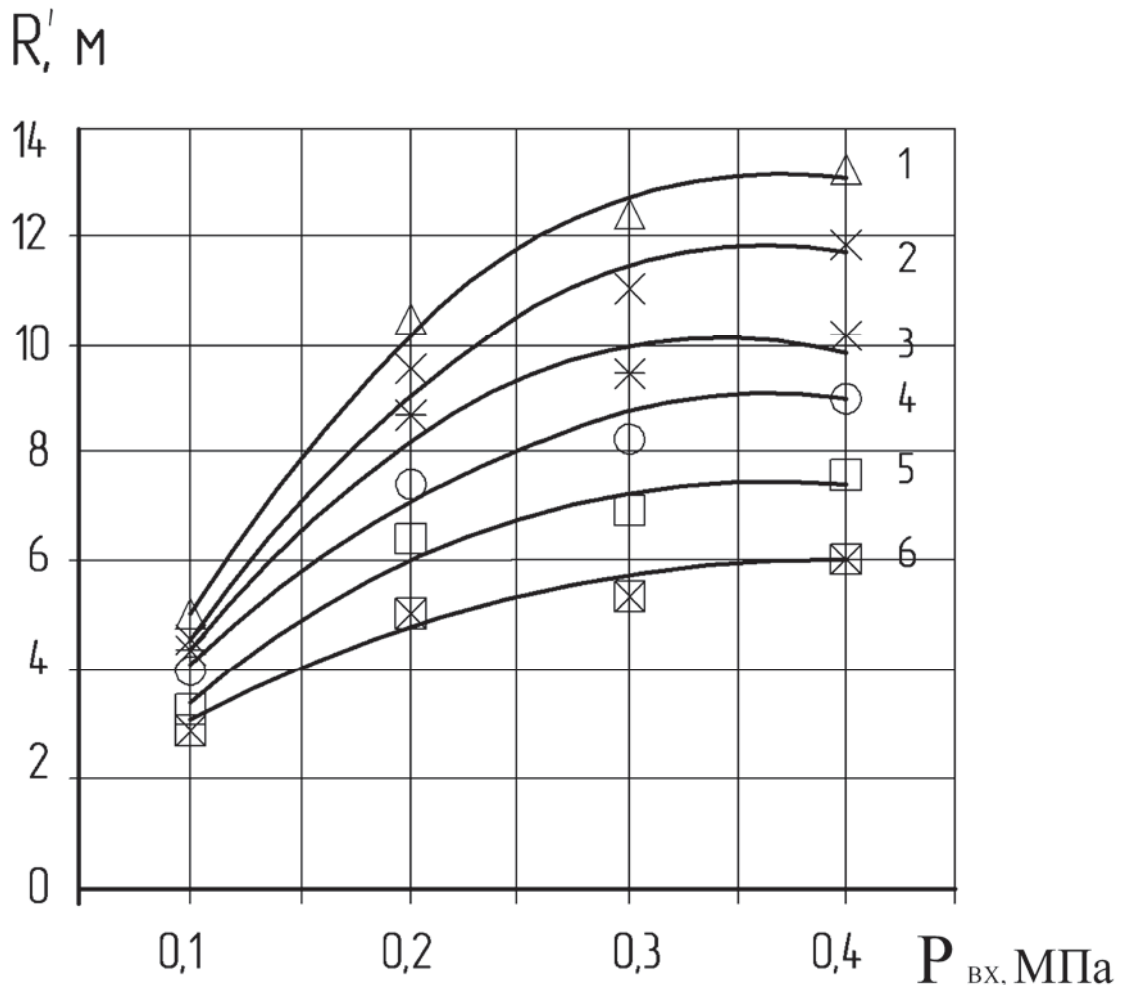


Рисунок 4.2 – Зависимость радиуса от напора для дождевателей для типа 1, исполнения 1:

1 – Ø8 мм,  $R' = -120 P_{вх}^2 + 86,6 P_{вх} - 2,35$ ,  $R^2 = 0,994$ ; 2 – Ø7 мм,  $R' = -107 P_{вх}^2 + 77,45 P_{вх} - 2,125$ ,  $R^2 = 0,987$ ; 3 – Ø6 мм,  $R' = -97,5 P_{вх}^2 + 67,25 P_{вх} - 1,375$ ,  $R^2 = 0,971$ ; 4 – Ø5 мм,  $R' = -70 P_{вх}^2 + 51,2 P_{вх} - 0,3$ ,  $R^2 = 0,981$ ; 5 – Ø4 мм,  $R' = -65 P_{вх}^2 + 44,75 P_{вх} - 0,425$ ,  $R^2 = 0,971$ ; 6 – Ø3 мм,  $R' = -37,5 P_{вх}^2 + 28,45 P_{вх} + 0,625$ ,  $R^2 = 0,966$ . Высота установки 2,5 м.

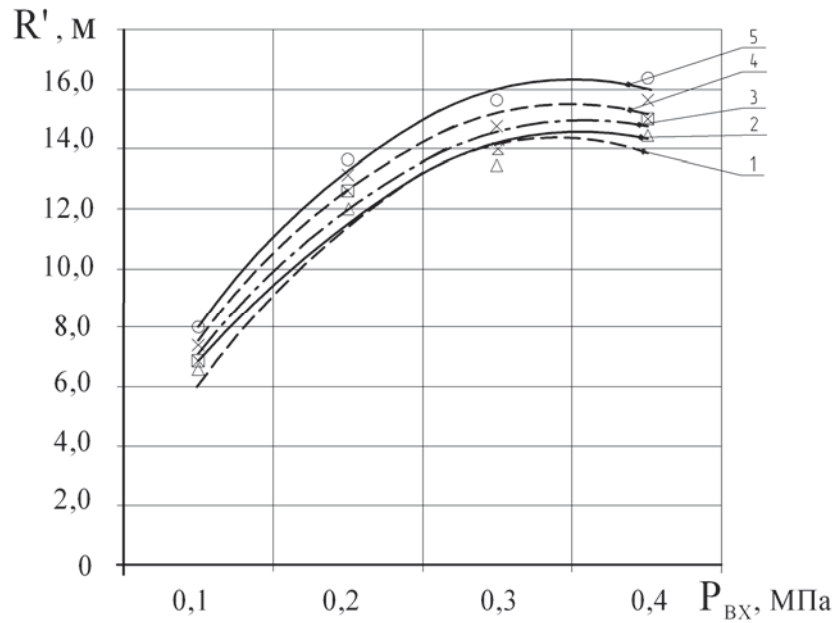


Рисунок 4.3 – Зависимость радиуса от давления для дождевателя тип 1, исполнение 1:

1 – Ø10мм,  $R' = -142,5 P_{BX}^2 + 97,55 P_{BX} - 2,275$ ,  $R^2 = 0,998$ ;

2 – Ø11мм,  $R' = -117,5 P_{BX}^2 + 84,25 P_{BX} - 0,525$ ,  $R^2 = 0,991$ ;

3 – Ø12мм,  $R' = -115 P_{BX}^2 + 83,3 P_{BX} - 0,1$ ,  $R^2 = 0,983$ ;

4 – Ø13мм,  $R' = -130 P_{BX}^2 + 90,6 P_{BX} - 0,25$ ,  $R^2 = 0,993$ ;

5 – Ø14мм,  $R' = -127 P_{BX}^2 + 90,65 P_{BX} + 0,275$ ,

$R^2 = 0,998$ . Высота установки 2,5м.

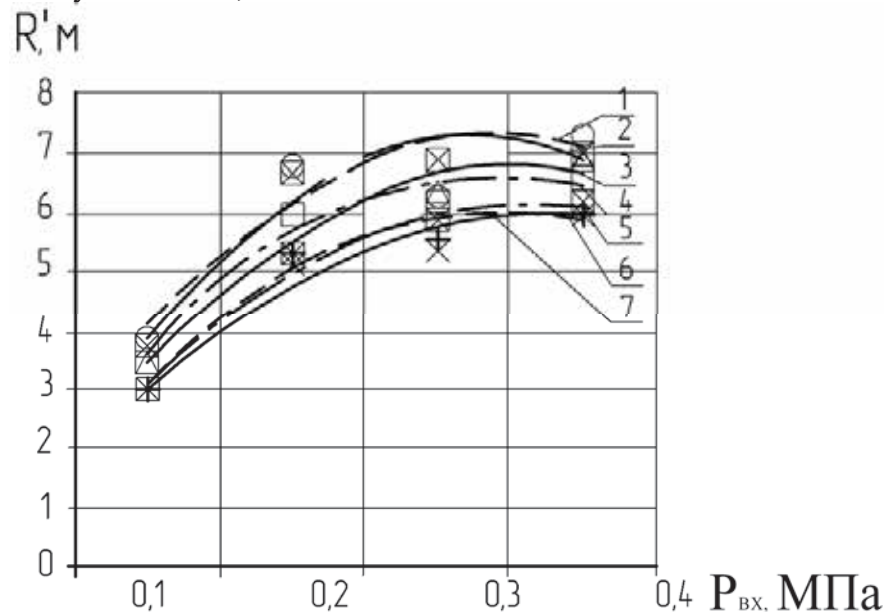


Рисунок 4.4 – Зависимость радиуса от давления для дождевателя с диаметром сопла Ø3 мм и стационарным дефлектором на высоте 2,5м:

1 –  $R' = -75,5 P_{BX}^2 + 38,85 P_{BX} + 0,775$ ,  $R^2 = 0,903$  (исполнение 3, ширина 5 мм, глубина 5 мм);

2 –  $R' = -70 P_{BX}^2 + 44,8 P_{BX} + 0,15$ ,  $R^2 = 0,952$  (исполнение 2, ширина 5 мм, глубина 5 мм);

3 –  $R' = -52,5 P_{BX}^2 + 36,95 P_{BX} + 0,375$ ,  $R^2 = 0,942$  (исполнение 2, ширина 3 мм, глубина 3 мм);

4 –  $R' = -47,5 P_{BX}^2 + 33,65 P_{BX} + 0,275$ ,  $R^2 = 0,985$  (исполнение 3, ширина 3мм, глубина 3мм);

5 –  $R' = -50 P_{BX}^2 + 34,2 P_{BX} + 0,2$ ,  $R^2 = 0,947$  (исполнение 2, ширина 1,5 мм, глубина 1,5 мм);

6 –  $R' = -47,5 P_{BX}^2 + 33,65 P_{BX} + 0,275$ ,  $R^2 = 0,985$  (исполнение 3, ширина 1,5 мм, глубина 1,5 мм);

7 –  $R' = -37,5 P_{BX}^2 + 28,45 P_{BX} + 0,625$ ,  $R^2 = 0,966$  (исполнение 1).

При сравнении радиуса полива дождевателей со стационарным дефлектором и разными по размеру и форме канавками можно сделать вывод, что наибольший радиус полива обеспечивается дождевателями 2 и 3 типа с размерами канавок 3-5 мм шириной и глубиной, в то время как форма канавок при равной площади поперечного сечения и одинаковых остальных параметрах не значительно влияет на характеристики (см. рис. 4.4). Однако даже визуально прослеживается увеличение диаметра капель дождя [243].

Статические дефлекторы с мелкими канавками образуют плотные мелкие струи, устойчивые к ветру, обеспечивающие большую дальность и щадящие по отношению к почве и растениям.

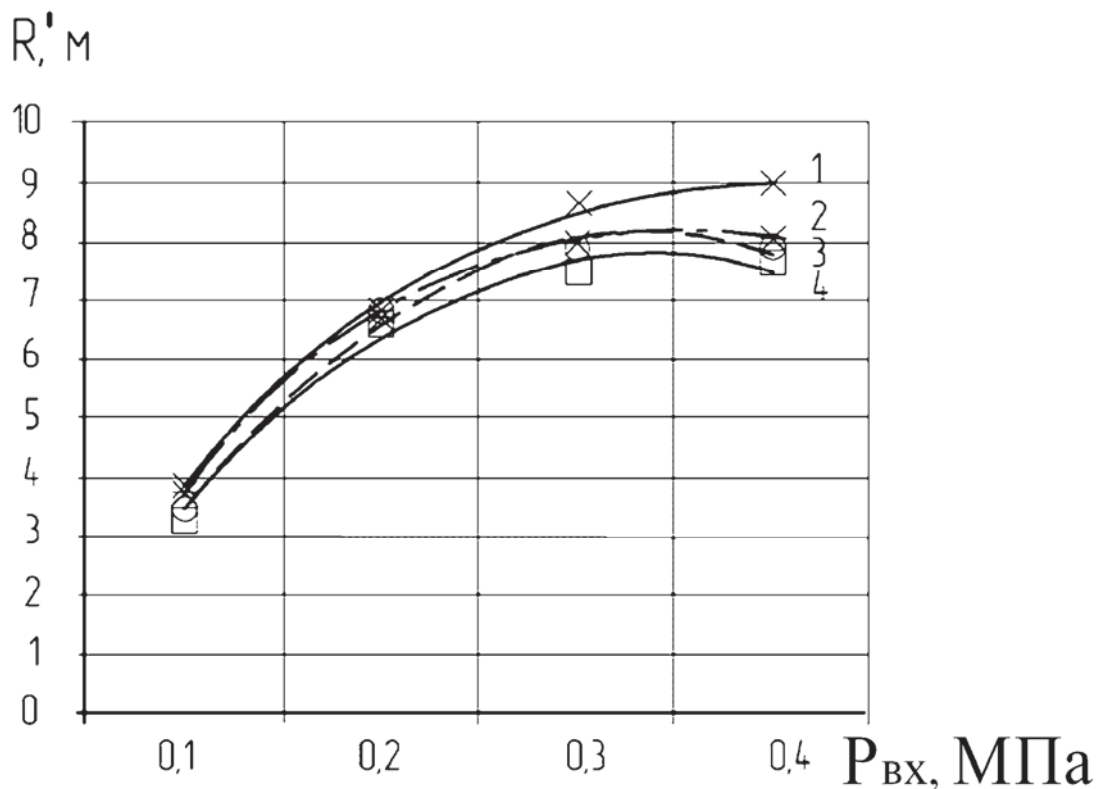


Рисунок 4.5 – Зависимость радиуса полива от давления для дождевателей с вращающимся дефлектором и диаметром сопла 3 мм:

- 1 –  $R' = -90 P_{вх}^2 + 57 P_{вх} - 1,35$ ,  $R^2 = 0,995$  (исполнение 5, ширина 1,5 мм, глубина 1,5 мм);  
 2 –  $R' = -95 P_{вх}^2 + 60,3 P_{вх} - 1,55$ ,  $R^2 = 0,998$  (исполнение 5, ширина 3 мм, глубина 3 мм);  
 3 –  $R' = -77,5 P_{вх}^2 + 52,45 P_{вх} - 0,675$ ,  $R^2 = 0,99$  (исполнение 4, ширина 3 мм, глубина 3 мм);  
 4 –  $R' = -82,5 P_{вх}^2 + 55,95 P_{вх} - 0,925$ ,  $R^2 = 0,99$  (исполнение 5, ширина 5 мм, глубина 5 мм).  
 Высота установки 2,5 м.

Рассматривая работу дождевателей с вращающимся дефлектором (рис. 4.5) можно заметить более крутую характеристику, по сравнению с дождевателями,

имеющими статический дефлектор. С увеличением давления радиус захвата дождем у дождевателей с вращающимся дефлектором увеличивается в большей степени.

Исследования показывают, что при малом давлении порядка 0,05-0,07 МПа дождеватели с вращающимся дефлектором обеспечивают меньший радиус полива, чем гладкие стационарные, а повышение характеристик соответствует увеличению давления свыше 0,1 МПа (рис.4.6) [243].

Рассмотрим работу каскадных дождевателей, исполнение 5 (рис.4.7).

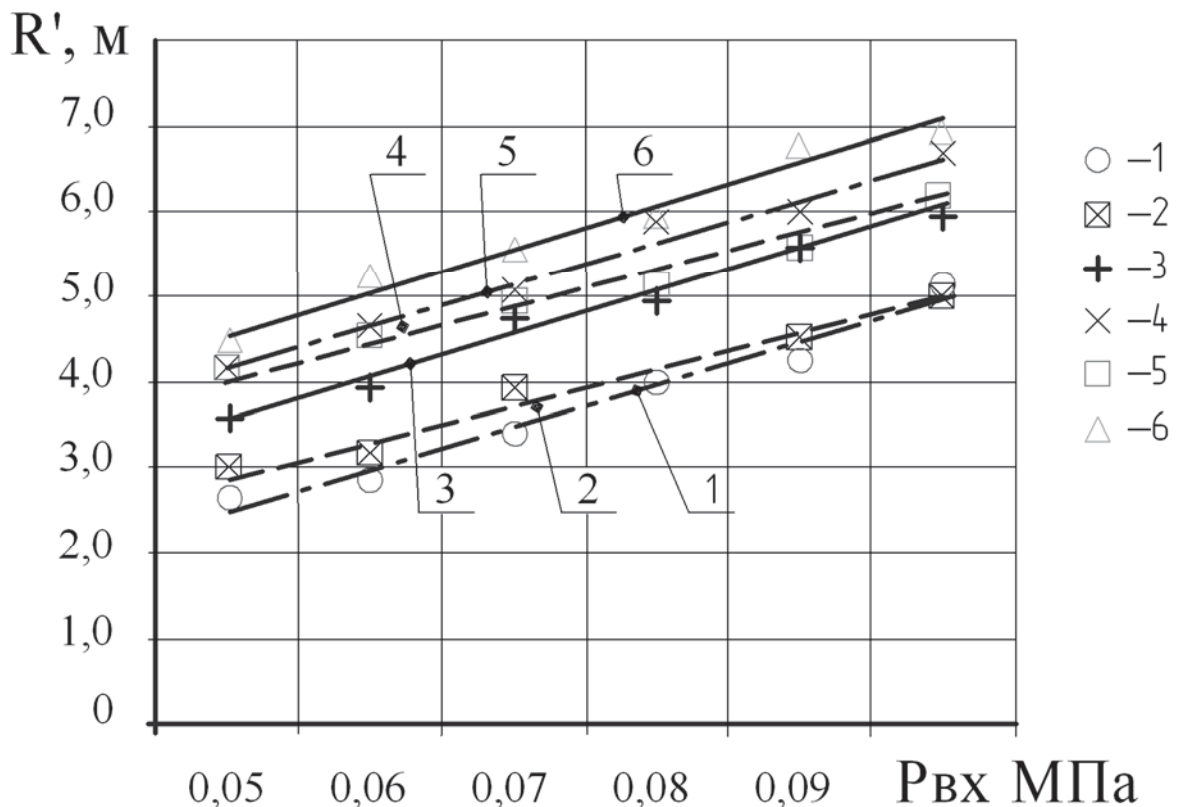


Рисунок 4.6 – Зависимость радиуса от давления для дождевателей:

- 1 –  $R' = 47,71 P_{вх} + 0,138$ ,  $R^2 = 0,960$  (исполнение 4, диаметр сопла  $\varnothing 6$  мм);
- 2 –  $R' = 40,85 P_{вх} + 0,819$ ,  $R^2 = 0,984$  (исполнение 1, диаметр сопла  $\varnothing 6$  мм);
- 3 –  $R' = 48,85 P_{вх} + 1,152$ ,  $R^2 = 0,992$  (исполнение 4, диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм);
- 4 –  $R' = 34,85 P_{вх} + 2,485$ ,  $R^2 = 0,993$  (исполнение 1, диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм);
- 5 –  $R' = 48,28 P_{вх} + 1,761$ ,  $R^2 = 0,988$  (исполнение 2, диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм);
- 6 –  $R' = 49,71 P_{вх} + 2,103$ ,  $R^2 = 0,989$  (исполнение 1, диаметр сопла  $\varnothing 14$  мм).

Сравнивая радиус захвата дождевателей со стационарными дефлекторами с гладкой поверхностью и дождевателей с дефлекторами с канавками при равном диаметре сопла можно заметить более высокие значения радиуса у дождевателей с канавками. Однако необходимо оценить качество распыла по диаметрам капель.



Из рисунка 4.7 видно, что для каскадных дождевателей на радиус полива незначительно влияет пропускное отверстие в дефлекторе. Как и для других дождевателей, для дождевателей каскадного типа, чем больше радиус сопла, тем больше радиус полива.

Анализ опытов для всех типов дождевателей показывает, что повышение давления способствует увеличению дальности полета струи. Также видно, что при повышении давления резко улучшается качество распыла струи и средний диаметр капель уменьшается.

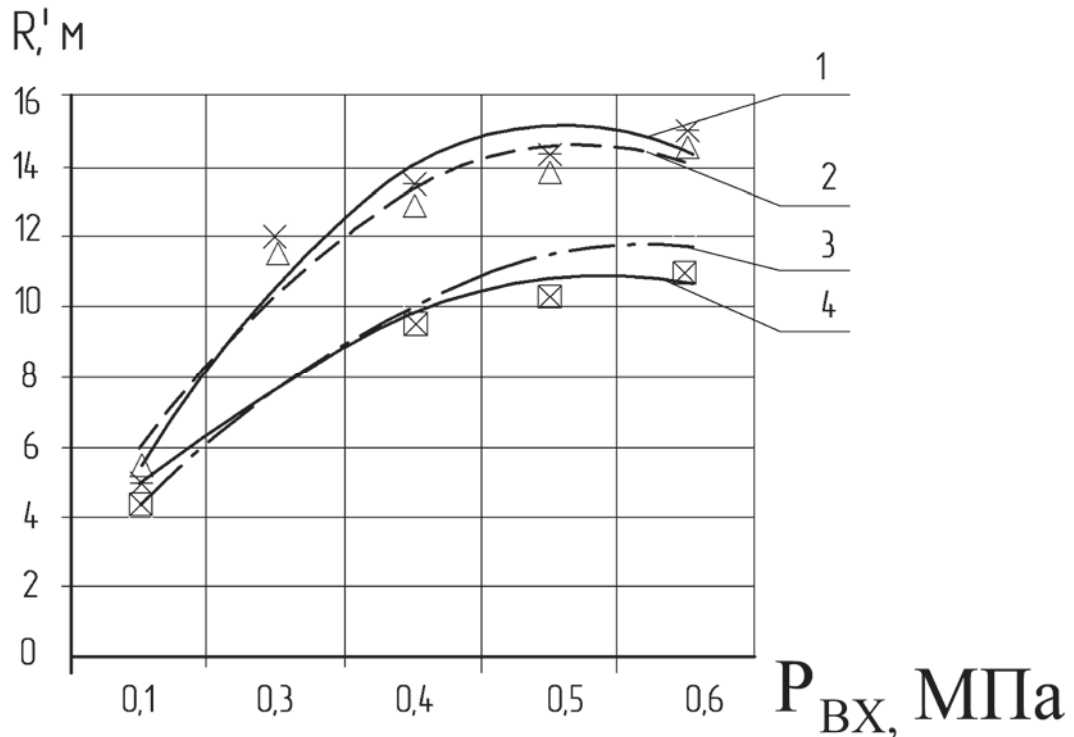


Рисунок 4.7 – Зависимость радиуса от давления для каскадных дождевателей:  
 1 –  $R' = -131,2 P_{ВХ}^2 + 94,26 P_{ВХ} - 0,21$ ,  $R^2 = 0,971$  (диаметр сопла  $\varnothing 15$  мм, диаметр отверстия верхнего дефлектора  $\varnothing 10$  мм);  
 2 –  $R' = -32,5 P_{ВХ}^2 + 93,6 P_{ВХ} - 0,25$ ,  $R^2 = 0,962$  (диаметр сопла  $\varnothing 15$  мм, диаметр отверстия верхнего дефлектора  $\varnothing 7$  мм);  
 3 –  $R' = -117,5 P_{ВХ}^2 + 84,25 P_{ВХ} - 0,525$ ,  $R^2 = 0,966$  (диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм, диаметр отверстия верхнего дефлектора  $\varnothing 7$  мм);  
 4 –  $R' = -142,5 P_{ВХ}^2 + 97,55 P_{ВХ} - 2,275$ ,  $R^2 = 0,99$  (диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм, диаметр отверстия верхнего дефлектора  $\varnothing 5$  мм).

При повышении давления или уменьшении диаметра сопла, улучшается не только распыл струи, но также может увеличиваться равномерность распределения осадков, что требует дополнительных исследований.

### 4.1.3 Интенсивность. Распределение интенсивности дождя вдоль радиуса захвата дождем

Средняя интенсивность  $\rho_{\text{ср}}$  дождя изменяется в границах от 0,08 до 1,2 мм/мин; мгновенная интенсивность  $\rho_{\text{мг}}$  изменяется – от 0,08 до 1,1 мм/мин [243].

Анализ полученных результатов показывает, что при малых расходах до 0,5 л/с дождеватели с гладким дефлектором занимают промежуточное положение. Меньшая средняя и мгновенная интенсивность соответствует дождевателям 2 и 3 исполнения со статическим дефлектором с канавками 1,5-3 мм. Дождеватели исполнения 4 и 5 с вращающимся дефлектором на малых расходах до 1,5 л/с обеспечивают интенсивность в пределах нормы, несколько большую, чем статические (рис. 4.8-4.9).

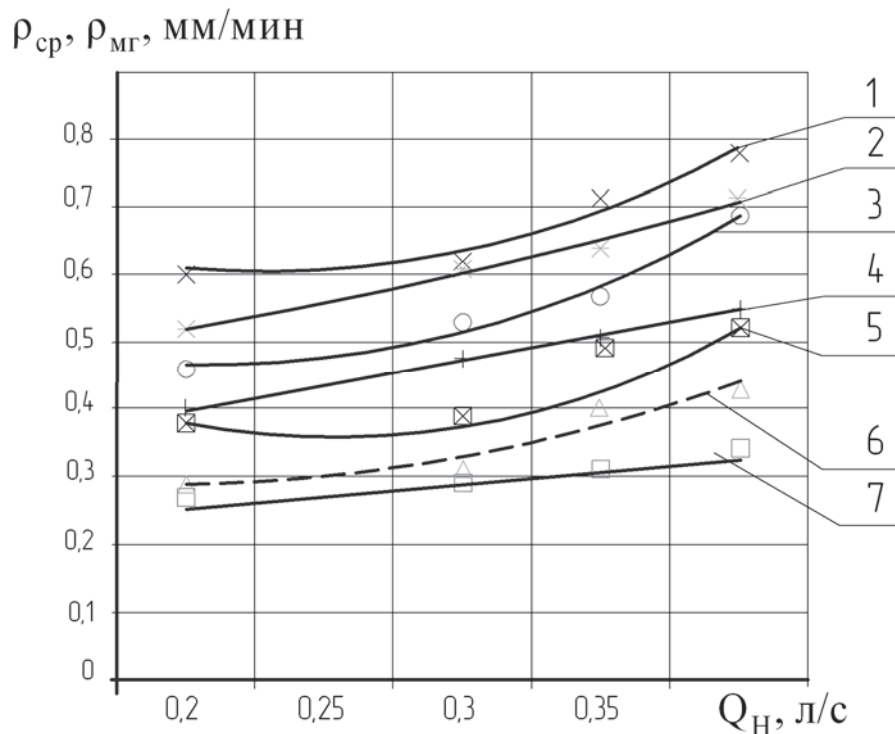


Рисунок 4.8 – Средняя ( $\rho_{\text{ср}}$ ) и мгновенная ( $\rho_{\text{мг}}$ ) интенсивность дождя при поливе дождевателями в зависимости от расхода дождевателя, диаметр сопла  $\text{Ø}3$  мм: 1 –  $\rho_{\text{сред}} = 6,454Q_{\text{н}}^2 - 2,980Q_{\text{н}} + 0,945$ ,  $R^2 = 0,975$  (исполнение 4 и 5, канавки 3 мм); 2 –  $\rho_{\text{мгн}} = 0,914Q_{\text{н}} + 0,334$ ,  $R^2 = 0,983$  (исполнение 4 и 5, канавки 3 мм); 3 –  $\rho_{\text{ср}} = 5,545Q_{\text{н}}^2 - 2,219Q_{\text{н}} + 0,684$ ,  $R^2 = 0,982$  (исполнение 4 и 5, канавки 1,5-2 мм); 4 –  $\rho_{\text{мгн}} = 0,742Q_{\text{н}} + 0,252$ ,  $R^2 = 0,997$  (исполнение 4 и 5, канавками 1,5 мм); 5 –  $\rho_{\text{мг}} = 7,454Q_{\text{н}}^2 - 3,830Q_{\text{н}} + 0,850$ ,  $R^2 = 0,927$  (исполнение 1); 6 –  $\rho_{\text{ср}} = 0,737Q_{\text{н}} + 0,127$ ,  $R^2 = 0,856$  (исполнение 4, канавками 1,5); 7 –  $\rho_{\text{мгн}} = 0,337Q_{\text{н}} + 0,197$ ,  $R^2 = 0,92$  (исполнение 4, канавками 1,5 мм)

При больших расходах дождеватели, имеющие вращающиеся дефлекторы, обеспечивают меньшее значение интенсивности, нежели дождеватели со статическими дефлекторами (рис. 4.9). Дождеватели со статическими дефлекторами с большими канавками также имеют большую интенсивность по сравнению с дождевателями с гладкими дефлекторами.

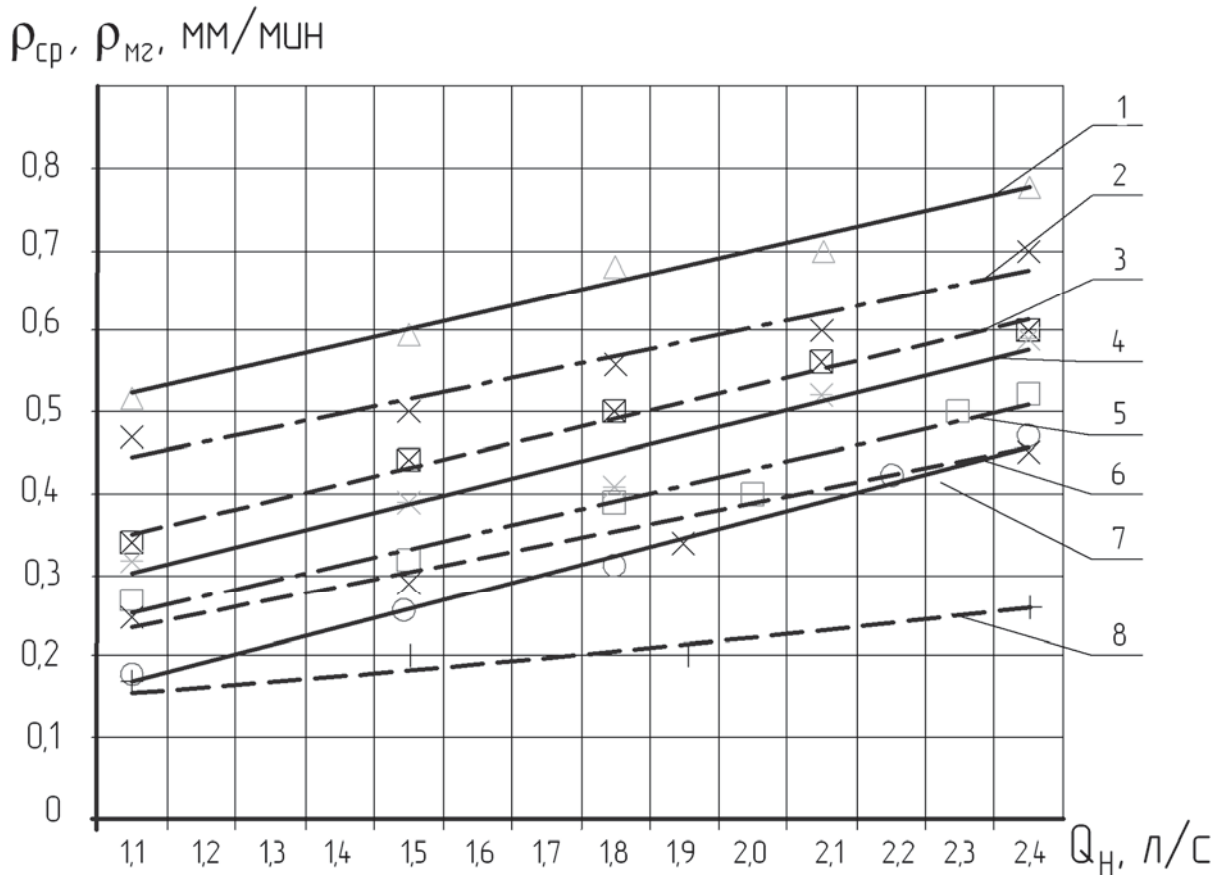


Рисунок 4.9 – Зависимость средней ( $\rho_{\text{ср}}$ ) и мгновенной ( $\rho_{\text{мг}}$ ) интенсивности дождя от расхода при поливе дождевателями с диаметром сопла  $\text{Ø}10$  мм:

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

При дальнейшем увеличении расхода (рис. 4.10) свыше 2 л/с средняя интенсивность также находится в нормируемых границах, при этом наилучшими показателями обладают дождеватели с вращающимся дефлектором и дождеватели со стационарным дефлектором с мелкими канавками.

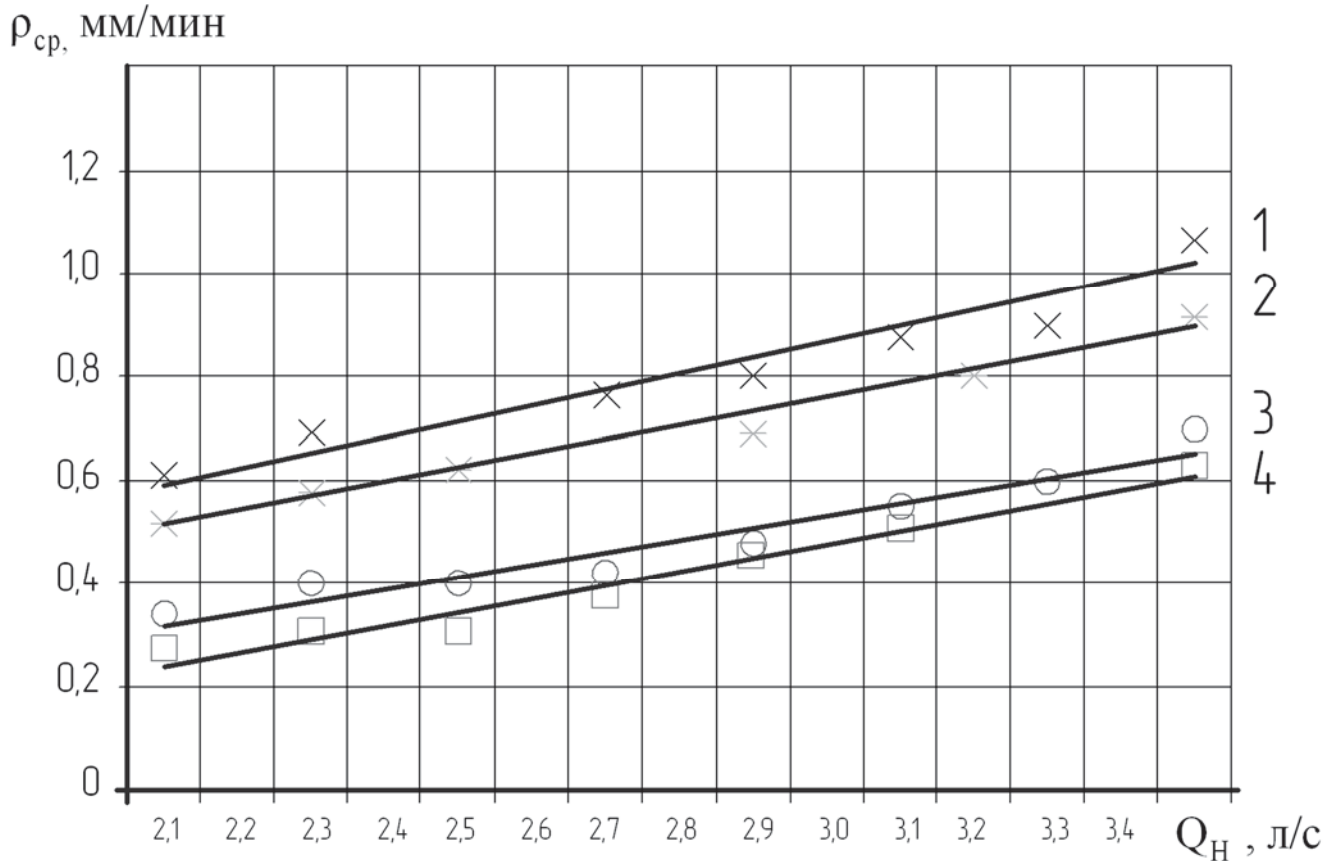


Рисунок 4.10 – Средняя ( $\rho_{ср}$ ) интенсивность дождя при поливе дождевателями в зависимости от расхода диаметр сопла 15 мм:

1 –  $\rho_{ср} = 0,308 Q_{н} - 0,056$ ,  $R^2 = 0,835$  (исполнение 1); 2 –  $\rho_{ср} = 0,273 Q_{н} - 0,058$ ,  $R^2 = 0,983$  (исполнение 6); 3 –  $\rho_{ср} = 0,239 Q_{н} - 0,183$ ,  $R^2 = 0,933$  (исполнение 2 и 3); 4 –  $\rho_{ср} = 0,261 Q_{н} - 0,306$ ,  $R^2 = 0,937$  (исполнение 4 и 5)

При помощи каскадных (двойных) дефлекторов можно распределять значительные расходы воды в нормативных границах интенсивности, обеспечивая мягкий режим орошения.

Конструкция с двумя дефлекторами снижает интенсивность орошения на 10-15% по сравнению с конструкцией с одним дефлектором при одинаковом расходе воды.

Интенсивность полива снижается при увеличении площади полива и разделении потока через дождеватель на большее количество струй.

Проведенные выше исследования различных типов дождевателей позволили определить способы повышения радиуса полива и повышения дальности при ветре.

При дефлекторе с канавками с кромок отражателя срываются многочисленные струйки в виде нитей, толщина которых уменьшается с увеличением скорости течения. Нити распадаются на капли.

Распределение нормированного слоя дождя ( $h_i/h_{cp}$ ) вдоль радиуса захвата дождевателем в зависимости от диаметра сопла и давления показаны на рис. 4.11-4.12. С увеличением давления распределение слоя дождя вдоль радиуса захвата становится более равномерное для всех типов дождевателя. При этом принцип распределения слоя дождя не зависит от диаметра сопла.

*Для дождевателей с гладким статическим дефлектором*

При небольшом давлении  $P_{BX}=0,05...0,10$  МПа основная масса дождя выпадает в конце радиуса захвата дождевателем, выпадая большими каплями.

При увеличении давления до  $P_{BX}=0,1...0,50$  МПа струя распадается на мелкие капли и более равномерно распределяется вдоль радиуса захвата дождевателем.

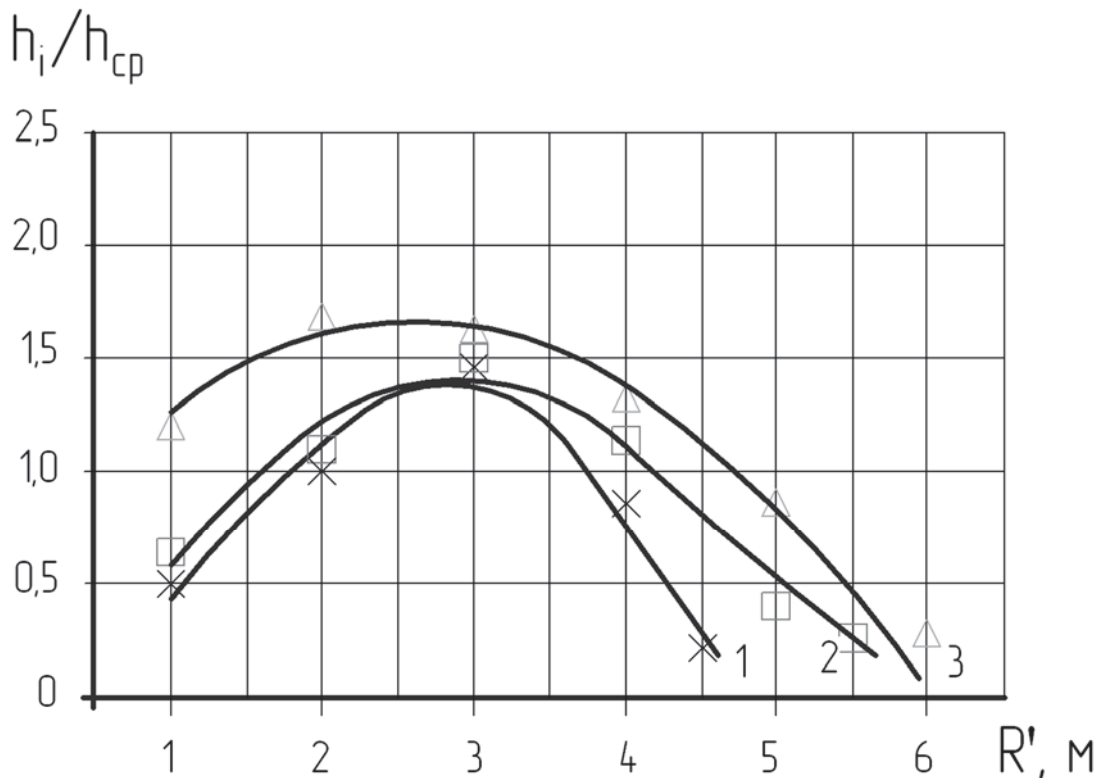


Рисунок 4.11 – Распределение слоя дождя вдоль радиуса полива при диаметре сопла  $\varnothing 3$  мм, исполнение 1:

1 –  $P_{BX}=0,08$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,010R'^3 - 0,111R'^2 + 0,919R' - 0,272$ ;  $R^2=0,971$ ;

2 –  $P_{BX}=0,14$  МПа;  $h_i/h_{cp} = 0,044R'^3 - 0,593R'^2 + 2,197R' - 1,07$ ;  $R^2=0,851$ ;

3 –  $P_{BX}=0,32$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,141R'^2 - 0,756R' + 0,56$ ;  $R^2=0,972$

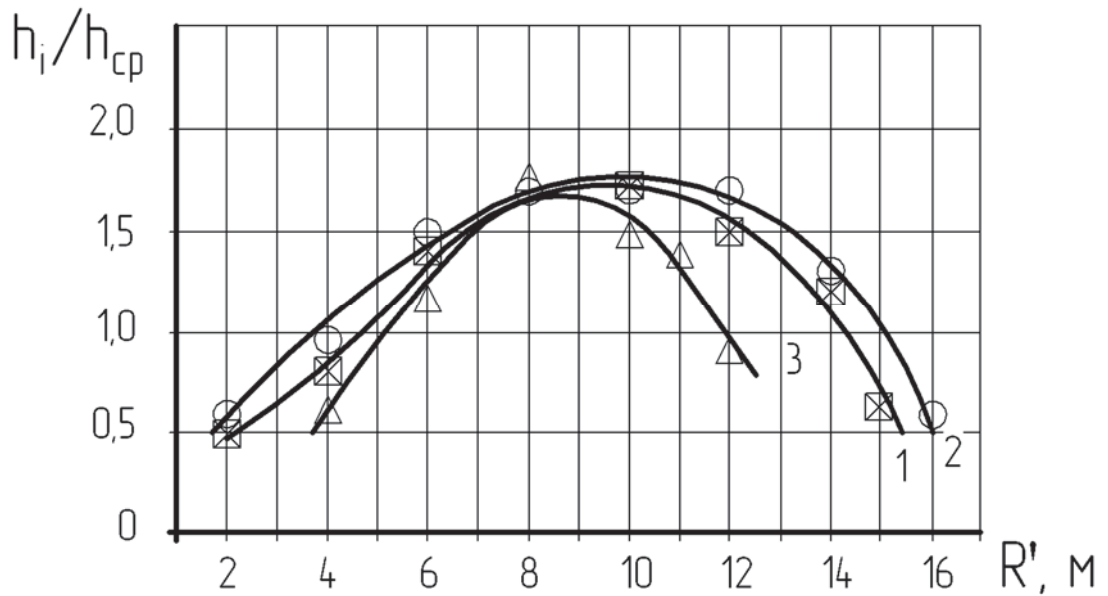


Рисунок 4.12 – Распределение слоя дождя вдоль радиуса полива при диаметре сопла  $\varnothing 10$  мм, исполнение 1:

- 1 –  $P_{BX}=0,12$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,156R'^2 + 0,948R' - 0,115$ ,  $R^2=0,885$ ;  
 2 –  $P_{BX}=0,23$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,04R'^3 - 0,574R'^2 + 2,177R' - 1,066$ ,  $R^2=0,881$ ;  
 3 –  $P_{BX}=0,08$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,010R'^3 - 0,153R'^2 + 1,176R - 0,512$ ,  $R^2=0,99$

**Для дождевателей со статическим дефлектором с канавками**

При небольшом давлении  $P_{BX} = 0,05 \dots 0,10$  МПа струя также в большей степени выпадает в конце радиуса захвата дождем (рис. 4.13). При увеличении давления  $P_{BX} = 0,1 \dots 0,50$  МПа струя равномерно распределяется вдоль радиуса захвата дождем.

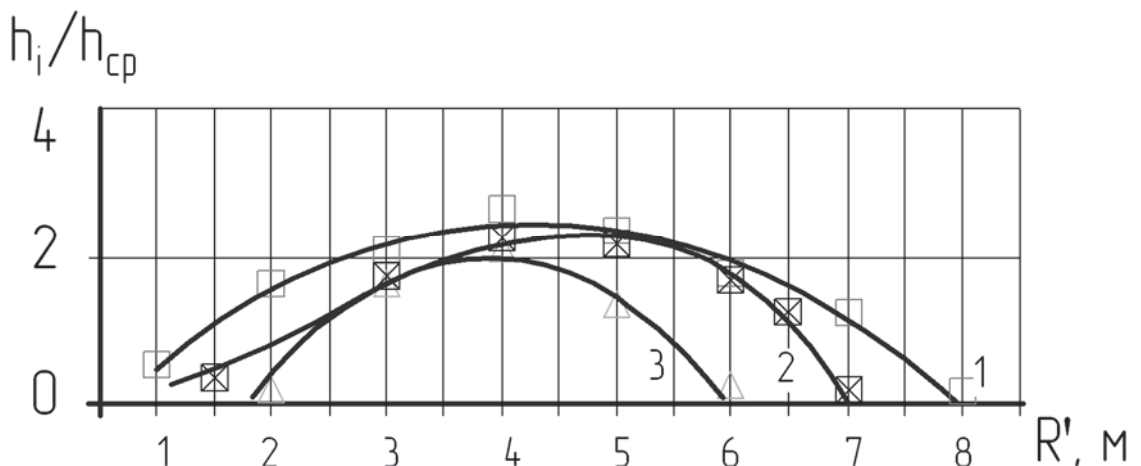


Рисунок 4.13 – Распределение слоя дождя вдоль радиуса полива при диаметре сопла  $\varnothing 5$  мм, исполнение 2 и 3: 1 –  $P_{BX}=0,18$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,173R'^2 + 1,495R' - 0,821$ ,  $R^2=0,963$ ; 2 –  $P_{BX} = 0,12$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,225R'^2 + 1,847R' - 1,504$ ,  $R^2=0,911$ ; 3 –  $P_{BX}=0,06$  МПа;  $h_i/h_{cp} = -0,304R'^2 + 2,169R' - 1,79$ ,  $R^2=0,92$

### *Для дождевателей с вращающимся дефлектором и канавками*

При давлении  $P_{ВХ} = 0,05 \dots 0,5$  МПа струя лучше распадается на капли и равномерно распределяется вдоль радиуса, чем со статическим дефлектором.

При давлении  $P_{ВХ} = 0,05 \dots 0,1$  МПа зона равномерности находится ближе к началу радиуса, при увеличении давления происходит смещение к концу и выравнивание по всему радиусу (рис. 4.14).

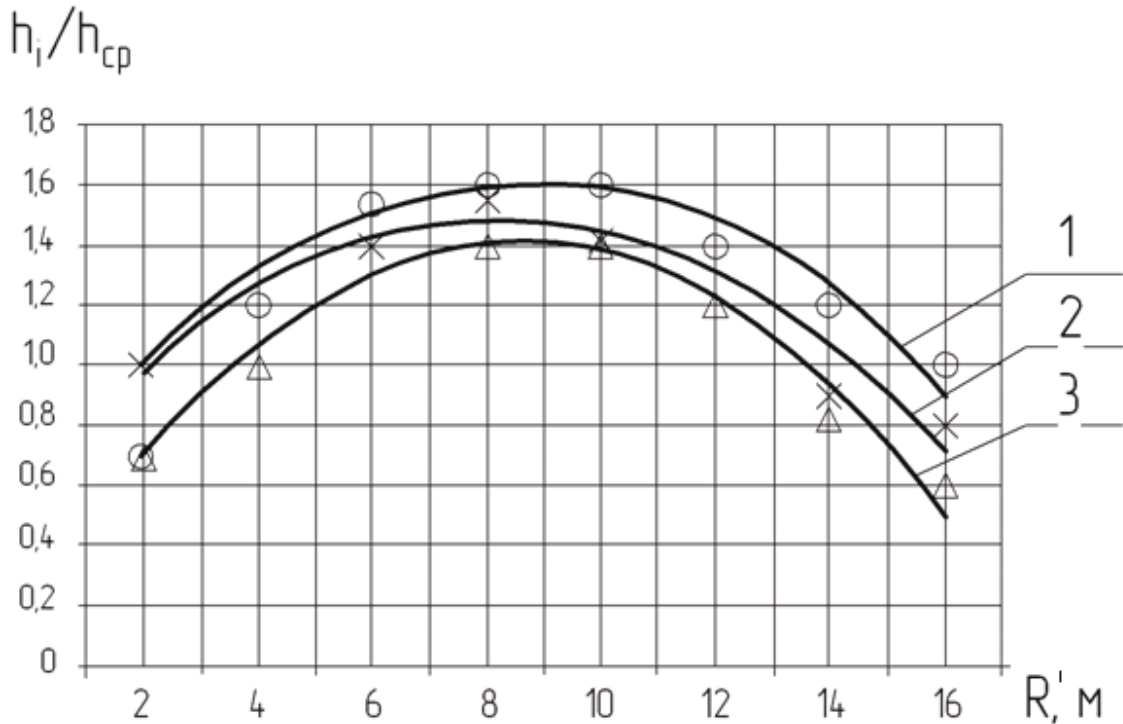


Рисунок 4.14 – Распределение слоя дождя вдоль радиуса при диаметре сопла 12 мм и давлении 0,22 МПа: 1 –  $h_i/h_{cp} = -0,015R'^2 + 0,291R' + 0,25$ ,  $R^2 = 0,948$  (исполнение 5, канавки 6 мм); 2 –  $h_i/h_{cp} = -0,012R'^2 + 0,209R' + 0,611$ ,  $R^2 = 0,904$  (исполнение 4, канавки 5 мм); 3 – каскадного  $h_i/h_{cp} = -0,016R'^2 + 0,280R' + 0,213$ ,  $R^2 = 0,941$  (исполнение 6)

### *Для каскадных дождевателей*

При давлении  $P_{ВХ} = 0,05 \dots 0,5$  МПа обеспечивается высокая равномерность распределения дождя. Формами и размерами дефлектора и формой канавок подбирается характеристики распределения дождя вдоль радиуса полива.

#### 4.1.4 Крупность капель дождя при поливе низконапорными дождевателями

Средний диаметр капель дождя увеличивается с увеличением относительного радиуса полета капель  $R_i/R$ , диаметра сопла и с уменьшением давления перед дождевателем.

Средний диаметр капель дождя дождевателей со стационарным гладким дефлектором и с канавками увеличивается с увеличением диаметра сопла и с уменьшением давления перед дождевателем (рис.4.15, 4.16).

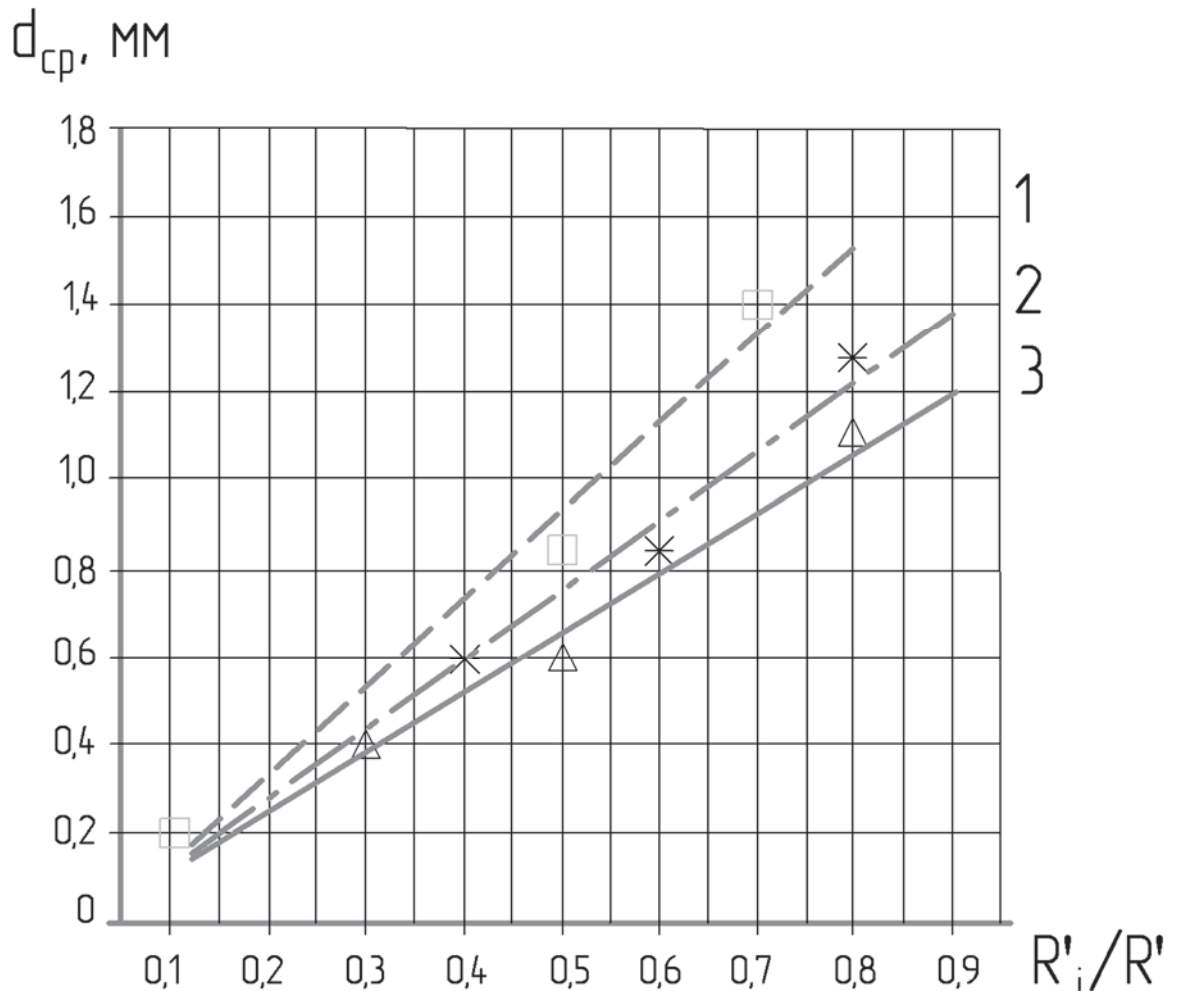


Рисунок 4.15 – Изменение среднего диаметра капель с увеличением относительного радиуса полета капель  $R'_i/R'$  при диаметре сопла  $\varnothing 6$  мм:

1 –  $P_{ВХ} = 0,08$  МПа,  $d_{ср} = 2,0R'_i/R' - 0,06$ ,  $R^2 = 0,957$ ;

2 –  $P_{ВХ} = 0,14$  МПа,  $d_{ср} = 1,621R'_i/R' - 0,034$ ,  $R^2 = 0,969$ ;

3 –  $P_{ВХ} = 0,3$  МПа,  $d_{ср} = 1,453R'_i/R' - 0,032$ ,  $R^2 = 0,978$ .



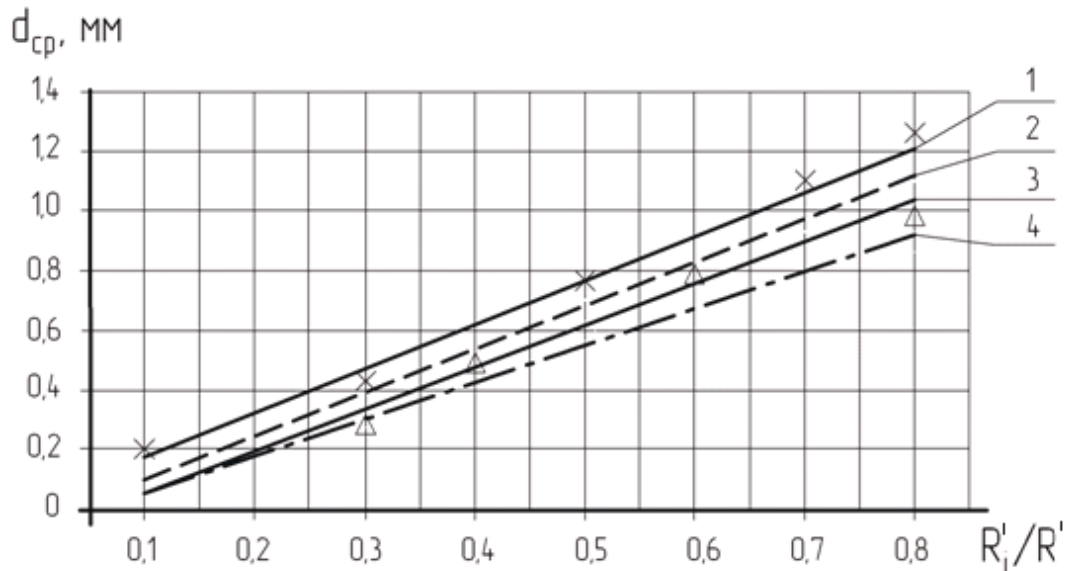


Рисунок 4.16 – Изменение среднего диаметра капель с увеличением относительного радиуса полета капель  $R'_i/R'$ : 1 –  $d_{cp} = 1,464 R'_i/R' + 0,032$ ,  $R^2 = 0,984$  (исполнение 2,  $P_{вх} = 0,16$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм); 2 –  $d_{cp} = 1,432 R'_i/R' - 0,035$ ,  $R^2 = 0,998$  (исполнение 3,  $P_{вх} = 0,16$  МПа, диаметр сопла 8 мм); 3 –  $d_{cp} = 1,389 R'_i/R' - 0,079$ ,  $R^2 = 0,982$  (исполнение 2,  $P_{вх} = 0,18$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм); 4 –  $d_{cp} = 1,147 R'_i/R' - 0,005$ ,  $R^2 = 0,991$  (исполнение 3,  $P_{вх} = 0,2$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 10$  мм)

Для дождевателей, имеющих дефлектор с канавками зависимость более пологая, диаметр капель меняется в меньшей степени и в среднем на 15-20% меньше (рис. 4.17).

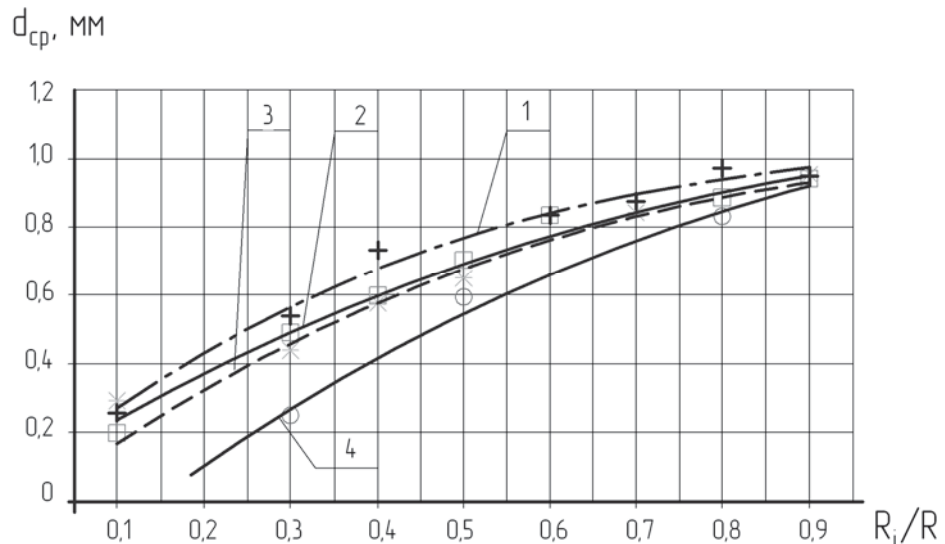


Рисунок 4.17 – Изменение среднего диаметра капель дождевателя с вращающимся дефлектором с изменением относительного радиуса полета капель  $R'_i/R'$ : 1 –  $d_{cp} = -1,383(R'_i/R')^2 + 2,27(R'_i/R') - 0,01$ ,  $R^2 = 0,910$  (исполнение 4, канавки 2 мм,  $P_{вх} = 0,28$  МПа); 2 –  $d_{cp} = -0,619(R'_i/R')^2 + 1,519 R'_i/R' + 0,088$ ,  $R^2 = 0,905$  (исполнение 4; канавки 2 мм,  $P_{вх} = 0,18$  МПа); 3 –  $d_{cp} = -0,918(R'_i/R')^2 + 1,868 R'_i/R' - 0,008$ ,  $R^2 = 0,979$  (исполнение 5; канавки 5 мм,  $P_{вх} = 0,2$  МПа); 4 –  $d_{cp} = -0,8(R'_i/R')^2 + 2,04 R'_i/R' - 0,22$ ,  $R^2 = 0,99$  (исполнение 5; канавки 5 мм,  $P_{вх} = 0,35$  МПа)

Исследования показывают, что диаметр капель в конце радиуса выравнивается для всех типов дождевателей и не превышает 1,6 мм даже при низких давлениях до 0,1 МПа [243].

Рассматривая работу дождевателей каскадного исполнения 6 можно заметить, что они обеспечивают диаметр капель в пределах нормы при низких давлениях и максимальных диаметрах сопла 15 мм (рис. 4.18).

При помощи дождевателей с каскадными дефлекторами можно обеспечить достаточно мягкий режим орошения при больших расходах.

Таким образом, проведенные выше исследования различных типов дождевателей позволили сделать вывод, что на второй половине трубопровода для снижения мгновенной интенсивности дождя эффективно использовать дождеватели с вращающимся дефлектором или каскадных.

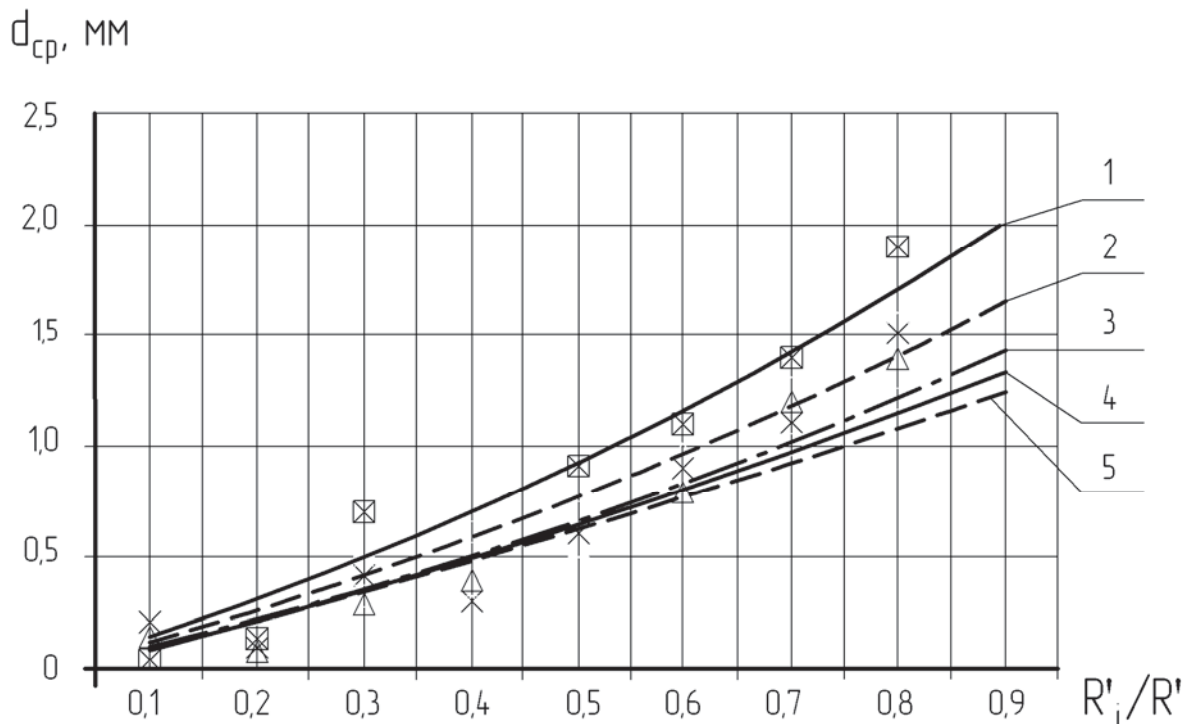


Рисунок 4.18 – Изменение среднего диаметра капель каскадного дефлектора с увеличением относительного радиуса полета капель  $R'_i/R'$ , исполнение 6:

- 1 –  $d_{ср} = 2,257 (R'_i/R')^{1,320}$ ,  $R^2 = 0,940$ ;  $P_{ВХ} = 0,18$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 15$  мм;
- 2 –  $d_{ср} = 1,882 (R'_i/R')^{1,303}$ ;  $R^2 = 0,953$ ;  $P_{ВХ} = 0,09$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 13$  мм;
- 3 –  $d_{ср} = 1,608 (R'_i/R')^{1,279}$ ;  $R^2 = 0,968$ ,  $P_{ВХ} = 0,3$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 15$  мм;
- 4 –  $d_{ср} = 1,505 (R'_i/R')^{1,247}$ ;  $R^2 = 0,846$ ;  $P_{ВХ} = 0,18$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 13$  мм;
- 5 –  $d_{ср} = 0,391 (R'_i/R')^{1,124}$ ;  $R^2 = 0,742$ ;  $P_{ВХ} = 0,22$  МПа, диаметр сопла  $\varnothing 13$  мм.

Для оценки коэффициента равномерности полива закономерность распределения интенсивности дождя вдоль радиуса рассмотрели с позиции основных фракций дождя по диаметру капель. Для определения закономерности были обработаны и обобщены результаты опытов, определяющих интенсивность, радиус был разбит на зоны, в которых основными (более 75%) являются капли определенной крупности, т.е. фракции менее 0,5 мм; 0,6-0,8; 0,9-1,2 мм и более 1,2мм.

Рассмотрим распределения нормированного слоя дождя вдоль радиуса полива без ветра и при ветре для дождевателей с гладким дефлектором. Из рисунка 4.19 видно, что при работе дождевателя с гладким дефлектором основной фракцией полива являются капли с диаметром 0,9-1,2 мм при давлении 0,2-0,3 МПа.

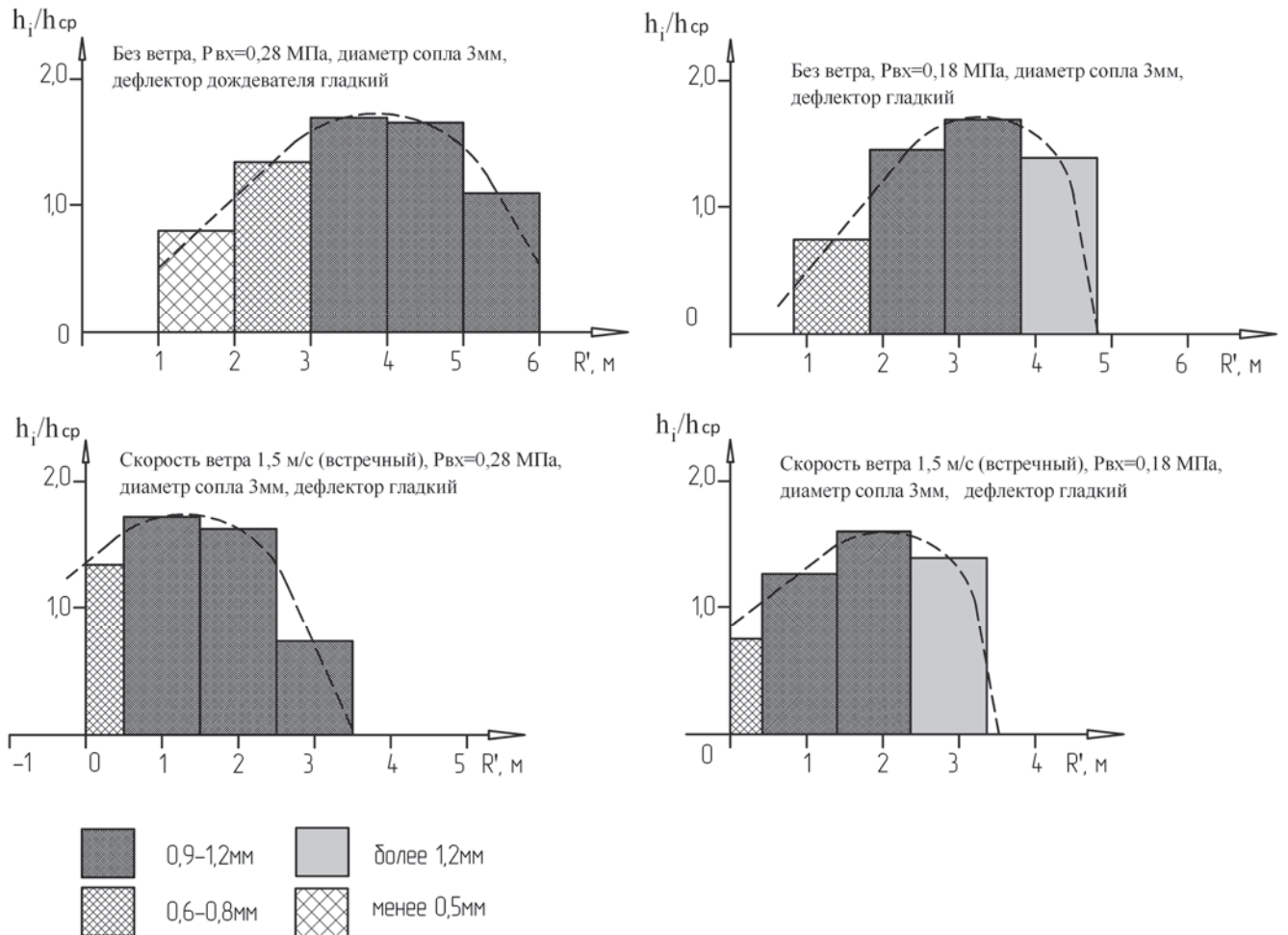


Рисунок 4.19 – Распределение нормированного слоя дождя вдоль радиуса полива без ветра и при ветре для дождевателей (исполнение 1)

При снижении давления фракция менее 0,5 мм практически отсутствует как основная. В конце радиуса полива основной является фракция с размерами капель

более 1,2 мм, более устойчивая к ветру. Однако наличие большого количества капель более 1,5 мм увеличивает воздействие на почву и растения. При увеличении ветра фракция с диаметром менее 0,5 мм практически полностью уносится в другой сектор полива [79].

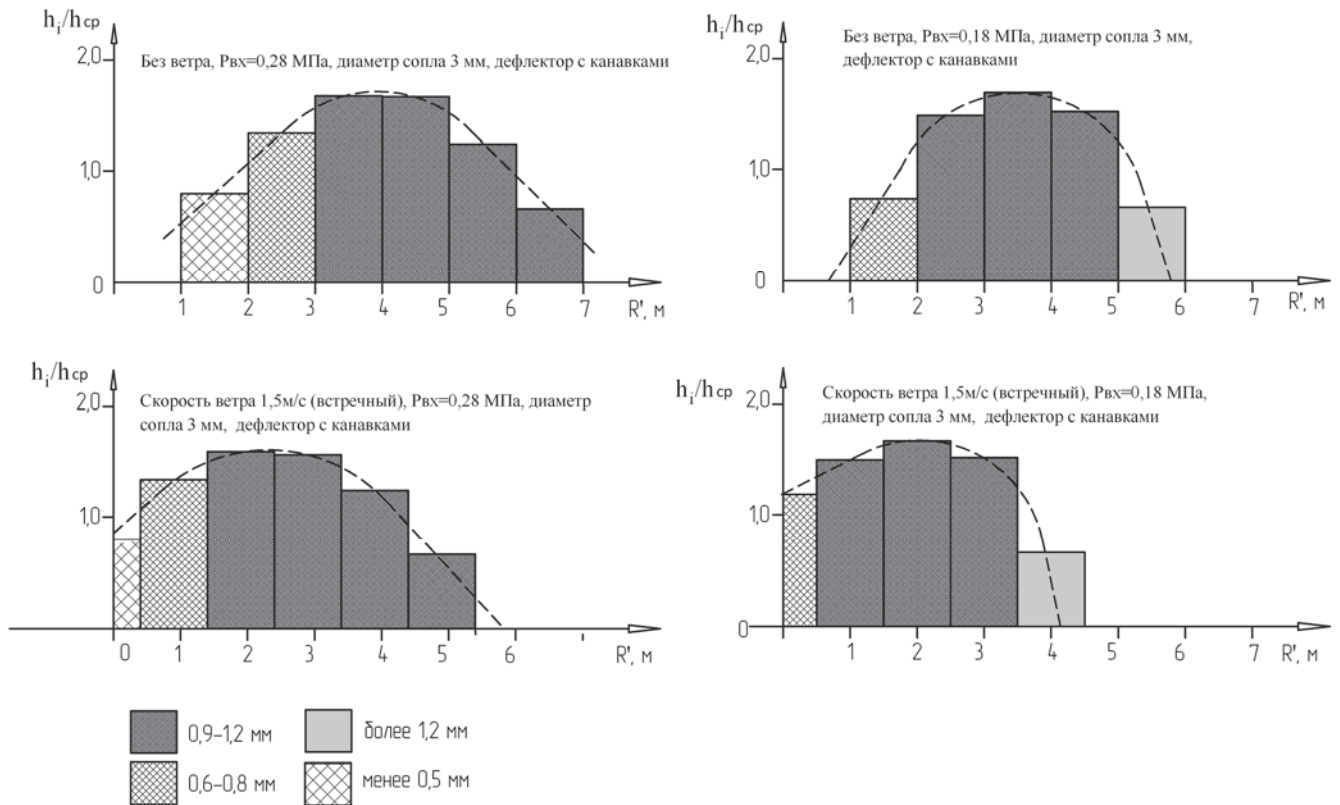


Рисунок 4.20 – Распределение нормированного слоя дождя вдоль радиуса полива без ветра и при ветре для дождевателей (исполнение 2)

Для дождевателей с дефлектором с канавками радиус полива увеличивается по сравнению с дождевателями с гладким дефлектором, основной фракцией также является 0,9–1,2 мм, занимая практически 2/3 всего радиуса захвата дождем (рис. 4.20). Сформированные дефлектором плотные струйки способствуют увеличению ветроустойчивости. Фракция размером более 1,2 мм незначительна и при напоре более 0,2 МПа практически отсутствует [79]. Наилучшие результаты имеют дефлекторы с большим количеством малых канавок. При увеличении размера кана-

вок ветроустойчивость увеличивается, однако происходит увеличение диаметра капель.

Дождеватели с вращающимся дефлектором (исполнение 3, 4) имеют больший радиус полива. При этом фракция 0,6-0,8 мм и менее 0,5 мм увеличивается с увеличением давления. В конце радиуса присутствует небольшая фракция более 1,2 мм, и при увеличении давления ее доля по сравнению с другими фракциями уменьшается. При малом давлении менее 0,08 МПа ее доля соответственно увеличивается (рис. 4.21-4.22).

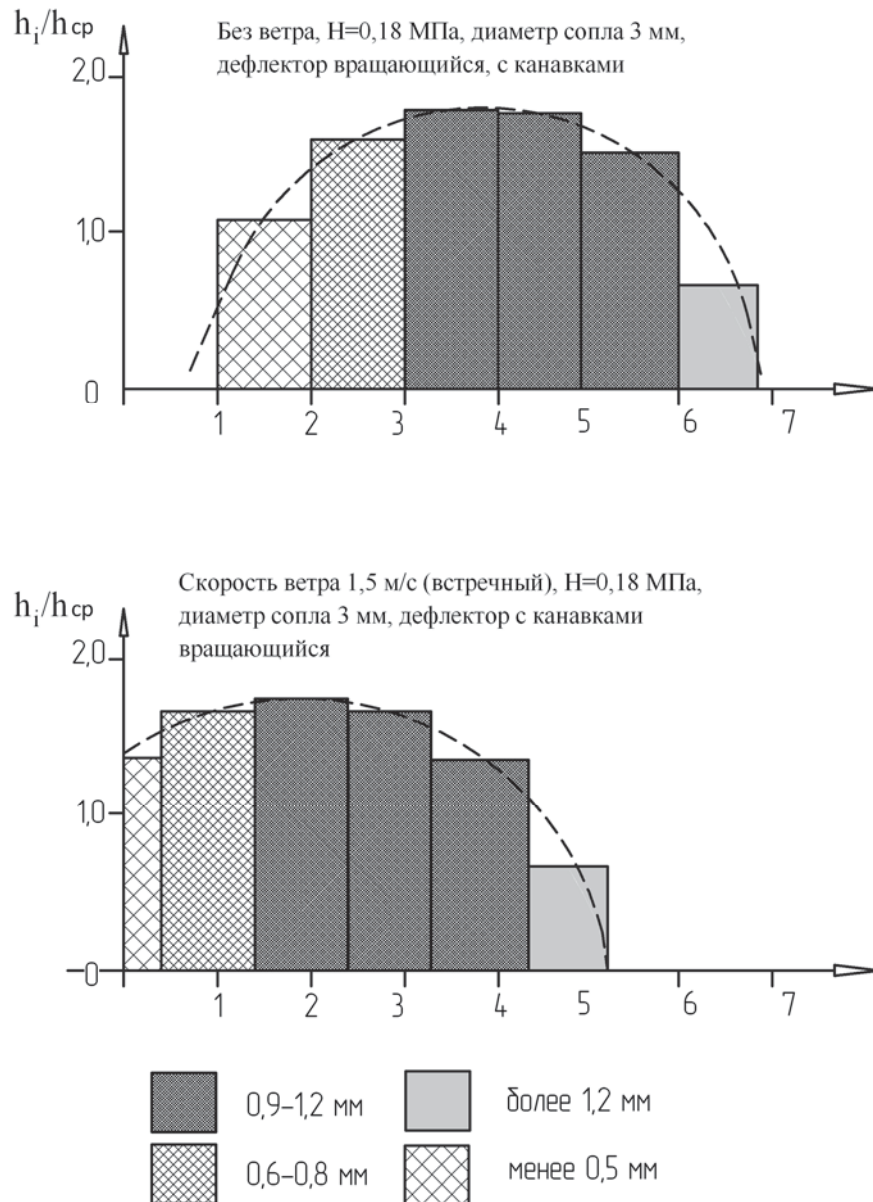


Рисунок 4.21 – Распределение нормированного слоя дождя вдоль радиуса полива без ветра и при ветре для дождевателей исполнения 5

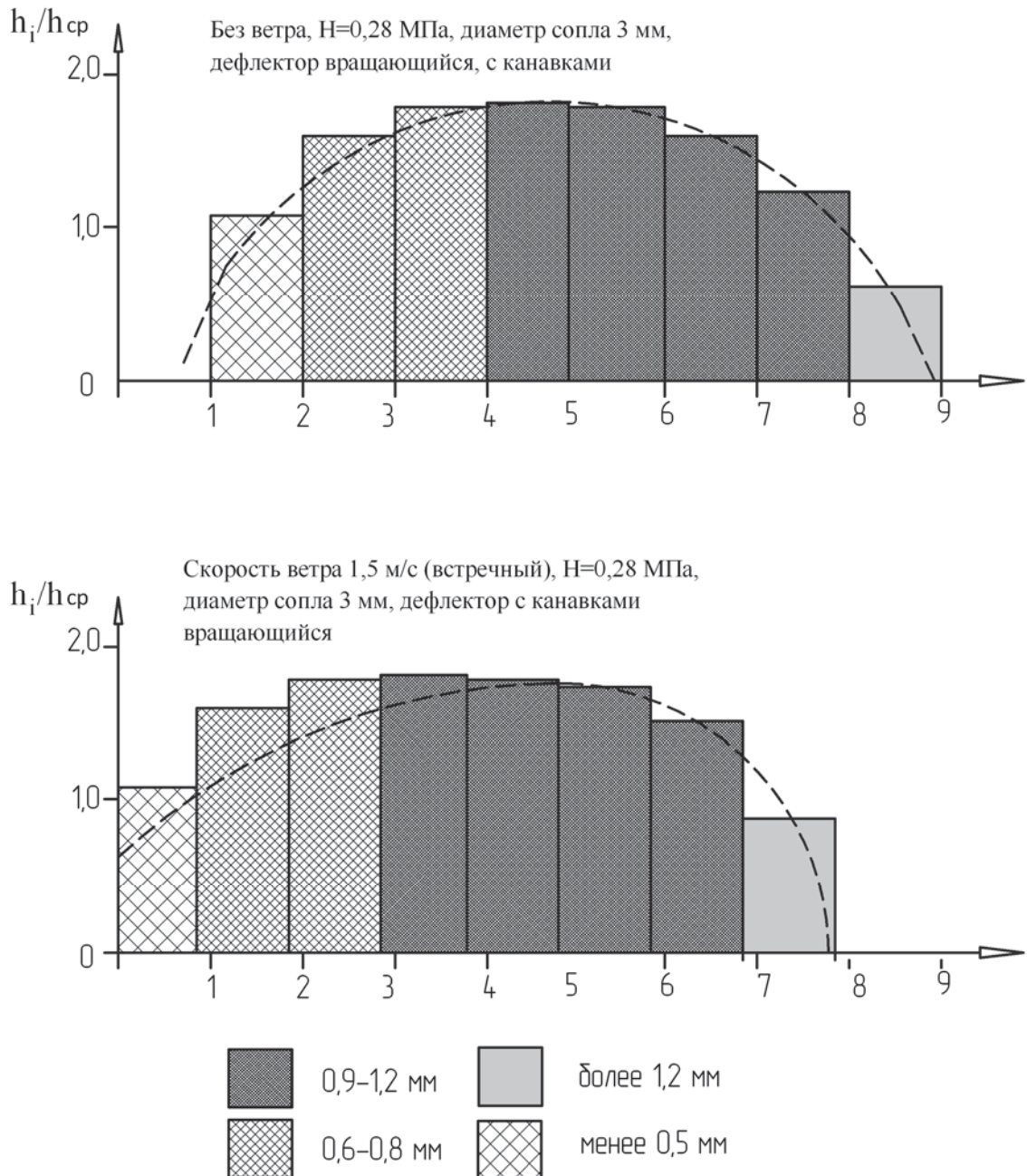


Рисунок 4.22 – Распределение нормированного слоя дождя вдоль радиуса полива без ветра и при ветре для дождевателей исполнения 5

Каскадные дождеватели имеют хорошую равномерность полива. Соотношение получаемых фракций зависит от формы и вида дефлекторов. Наиболее высокие показатели при всех режимах соответствуют соотношению диаметра сопла и отверстия в верхнем дефлекторе 1: 0,7 и дефлекторам с канавками малого и среднего размера.

#### **4.1.5 Расстановка дождевателей на водопроводящем поясе дождевальных машин**

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность орошения дождеванием, является равномерность распределения слоя по площади полива. Потери урожая от неравномерного полива практически пропорциональны коэффициенту неравномерности. Сложность выбора оптимальной расстановки дождевателей заключается в одновременном учете многих факторов, влияющих на равномерность. К числу основных относятся конструктивные (типа дождевателя, давление на входе в машину) и природные (скорость и направление ветра).

Проведенные исследования позволяют дать следующие рекомендации:

**Дождеватели с гладким дефлектором:**

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

**Дождеватели со стационарным дефлектором с канавками:**

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

**Дождеватели с вращающимся дефлектором с канавками:**

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

**Дождеватели каскадные:**

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

Для однопролетной ДМ (длиной до 60 м), среднего ветрового режима рекомендуется применение дождевателей с гладким дефлектором.

Для ДМ длиной 60-300 м – дождевателей с дефлектором с мелкими канавками.

Для ДМ более 300 м рационально совместное применения стационарных дефлекторов и вращающихся, начиная с  $\frac{1}{2}$  длины водопроводящего пояса.

Для длинных ДМ, более 500 м, или работающих при высоких расходах рационально применение каскадных дождевателей, начиная с  $2/3$  длины водопроводящего трубопровода.

Для орошения в зонах с повышенным ветровым режимом рекомендуются дождеватели со стационарными или вращающимися дефлекторами с канавками.

Для проращивания ростков и щадящего воздействия на почву и растения рекомендуется применение дефлекторов с мелкими канавками.

При больших расходах для повышения равномерности – каскадные дождеватели.

## 4.2 Результаты исследований ДМ с усовершенствованными техническими средствами для обеспечения ресурсосберегающей технологии полива

### 4.2.1 Потери воды на испарение и снос ветром при поливе дождеванием

Потери воды на испарение и снос ветром зависят главным образом от высоты подъема дождевого облака, среднего диаметра капель дождя и показателя напряженности метеорологических факторов.

Для определения потерь воды на испарение и снос ветром, %, была использована преобразованная зависимость [216-218]:

$$E_{ИУ} = 1,22 \frac{h_{П}^{0,6}}{d_{К}^{0,6} \rho_{ср}^{0,2} \rho_{мг}^{0,1}} \left[ \left( 1 - \frac{\varphi_{В}}{100} \right) (V'_{В} + 1) \right]^{0,5} K_{\alpha}, \quad (4.1)$$

$h_{П}$  – высота подъема капель дождя над почвой, м;

$\varphi_{В}$  – относительная влажность воздуха, %;

$V'_{В}$  – скорость ветра, м/с;

$K_{\alpha}$  – коэффициент зависимости величины испарения и сноса дождя с зависимости от угла между трубопроводом машины и направлением ветра;

$d_{К}$  – средний диаметр капель, мм;

$\rho_{ср}, \rho_{мг}$  – средняя и мгновенная интенсивность дождя, мм/мин.

$$K_{\alpha} = 1 - 0,009(90 - \alpha'_0), \quad (4.2)$$



Результаты экспериментальных исследований, выполненных в Агроцентре СГАУ, на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энегельского района Саратовской области) и ООО «Наше дело», Саратовская область, Марксовский район, показали, что нормы полива низконапорными ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), и ДМ КАСКАД оборудованными дождеобразующими устройствами для приповерхностного полива с дождевателями типа 1, соответствуют нормативным значениям.

Величину потерь дождя и сноса ветром, %, определяли по формуле (3.22).

Расстановкой мерных емкостей на поле устанавливали фактическую норму полива машиной «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД). Для сбора воды у поверхности почвы были изготовлены специальные пробоотборники, в виде воронки, помещенной в стеклянную бутылку. Полученные теоретические и экспериментальные зависимости представлены на графиках 4.23-4.25 [92].

Из зависимостей величины испарения и сноса ветром от диаметра капель при установке дождевателей на высоте 1, 2, 3 видно, что потери воды на испарение и снос ветром увеличиваются с ростом высоты подъема дождевого облака и уменьшением крупности капель.

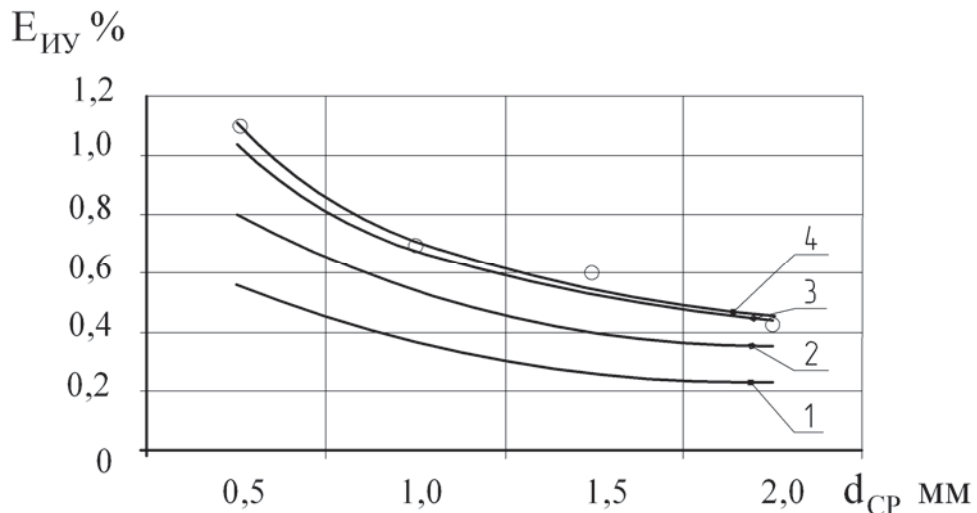


Рисунок 4.23 – Зависимость величины потерь на испарение и снос ветром от диаметра капель при безветрии: 1 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{П}=1$  м; 2 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{П}=2$  м; 3 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{П}=3$  м; 4 – экспериментальная,  $E_{ИУ}=0,712d_{СР}^{-0,64}$ , при высоте установки дождевателя  $h_{П}=3$  м,  $R^2 = 0,97$  (дождеватель типа 1, исполнение 1)

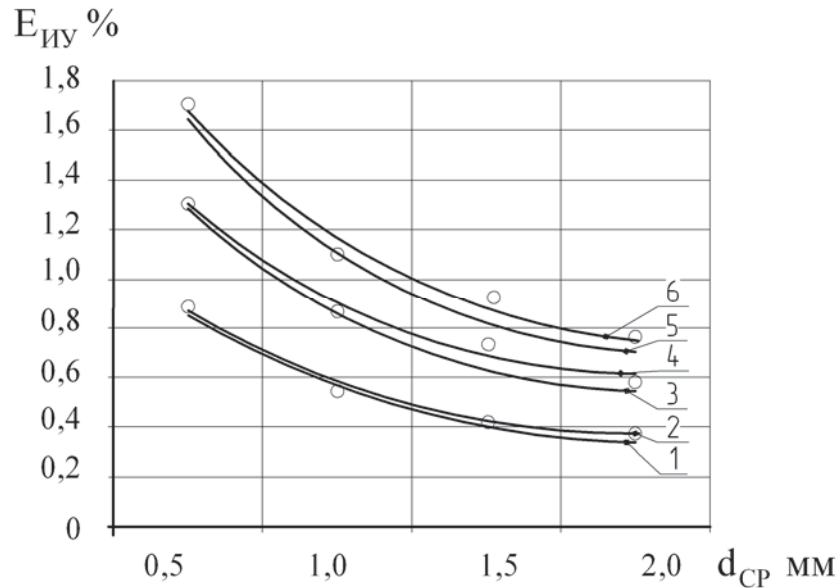


Рисунок 4.24 – Зависимость величины потерь на испарение и снос ветром от диаметра капель при ветре 1,5 м/с: 1 – экспериментальная, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=1\text{ м}$ ,  $E_{\text{ИУ}}=1,174d_{\text{СР}}^{-0,49}$ ,  $R^2=0,97$  (дождеватель типа 1, исполнения 1); 2 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=1\text{ м}$ ; 3 – экспериментальная, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=2\text{ м}$ ,  $E_{\text{ИУ}}=0,892d_{\text{СР}}^{-0,54}$ ,  $R^2=0,94$  (дождеватель типа 1, исполнения 1); 4 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=2\text{ м}$ ; 5 – экспериментальная,  $E_{\text{ИУ}}=0,563d_{\text{СР}}^{-0,63}$ , при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=3\text{ м}$ ,  $R^2=0,97$  (дождеватель типа 1, исполнения 1); 6 – теоретическая, при высоте установки 3 м.

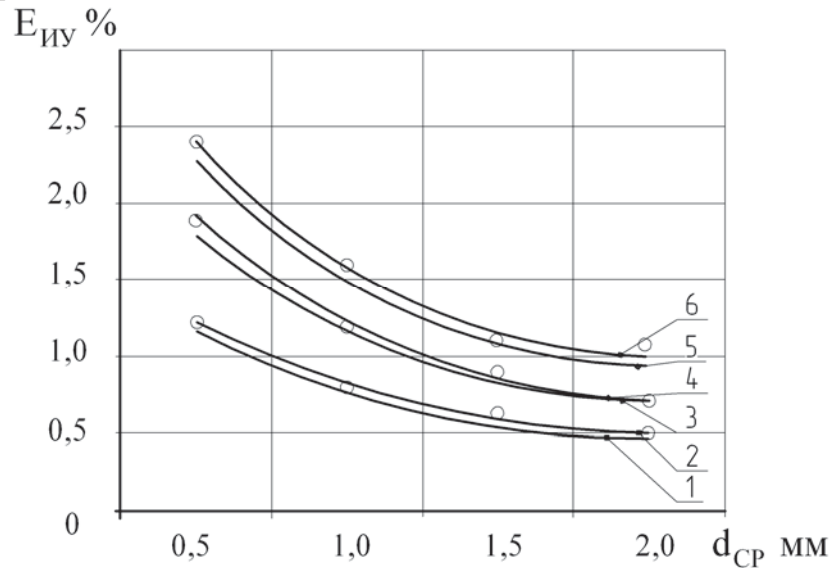


Рисунок 4.25 – Зависимость величины потерь на испарение и снос ветром от диаметра капель при ветре 3 м/с: 1 – экспериментальная, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=1\text{ м}$ ,  $E_{\text{ИУ}}=0,747d_{\text{СР}}^{-0,54}$ ,  $R^2=0,99$ ; 2 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=1\text{ м}$ ; 3 – экспериментальная, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=2\text{ м}$ ,  $E_{\text{ИУ}}=1,115d_{\text{СР}}^{-0,61}$ ,  $R^2=0,98$ ; 4 – теоретическая, при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=2\text{ м}$ ; 5 – экспериментальная,  $E_{\text{ИУ}}=1,453d_{\text{СР}}^{-0,64}$ , при высоте установки дождевателя  $h_{\text{П}}=3\text{ м}$ ,  $R^2=0,99$ ; 6 – теоретическая, при высоте установки 3 м.

Анализ зависимости показывает, что основным направлением снижения потерь воды на испарение и снос ветром является уменьшение высоты подъема дождевого облака.

Очевидна необходимость оптимизация степени распыления струи. При увеличении давления воды перед дождевателем крупность капель формируемого дождя уменьшается, создавая водяную пыль с диаметром капель до 0,2 мм, увеличивая потери на испарение и снос ветром. В связи с этим необходимо придерживаться степени распыления струи до значений 0,5...1,0 мм и при выборе дождевателей в соответствии с крупностью капель дождя учитывать также высоту установки над поверхностью земли и режимам ветра [92, 98].

Т.е. тенденция при прочих равных условиях следующая: при подъеме дождеобразующего устройства над поверхностью земли следует:

- уменьшать угол вылета струи, что увеличивает ветроустойчивость;
- увеличивать размеры канавок дефлектора, что увеличивает диаметр капель дождя (в границах определяемых допустимой мощностью дождя).

Наибольшие потери воды при поливе дождевателями, смонтированными на трубопроводе машины, не превышают 5% при подъеме дождевого облака до уровня трубопровода машины при скорости ветра в границах, рекомендуемых режимом эксплуатации (рис. 4.26).

Распределение объемов воды в мерных емкостях вдоль трубопровода ДМ приведено в таблицах приложения 9.

Обработка результатов опытов показывает, что равномерность полива при скорости ветра до 3 м/с достаточно высокая, коэффициент эффективности полива составил при работе ДМ «Фрегат» с установленными по учащенной схеме дождевателями типа 1 исполнения 1 при давлении на входе в машину 0,34МПа – 0,76-0,8.

При работе ДМ «Кубань-ЛК1» модели 212 с установленными по учащенной схеме через 3,5 м дождевателей типа 1 исполнения 1 при давлении на входе в машину 0,4МПа – 0,76-0,8.

При работе ДМ «КАСКАД» модели 497-90 с установленными по учащенной схеме через 3,5 м при давлении на входе в машину 0,35МПа дождевателями типа 2 исполнения 2 – 0,77 на фоне 1, и 0,87 на фоне 2.

При работе ДМ «КАСКАД» модели 497-90 с дождевателями типа 2 исполнения 5 с 1/2 длины водопроводящего пояса и исполнения 1 до 1/2 водопроводящего пояса по учащенной схеме через 3,5 м при напоре на входе в машину 0,3МПа – 0,88.

При работе ДМ «КАСКАД» длиной 434 м с дождевателями типа 2 исполнения 6 с 2/3 длины водопроводящего трубопровода и исполнения 2 типа 1 до 2/3 длины через 4,5м при напоре на входе в машину 0,35МПа – 0,86.

Для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) модели 497-90 с дождевателями типа 1 исполнения 1, установленными по учащенной схеме через 3,5 м при напоре на входе в машину 0,35-0,4МПа – 0,86.



Рисунок 4.26 – Дождевое облако при работе дождеобразующих устройств при поверхностного полива

#### 4.2.2 Оценка энергетических показателей при поливе ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» с низконапорными дождевателями

Известно, что дождь в зависимости от его мощности оказывает различное энергетическое воздействие на почву. Дождь более высокой мощности разрушает ее верхний слой, увеличивая плотность [90, 134].

Для оценки максимальной скорости падения капель воспользуемся формулой [109]

$$V_K = 4,11d_K^{0,5}, \quad (4.4)$$

Удельная мощность дождя имеет вид [109], Вт/м<sup>2</sup>:

$$N_{уд} = 0,0083\rho_{ср} \sum_{i=1}^n (n_i V_{Ki})^2 = 0,14\rho_{ср} d_K, \quad (4.5)$$

$\rho_{ср}$  – интенсивность дождя, мм/мин;

$n_i$  – доля капель  $i$ -го размера;

$V_{Ki}$  – скорость падения капель  $i$ -го размера.

Оценка мощности дождя вдоль трубопровода ДМ с дождевателями разных типов представлены в таблице 4.1.

Результаты замеров плотности верхнего слоя почвы (0-5 см) в зависимости от числа поливов, типа дождевателя, мощности дождя, вида сельскохозяйственных культур и характера рельефа приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Оценка мощности дождя вдоль трубопровода ДМ с дождевателями разных типов

Тип дождевателя	Расход, л/с	Давление, МПа	Средняя интенсивность, мм/мин	Средний диаметр капель, мм	Скорость падения капель, м/с	Средняя Мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
ДМ «Фрегат»						

1	2	3	4	5	6	7
Схема расста- новки 1	0,15	0,12	0,09	0,71	3,46	0,009
	0,25	0,26	0,25	0,53	2,99	0,018
	0,29	0,15	0,33	0,55	3,04	0,025
	0,51	0,22	0,38	0,60	3,18	0,032
	0,53	0,24	0,49	0,62	3,23	0,042
	0,62	0,19	0,46	0,65	3,31	0,042
	1,00	0,27	0,59	0,69	3,41	0,057
	1,41	0,23	0,75	0,70	3,43	0,073
	1,53	0,25	0,77	0,73	3,51	0,078
	1,66	0,33	0,82	0,79	3,65	0,091
	1,80	0,24	0,85	0,81	3,69	0,096
	1,93	0,20	0,91	0,83	3,74	0,105
	3,78	0,23	0,98	0,85	3,78	0,116
ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД»						
Схема расста- новки 3 (мелкие канавки)	0,16	0,15	0,06	0,61	3,21	0,005
	0,21	0,29	0,22	0,51	2,93	0,015
	0,29	0,20	0,29	0,52	2,96	0,021
	0,32	0,25	0,31	0,55	3,04	0,023
	0,36	0,27	0,35	0,57	3,10	0,027
	0,46	0,25	0,39	0,59	3,15	0,032
	0,52	0,22	0,43	0,61	3,21	0,036
	0,73	0,30	0,48	0,64	3,28	0,043
	0,98	0,28	0,53	0,66	3,33	0,048
	1,13	0,26	0,61	0,68	3,38	0,058
	1,23	0,28	0,66	0,71	3,46	0,065
	1,32	0,31	0,72	0,74	3,53	0,074
	1,52	0,27	0,78	0,76	3,58	0,082
	1,71	0,23	0,80	0,78	3,62	0,087
	2,45	0,24	0,86	0,81	3,69	0,097
3,50	0,26	0,92	0,83	3,74	0,106	
Схема расста- новки 4	0,15	0,13	0,11	0,60	3,18	0,009
	0,21	0,24	0,24	0,58	3,13	0,019
	0,24	0,13	0,32	0,60	3,18	0,026
	0,34	0,20	0,36	0,64	3,28	0,032
	0,39	0,22	0,45	0,66	3,33	0,041
	0,43	0,17	0,49	0,69	3,41	0,047
	0,51	0,25	0,52	0,73	3,51	0,053
	0,72	0,21	0,69	0,79	3,65	0,076
	0,93	0,23	0,57	0,55	3,05	0,043
	1,31	0,31	0,61	0,63	3,26	0,053
	1,63	0,28	0,69	0,66	3,33	0,063
	2,01	0,22	0,73	0,69	3,41	0,070
	2,88	0,19	0,77	0,72	3,48	0,077
3,21	0,21	0,81	0,75	3,55	0,085	

1	2	3	4	5	6	7
Схема расста- новки 5	0,2	0,16	0,10	0,67	3,36	0,009
	0,27	0,28	0,23	0,51	2,93	0,016
	0,31	0,19	0,31	0,52	2,96	0,022
	0,54	0,26	0,34	0,59	3,15	0,028
	0,57	0,28	0,43	0,61	3,21	0,036
	0,69	0,23	0,45	0,64	3,28	0,040
	1,30	0,29	0,52	0,64	3,28	0,046
	1,71	0,27	0,63	0,66	3,33	0,058
	1,84	0,29	0,69	0,68	3,38	0,065
	1,95	0,31	0,73	0,73	3,51	0,074
	2,24	0,26	0,79	0,75	3,55	0,082
	2,56	0,24	0,82	0,79	3,65	0,090
	2,69	0,29	0,85	0,81	3,69	0,096
	3,33	0,31	0,89	0,82	3,72	0,102
	3,78	0,23	0,90	0,84	3,76	0,105

Таблица 4.2 – Плотность верхнего слоя почвы (0-5 см) при поливе ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» с различными типами дождевателей

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

1	2	3	4
Первый пролет	Тип 1, исполнение 1	0,019	1,04
Пятый пролет	Тип 1, исполнение 1	0,053	1,08
Предконсольный пролет	Тип 2, исполнение 5	0,085	1,10
Схема 5, 4 полив			
Первый пролет	Тип 2, исполнение 2	0,016	1,06
Пятый пролет	Тип 2, исполнение 2	0,046	1,10
Предконсольный пролет	Тип 2, исполнение 6	0,105	1,12
Богара			1,01

Из таблицы 4.2 видно, что дождеватели, установленные на гибких спускных трубопроводах приповерхностного полива, установленные как в начале, так и в конце машины уплотняют верхний слой почвы незначительно, благодаря уменьшению крупности капель и мощности дождя обеспечивается щадящее воздействие на почву.

Таким образом, исследования показали, что при поливе с дождевателями мелкокапельный дождь имеет незначительную мощность и не уплотняет верхний слой почвы. Плотность почвы даже после 3 поливов находится на уровне плотности почвы на богарном участке.

#### **4.2.3 Норма полива до стока при поливе ДМ с низконапорными дождевателями**

Исследования нормы полива до стока при поливе ДМ, оборудованными низконапорными дождевателями согласно предложенным схемам представлены в таблице 4.3.

У серийно выпускающихся дождевальных машин «Фрегат» наиболее опасным участком в отношении образования поверхностных стоков и ирригационной



эрозии является участок, расположенный в конце водопроводящего трубопровода, где дождевальные аппараты имеют, увеличенный диаметр сопел, значительный расход и крупнокапельный дождь ( $d_{cp} \approx 2,0$  мм).

Проведенные исследования позволили установить, что для ДМ «Фрегат», в целях снижения ударного воздействия дождя (уменьшения диаметра капель), а также, исходя из возможности снижения напора на входе в машину рекомендуется устанавливать низконапорные дождеватели в соответствии со схемой 1 типа 1 исполнения 1. А при работе на больших нормах полива в концевой части машины устанавливать дождеватели типа 2 исполнения 4 или 5 с вращающимся дефлектором, либо каскадные исполнения 6.

Таблица 4.3 – Фактические и расчетные значения несущей способности почвы от режима орошения

Тип почвы	Несущая способность почвы до полива $R_{дл}$ , кПа	Схема расстановки дождевателей на машине	Эффективная норма полива, $m^3/га$	Достоковая норма полива, $m_{дост}^3/га$	Величина стока $m_{ст}$ , $m^3/га$	Несущая способность почвы после полива $R_{ПП}$ , кПа	
						экспериментальная	теоретическая
Чернозем обыкновенный	150-155	Схема 1 «Фрегат» ДМУ-Б463-90	296	520	0	62	60,4
			396	525	0	63	59,9
			494	520	0	64	60,4
	150-155	Схема 2 «Кубань-ЛК1»	305	530	0	60	59,4
			400	540	0	58	58,4
			510	535	0	61	58,9
Темно-каштановый суглинок	180-185	Схема 4 «КАСКАД»	300	535	0	93	88,9
			405	540	0	92	88,4
			495	550	0	86	87,4
	210-220	Схема 6 «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	300	380	0	140	135,4
			405	385	20	139	134,9
			500	390	110	119	118,5
	Схема 5 «КАСКАД»	295	382	0	160	135,2	
		420	390	30	145	131,5	
		500	395	105	125	119,6	

Оснащение машин усовершенствованными схемами расстановок и типами дождевателей в зависимости от почвенно-рельефных условий позволило вследствие снижения ударного воздействия дождя на почву, увеличить достоковую норму полива и соответственно уменьшить величину стока, особенно в концевой части машины.

Оборудование ДМ низконапорными дождевателями по предлагаемым схемам расстановки обеспечивает в сравнении с серийной машиной ДМ «Кубань-ЛК1» и ДМ «КАСКАД» более качественное распределение слоя осадков по длине машин. Средняя интенсивность дождя ДМ равная 0,5-0,55 мм/мин при диаметре капель в пределах 0,7-1,0 мм обеспечивает возможность проведения ресурсосберегающих технологий полива [193,195], позволяет увеличить достоковую поливную норму, увеличивая соответственно несущие свойства почвы в зоне последних тележек и уменьшить глубину колеи от ее ходовых систем.

#### 4.2.4 Равномерность полива на примере ДМ «Кубань-ЛК1» и ДМ «Фрегат», оборудованных низконапорными дождевателями

Основные показатели оценки работы низконапорных ДМ приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Показатели работы дождевальных машин «Фрегат» ДМУ-Б 463-90 и «Кубань-ЛК1»

Наименование показателей	Дождевальная машина	
	«Фрегат» ДМУ-Б 463-90	Кубань-ЛК1 МДЭК 212
1	2	3
Схема расстановки дождевателей	1	2
Дата проведения исследований	10.07-25.07. 15	10.05-25.05.15
Агрофон	кукуруза	-
Температура воздуха, град	17	21
Скорость ветра, м/с	3,8	2,7
Напор, МПа на входе в машину	0,41	0,21
в конце машины	0,27	0,17
Расход, л/с	72,5	14,6
Радиус полива, м	484	212
Площадь, орошаемая с одной позиции, га	73	14,11

1	2	3
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,533	0,547
Минимальный слой осадков за проход, мм	30	8,5
Коэффициент полива:		
эффективного	0,801	0,805
недостаточного	0,102	0,101
избыточного	0,097	0,094
Средний диаметр капель, мм	0,85	0,86
Глубина колеи под последней тележкой (в конце поливного сезона), м	0,16	-
Коэффициент земельного использования в пределах орошаемого круга	0,982	0,986

Исследования ДМ проводились при номинальном давлении на входе в машины, равным 0,41 для «Фрегата» и 0,21 – для «Кубани -ЛК1».

Гидравлические потери по длине водопроводящего трубопровода соответственно составляют 0,14 и 0,04 МПа.

Оборудование обеих модификаций ДМ предлагаемыми схемами расстановки низконапорных дождевателей обеспечило в сравнении с серийным их исполнением более качественное распределение слоя осадков по длине машин. Коэффициент эффективного полива имел высокое значение и находился в пределах 0,801...0,805. Это обуславливалось меньшими значениями переполива под первыми пролетами и последними.

Средняя интенсивность дождя ДМ равна 0,53 и 0,55 мм/мин при диаметре его капель в пределах 0,85 и 0,86 мм, соответственно, обеспечивала возможность проведения, ресурсосберегающих технологий полива.

#### **4.2.5 Результаты исследования колееобразования для различных почвощадящих схем расстановки дождевателей, длин пролетов и ходовых систем**

Исследование колееобразования проводилось в начале, середине и конце поливного периода.

Максимальное значение глубины колеи за поливной сезон, как показывает опыт эксплуатации ДМ в зонах орошаемого земледелия, не должно превышать  $0,05 \pm 0,02$  м [170, 220]. Дальнейшее увеличение глубины колеи, особенно на глинистых почвах при больших поливных нормах, ведет к увеличению ее ширины и образованию почвенных призм выпирания, что увеличивает заминаемость растений, повышает эрозию почвы.

При работе ДМ с небольшими поливными нормами на легкоуплотняющихся почвах, деформируемых без их выпирания в стороны, для узкопрофильных колес допускается увеличение глубины колеи в конце поливного сезона до 0,13-0,15 м. Как известно, данные нормы редко бывают соблюдены на серийных машинах [87].

Интенсивное уменьшение давления колес машин на почву при средних нагрузках (10-20 кН) присущих для практически применяемых длин и диаметров труб пролетов дождевальных машин «Фрегат», «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), ДМ «КАСКАД», происходит при увеличении опорной поверхности колес до 0,30-0,50 м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение площади колесных движителей не имеет практического смысла, так как это влечет за собой значительное увеличение габаритов колес или их количества. С увеличением нагрузки растет и значение предела опорной поверхности.

Применение на машинах оптимизированных схем расстановок, типов дождевателей позволило подобрать более экологически и экономически обоснованные типы колесных систем.

Нагрузочный режим на колесные системы тележек ДМ варьируется изменением длин пролетов и диаметров их водопроводящего трубопровода.

Результаты теоретических исследований по подбору пневматических колес для ДМ типа «Фрегат» и «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), ЭДМ «КАСКАД» были подтверждены экспериментально.

Анализ данных показывает, что на почвах повышенной прочности при использовании низконапорных дождевателей ДМ целесообразно оборудовать узкими пневмоколесами. На почвах с низкой несущей способностью и значительными

поливными нормами от 600 м<sup>3</sup>/га - более широкопрофильными пневматическими шинами 18-24; 23-26, 21.3-24 для ДМ «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД); «КАСКАД с шириной профиля 0,30-0,54 м, в том числе установкой более широкопрофильных шин в концевой части машин.

Кроме того в условиях пониженной прочности почв возможно применение на ДМ шин с меньшими значениями ширины профиля, нежели рекомендуемые, но для уменьшенных величин длин пролетов ДМ или уменьшенного диаметра водопроводящего трубопровода.

Результаты исследований глубины колеи от порядкового номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа после первого прохода для ДМ «Кубань-ЛК1М» длиной 497 м при оборудовании разными типами дождевателей показаны на рис. 4.27. Схема расстановки дождевателей по схеме 4, т.е. исполнения дождевателей 5 со 1/2 длины водопроводящего пояса и исполнения дождевателей 1 до 1/2 длины водопроводящего пояса показывают небольшое снижение глубины колеи в пределах 1,5-1 см. Глубина колеи в обоих случаях не превышает 6 см.

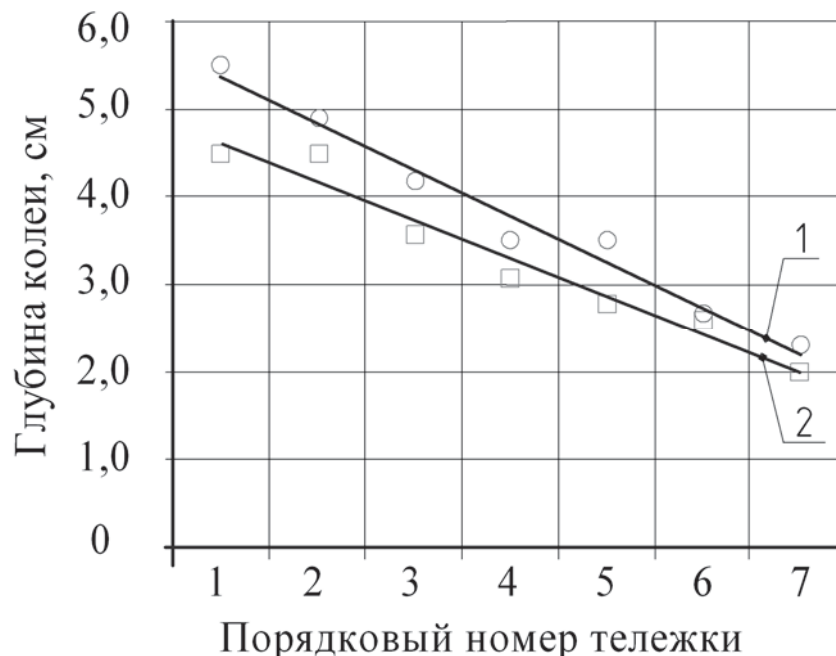


Рисунок 4.27 – Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа после первого прохода: 1 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 6),  $H'' = -0,525n_{от} + 5,9$ ;  $R^2 = 0,976$ ; 2 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 4),  $H'' = -0,432n_{от} + 5,028$ ;  $R^2 = 0,961$ .

В конце поливного сезона вид зависимости глубины колеи от порядкового номера тележки меняется с линейной на квадратичную. На последних тележках колея снова возрастает за счет увеличения расхода и крупности капель. При этом при установке дождевателей по схеме 4 возрастание колеи происходит в меньшей степени за счет снижения интенсивности, увеличения радиуса распыла и уменьшения диаметра капель (рис.4.28).

При увеличении пролета до 59,5 м и установке колес с шинами 16,9-24, а также дождевателей по схеме 5 колея снижается до 4 см на первой тележке за первый проход и до 9 см в конце поливного сезона, несмотря на увеличение длины пролета до 59,5 м (рис. 4.29).

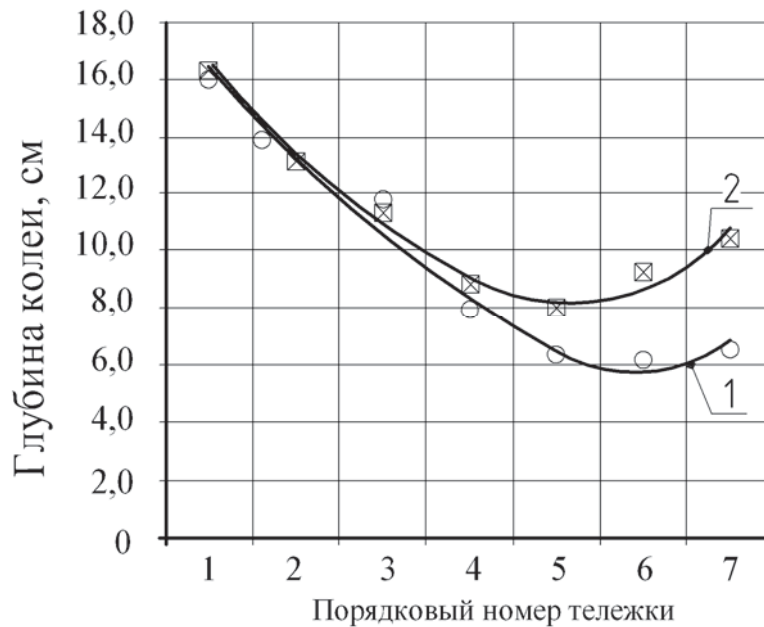


Рисунок 4.28 – Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки в конце поливного сезона: 1 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 6),  $H''=0,041n_{OT}^3+0,023n_{OT}^2 - 3,489 n_{OT} +19,8$ ;  $R^2=0,967$ ; 2 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 4),  $H''=0,125n_{OT}^3-1,197n_{OT}^2 + 0,927 n_{OT} +16,15$ ;  $R^2=0,986$ .

Исследования глубины колеи ДМ «Фрегат» с жесткими колесами на почвах несущей способностью 85-105 кПа, оборудованных дождевателями типа 1, показывают значительную глубину колеи, достигающую 35 см в конце поливного сезона (рис. 4.30).

При установке низконапорных дождевателей по схеме расстановки 5 хорошо заметно снижение колеи в конце поливного сезона до 18 см, с учетом уменьшения на один круг работы (рис. 4.31).

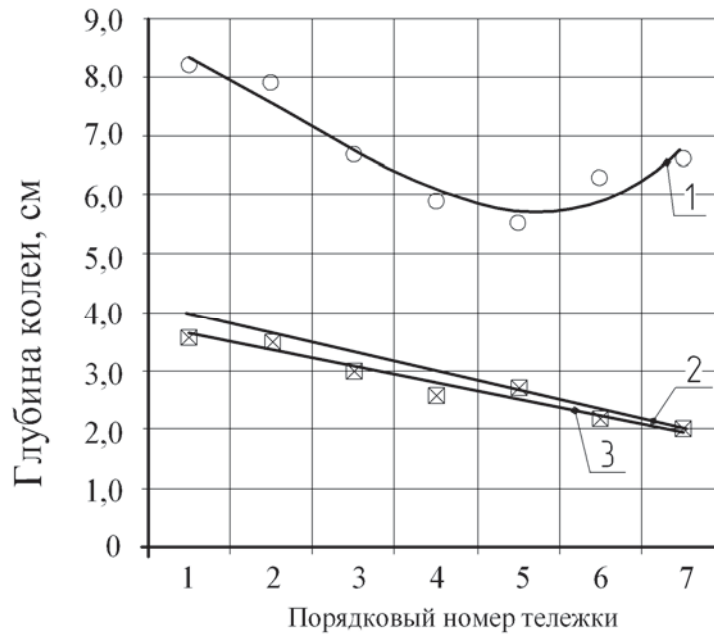


Рисунок 4.29 – Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Кубань-ЛК1М» (59,5 м пролет, шины 16,9-24, схема расстановки 5: 1 –  $H''=0,03n_{OT}^3-0,206n_{OT}^2-0,357n_{OT}+8,871$ ;  $R^2=0,935$ ; 2– теоретическая зависимость; 3 –  $H''=-0,275n_{OT}+3,9$ ;  $R^2=0,953$ . Достоверность аппроксимации уравнений составляет 0,95.

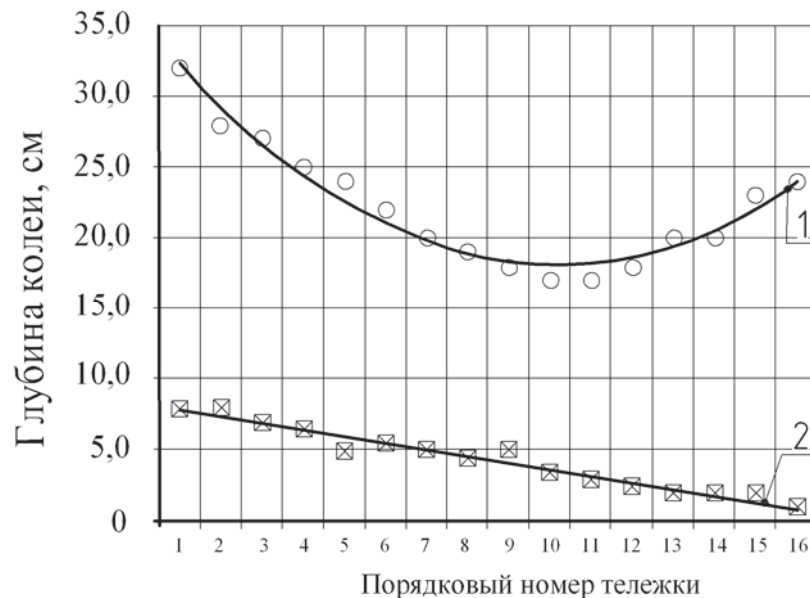


Рисунок 4.30 – Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 85-105 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Фрегат» ДМУ-Б-463-90 (жесткие колеса, схема расстановки 1)

$$1 - H''=0,169n_{OT}^2-3,439n_{OT} + 35,55; R^2=0,964;$$

$$2 - H''=-0,459n_{OT} + 8,312; R^2=0,962 .$$

Проведенные исследования позволили установить, что для ДМ Фрегат, в целях снижения ударного воздействия дождя (уменьшения диаметра капель), а также, исходя из возможности снижения давления на входе в машину, рекомендуется устанавливать дождеватели в соответствии со схемой 5. А при работе на больших нормах полива в концевой части машины устанавливать дождеватели типа с вращающимся дефлектором либо каскадные.

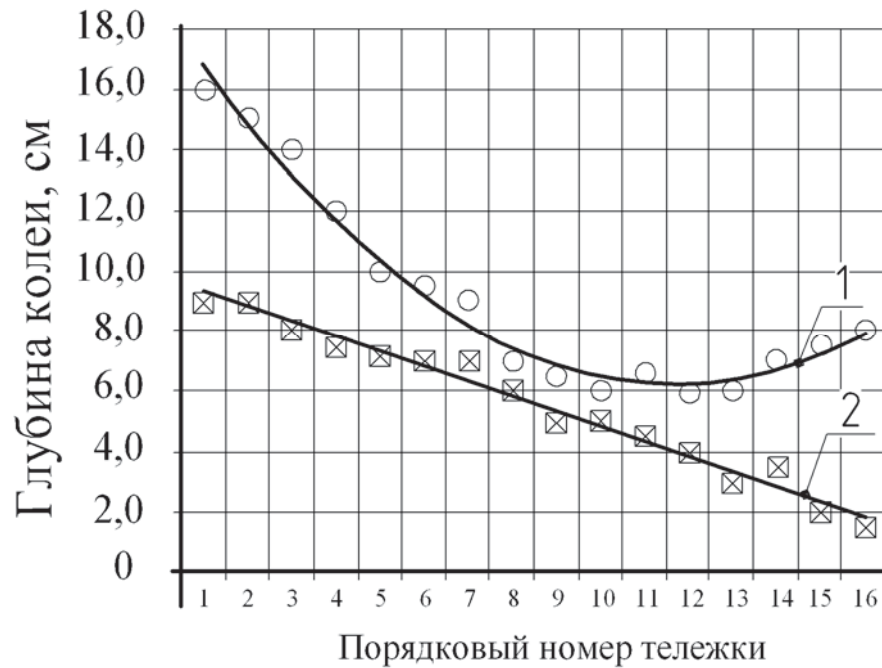


Рисунок 4.31 – Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 75-95 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона ДМ «Фрегат» ДМУ-Б-463-90 (жесткие колеса, схема расстановки 5):

$$1 - H'' = 0,093n_{OT}^2 - 2,17n_{OT} + 18,87; R^2 = 0,981;$$

$$2 - H'' = -0,493n_{OT} + 9,767; R^2 = 0,978.$$

В целях дальнейшего снижения стоимости ДМ кругового действия является целесообразным оборудование машин разнопрофильными шинами.

Рассмотрим соотношения качественно-технологических показателей полива и проходимость дождевальных машин, оцениваемую по колею.

Представим зависимость колеи от несущей способности почвы и досточковой поливной нормы в начале, середине и конце трубопровода машины при различных схемах установки дождевателей (рис. 4.32-4.35).



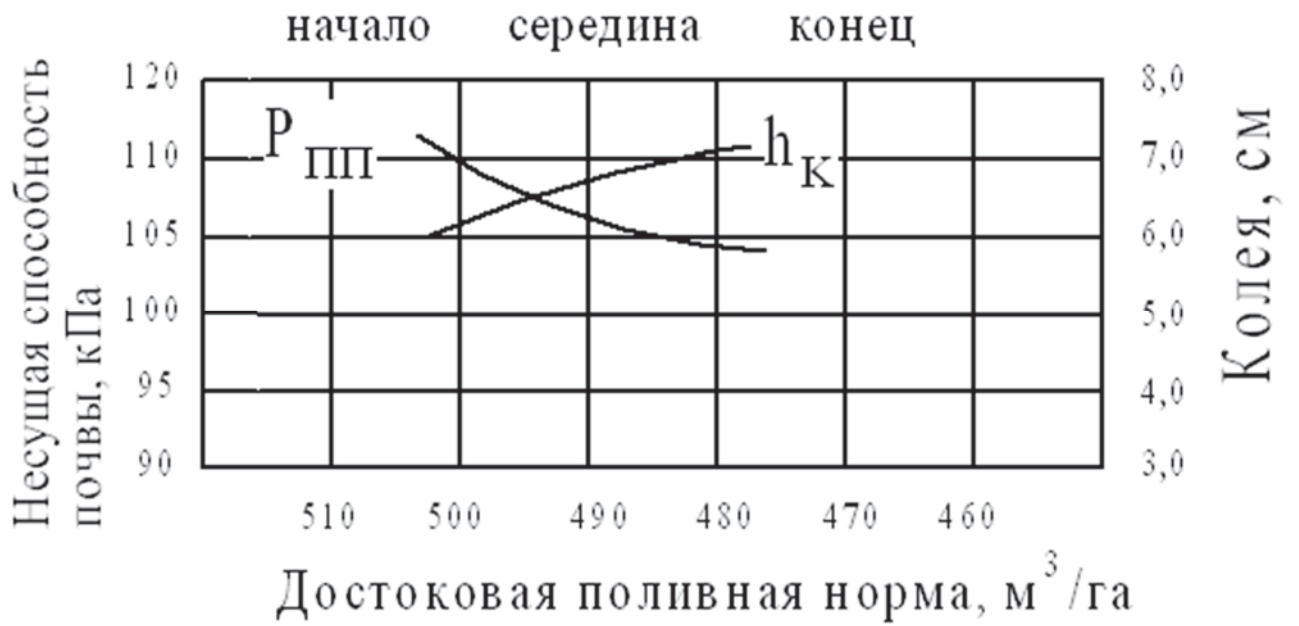


Рисунок 4.32 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (59,5 м пролет, шины 18,4-26, схема расстановки дождевателей 4).

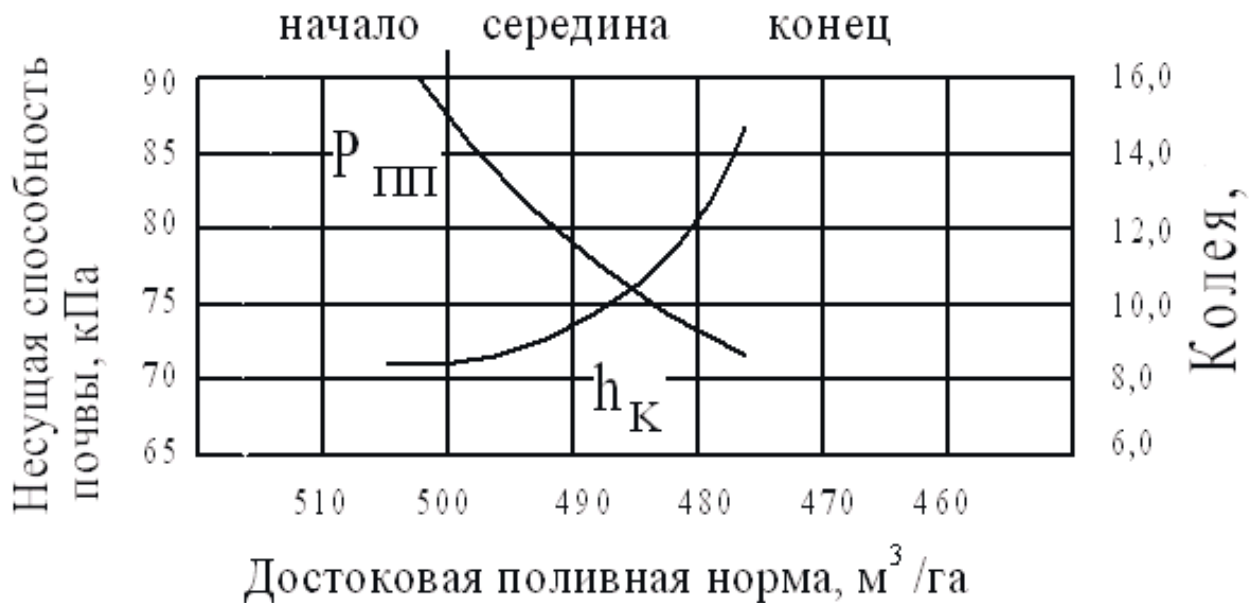


Рисунок 4.33 – ДМ «Фрегат» (жесткие колеса, схема расстановки дождевателей 5).

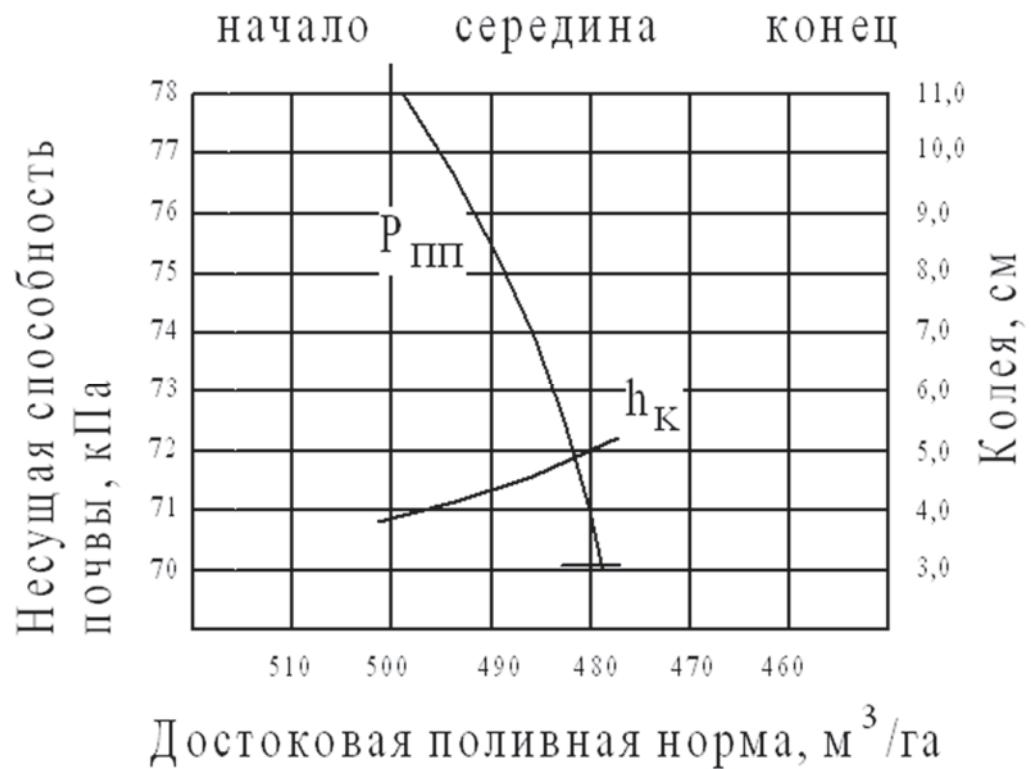


Рисунок 4.34 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки дождевателей 1).



Рисунок 4.35 – ДМ «Кубань-ЛК1» МДЭК 212 на шинах 16,9-24 схема 2

Эффективность влияния оптимизации режима орошения и подбора дождевателей на колееобразование ДМ наглядно прослеживается на примере исследований «Фрегата». Использование низконапорных дождевателей на ДМ «Фрегат» позволяет обеспечить сравнительно равномерное распределение несущих свойств, выравнивания глубины колеи по всей длине машины.

Данные исследований показывают, что под всеми машинами, оснащенными по оптимизированным схемам низконапорными дождевателями, величины достоковых поливных норм по их длине имеют практически равное значение эффективным их значениям.

Проведенные исследования позволили определить ориентировочные зоны применения колесных систем в зависимости от несущей способности почвы:

1 – повышенной несущей способности (тяжелосуглинистые почвы, нормы полива до  $300 \text{ м}^3/\text{га}$ ,  $R_{\text{ПП}} \geq 80-100 \text{ кПа}$ ) узкопрофильные пневматические колеса. Глубина колеи – не более  $H''=0,08-0,1 \text{ м}$ .

2 – средней несущей способности (суглинистые почвы, нормы полива  $300-500 \text{ м}^3/\text{га}$ ,  $R_{\text{ПП}} \geq 60-80 \text{ кПа}$ ) – обычные шины. Глубина колеи –  $H''=0,05-0,1 \text{ м}$ .

3 – низкой несущей способности (легкие, норма полива более  $500 \text{ м}^3/\text{га}$ ,  $R_{\text{ПП}} < 60 \text{ кПа}$ ) – широкопрофильные шины,  $H=0,1-0,15 \text{ м}$ .

Полученные экспериментальные данные хорошо сочетаются с показателями теоретических расчетов.

#### **4.2.6 Рекомендации по обеспечению конструктивно-высотных параметров, соотношений длин пролетов и ходовых систем**

Проведенные исследования ДМ кругового действия показывают, что в целях исключения заминаемости растений, а также буксования и остановки ДМ, отношение величины ее агропросвета ( $H''_2$ ) к высоте растений ( $h''_1$ ) должно быть равным или большим  $0,7$  (табл. 4.5).

Таблица 4.5 – Оценка допустимого агротехнического просвета ДМ

№	Величина агротехнического просвета на ровном рельефе, м	культура	Высота растений $h''_1$ , м	Величина уменьшения агротехнического просвета $S''_1$ , м	Величина агротехнического просвета машины $H''_2$ , м	Характеристика	Величина отношения $H''_2 / h''_1$
1	2,2 «Фрегат»	кукуруза	2,3	0,40	1,80	повреждений нет	0,78
				0,63	1,57	повреждений нет	0,68
				0,60	1,6	повреждений нет	0,80
2	2,7 «Кубань-ЛК1М» - (48,7 м)	кукуруза	2,0	0,80	1,7	повреждений нет	0,85
				1,00	1,2	повреждений нет	0,60
				0,60	2,1	повреждений нет	1,05
3	2,7 «Кубань-ЛК1М» - (48,7 м)	кукуруза	2,6	1,00	1,7	повреждений нет	0,85
				1,30	1,4	повреждений нет	0,7
				0,70	2,0	повреждений нет	0,74
4	2,7 «Кубань-ЛК1М» - (48,7 м)	кукуруза	3,2	0,90	1,8	повреждений нет	0,69
				1,10	1,6	повреждений нет	0,61
				0,70	2,0	Остановка	0,62
5	2,9 «КАСКАД» - (59,5 м)	кукуруза	2,3	0,90	2,0	Остановка	0,56
				1,20	1,7	Остановка	0,53
				1,50	1,4	Остановка	0,50
6	2,9 «КАСКАД» - (59,5 м)	кукуруза	2,8	0,5	2,4	повреждений нет	1,04
				0,9	2,0	повреждений нет	0,86
				1,1	1,8	повреждений нет	0,78
7	2,9 «КАСКАД» - (59,5 м)	кукуруза	3,0	0,90	2,0	повреждений нет	0,71
				1,20	1,7	Остановка	0,60
				1,50	1,4	Остановка	0,50
				0,50	2,4	повреждений нет	0,82
				0,80	2,1	Остановка	0,7
				1,30	1,6	Остановка	0,55
				1,50	1,4	Остановка	0,48
				1,50	1,4	Остановка	0,48

Для обеспечения полноценного режима полива, согласно условию (2.70) при работе с высокостебельными культурами необходимо увеличивать высоту расположения трубопровода. При работе ДМ на уклонах более 0,08 высота подъема трубопровода над землей 2,7 м при увеличении пролетов до 59,5-65,2 м явно не достаточна для обеспечения нормальной работы (табл. 4.6).

В результате проведенных исследований на ДМ «КАСКАД» с пролетами 59,5 - 65,2 м высота трубопровода была поднята – до 2,8 -2,9 м. При этом подъем

ограничивается параметрами устойчивости системы и металлоемкостью. Т.е. высота подъема трубопровода выбирается как минимально возможная при обеспечении агротехнической проходимости. При эксплуатации на уклонах более 0,08 необходимо использовать модификации с увеличенной колесной базой и пролетами длиной 48,7 м.

Расход воды на участках со сложным рельефом при движении ДМ по кругу – переменный. Он зависит от высотного расположения всех тележек по отношению к неподвижной опоре. Причем, на пересеченном участке разница в расходе ДМ «КАСКАД» по сравнению с горизонтальным участком составила около 1-2%. На постоянном склоне разница по расходу достигает 14% (18,2 л/с вместо 16 л/с).

Давление изменялось соответственно от 0,21 МПа до 0,18 МПа, т.е. почти на 15%. При расположении трубопровода «в гору» расход снижается на 15-17%.

Для повышения равномерности полива рекомендуется устанавливать регуляторы давления при уклонах выше 0,7 для давления 0,3-0,4 МПа, выше 0,6 при давлении 0,2 МПа, либо режим работы машины с переменной нормой полива.

Таблица 4.6 – Изменение агропросвета для пролетов ДМ типа «Кубань-ЛК1» (КАСКАД) и «КАСКАД»

Уклоны положения смежных пролетов		Величина агропросвета, м		
Левый	Правый	Пролет 48 м при высоте 2,7 м	Пролет 59,5 м при высоте 2,8 м	Пролет 65,2 м при высоте 2,9 м
+0,05	-0,05	1,5	1,4	1,5
+0,08	-0,08	0,8	0,6	0,7

Иностранные производители в случае разности расхода воды более 10% рекомендуют [110, 112, 113, 114, 117] использовать регуляторы давления. Минимальный перепад высот, требующий применения регуляторов давления, составляет 2 м, с учетом большой длины машины (от 120 м) (рис. 4.36), что несколько завышено.

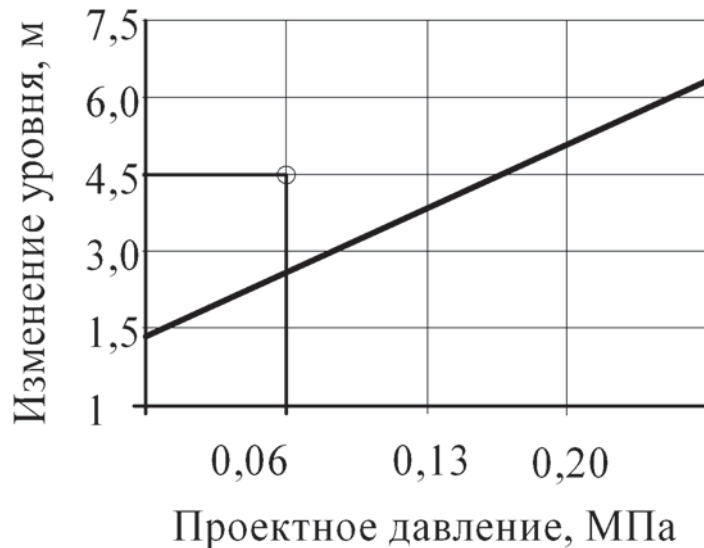


Рисунок 4.36 – Соотношение изменения уровня и проектного давления при котором требуется установка регуляторов давления

Качество распределения дождя для ДМ «КАСКАД» в секторе с пересеченным рельефом снижается, коэффициент эффективного полива получен несколько ниже – 0,74, против максимального значения, равного 0,8.

Структура дождя по интенсивности и крупности капель соответствует техническим условиям и агротребованиям. Заданная норма полива на участке орошения с предельными уклонами по длине машины, как и слой дождя за один проход – величина переменная. При равномерном уклоне она на 10-15% выше, что необходимо учитывать комплексом мероприятий: при задании переменного режима работы машины в автоматическом режиме, либо минимизировать установкой регуляторов давления. Результаты исследований согласуются с данными [261].

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

Проведенные теоретические исследования производительности дождеваль-ных машин кругового действия показали, что при расчете следует принимать не паспортную, а фактическую скорость движения машины, зависящую в частности

от пробуксовывания машины, которое зависит от агрофона орошаемого поля, типа почвы, скорости передвижения машины, влажности почвогрунта.

Условия проведения экспериментов: чернозем и темно каштановый суглинок, объекты исследований ДМ «Кубань-ЛК1» модели 212 и «КАСКАД» модели 497-90 соответственно.

Во время исследований фиксировались фактическая скорость движения, норма полива за проход, влажность почвы по колее. Результаты исследований показаны в таблице 4.7.

Экспериментальные исследования подтвердили, что фактическая скорость движения ДМ «КАСКАД» и ДМ «Кубань-ЛК1» на 9,5-13,6% меньше заданной, причем с увеличением поливной нормы эта разница для обеих типов машин увеличивается. В свою очередь уменьшение скорости ведет к увеличению нормы полива на 7-10,5% от заданной.

Таблица 4.7 – Сравнительные характеристики ДМ «Кубань-ЛК1» и «КАСКАД»

Норма полива, м <sup>3</sup> /га			Скорость движения, м/мин			Влажность почвы в колее, % от НВ
m	m <sub>ф</sub>	$\frac{(m_{\phi} - m)100\%}{m_{\phi}}$	V	V <sub>ф</sub>	$\frac{(V_{\phi} - V)100\%}{V_{\phi}}$	
ДМ «КАСКАД» модель 497-90						
300	323	7,1	0,220	0,20	-10,0	89,2
400	431	7,2	0,172	0,15	-12,7	95,6
500	548	8,7	0,138	0,12	-13,0	102,1
ДМ «Кубань-ЛК1» модель 212						
300	331	9,3	0,252	0,23	-9,5	93,7
400	443	9,7	0,201	0,18	-10,4	97,7
500	559	10,5	0,125	0,11	-13,6	105,2

Поэтому при проведении пробных поливов на орошаемом объекте необходимо установить величину фактической скорости движения и внести соответ-

ствующие коррективы в эксплуатационный режим работы машины, определив необходимые норму полива, соотношение импульса и паузы для таймера для машин типа "Кубань". Это в конечном итоге приводит к недопущению переполивов, точному выполнению эксплуатационных режимов орошения, водосбережению в орошаемом земледелии.

В процессе конструирования и эксплуатации ДМ кругового действия необходимо учитывать ряд основных факторов: расход, площадь захвата дождем, скорость движения машины, слой дождя за один проход, интенсивность дождя, зависимость между скоростью впитывания воды в почву и интенсивностью дождя, т.е. характеристики почвы, средний диаметр капель.

Зависимость между допустимой интенсивностью дождя и временем полива представляет собой гиперболу [6, 62, 136, 162].

Условие почвощающего полива [37, 53-55, 107, 286]

$$h_{oc} < h_{доп} \quad (4.6)$$

$$\frac{\rho_{ср} b}{V_{ср}} < \rho_{доп} t_{доп} \quad (4.7)$$

$\rho_{доп}, t_{доп}$  – соответственно допустимая интенсивность и время.

$V_{ср}$  – средняя скорость движения опорной тележки, м/мин.

Поскольку ширина захвата при поливе для каждой модели машины при задаваемом давлении на входе и с установленными на нее дождевателями известна, можно уточнить соотношение скорости движения машины и допустимого времени полива, т.е. режим работы в зависимости от типа почвы и заложить в программу полива ограничивающие условия.

При помощи программы Excel были получены графики установок таймера для моделей ДМ «КАСКАД» (рис. 4.37, табл. 4.8) [285].



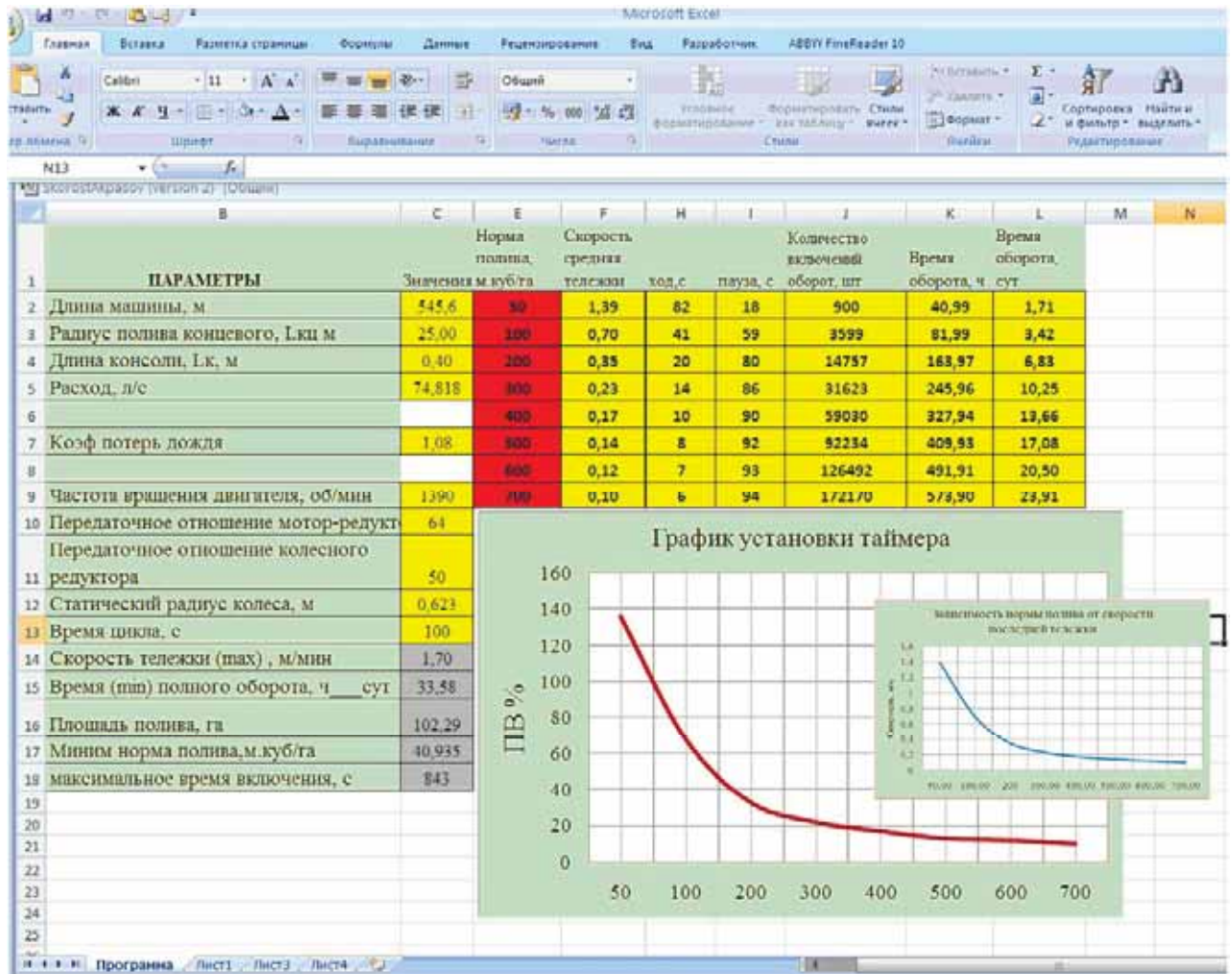


Рисунок 4.37 – Программа предварительного подбора режима работы машины

Таблица 4.8 – Рекомендации установки таймера

Норма полива, м <sup>3</sup> /га	Расход, л/с	Длина консоли Лк, м	Радиус полива концевой аппарата, Лкц, м	Скорость тележки, м/мин	ход, с	пауза, с	ПВ% ход, с	ПВ% пауза, с
12-146,2* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м.								
50	20	27,2	25,0	0,904	31,9	28,1	53	47
100				0,452	16	44	27	73
200				0,226	8	52	13	87
300				0,151	5,4	54,6	9	91
400				0,113	4	56	7	93
500				0,090	3,2	56,8	5	95
600				0,075	2,7	57,3	4	96
700				0,065	2,3	57,7	4	96
				0	60	0	100	

15-205,7* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50				1,051	37,1	22,9	62	38
100				0,526	18,6	41,4	31	69
200				0,263	9,3	50,7	15	85
300				0,175	6,2	53,8	10	90
400				0,131	4,7	55,3	8	92
500				0,105	3,8	56,2	6	94
600	28,2	27,2	25,0	0,088	3,1	56,9	5	95
700				0,075	2,7	57,3	4	96
					0	60	0	100
20-265,2* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50				1,142	40,3	19,7	67	33
100				0,571	20,2	39,8	34	66
200				0,285	10,1	49,9	17	83
300				0,190	6,8	53,2	11	89
400				0,143	5,1	54,9	8	92
500				0,114	4,1	55,9	7	93
600	36,3	27,2	25,0	0,095	3,4	56,6	6	94
700				0,082	2,9	57,1	5	95
					0	60	0	100
27-324,7* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50				1,204	42,5	17,5	71	29
100				0,602	21,3	38,7	35	65
200				0,301	10,7	49,3	18	82
300				0,201	7,1	52,9	12	88
400				0,150	5,4	54,6	9	91
500				0,120	4,3	55,7	7	93
600	44,5	27,2	25,0	0,100	3,6	56,4	6	94
700				0,086	3,1	56,9	5	95
					0	60	0	100
24-384* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50				1,248	44,1	15,9	73	27
100				0,624	22,1	37,9	37	63
200				0,312	11,1	48,9	18	82
300				0,208	7,4	52,6	12	88
400				0,156	5,6	54,4	9	91
500				0,125	4,5	55,5	7	93
600	52,6	27,20	25	0,104	3,7	56,3	6	94
700				0,089	3,2	56,8	5	95
					0	60	0	100

45-443,7* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50	60,84	27,20	25,0	1,282	45,3	14,7	75	25
100				0,641	22,7	37,3	38	62
200				0,320	11,4	48,6	19	81
300				0,214	7,6	52,4	13	87
400				0,160	5,7	54,3	9	91
500				0,128	4,6	55,4	8	92
600				0,107	3,8	56,2	6	94
700				0,092	3,3	56,7	5	95
					0	60	0	100
58-503,2* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50	69,0	27,20	25,0	1,308	46,2	13,8	77	23
100				0,654	23,1	36,9	38	62
200				0,327	11,6	48,4	19	81
300				0,218	7,7	52,3	13	87
400				0,164	5,8	54,2	10	90
500				0,131	4,7	55,3	8	92
600				0,109	3,9	56,1	6	94
700				0,093	3,3	56,7	5	95
					0	60	0	100
68-562,7* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50	77,1	27,2	25	1,329	47	13	78	22
100				0,665	23,5	36,5	39	61
200				0,332	11,8	48,2	20	80
300				0,222	7,9	52,1	13	87
400				0,166	5,9	54,1	10	90
500				0,133	4,7	55,3	8	92
600				0,111	4	56	7	93
700				0,095	3,4	56,6	6	94
					0	60	0	100
497-90* МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 59,5 м								
50	68,1	27,2	25	1,306	46,1	13,9	77	23
100				0,653	23,1	36,9	38	62
200				0,326	11,6	48,4	19	81
300				0,218	7,7	52,3	13	87
400				0,163	5,8	54,2	10	90
500				0,131	4,7	55,3	8	92
600				0,109	3,9	56,1	6	94
700				0,093	3,3	56,7	5	95
					0	60	0	100

Норма полива, м.куб/га	Расход, л/с	Радиус полива концевой аппарата, м	Скорость тележки, м/мин	ход, с	пауза, с	ПВ % ход, с	ПВ% пауза, с
Модель 130 МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	17,8	25	1,072	37,9	22,1	63	37
100			0,536	19	41	32	68
200			0,268	9,5	50,5	16	84
300			0,179	6,4	53,6	11	89
400			0,134	4,8	55,2	8	92
500			0,107	3,8	56,2	6	94
600			0,089	3,2	56,8	5	95
700			0,077	2,8	57,2	5	95
				0	60	0	100
Модель 195. МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	26,7	25	1,197	42,3	17,7	70	30
100			0,599	21,2	38,8	35	65
200			0,299	10,6	49,4	18	82
300			0,200	7,1	52,9	12	88
400			0,150	5,3	54,7	9	91
500			0,120	4,3	55,7	7	93
600			0,100	3,6	56,4	6	94
700			0,086	3,1	56,9	5	95
				0	60	0	100
Модель 260. МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	35,6	25	1,268	44,8	15,2	75	25
100			0,634	22,4	37,6	37	63
200			0,317	11,2	48,8	19	81
300			0,211	7,5	52,5	12	88
400			0,159	5,6	54,4	9	91
500			0,127	4,5	55,5	7	93
600			0,106	3,8	56,2	6	94
700			0,091	3,2	56,8	5	95
				0	60	0	100
Модель 326. МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	44,7	25	1,314	46,4	13,6	77	23
100			0,657	23,2	36,8	39	61
200			0,329	11,6	48,4	19	81
300			0,219	7,8	52,2	13	87
400			0,164	5,8	54,2	10	90
500			0,131	4,7	55,3	8	92
600			0,110	3,9	56,1	6	94
700			0,094	3,4	56,6	6	94
				0	60	0	100

Модель 391. МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	53,61	25	1,346	47,5	12,5	79	21
100			0,673	23,8	36,2	40	60
200			0,337	11,9	48,1	20	80
300			0,224	8	52	13	87
400			0,168	6	54	10	90
500			0,135	4,8	55,2	8	92
600			0,112	4	56	7	93
700			0,096	3,4	56,6	6	94
				0	60	0	100
Модель 456. МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	62,5	25	1,369	48,4	11,6	81	19
100			0,685	24,2	35,8	40	60
200			0,342	12,1	47,9	20	80
300			0,228	8,1	51,9	13	87
400			0,171	6,1	53,9	10	90
500			0,137	4,9	55,1	8	92
600			0,114	4,1	55,9	7	93
700			0,098	3,5	56,5	6	94
				0	60	0	100
Модель 521. МДЭК «КАСКАД». Длина пролета 65,2 м							
50	71,4	25	1,387	49	11	82	18
100			0,694	24,5	35,5	41	59
200			0,347	12,3	47,7	20	80
300			0,231	8,2	51,8	14	86
400			0,173	6,2	53,8	10	90
500			0,139	4,9	55,1	8	92
600			0,116	4,1	55,9	7	93
700			0,099	3,5	56,5	6	94
				0	60	0	100

Для коррекции режима при делении на участки с разными поливными нормами и суточным водопотреблением разработана программа на языке программирования BASIC, представленная в приложении 10.

#### 4.2.8 Система автоматики для новых образцов ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД»

Для обеспечения управления машинами была разработана собственная автоматическая система управлением со следующими опциями [4]:

*Автоматический останов при круговом режиме работы* (рис. 4.38) с задаваемым выключением машины в определённом желаемом положении (парковочное положение).













	Водонепроницаемый стальной шкаф (вид защиты IP-54) с запираемой дверцей с коррозионно-стойким покрытием		SA-0 Выключатель аварийного останова.		SA-4 Переключатель «КРУГ БЕЗОПАСНОСТИ ВКЛ - ВЫКЛ»
	SQ-2 Главный выключатель		SA-1 Переключатель «ВКЛ-ВЫКЛ РАБОТЫ МАШИНЫ».		SA-5 Переключатель «ГЛОВИВ - БЕЗ ПОЛИВА»
	Вольтметр P-1		SB-2 Кнопка с подсветкой «СТАРТ ВПЕРЕД».		S-6 Переключатель «ПРОМЕЖУТОЧНАЯ ОСТАНОВКА ВКЛ-ВЫКЛ»
	P-2 Счетчик рабочих часов		SB-3 Кнопка с подсветкой «СТАРТ НАЗАД».		K-4 Процентный таймер «СКОРОСТЬ»

Рисунок 4.38 – Стандартные компоненты щита управления

*Секторное управление с реверсивной автоматикой* – автоматический останов в конце сектора со сменой режима работы.

Машина автоматически отключается по достижению границы сектора, возможен полив сектора неограниченное число раз без перерыва, отключение после выполнения желаемого количества циклов полива.

*Концевой останов* – реверсивная автоматика.

*Отключение при низком давлении.*

Давление на входе в машину контролируется с помощью реле давления на конце водопроводящей трубы. Если давление ниже заданного минимального значения, машина автоматически отключается.

Переключатель в положении «без полива» деактивирует реле давления.

Функция применима, чтобы направить машину на место стоянки в случае дождя и отсутствия необходимости в дальнейшем поливе.

*Автоматическое отключение насосного агрегата.* При остановке или неисправности машины происходит автоматическое отключение агрегата в том случае, если он соединен со шкафом управления.

*Автоматическое управление электрическим запорным клапаном.*

Электрический запорный клапан в запитывающей трубе на центральной опоре автоматически перекрывает подачу воды в режиме ручного управления и автоматически при сбое в работе машины.

*Контроль хода.*

Если машина оснащена опцией «контроль хода», то через определенное – заданное время при буксировке колес последней опоры машина автоматически отключается, чтобы предотвратить чрезмерный полив.

Время до отключения машины может быть задано с помощью реле времени.

*Переключатель выравнивания передвижной опоры.*

Этот переключатель смонтирован снаружи на нижней плите прибора синхронизации движения в линию.

С помощью этого переключателя можно сдвинуть ту или иную передвижную опору вперед или назад, при этом нет необходимости открывать прибор синхронизации движения в линию ПСЛ, это облегчает выравнивание машины при первом вводе в эксплуатацию, а также после перемещения передвижной установки на другую позицию.

### 4.2.9 Система GSM контроля оборудования

Для совершенствования системы управления ДМ «Кубань-ЛК1М» и ДМ «КАСКАД» была разработана система GSM контроля оборудования, предназначенная для дистанционного управления, отслеживания работы, оповещения по каналу сотовой связи о работе или отказе оборудования.

SMS оповещения могут быть продублированы голосовым сообщением. Сообщения рассылаются последовательно по предварительно записанному списку телефонов (рис.4.39).

Имеется один встроенный термодатчик и производится непрерывный замер температуры (датчик имеет точность  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ).

В состав системы входят: шкаф влагозащищенный, контроллер «КСИТАЛ GSM-12Т» с встроенным GSM-модулем, антенна стандарта GSM, адаптер питания, микрореле контроля 220 В.

Система рассчитана на круглосуточный режим работы при температуре от  $-35$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Мощность, потребляемая системой от сети переменного тока, не более 10 Вт.

Количество встроенных реле - 3:

Реле 1 – автостоп (отключение машины);

Реле 2 – старт вперед (движение машины вперед);

Реле 3 – дизель- генератор (подача напряжения на машину).

Количество зон контроля (входов) – 12:

1) движение вперед;

2) движение назад;

3) авария (излом секции);

4) включение/выключение машины;

5) движение последней тележки;

6) задвижка открыта;

7) задвижка закрыта;

8) охрана (на зимний период);

9-12) резерв.



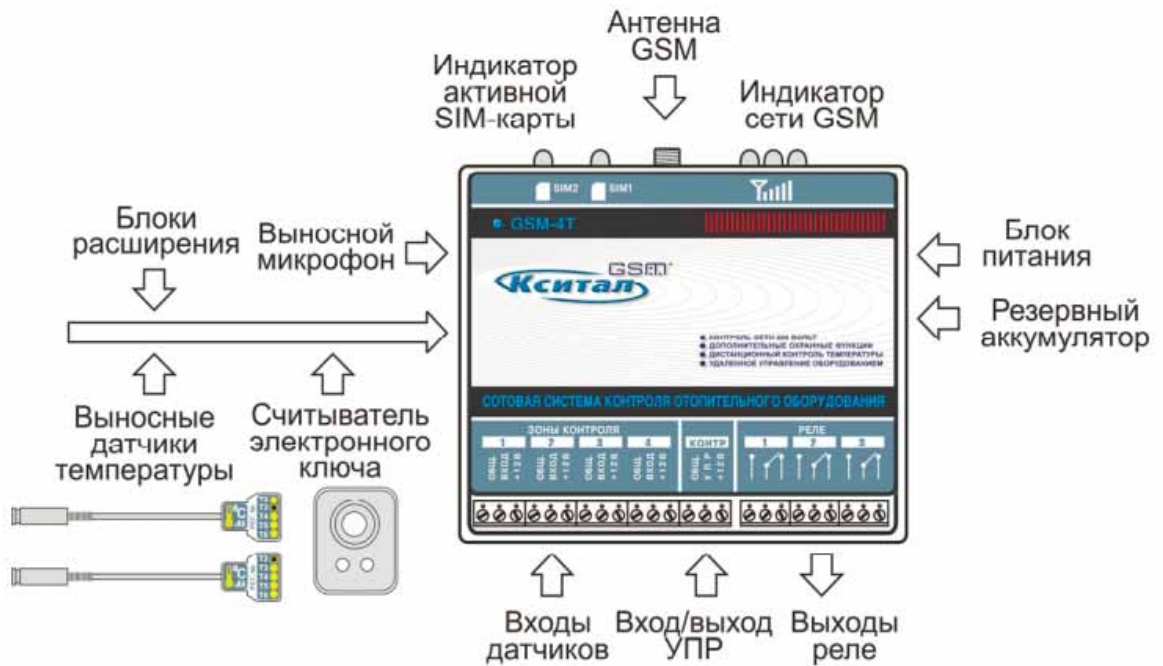


Рисунок 4.39 – Система GSM контроля оборудования

Максимальное количество телефонных номеров для рассылки SMS-сообщений – 10. Максимальное количество телефонных номеров для дозвона с голосовым сообщением – 10.

Данное решение было реализовано на дождевальных машинах «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД», установленных на орошаемых полях в ООО «Наше дело» (2016 г. – с. Красный яр, Энгельский район Саратовской области) и в Учебно-научно-производственном объединении «Поволжье» (2017 г. – с. Степное, Энгельский район Саратовской области).

### 4.3 Выводы по главе

1. В результате исследований разработанного номенклатурного ряда низконапорных дождевателей были определены оптимальные конструктивные параметры, расходно-напорные характеристики.

Установлено, что радиус захвата дождем зависит в основном от диаметра сопла, давления перед дождевателем, высоты установки над поверхностью поля, характеристик струй, сходящих с дефлектора, что во многом определяется конструкцией и статичностью дефлектора.

2. Для различных условий эксплуатации были даны рекомендации выбора конструктивного исполнения дождевателя, режима работы, схемы расстановки дождевателей на модернизированных и новых образцах ДМ.

3. Оборудование модернизированных и новых образцов ДМ разработанными дождевателями по предлагаемым схемам расстановки обеспечило более качественное распределение слоя осадков по длине машин. Коэффициент эффективного полива имел высокое значение, что обуславливается меньшими значениями переполива под первыми и последними пролетами. Средняя интенсивность дождя ДМ равна 0,5-0,55 мм/мин при диаметре его капель в пределах 0,7-1,0 мм, что обеспечивает возможность проведения ресурсосберегающих технологий полива без уплотнения почвы.

4. Проведенные исследования позволили установить оптимальные схемы расстановки дождевателей для модернизированных и новых образцов ДМ в соответствии с применяемыми ходовыми системами и параметрами водопроводящего трубопровода, несущей способностью почвы и нормы полива.

5. При исследовании работы ДМ на пересеченном рельефе были исследованы и даны рекомендации по обеспечению конструктивно-высотных параметров, соотношений длин пролетов и ходовых систем, а также условий, требующих применения регуляторов давления.

6. Экспериментальные исследования по определению производительности ДМ подтвердили, что фактическая скорость движения ДМ меньше заданной, причем с увеличением поливной нормы эта разница увеличивается, что ведет к

переполивам, и требует внесения соответствующих корректив в эксплуатационный режим работы машины.

Для предварительного подбора режима работы машины в Excel была разработана прикладная программа для получения графиков установки таймера для моделей ДМ «КАСКАД».

Для коррекции режима при делении на участки с разными поливными нормами и суточным водопотреблением разработана программа на языке программирования BASIC.

7. Для обеспечения управления машинами ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД» была разработана и внедрена собственная автоматическая система управлением, обеспечивающая качественную работу машины со значительным количеством дополнительных опций.

8. Для совершенствования системы управления ДМ «Кубань-ЛК1М» и ДМ «КАСКАД» была разработана система GSM контроля оборудования, предназначенная для дистанционного управления, отслеживания работы, оповещения по каналу сотовой связи о работе или отказе оборудования.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ

### 5.1 Техничко-эксплуатационные показатели ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД»

Уровень механизации полива дождевальными машинами во многом зависит от надежности их конструкции, рациональной организации работы, автоматизации системы управления, обеспечивающих высокий коэффициент использования рабочего времени машины.

Определение технико-эксплуатационных и энергетических показателей дождевальных машин проводилось как при натурных исследованиях, так и при помощи обработки данных хронометражных наблюдений.

Удельные затраты времени на плановое технологическое обслуживание можно определить как [244]:

$$P_{\text{ТО}} = \frac{T_{\text{ТО}}}{T_{\text{Н}}}, \quad (5.1)$$

$T_{\text{ТО}}$  – затраты времени на плановое техническое обслуживание, ч;

$T_{\text{Н}}$  – наработка, ч.

Для ДМ «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» и ДМ «КАСКАД» установлены следующие виды ТО, таблица 5.1 [210, 211, 212].

Удельные затраты времени на проведение регулировок [244]

$$P_{\text{РЕГ}} = \frac{T_{\text{РЕГ}}}{T_{\text{Р}'}} , \quad (5.2)$$

$T_{\text{РЕГ}}$  – общее время регулировок, ч;

$T_{\text{Р}'}$  – время основной работы, в течении которого определено  $T_{\text{РЕГ}}$ , ч.

Наладки и регулировки совмещаются со временем проведения ТО.

Удельные затраты времени на устранение технологических отказов оборудования и агрегатов машины [244]

$$P_{\text{ОТК}} = \frac{T_{\text{ОТК}}}{T_{\text{Н}}}, \quad (5.3)$$

$T_{\text{отк}}$  – общее время на устранение технологических отказов за период испытаний, ч;

$T_{\text{н}}$  – наработка на отказ, ч.

Таблица 5.1 – Виды технического обслуживания

Виды технического обслуживания	Наработка машины	Примечание
Техническое обслуживание по окончании эксплуатационной обкатки	$200 \pm 20$ моточасов	Только в первый год эксплуатации машины
Ежесменное техническое обслуживание (ЕТО)	$20 \pm 24$ моточасов	Производится визуально без остановки машины
Первое техническое обслуживание (ТО-1)	$200 \pm 20$ моточасов	Производится на остановленной машине
Второе техническое обслуживание (ТО-2)	$500 \pm 50$ моточасов	Совмещается с очередной технологической остановкой машины
Текущий ремонт		Производится в период между поливными сезонами

По результатам проведенных опытов технологических отказов за время полива не наблюдалось за исключения засорения сопел дождевателей (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Перечень неисправностей, отказов и характеристика ремонтно-восстановительных работ при проведении испытаний

№	Наименование отказа	Характер работ	Наработка, ч
1	Забивание дождевателей пролетов 1-4	Прочистка	290
2	Забивание дождевателей пролетов 1-2	Прочистка	670

Коэффициент надежности технологического процесса вычисляют по формуле

$$K_{\text{нт}} = (1 - P_{\text{отк}})^{-1}. \quad (5.4)$$

Оценка надежности проведена по СТО АИСТ 2.8-2010

Удельные затраты времени на устранение технологических неисправностей определяются как [229]:

$$P_{\text{ТИ}} = \frac{1 - K_{\Gamma}}{K_{\Gamma}}, \quad (5.5)$$

где  $K_{\Gamma}$  – коэффициент готовности [257].

Удельные затраты времени на ежесменное техническое обслуживание (ЕТО) энергосредства:

$$P_{\text{ЭНЕР}} = \frac{T_{\text{ЭНЕРГ}}}{T_{\text{Э}}}, \quad (5.6)$$

$T_{\text{ЭНЕРГ}}$  – затраты времени на ЕТО энергосредства, ч;

$T_{\text{Э}}$  – периодичность ежесменного технического обслуживания энергосредства, ч (принимается равным 10 ч согласно ГОСТ20793-81).

Удельные затраты сменного времени [229]:

$$P_{\text{СМ}} = P_{\text{ОСН.В}} + P_{\text{ТО}} + P_{\text{РЕГ}} + P_{\text{ОТК}} + P_{\text{ТИ}} + P_{\text{ЭНЕР}}, \quad (5.7)$$

$P_{\text{ОСН.В}}$  – удельные затраты основного времени.

Коэффициент использования сменного времени  $K_{\text{СМ}}$  вычисляют по формуле [229]

$$K_{\text{СМ}} = 1/P_{\text{СМ}}, \quad (5.8)$$

а производительность за 1 час сменного времени  $\Pi_{\text{СМ}}$  в гектарах за 1 час – по формуле

$$\Pi_{\text{СМ}} = \Pi_{\text{М}} K_{\text{СМ}}, \quad (5.9)$$

Удельные затраты эксплуатационного времени  $P_{\text{ЭК}}$  определяют как:

$$P_{\text{ЭК}} = P_{\text{СМ}} K_{\text{НТ}}, \quad (5.10)$$

Коэффициент использования эксплуатационного времени  $K_{\text{ЭК}}$  определяют как:

$$K_{\text{ЭК}} = 1/P_{\text{ЭК}}, \quad (5.11)$$

а производительность за 1 час эксплуатационного времени в гектарах за 1 час:

$$\Pi_{\text{ЭК}} = K_{\text{ЭК}} \Pi_{\text{М}}. \quad (5.12)$$

Баланс времени работы машины за нормативную продолжительность смены представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Баланс времени работы машины за нормативную продолжительность смены

Наименование элементов времени	Значение элементов времени	
	ч	%
Время основной работы	6,807	97,2
Время на ежесменное техническое обслуживание	0,189	2,7
Время на подготовку и окончание работ	0,004	0,1
Итого – сменное время	7,0	100,0
Время на периодическое техническое обслуживание	0,359	5,1
Время на устранение технических отказов и повреждений	-	-
Итого-эксплуатационное время	7,359	-

Результаты расчетов эксплуатационно-технических показателей представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Эксплуатационно-технологические показатели

Показатель	Значение показателя по	
	ТУ	Данным испытаний
1	2	3
Дата и место проведения оценки	–	05.-10.07.16 Саратовская область, Энгельсский район, ООО «Наше дело»
Состав агрегата	ДМ «Кубань-ЛК1М»+оросительная сеть	
Режим работы:		
–расход воды, л/с	До 90	72,5
Давление в начале водопроводящего трубопровода, МПа	0,43	0,43
Давление в конце водопроводящего трубопровода, МПа	–	0,29
Норма полива, м <sup>3</sup> /га	95-600	580
Производительность за 1с, га/ч:		
–основного времени	не более 3,5	0,45
–сменного времени	–	0,44
–эксплуатационного времени	то же	0,42
Удельный расход топлива за время сменной работы, кг/га	–	0,89

1	2	3
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:		
–технологического обслуживания	0,98	1,0
–надежности технологического процесса	0,97	1,0
–использования сменного времени	-	0,97
–использования эксплуатационного времени	0,90	0,93
Количество обслуживающего персонала, чел	1	1
Показатели качества выполнения технологического процесса:		
скорость движения машины, м/час	До 110	10
Коэффициент эффективного полива, не менее	0,7	0,86
Средний слой осадков за проход, мм	6-70	57,5
Площадь орошения с одной позиции, га		60,7
Рабочая длина захвата, м		440
Средний диаметр капель, мм, не более	1,5	0,8
Повреждения растений, %	1,0	Не наблюдалось

Эксплуатационно-технологическая оценка проведена по ГОСТР 52778-2007.

На снижение коэффициента использования эксплуатационного времени до 0,93 (по ТУ – не менее 0,9) и эксплуатационной производительности до 0,42 га/ч повлияли затраты времени на проведение планового ТО дождевальной машины и подготовку ее к работе во время проведения экспериментов.

При использовании системы GSM контроля и управления с пульта сокращаются потери времени на открытие-закрытие гидравлической задвижки, запуска машины, уменьшаются затраты времени на контроль и отслеживание работы и отказов машины.

## 5.2 Анализ энергетической оценки ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД»

Энергетическая оценка ДМ проводилась при тех же условиях, что и агротехническая. Поливные нормы равнялись 157,0 и 580,0 м<sup>3</sup>/га. Скорость движения по-



следней тележки составила 37,0 м/ч и 10,0 м/ч. Привод осуществлялся от дизель-генератора мощностью 10,0 кВт (рис.5.1). Давление на входе в машину составило 0,43 МПа. При расходе воды от 70,7-70,9 л/с, потребляемая мощность на входе в установку равна 30,4 и 30,5 кВт, соответственно. Удельная потребляемая мощность составила 18,3 и 67,8 кВтч/га.

Мощность, потребляемая от дизель-электрического генератора составила 6,3 кВт в момент начала движения. Удельное потребление электроэнергии составило 1,85 кВтч/га или 0,003 кВтч/м<sup>3</sup>, при поливной норме 580 м<sup>3</sup>/га.



Рисунок 5.1 – Дизельный генераторный агрегат AD10-T400

Дизельный генератор подключается напрямую к главному пульту управления. Энергетические показатели представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Энергетические показатели машины

Показатель	Значение показателя по		
	ТУ	Лабораторно-полевым	
		Фон 1	Фон 2
1	2	3	4
Дата и место проведения оценки		05.07.16	06.07.16
		Саратовская обл., Энгельсский район, ООО «Наше дело»	

1	2	3	4
Состав агрегата	«Кубань-ЛК1М» + оросительная сеть		
Режим работы:			
Давление, МПа:			
–на входе	0,43	0,43	0,43
–на выходе	Нет данных	0,29	0,29
Скорость движения, м/час	До 110	37,0	10,0
Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	95-600	157,0	580,0
Расходы воды машиной, л/с:			
–общий	72,5	72,5	
–по дождемерам	–	70,7	70,9
–производительность за время основной работы, га/ч	Не более 3,5	1,66	0,45
Энергетические показатели:			
–потребляемая мощность дизель-генератора, кВт	10	10	10
–потребляемая мощность на входе в установку, кВт	–	30,4	30,5
–потребляемая мощность в конце трубопровода, кВт	–	20,5	20,5
–удельные энергозатраты на входе в машину, кВтч/га	–	18,3	67,8

Затраты электроэнергии представлены в таблице 5.6.

Оценка электропривода приведена по ГОСТ 52777-2008.

Таблица 5.6 – Затраты электроэнергии

Показатель	ТУ	Двигатель привода каретки	Дизель-электрический агрегат АД 10-Т400	В целом по машине
1	2	3	4	5
Обозначение электродвигателя	-	М1-М9	Г1	
Вид работы	Дождевание	Дождевание/перегон*		
Режим работы	Повторно кратковременный	Повторно кратковременный /продолжительный		

1	2	3	4	5
Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	-	580		
Напряжение, В	380х3 50Гц	380х3 50Гц		
Потребляемая мощность, кВт	-	0,7х9*	6,3*	6,3*
Установленная мощность, кВт	То же	0,75х9	6,75	6,75
Удельное потребление электроэнергии, кВтч/га	-	-	-	1,85**
Удельное потребление электроэнергии, кВтч/м <sup>3</sup>	-	-	-	0,003

\*-при одновременной работе всех приводов (1,8м/мин на последней опорной тележке)

\*\*-электроэнергия потребляемая от генератора с учетом времени работы двигателя каждой опорной тележки

Характеристики пускозащитной аппаратуры представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Пускозащитная аппаратура

Наименование приводного механизма	Электродвигатель			Аппарат защиты Тип и марка
	Тип	P, кВт	I, А	
Двигатель привода опорной тележки	NA-0,15ALS (мотор редуктор)	0,75	0,75	Встроенная температурная защита (температура срабатывания $-20^{\circ} \geq t_a \geq +55^{\circ}$ )
Дизельный генераторный агрегат	AD 10-T400	10	18	Автоматический выключатель В32

### 5.3 Анализ показателей надежности ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Оценка надежности была проведена по СТО АИСТ 2.8-2010. Показатели надежности сведены в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Показатели надежности ДМ

Показатель	ТУ	Данные испытаний
1	2	3
Сроки и место проведения		01.07-21.09.16 г. Саратовская область, Энгельский район

1	2	3
Состав агрегата	Кубань-ЛК1М+оросительная сеть	
Режим работы:		
–расход воды, л/с	До 90	72,5
–давление в начале водопроводящего трубопровода, МПа	0,43	0,43
–давление в конце водопроводящего трубопровода, МПа	-	0,29
Норма полива, м <sup>3</sup> /га	95-600	580
Скорость движения, м/ч	До 110	10
Наработка, часы основной работы	-	600
Общее количество отказов		нет
Наработка на отказ общая, ч	Не менее 150	Более 600
Коэффициент готовности	Не менее 0,98	1,0
Оценка приспособленности машины к ТО		
Трудоемкость ежесменного ТО, чел.-ч	-	0,25
Оперативная трудоемкость ежесменного ТО, чел.-ч	-	0,23
Удельная суммарная трудоемкость ТО, чел.-ч/ч	-	0,084
Удельная суммарная оперативная трудоемкость ТО, чел.-ч/ч	-	0,076
Оценка приспособленности машины к Тр		
Удельная суммарная трудоемкость устранения отказов и повреждений, чел.-ч/ч	-	нет
Удельная суммарная оперативная трудоемкость устранения отказов повреждений, чел.-ч/ч	-	нет

#### 5.4 Экономическая оценка ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Экономическая оценка проводилась для ДМ «Кубань-ЛК1М» длиной 497 м с пролетами 48 м тип фермы 1 в соответствии с [166, 167, 172, 209, 255]. Результаты были сведены в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 – Экономическая оценка

Показатели	Вид техники
1	2
Состав агрегата	ДМ «Кубань-ЛК1М»

1	2
Себестоимость машины, руб/га	38494,6
Количество обслуживающего персонала, чел	1
Производительность, га/ч	
сменная	0,44
эксплуатационная	0,42
Расход топлива, кг/га	0,89
Структура совокупных затрат, руб/га	
В т. ч эксплуатационные затраты на:	
–зарплату	180,86
–топливо	30,26
–ремонт и техническое обслуживание	283,22
–амортизацию	1182,49
–прочие затраты (с учетом количества и качества продукции)	-
–затраты средств, учитывающие уровень условий труда	-
–затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду	1,32
Всего, руб/га	1678,15 руб

Доля амортизации в структуре совокупных затрат составляет 70,5%, доля ремонта и ТО –16,9% и доля заработной платы –10,8%. Экономическая оценка проведена по ГОСТ Р 53056-2008.

Сравним конструктивные особенности и себестоимость конструкции ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) с пролетами 48,7 м, и ДМ «КАСКАД» 59,5 м и 65,2 м подробнее, табл. 5.10:

1. «Кубань-ЛК1М. Ферменная конструкция 1, пролеты длиной 48,7 м. Дождеватели типа 1, исполнение 1, колесные системы с шинами 18-24. Длина трубопровода 487 м. Количество тележек 10. Консоль 13 м.

2. «Кубань-ЛК1М». Ферменная конструкция 2, пролеты длиной 59,5 м. Дождеватели типа 1, исполнение 1, колесные системы с шинами 18-24. Длина трубопровода 476 м. Количество тележек 8, консоль 24 м.

3. ДМ «КАСКАД». Ферменная конструкция 2. Пролеты 65,2 м. Дождеватели типа 1, исполнение 1, колесные системы с шинами 18-24. Длина 456,5 м и консолью 31 м.

При проектировании длина ДМ принимается кратной длине пролета, а при необходимости увеличения площади полива устанавливается консоль соответствующей длины.

Таблица 5.10 – Сравнительные характеристики

Параметр	Модель		
	«Кубань-ЛК1М»	«КАСКАД»	
1	2	3	4
Длина пролета, м	48,7	59,5	65,2
Площадь полива основным трубопроводом, га	74,4	71,1	65,4
Длина машины, м	487	476	456,4
Количество опорных тележек, шт	10	8	7
Длина консоли, м.	13 (Ø114 мм)	24, (12м-Ø114 мм, 12м-Ø89 мм)	31, (12м-Ø114 мм, 12 м-Ø108, 7м - Ø89мм)
Масса консоли, кг	110,5	174	245
Увеличение массы, кг		63,5	134,5
Длина машины с консолью, м	500	500	487,4
Общая площадь полива, га	78,5	78,5	74,5
Масса водопроводящего пояса с ферменной системой, кг (без консоли)	6675	6191	6001

1	2	3	4
Снижение массы водопроводящего пояса с ферменной системой, кг		484	674
Снижение массы водопроводящего пояса с ферменной системой, %		7,2	10,1

\*вместо консоли может быть установлен пролет.

Для визуализации представим схему с указанием основных функциональных единиц (рис. 5.2).

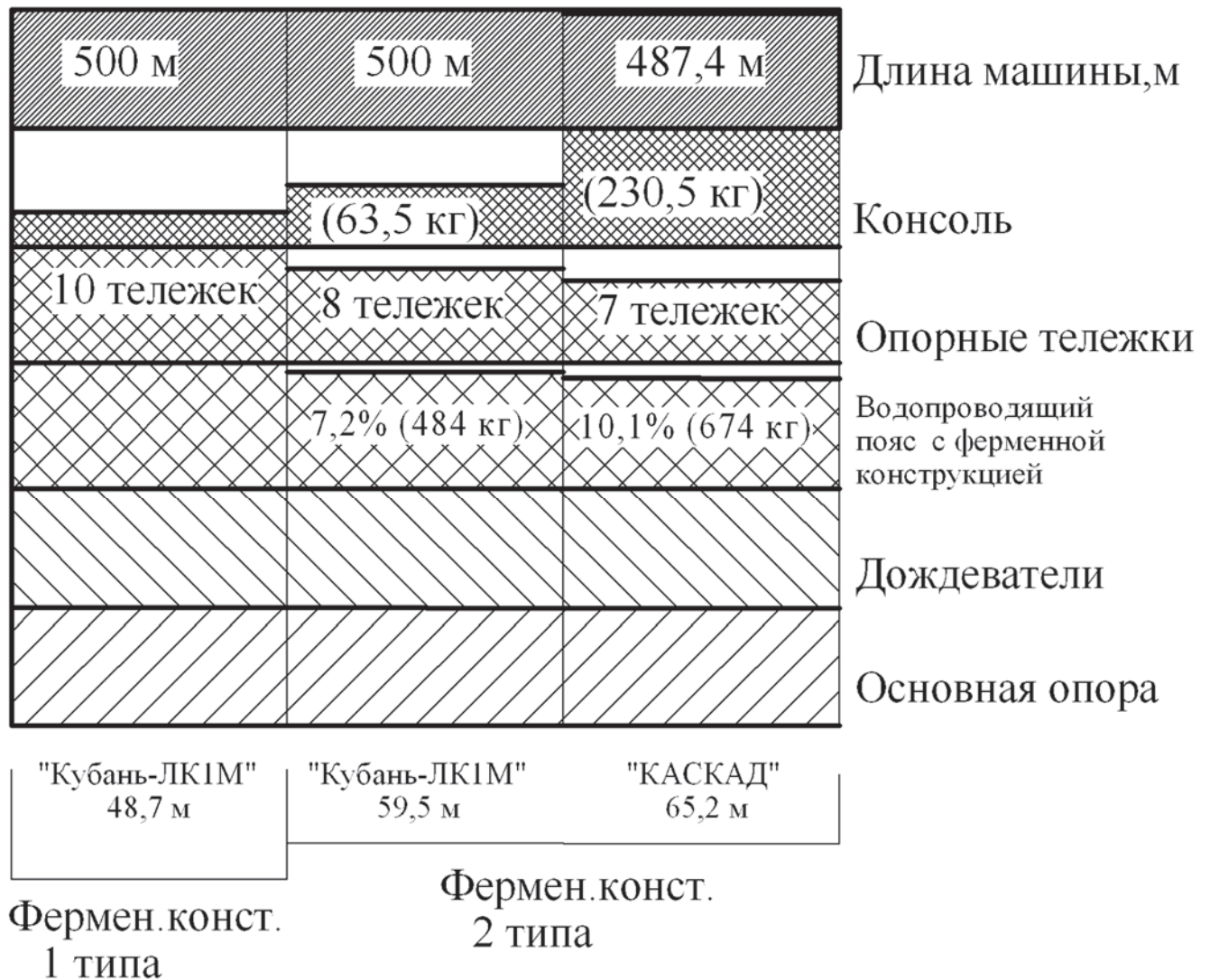


Рисунок 5.2 – Сравнительная схема моделей ДМ

За счет удлинения пролетов с 48,7 до 59,5 м и установки на оставшуюся длину до 500 м консоли 24 м снижается масса водопроводящего пояса с ферменной конструкцией на 484 кг.

А за счет удлинения пролетов до 65,2 м и установки на оставшуюся длину до 500 м консоли 43 м снижается масса водопроводящего пояса с ферменной конструкцией на 674 кг, а соответственно себестоимость машины.

Количество опорных тележек для «КАСКАД» с пролетами 59,5 м уменьшается с 10 до 8 штук, а при пролетах 65,2 м – до 7. Краткая оценка себестоимости представлен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Краткая оценка себестоимости моделей ДМ без консоли

Показатель	ДМ «Кубань-ЛК1М»	ДМ «КАСКАД»	ДМ «КАСКАД»
1	2	3	4
Длина, м (без консоли)	487	476	456,4
Площадь полива, га (без консоли)	74,4	71,1	65,4
Длина пролета, м	48,7	59,5	65,2
Ферменная конструкция	Тип 1	Тип 2	Тип 2
Неподвижная опора, руб	40000		
Опорные тележки, руб	120 000	96000	84000
Водопроводящий трубопровод с ферменной конструкцией, руб	764 000	710520	687 600
Колеса, кг	420 000	336 000	168000
Редуктора, колесные редуктора, карданы и др., руб	850 000	676000	574 000
Система автоматики, руб:			
Шкаф	150 000	150 000	150 000
ПСЛ	150 000	120 000	105000
Токосъемник	50 000	50 000	50 000
Кабель	200 000	200 000	200 000
Оцинковка, руб	45 000		



1	2	3	4
Дождеватели, руб	50 000		
Метиз, расх. матер.	25 000		
Итого, руб	2 864 000	2 528 520	2304600
Тогда на 1 га вложений, руб/га	38494,6	35562,8	35238,5

Объективной оценкой может служить показатель капитальных вложений на 1 га, руб/га, учитывающий поливаемую площадь. Из таблицы 5.11 видно, что третий вариант, т.е. ДМ с пролетами 65,2 м является оптимальным, требующим минимум затрат.

Некоторого снижения трудовых и финансовых затрат можно получить за счет установки дождевателей с вращающимся дефлектором и канавками через расстояние 4-4,5 м, однако в связи с их сравнительно невысокой стоимостью (300 -350 руб штука) приводить данные расчеты не целесообразно.

### 5.5 Экономическая эффективность внедрения низконапорных дождевателей на ДМ «Фрегат»

Использование низконапорных дождевателей, устанавливаемых через 5 и 6 м друг от друга на трубопроводе ДМ «Фрегат», позволяет повысить равномерность полива, снизить воздействие дождя на почву и ее уплотнение, благодаря меньшему диаметру капель, уменьшить потери воды на испарение и снос ветром, что обеспечит повышение урожайности кукурузы на 8 % (табл. 5.12).

Таблица 5.12– Экономическая оценка внедрения низконапорных дождевателей (без удобрений)

Показатели	Базовая ДМ «Фрегат»	Модернизированная ДМ «Фрегат»
1	2	3
Сельскохозяйственная культура	Кукуруза	
Коэффициент эффективности полива при скорости ветра 3 м/с	0,68-0,72	0,76-0,81

1	2	3
Потери воды на испарение и снос, %	8-11	2,5-5
Крупность капель дождя, мм	0,85-1,2	0,7-0,85
Средняя скорость падения, м/с	3,8-4,5	3,4-3,8
Мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup>	0,02-0,05	0,01-0,02
Средняя урожайность кукурузы на силос, т/га за 3 года	87,4	94,3
Прибавка урожая, т/га		6,9
Годовой экономический эффект, руб/маш		448920

Средний урожай кукурузы на участках полива ДМ «Фрегат», оборудованных низконапорными дождевателями выше в среднем на 6,9 т/га, чем на участках полива серийными дождевальными аппаратами, что достигнуто за счет более равномерной подачи оросительной воды; уменьшения среднего диаметра капель дождя и его мощности; уменьшения плотности верхнего слоя почвы.

Дополнительный валовой сбор ее на площади полива 72,3 га ДМ «Фрегат» составил 498,8 т. Экономический эффект составил:

$$Э_p = 498,8 \cdot 980 \text{ руб} = 448920 \text{ руб на машину.}$$

При стоимости одного комплекта низконапорных дождевателей для 16-опорной ДМ «Фрегат» соответственно 43,6 тыс. руб. оборудование окупается в первый год эксплуатации.

## 5.6 Внедрение результатов и научных разработок и исследований

В 2016 г при участии автора был начат промышленный выпуск дождевальной машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (рис.5.3) [95].

Машина комплектуется системой дистанционного управления, в том числе с помощью сотового телефона, куда поступают данные о работе машины, текущем состоянии узлов и агрегатов, а также дополнительным программным обеспечением для управления через спутниковые системы слежения GPS/ГЛОНАСС.



Рисунок 5.3 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД). Ферменная система 1.  
Пролет 48,7м

Данная система апробирована и использована на машинах, внедренных в ООО «Наше дело», что повысило эффективность работы и обеспечило комфортабельность, упростило использование (эксплуатацию) машины.

В 2016 г. машина прошла испытания в ФГБУ «Поволжская МИС» по методике СТО АИСТ 11.1-2010. «Самарским центром испытаний и сертификации», г. Самара 19.07.2016 г был выдан Сертификат соответствия таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» .

В 2017 году в производство была запущена серия ДМ «КАСКАД» (рис. 5.4) с широким модельным рядом, номенклатурой узлов и дополнительных опций.

Документы о внедрении представлены в приложении 11.



Рисунок 5.4 – ДМ «КАСКАД». Ферменная система 2.

Пролет 59,5м.



Рисунок 5.5 – ДМ «КАСКАД». Ферменная система 2. Пролет 65,25м.



Рисунок 5.6 – ДМ «КАСКАД». Консоль 24м.

## 5.7 Выводы по главе

1. Результаты проведенных исследований новых образцов ДМ показывают высокие значения эксплуатационно-технологических показателей. Коэффициент технологического обслуживания 1,0; коэффициент надежности технологического процесса 1,0; коэффициент использования сменного времени – 0,97; коэффициент использования эксплуатационного времени – 0,93.

2. Производительность за 1 час основного времени при расходе воды 72,5 л/с и поливной норме 580 м<sup>3</sup>/га получена равной 0,45 га/ч. Удельный расход топлива за время сменной работы получен равным 0,89 кг/га.

3. Энергетическая оценка показала следующее: привод ДМ «КАСКАД» и ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) длиной 497 и 441 м осуществлялся от дизель-генератора мощностью 10,0кВт. Давление на входе в машину составило 0,41-0,43 МПа. При расходе воды от 68-70,9 л/с, потребляемая мощность насосной установкой равна 29 и 30,5 кВт, соответственно.

Мощность, потребляемая от дизель-электрического генератора «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) составляла 6,3 кВт в момент начала движения. Удельное потребление электроэнергии составило 1,85 кВтч/га или 0,003 кВтч/м<sup>3</sup>, при поливной норме 580 м<sup>3</sup>/га.

4. Анализ показателей надежности ДМ «Кубань-ЛК1М»: отказы при наработке 600 ч основной работы отсутствуют, общая наработка на отказ – более 600 ч. Коэффициент готовности 1,0.

5. Экономическая оценка проводилась для ДМ «Кубань-ЛК1М» длиной 487 м с пролетами 48 м тип фермы 1, ДМ «КАСКАД» длиной 476 м с пролетами 59,5 м и типом фермы 2 и «КАСКАД» длиной 456,4 м длиной пролетов 65,2 и типов фермы 2. Себестоимость ДМ «Кубань-ЛК1М» составляет 2 864 000руб. На 1 га вложений 38494,6 руб. Себестоимость ДМ «КАСКАД» с пролетами 59,5м составляет 2 528 520руб. На 1 га вложений 35562,8 руб. Себестоимость ДМ «КАСКАД» с пролетами 65,2 м составляет 2 304 600 руб. На 1 га вложений 35238,5 руб. ДМ с пролетами 65,2 м является оптимальным вариантом, требующим минимума затрат.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

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

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

2. Снижение материальных ресурсов при проектировании широкозахватных дождевальных машин основано на рациональном выборе длины пролетов и ферменной конструкции водопроводящего пояса. Для оценки и сравнения различных конструкций и модификаций между собой по материалоемкости были предложены: конструктивный коэффициент массы машины, коэффициент металлоемкости фермы и коэффициент массы угольников. Оптимизация ферменной конструкции позволяет при незначительном увеличении массы на 5,8-15,1% увеличить длину пролета на 22,1- 33,8%. Сравнение коэффициентов проводилось для ДМ «Кубань-ЛК1М» длиной 487 м с пролетами 48 м (тип фермы 1), ДМ «КАСКАД» длиной 476 м с пролетами 59,5 м (тип фермы 2) и «КАСКАД» длиной 456,4 м с пролетами 65,2 (тип фермы 2). Дождевальная машина с пролетами 65,2 м является оптимальным вариантом, требующим минимума затрат. При увеличении длины пролета с 47,7 до 65,25 м площадь уплотнения ходовыми системами уменьшается на 31,8%

3. Теоретические и экспериментальные исследования позволили определить конструктивно-технологические параметры дождевателей для различных условий эксплуатации и режимов работы, определить схемы их расстановки вдоль трубопровода для модернизированных и новых образцов дождевальных машин. Мак-



симальный радиус захвата дождем разработанных низконапорных дождевателей при напоре 0,3 МПа составляет 4,5-13 м. Средняя интенсивность дождя изменяется в границах от 0,08 до 1,2 мм/мин.

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

5. Оборудование модернизированных и новых образцов ДМ разработанными дождевателями по предлагаемым схемам расстановки обеспечило более качественное распределение слоя осадков по длине машин, что позволило уменьшить переполив под последними пролетами. Средняя интенсивность дождя на новых ДМ равна 0,55 мм/мин при диаметре его капель менее 1 мм. При значительных расходах для повышения равномерности полива рационально применение каскадных дождевателей, для орошения в зонах с повышенным ветровым режимом – дождевателей со стационарным или вращающимися дефлекторами, имеющими крупные и средние канавки, для щадящего воздействия на почву и растения – дождевателей с дефлекторами, имеющими мелкие канавки.

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

7. Экономическая оценка показала, что себестоимость ДМ «Кубань-ЛК1М» составляет 2 864 000 руб (38494,6 руб. на 1 га вложений). Себестоимость ДМ

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

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

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

2. Эксплуатирующим организациям для обеспечения экологически безопасного полива рекомендуется применять дождеобразующие устройства следующим образом: – при значительных расходах воды каскадные дождеватели;

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

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

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

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

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдразаков Ф.К. Повышение экологической эффективности орошения в Саратовском Заволжье на основе совершенствования дождевальной машины «Фрегат» / Ф.К. Абдразаков, В.В. Васильев. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2005. – 116 с.
2. Абдразаков Ф.К. Усовершенствованная дождевальная машина «Фрегат» производит экологически безопасное орошение сельскохозяйственных культур / Ф. К. Абдразаков, В. В. Васильев, М. А. Сехчин // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2003. – № 4. – С. 62-65.
3. Абдразаков Ф.К. Электротехнические устройства для автоматизации технологического процесса дождевальных машин: монография / Ф.К. Абдразаков, А.С. Дусаева. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. – 124с.
4. Абдразаков Ф.К. Технологические и технические средства полива дождеванием: Рекомендации / Ф.К. Абдразаков, А.И. Есин, Н.М. Кошкин, В.В. Слюсаренко. Саратов: Сарат. гос. агр. ун-т им. Н.И. Вавилова. 2001. – С.100.
5. Абдразаков Ф.К. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин / Ф.К. Абдразаков, Л.А. Журавлева, В.А. Соловьев //Аграрный научный журнал. – 2018. –№5.–С. 37-42.
6. Абрамов А. М. Методы определения эрозионно допустимых поливных норм при дождевании: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1987. – 18 с
7. Акпасов А.П. Детализация распада струи воды на дефлекторе дождевальной насадки / А.П. Акпасов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Матер. Межд. конф. – Тюмень, 2017. – С. 22-26.
8. Александров Ю.А. Улучшение конструкции сливной системы гидропривода тележек дождевальной машины «Фрегат» и повышение ее проходимости / Ю.А. Александров М.А. Сехчин // Передовой производственный и научно-технический опыт в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Сб. статей. – Саратов, 2002. – С. 38-45.
9. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль. – М.: Стройиздат, 1987. – 416 с.

10. Альтшуль А.Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах / А.Д. Альтшуль. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1985. – 256с.
11. Алферов Ю. В. Технология орошения дождеванием на уплотненных южных черноземах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1989. – 23 с.
12. Анализ рынка дождевальной и поливной техники в России в 2009-2014 гг. Прогноз на 2014-2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // [http://businessstat.ru/russia/engineering/farm\\_equipment/](http://businessstat.ru/russia/engineering/farm_equipment/)– (Дата обращения: 18.01.2018).
13. Андреева Е.В. Обоснование технических решений по снижению напора на входе ДМ «Фрегат» / Е.В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – М., 2008. – 1023 с.
14. Антипов А.О. Повышение проходимости дождевальной машины «Фрегат» / А.О. Антипов, А.И. Рязанцев, Н.Я. Кириленко // Сельский механизатор. – 2013. – №12.– С. 18-19.
15. Антипов А. О. Совершенствование технологического процесса и систем торможения дождевальной машины «Фрегат» на пневматических шинах для полива многолетних трав в условиях склоновых земель: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Мичуринск-Наукоград, 2015. – 21 с.
16. Антонюк А.В. / Основные технико-эксплуатационные показатели многоопорных дождевальных машин «ZIMMATIC» / А.В. Антонюк // Научный взгляд в будущее. – 2016.– №2. – С. 34-40.
17. Айдаров И. П. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / И. П. Айдаров, К. П. Арент, В. Н. Басе; под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.
18. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
19. Бобрышов А.В. / Вопросы применения отечественных широкозахватных дождевальных машин / А.В. Бобрышов, Б.П. Фокин // Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – №2. – С. 132-134.

20. Боровиков В. П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
21. Бородин В. А. Распыливание жидкостей / В.А. Бородин. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с.
22. Бредихин Н. П. Влияние ветра на работу дальнеструйных дождевателей и пути повышения качества полива: Автореф. дис. канд. техн. наук.– М., 1969. – 19 с.
23. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. 13-е изд. Исправленное / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544с.
24. Бубенчиков М. А. О снижении энергоемкости полива короткоструйными дефлекторными насадками / 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.
25. Буренин С.В. Совершенствование и разработка широкозахватных дождевальных машин и дождевальной техники / С.В. Буренин, Д.А. Колганов // Технологическая и природная безопасность: матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2017. – С.54-57.
26. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М., 1986. – 415с.
27. Варлев И. Оптимальная равномерность полива / И. Варлев // Гидравлика и мелиорация. – М., 1981. – № 6.– С. 77–81.
28. Васильев А. Г. Исследование стационарной дождевальной системы с дефлекторными насадками в теплицах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1978. – 21 с.
29. Васильев Б. А. И Исследование распределения капель в факеле распыленной жидкости / Б. А. Васильев, С. П. Ильин // Новое в технике и технологии полива: сб. науч. тр. ВНИИМиТП. – Коломна, 1974. – Т. 6. – С. 80–86.
30. Василенков В.Ф. Экологическая и экономическая оптимизация эксплуатационного режима орошения современными дождевальными машинами / В.Ф.

Василенков, С.В. Василенков, О.Н. Демина и [др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – №4.–С. 85-92.

31. Васильчиков В.В. Особенности выбора мотор-редукторов для дождевальных машин арочного типа / В.В. Васильчиков, А.А. Немова // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении. Материалы V Международной научно-практической конференции. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2017. – С. 46-50.

32. Ведомственная целевая программа: «Развитие мелиоративных систем общего и индивидуального пользования в Саратовской области на 2012–2014 годы» // Министерство сельского хозяйства саратовской области. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mcx.ru/documents/document/v7\\_show/22146.htm](http://mcx.ru/documents/document/v7_show/22146.htm). – (Дата обращения: 18.01.2018).

33. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 159с.

34. Винникова Н.В. Совершенствование и опыт эксплуатации многоопорных широкозахватных дождевальных машин, работающих в движении / Н.В. Винникова, А.А. Митрюхин, Л.А. Перевезенцев, Н.А. Беловол. – М.: ЦБНТИ, 1985. – 88 с.

35. Вуколов В. В. Разработка и выбор рабочих органов дождевальных машин для орошения при скорости ветра свыше 3 м/с: Автореф. дис. канд. техн. наук.– М., 1992. – 19 с.

36. Гаврилица О. А. Эрозионная деградация черноземов при поливе дождеванием и пути ее предупреждения: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Кишинев, 1991. – 48 с.

37. Гаврилица О. А. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / О.А. Гаврилица // Почвоведение. – 1993. – № 3.– С. 77–84.

38. Гилёв В.Ю. Физика почв. Учебно-методические указания по полевой практике. / В.Ю. Гилёв. – Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2012. – 37с.

39. Голы М. Оросительные мелиорации / М. Голы. – М.: Колос, 1988. – 189 с.

40. Гомберг С. В. Совершенствование технико-технологических показателей полива дождевальной машиной «Фрегат»: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2007. – 19 с.

41. Гомберг С.В. Интенсивность дождя дефлекторных насадок ДМ «Фрегат» / С.В. Гомберг В.В. Слюсаренко, Н.Ф. Рыжко // Актуальные проблемы АПК. Сб. научных работ. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2006. – С. 84-88.

42. Городничев В. И. Современные средства контроля для оценки качества работы поливной техники / В.И. Городничев // Проблема устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. Матер. юбилейной межд. науч.-практ. конф. – М., 2007. – С. 122–130.

43. Городничев В. И. Оценка крупности капель / В.И. Городничев // Основные направления технического прогресса механизации и техники полива: сб. науч. тр. – М.: ВНИИМиТП, 1983. – С. 102–110.

44. Городничев В.И. Автоматизация и управление на оросительных системах / В.И. Городничев // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: Матер. Межд. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Коломна: ФГНУ ВНИИ "Радуга", 2003. – С. 174-176.

45. Городничев В.И. Методика оценки и технические средства контроля показателей режима и качества полива при Госиспытаниях дождевальной техники / В.И. Городничев // Ресурсосберегающие экологически безопасные системы орошения и сельхозводоснабжения. – Коломна: ФГНУ ВНИИ "Радуга", 2002. – С.78-83.

46. Городничев В.И. Управление, контроль и оценка работы дождевальных машин фронтального действия: дис. ...д-ра. техн. наук. – Коломна, 2004. – 420с.

47. Городничев В.И. Методические рекомендации по оценке энергоэффективности мелиоративных объектов для 3-х природных условий, обеспечивающих экологически безопасное использование природно-ресурсного потенциала агроландшафтов / В.И. Городничев, С.С. Турапин, С.С. Савушкин, Д.Г. Ольгаренко и [др.] – Коломна, 2015. – 44с.

48. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартиформ, 2006. – 8с.

49. ГОСТ 24059–88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технической оценки транспортных средств на этапе испытаний. – М.: Стандартиформ, 1988. – 48с.

50. ГОСТ ИСО 11545-2004. Оборудование сельскохозяйственное оросительное, машины дождевальные кругового и поступательного действий с дождевальными аппаратами или распылителями. Определение равномерности орошения. – М.: Стандартиформ, 2004. – 10с.

51. ГОСТ ИСО 8224-1-2004. Машины дождевательные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. – М.: Стандартиформ, 2004. – 29с.

52. Гостищев Д.П. Проблемы орошаемого земледелия в АПК Саратовской области / Д.П. Гостищев, М.И. Пушко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 3. – С. 27-29.

53. Гостищев Д.П. Меры по борьбе с эрозией почв при поливе сельскохозяйственных культур дождеванием / Д.П. Гостищев, Е.Ю. Гильденберг // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. – М.: ВНИИ А имени Д.Н. Прянишникова, 2007.– №2.– С.136-142.

54. Григоров М.С. Оросительные мелиорации / М.С. Григоров, С.М. Григоров. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2011. – 350с.

55. Григорьев В. А. Прогноз и предупреждение эрозии почв при орошении / В. А. Григорьев, С. Ф. Краснов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 206 с.

56. Григорьев В.Я. Прогноз эрозии при поливе дождеванием и обоснование некоторых мер ее предупреждения / В.Я. Григорьев // Актуальные вопросы эрозиоведения. – М.: Колос, 1984. – С. 167-189.

57. Гринь Ю. Н. Вопросы применения низконапорных дождевательных машин «Фрегат» / Ю. Н. Гринь, И. А. Гамрецкий // Экономия энергозатрат и повышение



экологической безопасности поливов: сб. науч. тр. СтавНИИГиМ. – Ставрополь, 1994. – С. 10-14.

58. Губер К.В. Оценка качества полива дождевальной техники / К.В. Губер / Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. – М.: ФГБНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2014. – С. 28-34.

59. Губер К.В. Дождевальные машины и их применение / К.В. Губер. Россельхозиздат, 1975. – 70с.

60. Губер К.В. К расчету ферм для двухконсольных дождевальных машин / К.В. Губер // Тракторы и сельхозмашины. – 1973. – №10. – С. 26-29.

61. Губер К.В. Оросительные системы на основе минимизации материало- и энергоемкости / К.В. Губер // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – №4.

62. Губер К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: дис. д-ра техн. наук.– М., 2000. – 518с.

63. Губер К.В. Экспериментальные исследования работы ферм дождевальных машин при статической нагрузке / К.В. Губер // Современные проблемы мелиорации земель и пути их решения. Сб. науч. трудов. – М., 1973. – С. 100-106.

64. Гусейн-заде С.Х. Многоопорные дождевальные машины / С.Х. Гусейн-заде, Л.А. Перевезенцев, В.И. Коваленко, Л.Г. Луцкий. – М.: Колос, 1984. –191 с.

65. Гутер Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опытов / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. – М.: Физматгиз, 1970. – 432 с.

66. Данные организации Росстат. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mcx.ru/document\\_show/25438](http://mcx.ru/document_show/25438) –(Дата обращения: 13.02.2018).

67. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. Том.1,2 / Пер. с англ. Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980. – 510 с.

68. Дитякин Ю.Ф. Распыливание жидкостей / Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков и др. – М.: Машиностроение, 1977. – 208с.

69. Дождевальная машина «Фрегат»: руководство по эксплуатации ДМ-00.000 РЭ – СССР. – М.: изд. № ЛО-5884/3303. – 136 с.
70. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта/ Б.А. Доспехов. – М.: «УОУО Media», 2012. – 352 с.
71. Доспехов Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.И. Туликов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383с.
72. Дружинин В.С. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / В.С. Дружинин, А.В. Сикан. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2001. –169 с.
73. Есин А.И. Задачи технической механики жидкости в естественных координатах: монография / А.И. Есин. – Саратов: ФГОУ ВПО СГАУ, 2003.– 144 с.
74. Есин А.И. Численная гидравлика: монография / А.И. Есин.– Саратов: ФГБОУ ВПО СГАУ, 2013. –160 с.
75. Есин А.И. Исследование закона закрытия запорного органа гидроздвижки / А.И. Есин, Н.М. Кошкин //Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. Межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 1997. – С. 72-76.
76. Есин А.И. Исследования характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальной машины / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Научная жизнь.– 2018. – № 2.– С.16-25.
77. Есин А.И. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2017. – № 9. –С. 20-28.
78. Есин А.И. Обтекание конического дефлектора потоком вязкой несжимаемой жидкости / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, А.А. Акпасов, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. – № 4. – С.14-19.
79. Есин А.И. Рекомендации по выбору дождевателей «Каскад» для дождевальных машин / Мелиорация и водное хозяйства. – 2018. – №2. –С. 16-22.
80. Журавлева Л. А. Повышение эксплуатационных и технико-экономических показателей дождевальной машины «Волжанка» за счет использо-

вания стеклопластикового трубопровода: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2003. – 18с.

81. Журавлева Л.А. Совершенствование мелиоративного комплекса за счет использования полимерных материалов / Л.А. Журавлева // Передовой производственный и научно-технический опыт в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Сб. науч. работ. Вып. 3. – Саратов: СГАУ им. Вавилова Н.И., 2002. – С. 52-55.

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

83. Журавлева Л.А. Повышение эффективности дождевальной техники за счет изготовления трубопровода из композиционного материала / Л.А. Журавлева // Агрэкологические проблемы сельскохозяйственного производства. Сб. матер. Межд. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С.80-83.

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

85. Журавлева Л.А. Повышение эксплуатационных и технико-экономических показателей дождевальной машины «Волжанка» / Л.А. Журавлева, В.В. Слюсаренко, С.Г. Краев // Вестник машиностроения – 2005. – №5. – С. 78-81.

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

87. Журавлева Л.А. Влияние закономерностей впитывания воды в почву на тягово-сцепные свойства широкозахватных дождевальных машин фронтального действия / Л.А. Журавлева, С.Г. Краев, В.Г. Чернышев // Организация, техноло-

гия и механизация производства. Сб. посвящен.70-летию П.С. Батеенкова. – Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2006. – С. 104-107.

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

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

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

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

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

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

94. Журавлева Л.А. Равномерность распределения воды при орошении дождевальными насаждениями / Л.А. Журавлева // Проблемы и перспективы инноваци-

онного развития мирового сельского хозяйства. Сб. статей 6 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С. 100-102.

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

96. Зажигаев Л. С. Методика планирования и обработка физического эксперимента / Л.С. Зажигаев . – М.: Атомиздат, 1978. – 170 с.

97. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв / Ф.Р. Зайдельман // Учебник – 3-е издание испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 448 с.

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

99. Затинаяцкий С.В. Гидравлическая модель работы модифицированной ДМ "Фрегат" с возможностью движения без полива. / С.В. Затинаяцкий, Д.А. Колганов. – М.: Научное обозрение, 2017. – № 6. – С.20-27.

100. Захаров Р.Ю. Пути ресурсосбережения при орошении небольших площадей. /Р.Ю. Захаров, У.А. Губская // Вестник №1 Дніпропетровського державного аграрного університету, 2011. – С 125-128.

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

102. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

103. Информационное письмо департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.chamsaurapivot.chamsa-ur-389753.htm](http://www.chamsaurapivot.chamsa-ur-389753.htm) 2016. (дата обращения: 12.02.16).

104. Исаев А. П. Выбор рациональных конструкций струеобразующих элементов дальнеструйных дождевальных машин / А. П. Исаев, Н. А. Безроднов // Дождевальные машины и оборудование для орошения сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1977. – С. 102-115.

105. Исаев А.П. Гидравлика дождевальных машин / А.П. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 214 с.

106. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.

107. 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.

108. Использование полимерных труб для модернизации ДМ «Фрегат» и реконструкции оросительных систем [Электронный ресурс] / В. А. Шадских. – Саратов: ФГНУ «ВолжНИИГиМ». Режим доступа: [http://www.volgniigim.ru/index/mnogofunktionalnaja\\_dozhdevalnaja\\_mashina\\_quot\\_volga\\_sm\\_quot/0-176](http://www.volgniigim.ru/index/mnogofunktionalnaja_dozhdevalnaja_mashina_quot_volga_sm_quot/0-176). –(Дата обращения: 20.04.2018).

109. Карпова О.В. Усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания дождевальной машины «Фрегат»: дис. ...канд. техн. наук. – Саратов, 2017. – 197 с.

110. Каталог BAUER. Самая эффективная система под солнцем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.bauer-at.com](http://www.bauer-at.com). – (Дата обращения: 16.01.2018).

111. Каталог ирригационной продукции Zimmatic by Lindsay [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com). – (Дата обращения: 23.01.2018).

112. Каталог. I-Wob Senninger. Дождеватель для механизированного орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.senninger.com](http://www.senninger.com) – (Дата обращения: 26.01.2018).

113. Каталог Lindsay. Повышение урожайности пшеницы за счет применения эффективных решений в области орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com) – (Дата обращения: 23.01.2018).

114. Каталог. Отличительные особенности ирригационных машин Reinke [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.reinke.com](http://www.reinke.com) – (Дата обращения: 8.01.2018).

115. Каталог фирмы RKD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rkd.su> / 2016. – (Дата обращения: 12.01.2018).

116. Каталог T-L Irrigation Company [sales@tlirr.com](mailto:sales@tlirr.com) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.tlirr.com](http://www.tlirr.com) – (Дата обращения: 8.01.2018).

117. Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [www.valmont.com/irrigation](http://www.valmont.com/irrigation) – (Дата обращения: 16.01.2018).

118. Каталог широкозахватных дождевальных машин, ирригационного оборудования, систем капельного орошения и насосных станций Российского производства. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Департамент мелиорации. ФГБНУ ВНИИ «Радуга» – 2016.

119. Каталог продукции RAIN HUNTER. Системы автополива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rainhunter.ru> – (Дата обращения 30.01.2018).

120. Каталог продукции Rain Bird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [www.rainbird.com](http://www.rainbird.com). – (Дата обращения 30.01.2018).

121. Каталог продукции Rain Bird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [www.avtopoliv-rainbird.ru](http://www.avtopoliv-rainbird.ru) – (Дата обращения 30.01.2018).

122. Кеита Шейк Ахмед Тидиан. Обоснование широкозахватных дождевальных машин на пойменных землях: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1996. – 25 с.

123. Колганов Д.А. Дождевальная машина «Фрегат» с усовершенствованной системой водоподдачи для полива в низконапорном режиме: дис. ...канд. техн. наук. – Саратов, 2017. –168с.

124. Колганов А.В. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: монография / А.В. Колганов, Н.А. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин; под ред. Щедрина.– Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. –222с.
125. Коновалов В.И. К вопросу о применении устройств нормализации потока в трубопроводах дождевальных машин / В.И. Коновалов //Вестник Бурятской ГСА им. В.Р. Филиппова. 2017. – №2. – С. 76-83.
126. Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». –М., 2010. – 60 с.
127. Кошкин Н.М. Новые подходы в совершенствовании и разработке широкозахватных дождевальных машин и оросительных систем / Н.М. Кошкин, Д.А. Соловьев Д.А., Д.А. Колганов // Научная жизнь. – 2016. – № 6. – С. 17-27.
128. Кошкин Н.М. Полив ДМ «Фрегат» в зависимости от влажности почвы. / Н.М. Кошкин, С.В. Затинаяцкий, А.Н. Кошкин, А.А Клепиков // Научное обозрение. – 2011. – №5. –С. 320-326.
129. Краковец В. М. Справочник оператора «Фрегата» и «Волжанки» / В. М. Краковец, С. Н. Никулин. – М.: Колос, 1976. – 240 с.
130. Криулин К.Н. Орошение дождеванием: учебное пособие / К.Н. Криулин, М.Ю. Патрина, Ю.Б. Полетаев. –СПб.: гос Политехн. ун-т, 2003. – 53с.
131. Кузнецова Е.И. Орошаемое земледелие: учебное пособие / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю.Ф. Снопич. – М.: ФГБОУ ВПО РГАЗУ, 2012. –117 с.
132. Курганов А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения / А.М Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
133. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976. – 296с.
134. Ламскова М.И. Обоснование эффективности короткоструйной дефлекторной насадки для получения малоэнергоемкого искусственного дождя / М.И. Ламскова, М.И. Филимонов, А.Е. Новиков и др. // Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития. Матер. Межд. науч.-практ. интернет-конф., посвященной



50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. – Волгоград, 2016. – С. 174-176.

135. Ларионова А.М. Пути повышения качества полива дождевальными машинами / А.М. Ларионова, Г.А. Михалева, Е.В. Шевцов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сб. науч. трудов Межд. науч.-практ. конф.– 2016. –С.360-365.

136. Ларионова А. М. Впитывающая способность почв при поливе дождеванием: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 39 с.

137. Лебедев Б.М. Дождевальные машины / Б.М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1965. – 225с.

138. Левушкин И.А. Совершенствование технологических мероприятий и технических средств системы аварийной защиты дождевальной машины «Фрегат»: Автореф. дис. канд. тех. наук . – М., 2007. – 159 с.

139. Левушкин И.А. К вопросу эксплуатации дождевальной машины «Фрегат» в Саратовской области/ И.А. Левушкин, Н.М.Кошкин //Аграрный научный журнал. – 2007. – №2. – С. 24-26.

140. Листопад Г. Е. Определение дальности полета струи дождевального аппарата / Г. Е. Листопад, Н. А. Безроднов // Орошаемое земледелие Поволжья: сб. науч. тр. Вып. 1. – Волгоград, 1972. – С. 23-27.

141. Лобачев К.К. Дождевальные машины «Фрегат» / К.К. Лобачев, Н.А. Манидин. – М.: Колос, 1993. – 143 с.

142. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М: Дрофа, 2003. – 840с.

143. Ляшков М.А. Обоснование распределения дождевальных аппаратов с учетом характеристик дождя / М.А. Ляшков, Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – №1. – С.122-126.

144. Мазиров М.А. Полевые исследования свойств почв / М.А. Мазиров, Е.В. Шеин, А.А. Корчагин, Н.И. Шушкевич, А.В. Дембовецкий: учебное пособие;

Владим. Гос.ун-т имени А.Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 72с.

145. Макарова Н.В. Статистика в Excel: учебное пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 365с.

146. Маккавеев В.М. Гидравлика / В.М. Маккавеев, И.М. Коновалов. – М.-Л.: Речиздат, 1940. – 643с.

147. Материалы сайта компании Lindsay: url: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lindsayrussia.com> – (Дата обращения 20.01.2018).

148. Медведев А.В. Мелиоративная техника – основа устойчивого сельскохозяйственного производства / А.В. Медведев // Мелиорация в России : потенциал и стратегия развития. Матер. Межд. науч-практ. интернет-конф., посвященной 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. – Волгоград, 2016. – С. 305-313.

149. Меламед М.Д. О перспективах рынка зарубежных дождевальнх машин в России / М.Д. Меламед, Е.И. Кормыш, К.В. Губер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – С. 50-52

150. Мелихов В.В. Мелиорация – потенциал и стратегия развития АПК и сельских территорий России / Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития. Матер. Межд. науч.-практич. интернет-конферен., посвященной 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. – Волгоград, 2016.– С. 7-14.

151. Методика полевого опыта в условиях орошения (рекомендации). – Волгоград: ВНИИОЗ, 1983. –149 с.

152. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 88 с.

153. Мильченко Н.Ю. / Методика расчета режима распыления раствора сельскохозяйственного назначения с учетом метеоусловий / Н.Ю. Мильченко // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях. – Волгоград, 2016. – С. 284-289.

154. Мильченко Н. Ю. Обоснование параметров процесса смачивания сельскохозяйственных растений жидкими растворами и их распыления при механиз-

рованном внесении средств химизации: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Волгоград, 2003. – 23 с.

155. Михалев Н. В. Обоснование технологических и технических решений по распределению стоков дождевальными машинами кругового действия: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 155 с.

156. Нагорный В. А. Использование ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками / В. А. Нагорный, Н. Ф. Рыжко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. - № 1. – С. 85-90.

157. Нагорный В. А. Повышение эффективности полива ДМ «Фрегат» при использовании новых дождеобразующих устройств / В. А. Нагорный, Н. Ф. Рыжко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2009. – № 3. – С. 35–37.

158. Нагорный В. А. Дождевальная машина «Фрегат» фронтального передвижения / В. А. Нагорный, Н. Ф. Рыжко, В. Л. Угनावый, И. А. Шушпанов // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: матер. юбилейной Межд. науч.- практ. конф. – М., 2007. – Т. 1.– С. 292-293.

159. Нагорный В. А. Использование ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками / В. А. Нагорный, Н. Ф. Рыжко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009, – № 1. – С. 85-90.

160. Надежкина Г. П. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания дождевальной машины «Фрегат»: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2014. – 167 с.

161. Надежкина Г.П. / Равномерность полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания / Г.П. Надежкина, В.В. Слюсаренко. // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. Матер. III Межд. науч.-практич. конф. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016. – С.12-16.

162. Низар Х. З. Влияние дождевания и мелкодисперсного орошения на свойства почвы и на развитие кукурузы: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1993. – 22с.

163. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение. – 1991. – 288 с.
164. Носенко В. Ф. Требования и принципы создания поливной техники (оросительных систем) нового поколения / В. Ф. Носенко // Техника орошения и сельхозводоснабжение нового поколения: сб. науч. тр. – Коломна: ВНИИ «Радуга», 1998. – С. 3–13.
165. Ольгаренко Г.В. Сохранить парк дождевальных машин в Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко, С.М. Давшан, С.С. Савушкин // Ж. Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – №5. –С. 16-19.
166. Ольгаренко Г. В. Экономическая оценка широкозахватных дождевальных машин / Г. В. Ольгаренко // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. – М., 2007. – С. 384–395.
167. Ольгаренко Д. Г. Эколого-экономическая оценка эффективности техники полива в мелиоративных инвестиционных проектах: Автореф. дис. канд. техн. наук.– М., 2008. –52 с.
168. Ольгаренко Г. В. Отечественные дождевальные машины «Кубань» / Г.В. Ольгаренко, А.Н. Мурачев // Земледелие. – 2004. – №6. –С. 33.
169. Ольгаренко Г. В. Реализация программы импортозамещения в области производства техники полива в Российской Федерации / Г. В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – №1–С. 44–47.
170. Ольгаренко Г.В. Ресурсосберегающие эффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения. Справочник. / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев, А.А. Алдошкин [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2015. – 264 с.
171. Ольгаренко Г.В. Перспективы использования серийной и новой поливной техники в АПК России / Г.В. Ольгаренко, С.М. Давшан, С.С. Савушкин. – Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2008. – 100 с.
172. Отчет организации ООО «Наше дело» за 2016 год.

173. Пажи Д. Г. Распыливатели жидкости / Д. Г. Пажи, В. С. Галустов. – М.: Химия, 1979. – 216 с.

174. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.

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

176. Патент РФ № 2317153. Кузнецов Р.Е., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 2006109774. Зарег. 20. 02. 2008. Публ. 20.02.2008. Бюл.№5.

177. Патент РФ № 2321250. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Краев С.Г., Айбушев Н.Р. Дождевальная насадка // Патент России № 2006100522. Зарег. 10. 04. 2008. Публ. 10.04.2008. Бюл.№10.

178. Патент РФ № 2315470. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 200610287/12. Зарег. 27. 01. 2008. Публ. 27.01.2008. Бюл.№3.

179. Патент РФ № 2316947. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 2006107072С2. Зарег. 20. 02. 2008. Публ. 20.02.2008. Бюл.№5.

180. Патент РФ №2316946. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Краев С.Г. Дождевальная насадка // Патент России № 2006107017С2. Зарег. 20. 02. 2008. Публ. 20.02.2008. Бюл.№5.

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

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

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

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

185. ПД 100-00-000 СБ. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань – ЛК1М» (КАСКАД). Обоснование безопасности. – Саратов, 2016. – 30с

186. Петров Г.А. Гидравлика переменной массы: монография / Г.А. Петров.– Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1964. – 224 с.

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

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

189. Попов В. Г. Ирригационная эрозия и ее предупреждение при орошении дождеванием на темно-каштановых почвах Заволжья: Автореф. дис. ... канд. с/х. наук. – Саратов, 1990. – 17 с.

190. Попов В.Г. Ирригационная эрозия и борьба с ней в степи Поволжья: монография / В.Г. Попов.– Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2003. – 142 с.

191. Практикум по статистике: учебное пособие / А.П. Зинченко, А.Е. Шибалкин, О.Б. Тарасова, Е.В. Шайкина; под ред. А.П. Зинченко. – М.: Колос, 2001. – 392с.

192. Практикум по мелиоративным машинам: учебное пособие /Б.А. Васильев, В.В. Комиссаров, И.И. Мер и [др.]; под ред. И.И. Мера. – М.: Колос, 1984. – 192 с.

193. Проездов П.Н. Экологически безопасное орошение дождеванием / П.Н. Проездов, В.Н. Попов, Д.А. Маштаков // Теоретические закономерности и количественные оценки. / Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2002. – №2. – С. 77-80.

194. Проездов П.Н. Теория ирригационной эрозии при поливе дождеванием / П.Н. Проездов // Тезисы Российской науч. конф. к 100-летию И.А. Кузника. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 1998. – С. 140-144.

195. Проездов П.Н. Защита от ирригационной эрозии черноземных и каштановых почв Нижнего Поволжья / П.Н. Проездов, Д.А. Маштаков, О.А. Аверьянов // Тезисы межд. науч. конф. «Развитие научного наследия акад. Н.И. Вавилова». – Саратов: СГСХА, 1997. – С. 147-148.

196. Прокопец Р.В. Водосберегающие режимы орошения козлятника восточного на темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2003. – 21 с.

197. Протокол испытаний № 08-18П-2016 Приемочных испытаний дождевальной машины IRRIGREAT. – Кинель, 2016. – 45 с.

198. Протокол испытаний № 03-72-04 (1180012). Управление мелиорации и технического обеспечения ФГУ «Владимирская государственная зональная машиноиспытательная станция». – Коломна, 2004. – 6 с.

199. Протокол сертификационных испытаний дождевальной машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) №37-19-2016 от 3 августа 2016. – Кинель: Поволжский Агротех Тест Центр, 2016. – 32 с.

200. Протокол приемочных испытаний дождевальной машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) №08-11П-2016 от 11 ноября 2016. – Кинель: ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция», 2016. – 65 с.

201. Просветов Ю.С. Влияние характеристик дождя, создаваемого широкозахватными дождевальными машинами, на условия произрастания сельскохозяйственных культур: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1982. – 22 с.

202. Пустовойт Б.В. Механика движения жидкости в трубах / Б.В. Пустовойт. –Л. «Недра», 1980. – 160 с.

203. Рабочий план: Министерство сельского хозяйства РФ: ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз». – Саратов, 2016. – 58 с.
204. Рекомендации по научно обоснованным технологиям орошения сельскохозяйственных культур кукурузы на зерно, картофеля, лука и моркови современными стационарными широкозахватными круговыми и фронтальными дождевальными машинами Reinke и Valley в условиях центральной орошаемой зоны Ростовской области / под ред. Н.А. Иванова; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 30 с.
205. Роде А.А. Методы изучения водного режима почв / А.А. Роде. – М.: Изд-во АН СССР, 1970. – 244 с.
206. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Том 1 / А.А. Роде. – Л.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 365 с.
207. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Том 2. / А.А. Роде. Л.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 373 с.
208. Романов В.М. Перспективные способы и техника полива / В.М. Романов, Т.И. Иванцова, Т.Л. Волчкова. – М.: Колос, 1974. – 127 с.
209. Руководство по определению экономической эффективности новой поливной техники ВТР-0-81. – М., 1981. – 267 с.
210. Руководство по эксплуатации ЭК-100.000РЭ. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1». Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции ЭК-100.000РЭ. СКБ ДМ «Дождь» – М., 1991. – 99с.
211. Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1М» (КАС-КАД). – Саратов, 2016. – 121с.
212. Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 133с.



213 Руководство по эксплуатации ДМФ-К-00.00.000РЭ. Машина дождевальная ферменная кругового действия «Фрегат» с тросовой системой управления. – 2013. – 81с.

214. Рыжко Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания / Н.Ф. Рыжко // – Саратов: Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2014. – № 7. – С. 40–45.

215. Рыжко Н. Ф. Ресурсосберегающие технологии и технические средства полива многоопорными дождевальными машинами в условиях Саратовского Заволжья: дис. ... д-ра. техн. наук. – Саратов, 2010. – 366 с.

216. Рыжко Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. – 176 с.

217. Рыжко Н. Ф. Совершенствование поливной техники и повышение качества дождя на примере низконапорной ресурсосберегающей дождевальной машины «Фрегат»: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 166 с.

218. Рыжко Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: Саратовский источник, 2007. – 110 с.

219. 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.

220. Рязанцев А. И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях / А. И. Рязанцев. – Рязань, 1991. – 131 с.

221. Рязанцев А.И. Механико-технологическое обоснование, создание и внедрение многоопорных дождевальных машин с поливом в движении по кругу для сложных почвенно-рельефных условий: дис. ...д-ра техн. наук. – Рязань, 1994. – 253с.

222. Рязанцев А. И. Повышение тягово-сцепных свойств ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия «Фрегат» / А. И. Рязанцев [и др.] // Техника и технологии агропромышленного комплекса / Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. –2009.– №3. –С. 19-22.

223. Рязанцев А. И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий / А. И. Рязанцев, О. А. Гаврилица. – Кишинев, 1991. – 150 с.

224. Рязанцев А. И. Модернизация дождевого пояса дождевальной машины «Фрегат» / А. И. Рязанцев [и др.] // Проблемы и перспективы совершенствования технологии совершенствования и водоснабжения: сб. науч. тр. / ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2001. – С. 71-76.

225. Рязанцев А.И. Технологические особенности полива дождевальной машиной «Фрегат» культурных пастбищ / А.И. Рязанцев, Н.Я. Кириленко, А.В. Шереметьев [и др.] // Техника и технологии агропромышленного комплекса. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2012. – №5. –С.27-30.

226. Рязанцев А.И. Техничко-эксплуатационные особенности многоопорной электрифицированной дождевальной машины нового поколения «Кубань-ЛК1» / А.И. Рязанцев, А.О. Антипов / Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 2. – С. 83-87.

227. Сальников А.Л. Совершенствование конструкций дождевателей для мобильных дождевальных машин / А.Л. Сальников, В.Е. Руденко, А.Г. Беспалов, В.Г. Абрезин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2013. – №4.– С. 209-214.

228. Самойлов Н.Е. Дождевальная техника / Н.Е. Самойлов и [др.] – М.: Высшая школа, 2011. – 96 с.

229. Слабунов В.В. Технологические и конструктивные элементы дождевателя конструктивного дальнеструйного фронтального (ДКДФ-1- «РОСТОВЧАНКА»): дис. ...канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2004. – 164 с.

230. Слабунов В.В. Способы перемещения широкозахватной дождевальной машины кругового действия при поливе полей квадратной или прямоугольной

конфигурации / В.В. Слабунов, И.Н. Нестеров, С.Л. Жук // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред.

В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2006.– С. 57-64.

231. Слюсаренко В.В. Перспектива развития дождевальных машин / В.В. Слюсаренко, А.П. Акпасов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. Матер. II Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: «Издательство «КУБиК», 2015. – С.16-20.

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

233. Слюсаренко В.В. Стеклопластиковые трубопроводы для дождевальной машины ДКШ-64 «Волжанка» / В.В. Слюсаренко, А.В. Русинов, Л.А. Журавлева // Итоги научно-исследовательской и опытно конструкторской работы за 1999-2002 гг. Аннотир. сбор. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2003. – С. 67-68.

234. Слюсаренко В.В. Современные композиционные материалы в мелиорации / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Химическая промышленность. – 2003. - – №5. – С. 25-26.

235. Слюсаренко В.В. Трубопроводы из стеклопластика для дождевальных машин ДКШ-64 «Волжанка» / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – №3. – С. 38-39.

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

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

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

239. Слюсаренко В.В. Технологические особенности работы широкозахватных дождевальных машин и пути их совершенствования / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Вып. 3. Самарская ГСХА. – 2006. – С.173-176.

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

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

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

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

244. Снопич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. д-ра техн. наук. – Новочеркасск, 2011. – 340с.

245. Снопич Ю. Ф. Технологии и агротехнические требования к дождевальным машинам / Ю.Ф. Снопич // Политех. сетевой электр. науч. журнал «Кубанский ГАУ», 2011. –№68. –С. 100-109.

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

247. Соловьев Д.А. Совершенствование и разработка широкозахватных дождевальных машин и дождевальной техники / Д.А. Соловьев, Д.А. Колганов // Научная волна. Сб. межд. школы молодых ученых. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2017. – С. 85-89.

248. Соломон К. Х. Лазерно-оптическое измерение размеров капель при дождевании / К. Х. Соломон // Мелиорация и водное хозяйство. – 1992. – № 5, 6. – С. 45–48.

249. Сорокина О.В. Эксплуатация дождевальных машин «VALLEY» с использованием средств информационно-технологической поддержки / О.В. Сорокина // Наука и молодежь: инновации в современном агропромышленном комплексе. Сб. науч. тр. Вып.3 Новочерк. Инж.-мелиор. Ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск, 2016. – С. 67-71.

250. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / А.В. Красниченко [и др.]. Том 2. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – М., 1961. – 862 с.

251. Справочник по орошаемому земледелию. / Сост.: Н.А. Мосиенко. – Саратов: Приволжское кн. изд-во, 1993. – 432 с.

252. Стандарт организации испытаний сельскохозяйственной техники: Машины и установки дождевальные. СТО АИСТ 11.1 –2010. Дата введения – 2011–04–15.

253. СТО АИСТ 001–2010. Агротехническая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2013. – 60 с.

254. СТО АИСТ 11.1–2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

255. СТО АИСТ 003–2010. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2013. – 7 с.

256. Сухановский Ю.П. Модификация методики дождевания стоковых площадок для исследования эрозии почв. Всероссийский НИИ земледелия и почвоведения. ФГУ «Академический научно-издательский производственно полиграфический и книгораспределительный центр «Наука». – 2007. – №2. – С. 215-222.

257. Сухарев Д.В. Комплексный подход к оценке и повышению эксплуатационной надежности дождевальной машины «Фрегат» / Д.В. Сухарев, В.В. Журба, Е.А. Чайка. // Научный журнал. КубГАУ. – 2016. – №120. – С.1-15.

258. Сухарев Ю.Ф. Агротехнические показатели дождя дождевальной машины ДКФ1ПК-1 под воздействием ветра / Ю.Ф. Сухарев, Ю.С. Карасев, Ю.Ф. Синичич // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ». Вып. 35. / Под ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2006. – С.135-139.

259. Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань – ЛК1М» (КАСКАД). – Саратов, 2016. – 29 с.

260. Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 33с.

261. Турапин С.С. Технические средства модернизации дождеобразующего пояса электрифицированных дождевальных машин / С.С. Турапин, А.Н. Жирнов // Природообустройство. – 2011. – №1. – С. 29-33.

262 Федорец А.А. Теоретические основы и методика гидравлического расчета закрытой сети мелиоративных систем с переменным расходом жидкости: дис. ...докт. техн. наук. – Коломна, 1993. – 305 с.

263. Федорец А.А. Определение коэффициента гидравлического трения в трубопроводах при отсоединении расхода / А.А. Федорец, З.Р. Маланчук. // Гидравлика и гидротехника. – Л., 1980, вып. 31. – С. 58-62.

264. Федорец А.А. Влияние динамического напора на величину коэффициента сжатия, скорости и расхода / А.А. Федорец, З.Р., Маланчук // Новое в технике и технологии полива. Сб. науч. трудов ВНПО «Радуга». – М., 1980. – С.172-178.

265. Филимонов М.И. Дефлекторно-эжекторные дождевальные насадки для энерго- и ресурсосберегающего орошения / М.И. Филимонов, А.Е. Новиков, М.И. Ламскова // Альманах-2017. – Волгоград. – С.115-122.

266. Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин / Б.П. Фокин, А. К. Носов // Научное издание.–Ставрополь, 2011. –80 с.

267. Фокин Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: Автореф. дис. д-ра техн. наук.– Ставрополь, 2002. – 52 с.

268. Файзериев И.Ф. Дождевальная машина «Фрегат» ДМУ: рук. по эксплуатации. Книга №1/ И.Ф. Файзериев. – Казань: Дом печати, 2002. – 161с.

269. Файзериев И.Ф. Дождевальная машина «Фрегат» ДМУ: рук. по эксплуатации. Книга №2. Альбом рисунков ДМУ 00.000РЭ / И.Ф. Файзериев. –Казань: Дом печати, 2002. –146с.

270. Хабаров В. Е. Потери воды на испарение и снос ветром при дождевании / В. Е. Хабаров // Рациональное использование и охрана природных ресурсов: сб. науч. тр. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1980. – С. 28–36.

271. Черноволов В.А. Математическое моделирование процессов распределения жидкостей в агротехнологиях: монография / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко. –Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. –208с.

272. Черноволов В.А. Моделирование процесса дождевания машинами фронтального действия с секторными насадками / В.А. Черноволов, Л. В. Кравченко // Научный журнал КубГАУ. –2014. –№100 (06). –С. 1-11.

273. Черноволов В.А. Распределение воды по секторам дефлекторными насадками дождевальных машин / В.А. Черноволов, Л. В. Кравченко // Разработка технического оснащения производства продукции животноводства. – Зеленоград: ВНИПТИМЭСХ, 2003.

274. Чернышев В.В. Моделирование взаимодействия стопы шагающего движителя с водонасыщенными грунтами / В.В. Чернышев, В.В. Артыканцев // научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – №4. – С. 21-38.
275. Чураев А.А. Теоретический расчет дождеобразующих устройств для 3-опорной широкозахватной дождевальная машины / А.А. Чурляев, Ю.Ф. Снопич, Л.В. Юрченко, М.В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – №4. – С. 126-132.
276. Швобс Г. И. Формирование водной эрозии стока, наносов и их оценка / Г. И. Швобс. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – 184 с.
277. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2007. – 336 с.
278. Щедрин В.Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография в 2ч. / В.Н Щедрин, А.В Колганов. – Новочеркасск, 2013. – 283с.
279. Щедрин В.Н. Результаты расчета жесткого пролета водопроводящего пояса для дождевальной машины вантовой конструкции / В.Н. Щедрин, А.А.Чураев, Ю.Ф. Снопич, Л.В. Юрченко, В.М. Школьная // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016.– №4(24). – С.22-39.
280. Шепелев А.Е. Дождеобразующие устройства зарубежной широкозахватной многоопорной дождевальной техники / А.Е. Шепелев, В.Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Новочеркасск, 2015. – №3. – С.191-195.
281. Штеренлихт Д.В. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. – М.: КолосС, 2004. – 656с.
282. Штепа Б.Г. Механизация полива: справочник / Б.Г. Штепа, В.Ф. Носенко, Н.В. Винникова и [др.] – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
283. Эрозионные процессы. / авт.-сост. Н.И. Маккавеева. – М.: Мысль, 1984. – 253 с.



284. Эрозия почвы. / авт.-сост. М. Дж. Киркби, Р.П. Моргана. – М.: Колос, 1984. – 415 с.
285. Яковлев В.Б. Статистика. Расчеты в Microsoft Excel / В.Б. Яковлев. – М.: Колос, 2005. – 352 с.
286. Bagley Jay M. Evaluation of Sprinkler Irrigation Systems in Northern Utah / Jay M. Bagley // Utah State University. DigitalCommons@USU. Utah Water Research Laboratory. – P.30.
287. Bradley A. King. Optimal Performance from Center Pivot / A. King Bradley and C. Dennis // Copyright © 1997 University of Idaho College of Agriculture . Cooperative Extension System | Agricultural Experiment Station. – 1997. – P. 20.
288. Bresler El. Analysis of Trickle Irrigation with Application to Design Problems / El. Bresler // Irrigation Science. Vol. 1. – № 1. – 1978. – P. 3-17.
289. Catalog–Komet–Pivot–5–Features. Komet Austria GmbH. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [www.kometirrigation.com](http://www.kometirrigation.com)– (Дата обращения: 19.03.2018).
290. Catalog–Irrifrance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.irrifrance.com](http://www.irrifrance.com)– (Дата обращения: 20.03.2018).
291. Catalog – DMFE «Fregat». Широкозахватные ферменные дождевальные машины с электрическим приводом ДМФЕ «Фрегат». [Электронный ресурс]. ОАО «Завод «Фрегат», Украина. – Первомайск. – Режим доступа: [www.ruskontrakt.ru](http://www.ruskontrakt.ru)– (Дата обращения: 13.12.2017).
292. Favre H. Contribution à l'étude des courants liquides / H. Favre. – Zürich. – 1933.
293. Freddie R. Lamm. Erraticity of Sprinkler irrigated Corn in 2011/ Lamm R. Freddie, Terry A. Howell, James P. Bordovsky // Proceedings of the 24<sup>th</sup> Annual Central Plains Conference, Colby, Kansas, February 21-22, 2012. – P 88-101.
294. Hazen A. & Williams G.S. Hydraulic Tables (3rd ed.). New York: John Wiley and Sons, 1920.
295. Hinds I. Side channel Spillways / I. Hinds // Proceedings of the on Society of Civ. Eng., 1926.

296. Irrigation Manual. Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation. Volume 3. Module 8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Sub-Regional Office for East and Southern Africa (SAFR). Harare, 2001. – P.80.

297. Jiao Jian. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems /Jian Jiao, Yadong Wang, Liliang Han and Derong Su // Research Center for Grassland Resources and Ecology, Beijing Forestry University. Published: 21 April, 2017– P. 1-17.

298. Journal of the Irrigation and Drainage Division. № 101, 4, 1975. – P. 265-278.

299. Kisambuli Eric Kilaka. The effects of windbreaks on the effectiveness of sprinkler irrigation systems / Eric Kisambuli Kilaka. // Waterways Centre for Freshwater Management University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2015. – P. 169.

300. Keller J. Trickle irrigation design / J. Keller, D. Karmeli // «Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation», Glendora, California, USA. – 1975.

301. Keller J. Trickle irrigation design parameters / J. Keller, D. Karmeli. – Trans. ASAE. St. Joseph. Mich. № 14, 4. – 1974. – P. 678-684.

302. Keller J. What about drip irrigation / J. Keller, R. Hanks // Idaho Farmer. Stockman. № 90, 6. – 1972. – P. 34-38.

303. Pivot PP2EG. Nelson. Решения для механизированного орошения. Опрыскивательное оснащение для дождевальных машин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [nelsonirrigation.com](http://nelsonirrigation.com)– (Дата обращения: 23.01.2018).

304. Rain Bird. Landscape Irrigation Design Manual. 2000 Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. All rights reserved. Rain Bird Corporation, Tucson, AZ 85706 USA. –126 p.

305. 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. № 104, 3. – 1978. – P. 293-306.

306. Sprinkle & Trickle Irrigation Lecture Notes. Bie 5110/6110. Fall Semester 2004. Biological and Irrigation Engineering Department Utah State University, Logan, Utah. – P. 280.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 315 470** <sup>(13)</sup> **C2**

(51) МПК  
*A01G 25/02* (2006.01)  
*B05B 1/18* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006102087/12, 25.01.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.01.2006

(43) Дата публикации заявки: 10.08.2007

(45) Опубликовано: 27.01.2008 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1132860 A1, 07.01.1985. SU 733565  
A1, 15.05.1980. RU 2174453 C1, 10.10.2001. RU  
2173584 C1, 20.09.2001. DE 3703552 A,  
01.10.1987.

Адрес для переписки:

410056, г.Саратов, ул. Советская, 60,  
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная  
группа

(72) Автор(ы):

Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Краев Сергей Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

RU 2 315 470 C 2

RU 2 315 470 C 2

## (54) ДОЖДЕВАЛЬНАЯ НАСАДКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике полива сельскохозяйственных культур. Технической задачей изобретения является повышение равномерности распределения дождя, а также сохранение постоянства расхода воды и независимость качественных показателей дождя при изменяющемся напоре и скорости ветра. Дождевальная насадка включает сопло, выходное отверстие которого закрыто пластиной, на которой установлены три конические чаши друг над другом, выполненные с разными углами наклона образующей конической поверхности. Над верхней конической чашей установлен напорокомпенсирующий механизм, выполненный в виде вертикальной оси, помещенной в отверстие неподвижного держателя, имеющего проточки и установленного на пустотелых трубчатых кронштейнах. Вертикальная ось имеет в нижней части резьбу, на которую навинчен конусный полый дефлектор, имеющий жесткое основание и

конические направляющие из пластичного материала. Соосно под держателем установлена гофрированная полая кольцевая камера, которая своим верхним основанием соединена с проточками держателя, а нижним основанием соединена с конусным полым дефлектором. На вертикальной оси установлен ветрокомпенсирующий механизм, выполненный в виде закрепленных перпендикулярно оси двух планок с плоскими лепестками-парусами. Причем вертикальная ось соединена с неподвижным держателем посредством плоской спиральной пружины. Изобретение позволяет независимо от величины напора и скорости ветра сохранять постоянный расход и равномерность распределения капель дождя, что повышает качество орошения, исключает необходимость увеличения времени полива из-за неравномерности орошения, снижает расход воды. 3 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 316 946** <sup>(13)</sup> **C2**

(51) МПК  
*A01G 25/02* (2006.01)  
*B05B 1/18* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006107017/12, 06.03.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.03.2006

(45) Опубликовано: 20.02.2008 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1132860 A1, 07.01.1985, SU 1484328  
A1, 07.06.1980, RU 2174453 C1, 10.10.2001, RU  
2173584 C1, 20.09.2001, DE 3703552 A,  
01.10.1987.

Адрес для переписки:

410056, г.Саратов, ул. Советская, 60,  
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная  
группа

(72) Автор(ы):

Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Краев Сергей Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

## (54) ДОЖДЕВАЛЬНАЯ НАСАДКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к дождевальным установкам или опрыскивателям, и может быть использовано для орошения сельскохозяйственных культур. Дождевальная насадка включает напорный трубопровод с соплом. К напорному трубопроводу при помощи пустотелых кронштейнов крепится герметичная камера, полость которой посредством пустотелых кронштейнов сообщена с напорным трубопроводом. Через центр герметичной камеры проходит вертикальная ось, которая шарнирно закреплена с возможностью вращения, между герметичной камерой и основанием, соединенным с нижней частью герметичной камеры посредством болтовых соединений. На верхнем свободном конце вертикальной оси жестко зафиксирован горизонтальный стержень, на одном конце которого установлен флюгер, а на другом конце горизонтального стержня шарнирно закреплена перекрывающая пластина, в нижней части которой

установлен плоский парус. В горизонтальном стержне выполнен канал, заканчивающийся минисоплом, расположенным в горизонтальной плоскости рядом с перекрывающей пластиной. Канал в горизонтальном стержне сообщен с полостью герметичной камеры посредством канала, выполненного в верхней части вертикальной оси. Дефлектор выполнен в виде конуса с углом при его вершине, равным 125°, и жестко закрепленного под наклоном на нижнем свободном конце вертикальной оси, причем основание конуса наклонено в противоположную от флюгера сторону таким образом, что ось симметрии конуса отклонена от вертикальной оси на угол не более 18°. Использование дождевальной насадки позволит предотвратить уменьшение дальности полета струи и площади орошения в направлении против ветра и обеспечит равномерное увлажнение орошаемого участка как при ветре, так и в безветренную погоду. 1 ил.

RU 2 3 1 6 9 4 6 C 2

RU 2 3 1 6 9 4 6 C 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 316 947** (13) **C2**

(51) МПК  
**A01G 25/02** (2006.01)  
**B05B 1/18** (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006107072/12, 06.03.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.03.2006

(45) Опубликовано: 20.02.2008 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1132860 A1, 07.01.1985. SU 1484328  
A1, 07.06.1980. RU 2174453 C1, 10.10.2001. RU  
2173584 C1, 20.09.2001. DE 3703552 A,  
01.10.1987.

Адрес для переписки:

410056, г.Саратов, ул. Советская, 60,  
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная  
группа

(72) Автор(ы):

Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Краев Сергей Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

## (54) ДОЖДЕВАЛЬНАЯ НАСАДКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к дождевальным установкам или опрыскивателям, и может быть использовано для орошения сельскохозяйственных культур. Дождевальная насадка включает напорный трубопровод с соплом. На верхнем выходном отверстии сопла неподвижно закреплена узким основанием воронка, выполненная из эластичного водонепроницаемого материала, при этом своим верхним расширяющимся основанием она закреплена на верхнем конце держателя. Держатель выполнен в виде чашеобразной втулки, имеющей в нижнем конце гайку. При этом над

воронкой установлена камера, жестко соединенная с держателем вертикально установленными стойками. Нижняя часть камеры представляет собой дефлектор, выполненный из эластичного водонепроницаемого материала. В центре камеры размещен вертикальный шток таким образом, чтобы его нижний конец упирался в вершину дефлектора, а верхний конец штока жестко закреплён на кронштейнах, представляющих собой полукольца и жестко закреплённых на напорном трубопроводе. Использование дождевальной насадки позволит регулировать радиус полива и площадь орошения, не усложняя конструкции. 2 ил.

RU 2 3 1 6 9 4 7 C 2

RU 2 3 1 6 9 4 7 C 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 317 153** <sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
**B05B 1/26** (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006109774/12, 27.03.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.03.2006

(45) Опубликовано: 20.02.2008 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1132860 A, 07.01.1985, SU 1386110  
A1, 07.04.1988, RU 2174876 C1, 20.10.2001, GB  
691063 A1, 06.05.1953, US 6454017 B1,  
24.09.2002.

Адрес для переписки:

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60,  
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная  
группа

(72) Автор(ы):

Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Краев Сергей Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

RU  
2  
3  
1  
7  
1  
5  
3  
C  
1

## (54) ДОЖДЕВАЛЬНАЯ НАСАДКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к дождевальным установкам или опрыскивателям, и может быть использовано для орошения сельскохозяйственных культур. Дождевальная насадка включает напорный трубопровод с соплом. К напорному трубопроводу при помощи кронштейнов крепится держатель, состоящий из двух половин, соединенных посредством болтовых соединений. В держателе закреплена с возможностью вращения вертикальная ось, проходящая через центр держателя. На верхнем свободном конце вертикальной оси жестко зафиксированы перпендикулярно к ней и крестообразно друг к другу две планки, на свободных концах которых закреплены чашеобразные паруса, которые позволяют вертикальной оси поворачиваться при воздействии на них ветра. К нижней части вертикальной оси, для поддержания дефлектора в вертикально-устойчивом положении, присоединены v-образные упругие элементы с роликками, опирающимися на внутренние стенки дефлектора и закрепленными на свободных концах v-образных упругих элементов. Дефлектор выполнен из упругого материала и имеет форму конуса, боковые стенки которого образованы из круга, разрезанного по радиусу до его центра и свернутого таким образом, чтобы в месте разреза боковые поверхности круга находили друг на друга.

Дефлектор закреплен на вертикальной оси посредством крепежного v-образного упругого элемента, который одним концом жестко соединен с кромкой, образованной в месте разреза круга и расположенной внутри конуса дефлектора, а другим концом жестко закреплен на вертикальной оси. Для исключения вращения дефлектора 9 относительно держателя кромка, образованная в месте разреза круга и находящаяся на внешней части конуса дефлектора, жестко соединена с фиксирующей пластиной, в которой выполнен паз, в котором размещен горизонтальный стержень, жестко закрепленный в нижней части держателя. Благодаря такому креплению кромка вместе с фиксирующей пластиной может перемещаться в вертикальной плоскости и не может поворачиваться относительно вертикальной оси. В нижней части фиксирующей пластины установлена пружина, посредством которой подпружинен относительно фиксирующей пластины ролик, опирающийся на внутреннюю поверхность конуса дефлектора и прижимающий к боковой стенке конуса дефлектора кромку, образованную в месте разреза круга и находящуюся на внешней части конуса дефлектора. Крепежный v-образный упругий элемент и v-образные упругие элементы, служащие для поддержания дефлектора в вертикально-устойчивом положении, имеют одинаковые упругие свойства. Использование предлагаемой дождевальной насадки позволит предотвратить

RU  
2  
3  
1  
7  
1  
5  
3  
C  
1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 321 250** (13) **C2**

(51) МПК  
*A01G 25/02* (2006.01)  
*B05B 1/18* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006100522/12, 10.01.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.01.2006

(43) Дата публикации заявки: 27.07.2007

(45) Опубликовано: 10.04.2008 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 733566 A1, 15.05.1980. SU 1484328  
A1, 06.07.1989. RU 2174453 C1, 10.10.2001. RU  
2173584 C1, 20.09.2001. DE 3703552 A,  
01.10.1987.

Адрес для переписки:  
410056, г. Саратов, ул. Советская, 60,  
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная  
группа

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Краев Сергей Григорьевич (RU),  
Айбушев Наиль Рафаэльевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

RU 2 3 2 1 2 5 0 C 2

## (54) ДОЖДЕВАЛЬНАЯ НАСАДКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике полива сельскохозяйственных культур. Насадка включает в себя корпус, в верхней части которого установлен сужающийся распылитель, имеющий внутренние продольные направляющие ребра, в средней части установлены друг под другом неподвижный и подвижный перфорированные диски, между которыми установлена пружина, а в нижней части корпус насадки выполнен с продольными ребрами. Верхнее выходное отверстие распылителя закрыто пластиной, на которой установлены три конические чаши, выполненные с углами наклона образующей конической поверхности соответственно 60°, 70°, 80° к продольной оси симметрии, имеющие

радиально расположенные ребра с обратных сторон чаш и перфорированные по всей поверхности отверстиями диаметром 3-5 мм. На верхнюю чашу опирается при помощи ножек конусный отрагатель с углом наклона образующей конической поверхности 50°, и имеющий на своей поверхности направляющие радиально расположенные ребра и перфорированный по всей поверхности отверстиями диаметром 3-5 мм. Изобретение позволяет независимо от величины напора и режимов работы сохранять постоянный расход и равномерность распределения капель дождя как по высоте, так и по окружности, что повышает качество орошения, исключает необходимость увеличения времени полива из-за неравномерности орошения, снижает расход воды. 3 ил.

RU 2 3 2 1 2 5 0 C 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 324 333** <sup>(13)</sup> **C2**(51) МПК  
**A01G 25/09** (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006119826/12, 06.06.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.06.2006

(43) Дата публикации заявки: 27.12.2007

(45) Опубликовано: 20.05.2008 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2246822 C1, 27.02.2005. RU 2237992  
C1, 20.10.2004. RU 2236118 C1, 20.09.2004. US  
6279838 B1, 28.08.2001.

Адрес для переписки:  
410056, г.Саратов, ул. Советская, 60,  
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная  
группа

(72) Автор(ы):

Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Чернышев Владимир Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

RU 2 3 2 4 3 3 3 C 2

## (54) КОЛЕСНЫЙ ДОЖДЕВАЛЬНЫЙ ТРУБОПРОВОД

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к орошаемому земледелию, и может быть использовано на дождевальных колесных трубопроводах фронтального перемещения при орошении сельскохозяйственных культур дождеванием. Колесный дождевальный трубопровод содержит установленные на трубопроводе в местах присоединения опорных колес удлиненные втулки, которые жестко соединены с трубопроводом и с опорными колесами. На каждой удлиненной втулке с возможностью вращения насажена поворотная втулка, на которой закреплены опорные лапы и противовес, служащий для ориентации опорных лап относительно поверхности земли. Один конец поворотной втулки выполнен зубчатым для зацепления с втулкой-ползуном, насаженной на удлиненную втулку с возможностью возвратно-поступательного движения по ней. Втулка-ползун при помощи пружины подпружинена относительно удлиненной втулки. Конец втулки-ползуна, обращенный в сторону поворотной втулки, выполнен в виде усеченного конуса, меньшее основание которого имеет зубья для сцепления с зубчатым концом поворотной втулки. Для привода опорных лап на удлиненной втулке симметрично закреплены два гидроцилиндра, штоки которых соединены с втулкой-ползуном. При этом

поворотная втулка снабжена двумя кронштейнами, на которых шарнирно закреплены горизонтальные оси, жестко соединенные с рычагами, имеющими шаровые опоры, контактирующие с внешними стенками конусной части втулки-ползуна. Горизонтальные оси жестко соединены с опорными лапами, которые в свою очередь соединены между собой посредством возвратной пружины, закрепленной на стойках, расположенных в верхней части опорных лап. Причем так как опорные лапы жестко связаны через горизонтальные оси с рычагами, то за счет возвратной пружины также обеспечивается прижатие шаровых опор, расположенных на концах рычагов, к внешним стенкам конусной части втулки-ползуна. Опорная лапа выполнена в виде рычага, в нижней части которого закреплен заостренный сердечник, снабженный опорным диском, который обеспечивает распределение нагрузки, действующей со стороны опорной лапы на грунт, и препятствует тем самым заглублению опорной лапы в почву. С горизонтальными осями шарнирно соединены стержни, на которых жестко закреплен противовес. Полости гидроцилиндров посредством гибких трубопроводов связаны с магистралью, соединенной со стояком дождевального аппарата. Использование изобретения позволит полностью предотвратить самопроизвольные перекачивания колесного дождевального трубопровода при

RU 2 3 2 4 3 3 3 C 2

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 173433

**Дождевальная насадка**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Авторы: *Соловьев Дмитрий Александрович (RU), Соловьев Владимир Александрович (RU), Кузнецов Роман Евгеньевич (RU), Журавлева Лариса Анатольевна (RU), Гомберг Сергей Владимирович (RU)*

Заявка № 2016146571

Приоритет полезной модели 28 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 28 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 28 ноября 2026 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Излиев*



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 173434

## Дождевальная насадка

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Авторы: *Соловьев Дмитрий Александрович (RU), Соловьев Владимир Александрович (RU), Кузнецов Роман Евгеньевич (RU), Журавлева Лариса Анатольевна (RU), Гомберг Сергей Владимирович (RU)*

Заявка № 2016146563

Приоритет полезной модели 28 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 28 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 28 ноября 2026 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2629233

**Электрифицированная многосекционная дождевальная  
машина кругового действия**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
"Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Авторы: *Соловьев Дмитрий Александрович (RU), Соловьев  
Владимир Александрович (RU), Кузнецов Роман Евгеньевич  
(RU), Журавлева Лариса Анатольевна (RU), Гомберг Сергей  
Владимирович (RU)*

Заявка № 2016146570

Приоритет изобретения 28 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 28 ноября 2036 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 646 909**<sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК  
*A01G 25/09* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*A01G 25/09* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016146573, 28.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.11.2016

Дата регистрации:  
12.03.2018

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 28.11.2016

(45) Опубликовано: 12.03.2018 Бюл. № 8

Адрес для переписки:  
410012, Саратовская обл., г. Саратов, 1, ФГБОУ  
ВО "Саратовский ГАУ", патентный отдел

(72) Автор(ы):  
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Соловьев Владимир Александрович (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Гомберг Сергей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Саратовский государственный  
аграрный университет имени Н.И. Вавилова"  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 157637 U1, 10.12.2015. SU  
1732869 A1, 15.05.1992. SU 1724108 A1,  
07.04.1992. CN 201766916 U, 23.03.2011.

(54) Электрифицированная дождевальная машина кругового действия

(57) Реферат:  
Изобретение относится к области сельского хозяйства и может быть использовано в ирригационной технике. Электрифицированная дождевальная машина кругового действия содержит центральную неподвижную опору с поворотным коленом, водопроводящий трубопровод с дождевальными насадками и самоходные тележки. Трубопровод состоит из последовательно шарнирно соединенных пролетов со шпренгельными фермами жесткости. Каждый пролет размещен на самоходной тележке. Тележки оборудованы пневматическими шинами и электроприводом. Между первым пролетом трубопровода и поворотным коленом установлен управляемый вентиль для подачи и перекрытия воды. В нижней части центральной неподвижной опоры по окружности смонтирован монорельс.

На монорельс опирается рама круговой платформы. На круговой платформе размещены солнечные батареи. В центре платформы установлена вертикальная ось. Верхний конец оси с помощью растяжек соединен с периферийной областью круговой платформы. На вертикальной оси смонтирована вертикальная ветряная турбина с электрогенератором. В нижней части рамы круговой платформы выполнены отсеки для размещения аккумуляторных батарей. Аккумуляторные батареи заряжаются от солнечных батарей и генератора ветряной турбины. Обеспечивается возможность использования ветровой и солнечной энергии для привода самоходных тележек дождевальной машины. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 646 909 C 1

RU 2 646 909 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 643 841** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
[A01G 25/02 \(2006.01\)](#)  
[B05B 1/18 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 19.02.2018)

(21)(22) Заявка: [2016146548](#), 28.11.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.11.2016Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 28.11.2016(45) Опубликовано: [06.02.2018](#) Бюл. № 4(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 2010/0252654 A1, 07.10.2010, US  
5950927 A, 14.09.1999, RU 2315472 C1,  
27.01.2008, JP 2001045890 A, 20.02.2001.Адрес для переписки:  
410012, обл. Саратовская, г. Саратов, 1,  
ФГБОУ ВО "Саратовский ГАУ",  
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Соловьев Владимир Александрович (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Гомберг Сергей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Саратовский  
государственный аграрный университет  
имени Н.И. Вавилова" (RU)(54) **Дождеватель**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области ирригационной техники и может использоваться при орошении сельскохозяйственных культур. Дождеватель включает корпус. Нижний конец корпуса выполнен в виде охватывающей сопло полусферической поверхности. На полусферическую поверхность надет противовес. Противовес имеет расположенную снизу полость в виде усеченной полусферы и дефлектор. Дефлектор выполнен в форме обращенной в сторону сопла вогнутой чаши с возвышением в центре. Дефлектор имеет криволинейные канавки на рабочей поверхности и опирается на две противоположно расположенные ножки. Ножки закреплены на кольцевой пластине. Пластина внутренним краем установлена на полусферическую поверхность стенок корпуса. Обеспечивается возможность разбрызгивания воды под разными углами к горизонтальной плоскости. Упрощается конструкция, повышается

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 654 341** (13) **C1**(51) МПК  
*A01G 25/09* (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(52) СПК  
*A01G 25/09 (2006.01)*

(21)(22) Заявка: 2016146578, 28.11.2016

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
28.11.2016Дата регистрации:  
17.05.2018Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 28.11.2016

(45) Опубликовано: 17.05.2018 Бюл. № 14

Адрес для переписки:  
410012, Саратовская обл., г. Саратов, пл.  
Театральная 1, ФГБОУ ВО "Саратовский ГАУ",  
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),  
Соловьев Владимир Александрович (RU),  
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),  
Журавлева Лариса Анатольевна (RU),  
Гомберг Сергей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Саратовский государственный  
аграрный университет имени Н.И. Вавилова"  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2324333 C2, 20.05.2008. CN  
201766916 U, 23.03.2011. SU 1724108 A1,  
07.04.1992. US 4184639 A, 22.01.1980.

(54) Многосекционная дождевальная машина кругового действия

(57) Реферат:


Изобретение относится к области сельского хозяйства и может быть использовано для орошения культур дождеванием. Многосекционная дождевальная машина кругового действия содержит центральную неподвижную опору с поворотным коленом, последовательно соединенные секции трубопровода, размещенные на трубопроводе дождевальные насадки. Каждая секция трубопровода выполнена в виде трехмерной фермы. Конец секции трубопровода размещен на самоходной тележке. Тележка имеет привод от электродвигателя и блок управления. Второй конец секции связан с предыдущей секцией трубопровода посредством шарнирного соединения карданного типа. Полости соседних секций соединены с помощью закрепленных

хомутами резиновых муфт. Каждая резиновая муфта выполнена из армированной резины в форме гофры. По концам гофры имеют раструбы. Внутренняя часть одного из раструбов выполнена в виде цилиндрического экранярующего патрубка. Патрубок проходит через всю полость муфты. Свободный конец экранярующего патрубка размещен по направлению движения потока воды в полости следующей секции трубопровода с возможностью перемещения. Достигается равномерность полива периферийной области орошаемого участка. Обеспечивается возможность орошения участков с большими перепадами высот и уклонами местности. Снижается время и затраты на подготовку и ввод орошаемых участков в эксплуатацию. 2 з.п. ф-лы, 9 ил.

RU 2 654 341 C1

RU 2 654 341 C1



<b>ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ</b>	
<b>СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ</b>	
<b>Eurasian Conformity</b> <b>Еurasian Conformity</b>	№ ТС RU C-RU.AE56.B.00561 Серия RU № 0142042
<p><b>ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ</b> Орган по сертификации продукции и услуг Общества с ограниченной ответственностью "Самарский центр испытаний и сертификации". Место нахождения: улица Шверника, 15, город Самара, Самарская область, Российская Федерация, 443029. Фактический адрес: улица Шверника, 15, город Самара, Самарская область, Российская Федерация, 443029. Телефон +7 (846) 222-48-84, 222-48-85, факс +7 (846) 222-48-82, 222-48-83, адрес электронной почты samcis@samagmail.ru. Аттестат аккредитации № RA.RU.10AE56 выдан 05.08.2015 Федеральной службой по аккредитации.</p>	
<p><b>ЗАЯВИТЕЛЬ</b> Общество с ограниченной ответственностью "Мелиоративные машины". ОГРН: 1166451050600. Место нахождения: улица Вольская, дом 70, город Саратов, Саратовская область, Российская Федерация, 410012. Фактический адрес: улица Советская, дом 60, город Саратов, Саратовская область, Российская Федерация, 410056. Телефон +7(8452)75-92-01, факс +7(8452)75-92-01, адрес электронной почты meliomash@yandex.ru.</p>	
<p><b>ИЗГОТОВИТЕЛЬ</b> Общество с ограниченной ответственностью "Мелиоративные машины". Место нахождения: улица Вольская, дом 70, город Саратов, Саратовская область, Российская Федерация, 410012. Фактический адрес: улица Советская, дом 60, город Саратов, Саратовская область, Российская Федерация, 410056.</p>	
<p><b>ПРОДУКЦИЯ</b> Дождевальная машина электрифицированная круговая "КУБАНЬ-ЛК1М" (КАСКАД). Продукция изготовлена в соответствии с ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования", ТУ 4734-002-26833660-2016 "Дождевальная машина электрифицированная круговая "КУБАНЬ-ЛК1М" (КАСКАД). Технические условия". Серийный выпуск.</p>	
<p><b>КОД ТН ВЭД ТС</b> 8424 81 300 0</p>	
<p><b>СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ</b> ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования"</p>	
<p><b>СЕРТИФИКАТ ВЫДАН НА ОСНОВАНИИ</b> протокол испытаний № 37-19-2016 от 19.07.2016, выданный Испытательным центром Автономной некоммерческой организации "Поволжский агротех тест центр", регистрационный номер аттестата аккредитации РОСС RU.0001.21МС37 от 28.10.2011 по 28.10.2016; акт о результатах анализа состояния производства № 24714 от 26.07.2016; обоснование безопасности ПБ 100-00-0000Б от 23.05.2016</p>	
<p><b>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> Код ОК 005 (ОКП) 47 3420. Гарантийный срок эксплуатации- 12 месяцев. Начало гарантийного срока исчисляется со дня ввода машины в эксплуатацию по акту, но не позднее 12 месяцев с момента получения машины потребителем. Место нанесения знака обращения на рынке: на изделии и на сопроводительной технической документации. Схема сертификации: 1с.</p>	
<p><b>СРОК ДЕЙСТВИЯ С</b> 26.07.2016 <b>ПО</b> 25.07.2021 <b>ВКЛЮЧИТЕЛЬНО</b></p>	
<p><b>М.П.</b></p> 	<p>Руководитель (уполномоченное лицо) органа по сертификации _____ (подпись) <b>С.С. Булгаков</b> (подпись, фамилия)</p> <p>Эксперт (эксперт-аудитор) _____ (подпись) <b>А.Ф. Старонкин</b> (подпись, фамилия)</p>
<p><small>Единый информационный центр (ИЦ) ЕАЭС: www.eurasiancert.ru (адрес электронной почты: ic@eurasiancert.ru)   Тел: (495) 728 4742, Москва, 2013</small></p>	

**ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ**

**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**

№ ТС RU C-RU.AE56.B.00705

Серия RU № 0148041

**ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ** продукция и услуг Общества с ограниченной ответственностью "Самарский центр испытаний и сертификации". Место нахождения: 443029, Российская Федерация, Самарская область, г. Самара, ул. Шверника, 15. Регистрационный номер аттестата аккредитации RA.RU.10AE56 от 05.08.2015. Телефон +7(846)222-4884, адрес электронной почты info@certific.info.

**ЗАЯВИТЕЛЬ** Общество с ограниченной ответственностью "Мелиоративные машины". Место нахождения (адрес юридического лица): 410012, Российская Федерация, Саратовская область, город Саратов, улица Вольская, дом 70. ОГРН: 1166451050600. Телефон +7(8452)75-92-01, адрес электронной почты meliomash@yandex.ru.

**ИЗГОТОВИТЕЛЬ** Общество с ограниченной ответственностью "Мелиоративные машины". Место нахождения (адрес юридического лица): 410012, Российская Федерация, Саратовская область, город Саратов, улица Вольская, дом 70. Адрес места осуществления деятельности по изготовлению продукции: 410056, Российская Федерация, Саратовская область, город Саратов, улица Советская, дом 60.

**ПРОДУКЦИЯ** Дождевальная машина электрифицированная круговая "КАСКАД". Продукция изготовлена в соответствии с "Дождевальная машина электрифицированная круговая "КАСКАД". Технические условия" ТУ 4734-002-26833660-2017. Серийный выпуск.


**КОД ТН ВЭД ТС** 8424 82 100 0

**СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ** ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования"

**СЕРТИФИКАТ ВЫДАН НА ОСНОВАНИИ** протокола испытаний № 37-19-2016 от 03.08.2016 Испытательного центра Автономной некоммерческой организации "Поволжский агротех тест центр", регистрационный номер аттестата аккредитации РОСС RU.0001.21MC37; акта о результатах анализа состояния производства № 25847 от 14.11.2017; обоснования безопасности ПБ 100-00-0000Б от 01.07.2017. Схема сертификации: 1с.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ** Станции, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента ТР ТС 010/2011 (Приложение, бланк № 0101125). Гарантийный срок эксплуатации 12 месяцев, но не позднее 12 месяцев с момента получения машины потребителем. Срок службы не менее 12 лет. Хранение в сухом затененном месте с уклоном (2-3°) для стока воды. Постановка машины на хранение и снятие ее с хранения должна оформляться актом. Место нанесения знака обращения на рынке: на изделии и на сопроводительной технической документации.

**СРОК ДЕЙСТВИЯ С** 28.11.2017 **ПО** 25.07.2021 **ВКЛЮЧИТЕЛЬНО**

**М.П.**  Руководитель (уполномоченное лицо) органа по сертификации (подпись) **Булгаков Сергей Станиславович** (инициалы, фамилия)

Эксперт (эксперт-аудитор) (эксперты (эксперты-аудиторы)) (подпись) **Старочкин Александр Фёдорович** (инициалы, фамилия)

www.cerintec.ru



## ФРАГМЕНТЫ ПРОГРАММЫ QH

```

10 COLOR 7, 1
CLS
PRINT "***** Расходы и напоры ДМ кругового действия *****"
PRINT
INPUT "Ввести физ. длину LM дождевальнoй машины в м, LM="; LM
PRINT
INPUT "Ввести поливную норму h в мм, h="; HH
PRINT
INPUT "Ввести продолжительность полива в сутках, T0="; T0
PRINT
INPUT "Ввести min время 1-го оборота ДМ в часах, Tmin="; TMIN
PRINT
INPUT "Ввести расстояние r между отводами в м, r="; R
PRINT
N = INT(LM / R)
LM1 = N * R
r0 = LM - LM1
PRINT "Радиус неполиваемой площади r0="; r0; "м"
PRINT
INPUT "Ввести радиус полива концевoго оросителя или ДДА (радиус
ДДА>20м!!!) в м, RDA="; RDA
PRINT
SOR = 3.14159 * ((LM + RDA) ^ 2 - r0 ^ 2)
SDA = 3.14159 * RDA * (RDA + 2 * LM)
PRINT "SDA="; SDA / 10000; "га"
PRINT
PRINT "Проектная поливаемая площадь SOR="; SOR / 10000; "га"
PRINT "===== "
PRINT
LPO = LM - r0
INPUT "Ввести длину пролета диаметром d1 в м, Lnp1="; LPR1
PRINT
INPUT "Ввести количество пролетов диаметром d1, N="; N219
PRINT
INPUT "Ввести длину пролета диаметром d2 в м, Lnp2="; LPR2
PRINT
INPUT "Ввести количество пролетов диаметром d2, N="; N159
PRINT
NOTP = 1 + INT((LPO - R / 2) / R)
NOTBOD1 = INT((N219 * LPR1 - r0) / R)
NOTBOD2 = INT(N159 * LPR2 / R)

```

```

NOTBOD3 = NOTP - NOTBOD1 - NOTBOD2
PRINT "Количество отводов на трубе диаметром d1, N1="; NOTBOD1
PRINT
PRINT "Количество отводов на трубе диаметром d2, N2="; NOTBOD2
PRINT
PRINT "Количество отводов на трубе диаметром d3, N3="; NOTBOD3
PRINT
N = NOTP
PRINT "Количество отводов на ДМ, N="; N
PRINT "=====
PRINT
SO = 3.14159 * ((r0 + N * R + RDA) ^ 2 - r0 ^ 2)
PRINT "Расчетная поливаемая площадь SO="; SO / 10000; "га"
PRINT "=====
PRINT
QDM = 25 * НН * SO / 9 / 24 / T0 / 10000
PRINT "Необходимый расход ДМ QDM="; QDM; "л/с"
PRINT "=====
PRINT
INPUT "Есть консоль (y/n)"; KONCS$
PRINT
IF KONCS$ = "n" THEN VPO = 2 * 3.14159 * LM / TMIN / 60 ELSE 16
PRINT "Мах скорость последней опоры V="; VPO; "м/мин"
PRINT "=====
PRINT
GOTO 22
16 VPO = 2 * 3.14159 * (LPR1 * N219 + LPR2 * N159) / TMIN / 60
PRINT "Мах скорость последней опоры V="; VPO; "м/мин"
PRINT "=====
PRINT
22 dr = T0 * 24 / TMIN
c = INT(dr)
DEL = ABS(dr - c)
IF DEL <= .5 THEN NOB = c ELSE NOB = c + 1
PRINT "Количество оборотов ДМ Nob="; NOB
PRINT "=====
PRINT
PRINT "Гидромодуль="; QDM * 10000 / SO
PRINT "=====
PRINT
QDA = НН * SDA / (24 * T0) / 3600
PRINT "Расход концевое дождевателя или ДДА QDA="; QDA; "л/с"
PRINT
s = QDA
INPUT "Нужен вывод Q(i) (y/n)"; b$

```

```

PRINT
FOR i = 1 TO N
SP(i) = 3.14159 * R * (2 * r0 + (2 * i - 1) * R)
Q(i) = HH * SP(i) / (24 * T0) / 3600
s = s + Q(i)
IF b$ = "n" THEN 100
PRINT "Расход"; " Q("; i; ")="; Q(i); "л/с"
INPUT a$
100 NEXT
PRINT "Фактический расход машины Q="; s; "л/с"
PRINT "*****"
PRINT
QTP(1) = s
PRINT "Расход", "QTP("; 1; ")="; QTP(1); "л/с"
PRINT
INPUT "Нужен вывод расходов на участках QTP(i) (y/n)"; D$
PRINT
FOR i = 2 TO N
QTP(i) = QTP(i - 1) - Q(i - 1)
IF D$ = "n" THEN 50
PRINT "Расход "; "QTP("; i; ")="; QTP(i); "л/с"
INPUT a$
50 NEXT
L219 = LPR1 * N219: L159 = LPR2 * N159
X1 = NOTBOD1
PRINT "Номер последнего отвода на труб-де диаметром d1, X1="; X1
PRINT
X2 = X1 + NOTBOD2
PRINT "Номер последнего отвода на труб-де диаметром d2, X2="; X2
PRINT
INPUT "Ввести внутренний диаметр d1 труб-да в мм, d1="; d1
PRINT
INPUT "Ввести внутренний диаметр d2 труб-да в мм, d2="; d2
PRINT
INPUT "Ввести внутренний диаметр d3 труб-да в мм, d3="; d3
PRINT
d1 = .001 * d1: d2 = .001 * d2: d3 = .001 * d3
INPUT "Ввести геодезический напор в м, HG="; HG
PRINT
a1 = 1! * EXP(LOG(.001478) - 5.226 * LOG(d1))
IF d2 = 0 THEN a2 = 0 ELSE a2 = 1! * EXP(LOG(.001478) - 5.226 * LOG(d2))
a3 = 1! * EXP(LOG(.001478) - 5.226 * LOG(d3))
'PRINT "A1="; a1, "A2="; a2, "A3="; a3
'PRINT
INPUT "Нужен вывод скоростей на участках V(i) (y/n)"; c$

```

```

PRINT
FOR i = 1 TO X1
V(i) = QTP(i) / om1 / 1000
TETA(i) = EXP(LOG(.889) + .226 * LOG(1 + .684 / V(i)))
IF c$ = "n" THEN 150
PRINT "V("; i; ")="; V(i); "м/с", ' "TETA("; i; ")="; TETA(i)
INPUT a$
150 NEXT
FOR i = X1 + 1 TO X2
V(i) = QTP(i) / om2 / 1000
TETA(i) = EXP(LOG(.889) + .226 * LOG(1 + .684 / V(i)))
IF c$ = "n" THEN 180
PRINT "V("; i; ")="; V(i); "м/с", ' "TETA("; i; ")="; TETA(i)
INPUT a$
180 NEXT
FOR i = X2 + 1 TO N
V(i) = QTP(i) / om3 / 1000
TETA(i) = EXP(LOG(.889) + .226 * LOG(1 + .684 / V(i)))
IF c$ = "n" THEN 190
PRINT "V("; i; ")="; V(i); "м/с", ' "TETA("; i; ")="; TETA(i)
INPUT a$
190 NEXT
hl(1) = TETA(1) * a1 * (r0 + R / 2) * (QTP(1) / 1000) ^ 2
HTR(1) = hl(1)
SUMHTR = HTR(1)
INPUT "Нужен вывод потерь напора на участках hl(i),HTR(i) (y/n)"; b$
PRINT
FOR i = 2 TO X1
hl(i) = a1 * R * TETA(i) * (QTP(i) / 1000) ^ 2
HTR(i) = hl(i)
SUMHTR = SUMHTR + HTR(i)
IF b$ = "n" THEN 200
PRINT "hl("; i; ")="; hl(i); "м", "HTR("; i; ")="; HTR(i); "м"
INPUT a$
200 NEXT
FOR i = X1 + 1 TO X2
hl(i) = a2 * R * TETA(i) * (QTP(i) / 1000) ^ 2
HTR(i) = hl(i)
SUMHTR = SUMHTR + HTR(i)
IF b$ = "n" THEN 400
PRINT "hl("; i; ")="; hl(i); "м", "HTR("; i; ")="; HTR(i); "м"
INPUT a$
400 NEXT
FOR i = X2 + 1 TO N
hl(i) = a3 * R * TETA(i) * (QTP(i) / 1000) ^ 2

```

```

HTR(i) = 1.05 * hl(i)
SUMHTR = SUMHTR + HTR(i)
IF b$ = "n" THEN 410
PRINT "hl("; i; ")="; hl(i); "м", "HTR("; i; ")="; HTR(i); "м"
INPUT a$
410 NEXT
hlk = a3 * (R / 2) * TETA(N) * (QDA / 1000) ^ 2
SUMHTR = SUMHTR + hlk
'PRINT "hl("; N; ")="; hl(N); "м", "HTR("; N; ")="; HTR(N); "м"
PRINT "Суммарные потери напора"; SUMHTR; "м"
PRINT "=====
PRINT
420 INPUT "Ввести диаметр N-го насадка в мм, DH="; DH
PRINT
INPUT "Ввести коэф. расхода N-го насадка МУНАС3="; МУНАС3
PRINT
HCBN = HG - d1 / 2 + 82700 * Q(N) ^ 2 / МУНАС3 ^ 2 / DH ^ 2 / DH ^ 2
HCB = HCBN
PRINT "HCBN="; HCBN; "м"
PRINT
IF RDA > 0 THEN 70
GOTO 105
70 INPUT "Концевой ороситель ДДА (y/n)"; D$
PRINT
IF D$ = "n" THEN 90
INPUT "Ввести диаметр насадка DDA в мм, DHконц="; DHКОН
PRINT
DHКОН = DHКОН / 1000
HDDA = .5 * RDA / (1 - .00025 * RDA / DHКОН)
HDDA1 = HDDA + HG - d3 / 2
PRINT "HCBDDA="; HDDA1; "м"
PRINT
IF HCBN > HDDA1 THEN HCB = HCBN ELSE HCB = HDDA1
GOTO 105
90 INPUT "Ввести d отверстия секторной насадки в мм, dotв="; HSH
PRINT
INPUT "Ввести коэффициент расхода концевой оросителя МУНАСК=";
МУНАСК
PRINT
HNSH1 = HG - d1 / 2 + 82700 * QDA ^ 2 / МУНАСК ^ 2 / HSH ^ 2 / HSH ^ 2
PRINT "HCBSHH="; HNSH1; "м"
PRINT
IF HCBN > HNSH1 THEN HCB = HCBN ELSE HCB = HNSH1
105 PRINT "Свободный напор Hсв="; HCB; "м"
PRINT "=====

```



```

PRINT
INPUT "Устраивает свободный напор (y/n)"; N$
PRINT
IF N$ = "n" THEN 420
H = SUMHTR + HCB
PRINT "Потребный напор на гидранте ДМ H="; H; "м"
PRINT "=====
PRINT
H(1) = H - HTR(1)
PRINT "H(1)="; H(1); "м"
PRINT
'INPUT "Нужен вывод напоров в отводах (y/n)"; b$
PRINT
FOR i = 2 TO N
H(i) = H(i - 1) - HTR(i)
IF b$ = "n" THEN 500
PRINT "H("; i; ")="; H(i); "м"
INPUT a$
500 NEXT
PRINT "Напор в N-м сечении H("; N; ")="; H(N); "м"
PRINT "*****
PRINT
520 FOR i = 1 TO N
RO(i) = Q(i) * 60 / 3.14159 / (R / 2) ^ 2
RO = RO + RO(i)
NEXT
525 RO = RO / N
PRINT "Средняя по длине ДМ интенсивность дождя RO="; RO; "мм/мин"
PRINT
"=====
PRINT
600 INPUT "Начать вычисления снова (y/n)"; a$
PRINT
IF a$ = "y" THEN 10
END

```

Последующие вычисления должны быть с учетом предыдущих значений среднего времени полива. Необходимое количество влаги:

$$W_A = m - 0,5E_1 T_{\text{ПОЛ1}} + 0,5E_{11} T_{11},$$

где  $E_{11}$  – среднечасовое водопотребление на первом участке ко 2 –му поливу  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $T_{11}$  – среднее время полива дождевальной машиной первого участка на втором поливе, ч.

$$\text{Поливная норма } m_{11} = \frac{Q_{\text{ОБЩ}} T_{\text{ПОЛ11}}}{F_{\text{ПОЛ}}}.$$

Среднее время полива дождевальной машиной первого участка на втором поливе  $T_{11} = \frac{F_{\text{ПОЛ}} (m - 0,5E_1 T_1)}{Q - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_{11}}$ .

Средняя скорость движения дождевальной машины по данному участку

$$V_{\text{ПОЛ1}} = \frac{\pi R_M}{1800n_{\text{уч}} T_{11}}.$$

С учетом упрощений, система уравнений для первого полива будет иметь вид

$$T_i = \begin{cases} \frac{F_{\text{ПОЛ}} m}{Q - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_i}, & \text{при } i = (k-1)n + 1; \\ \frac{T_{i-1} (Q + 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_{i-1})}{Q - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_i}, & \text{при } i \neq (k-1)n + 1, \end{cases}$$

где  $i$  – порядковый номер полива по участкам;  $k$  – номер полива поля.

Для последующих поливов:

$$T_i = \begin{cases} \frac{F_{\text{ПОЛ}} (m - 0,5E_{i-n} T_{i-n})}{Q - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_i}, & \text{при } i = (k-1)n + 1; \\ \frac{T_{i-1} (Q + 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_{i-1}) - 0,5F_{\text{ПОЛ}} (E_{i-n-1} T_{i-n-1} + E_{i-n} T_{i-n})}{Q - 0,5F_{\text{ПОЛ}} E_i}, & \text{при } i \neq (k-1)n + 1. \end{cases}$$

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ДЕПАРТАМЕНТ РАСТЕНИЕВОДСТВА, МЕХАНИЗАЦИИ,  
ХИМИЗАЦИИ И ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ**

**ФГБУ «НОВОЛЖСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЗОНАЛЬНАЯ  
МАШИНОИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ»**



**ПРОТОКОЛ № 08-11П-2016**

**от 11 ноября 2016 года**

**ПРИЁМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ  
КРУГОВОЙ «КУБАНЬ-ЛК1М» (КАСКАД)**

**(по договору № 7/1п-16 от 11 февраля 2016 года)**

г. Кинель, 2016 г.

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ДЕПАРТАМЕНТ РАСТЕНИЕВОДСТВА, МЕХАНИЗАЦИИ,  
ХИМИЗАЦИИ И ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ**

**ФГБУ «ПОВОЛЖСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЗОНАЛЬНАЯ  
МАШИНОИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ»**

Для служебного  
пользования  
экз. № \_\_\_\_\_

**ПРОТОКОЛ № 08-11П-2016**

от 11 ноября 2016 года

**ПРИЁМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ  
КРУГОВОЙ «КУБАНЬ-ЛК1М» (КАСКАД)**

(по договору № 7/1п-16 от 11 февраля 2016 года)

г. Кинель, 2016 г.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
«ПОВОЛЖСКИЙ АГРОТЕХ ТЕСТ ЦЕНТР»  
Аттестат аккредитации ИЦ №РОСС RU.0001.21.МС37

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель ИЦ АНО ПАТЦ



А.А.Медведев  
2016 г.

ПРОТОКОЛ № 37-19-2016  
от 3 августа 2016 года

сертификационных испытаний  
дождевальная машина электрифицированная круговая  
«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Настоящий протокол не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения ИЦ.

г. Кшель, 2016 г.

**Лабораторные установки и оборудование для определения функционирования системы автоматики машины**

**Лабораторный прибор ЛП-01.1**

Лабораторный прибор ЛП-01.1 предназначен для проверки и испытания щита управления ЩУ-001.2, приборов управления и контроля прямолинейности ПСЛ 1...10 дождевальной машины кругового действия.

1. SA1.1, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки чередования фаз, а также для имитации хода тележек «движение вперед», «движение назад».

2. SA1.2, SA1.3, SA1.4, тумблер П2Т-1 предназначены для проверки работы реле контроля чередования обрыва фаз, а также для проверки правильности сборки ЩУ-001.2, ПСЛ1...10.

3. P1, P2, вольтметры контроля переменного тока предназначены для контроля напряжения поданного от сети переменного тока 380В.

Электрическая схема представлена на рис. 1.



### Лабораторный прибор ЛП-01.2

Лабораторный прибор ЛП-01.2 предназначен для проверки и испытания щита управления ЩУ-0012 дождевальная машины кругового действия.

1. SA1.5, SA 1.7, тумблеры П2Т-1 предназначены для проверки чередования фаз, а также для имитации хода тележек «движение вперед», «движение назад», ПСЛ 1..10.

2. SA1.6, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки аварийного останова ДМ, аварийный излом секций ПСЛ 1..10.

3. HL 1.1 контрольная лампочка ENR-22/230В предназначена для проверки включения, выключения «Сухой ход», «Буферный насос», «Работа машины».

4. P3, вольтметр контроля переменного тока предназначены для контроля напряжения 220В поданного в схему управления ЩУ-001.2, проверки включения, выключения машины переключателем –SA1, аварийной кнопки –SAO в ЩУ - 001.2.

5. SB1.8, SB1.9 кнопки АЕА-22 имитируют концевые выключатели сектора – «движение вперед», «движение назад», -«движение реверс».

6. SA 1.10, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки имитации работы «Реле давления», «Сухой ход», -SA5 в ЩУ-001.2.

7. SA1.11, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки работы «Авто-стоп», дистанционного управления работой машины –SA6 в ЩУ-001.2.

8. HL1.4 3,6В, предназначена для проверки «Выключения агрегата».

9. HL1.2 контрольная лампочка ENR-22/230В предназначена для проверки запорного клапана, «Открыто», «Закрыто».

10. HL1.3 - проверка включения ходовых огней.

Электрическая схема представлена на рисунке 2.



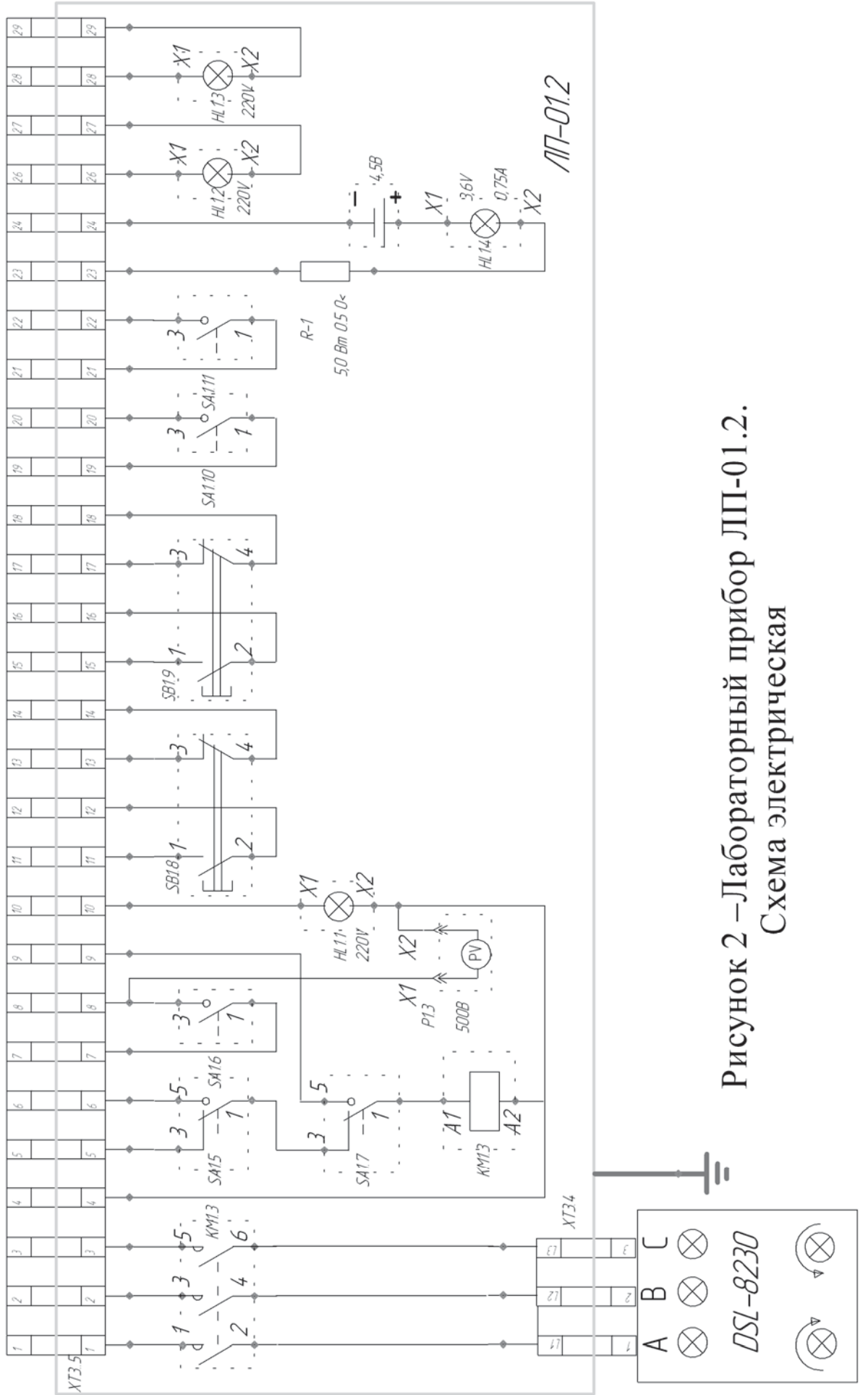


Рисунок 2 –Лабораторный прибор ЛП-01.2.  
Схема электрическая

Фазоуказатель.

### Лабораторный прибор ЛП-01.3 и ЛП-01.4

Лабораторный прибор ЛП-01.3 предназначен для проверки и испытания ПСЛ1.....9, дождевальная машины кругового действия.

1. SA1.12, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки хода тележек - "движение вперёд", правильности подключения схем концевого выключателя - S2 в ПСЛ1.....9.

2. SA1.13, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки хода тележек - "движение назад", правильности подключения схем концевого выключателя -S2 в ПСЛ1.....9.

3. SA1.14, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки аварийного останова дождевальная машины, аварийный излом секций, правильности подключения схем концевого выключателя -S3 в ПСЛ1.. 9.

4. SA1.15, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки правильности подключения схем ручного управления, переключатель -SA1 в ПСЛ1.. 9, -"движение вперёд", -"движение назад".

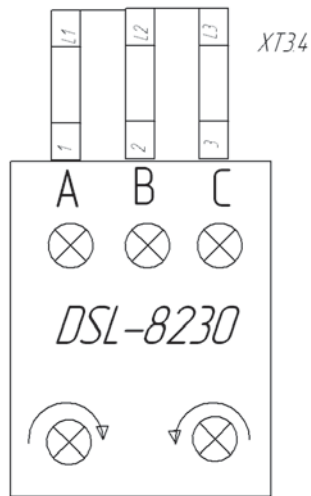
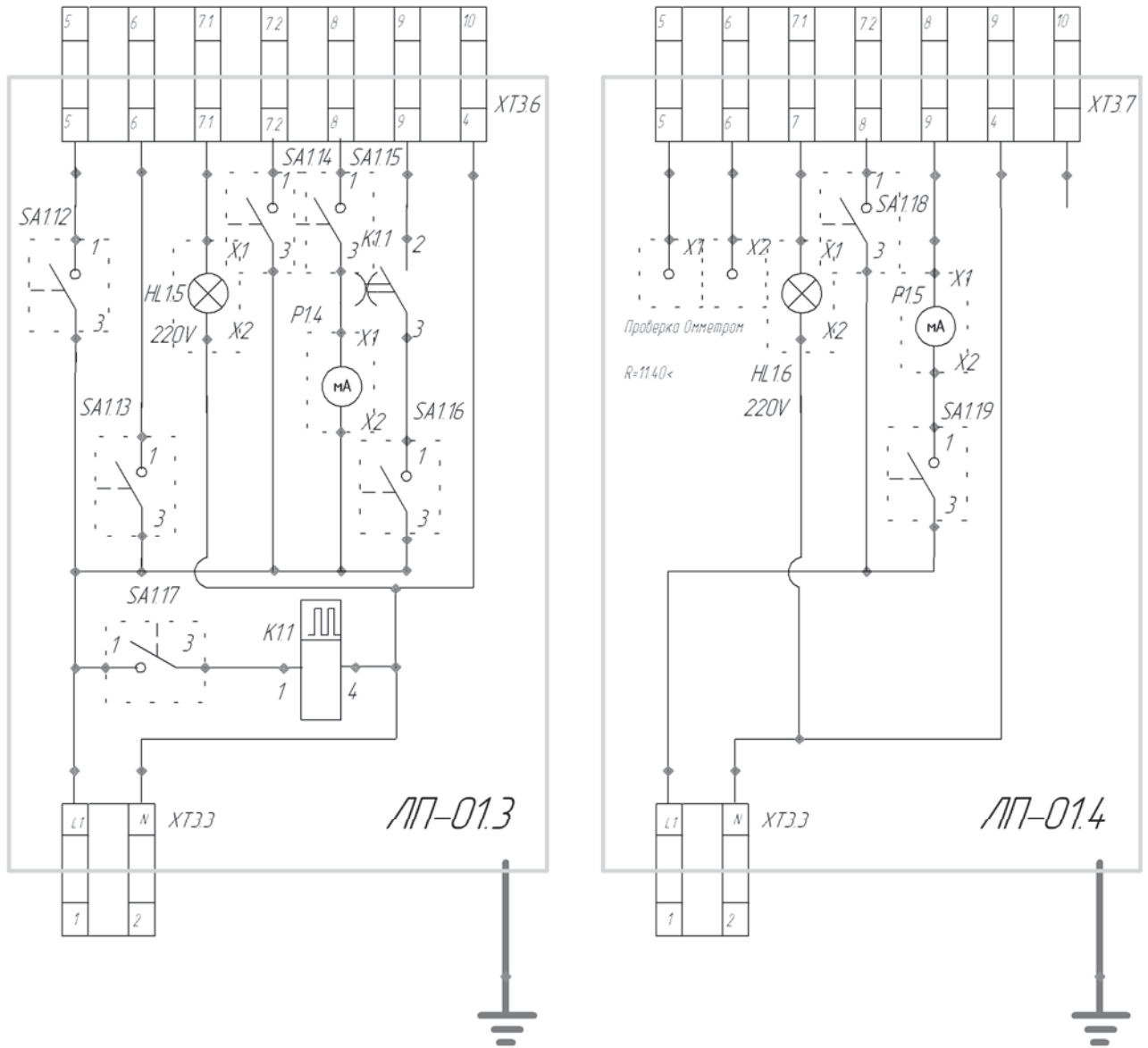
5. SA1.16, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки правильности подключения схем и имитации отключения хода последней тележки, проверки работы реле времени К3, К4, защиты от проскальзывания последней тележки.

6. SA1.17, тумблер П2Т-1 предназначен для отключения К1, реле времени ВЛ-65.

7. К1.1, реле времени ВЛ-65 предназначена для ПСЛ9, имитация работы последней тележки.

8. HL1.5 контрольная лампочка ENR-22/230В предназначена для проверки включения, выключения – аварийного концевого выключателя S3, переключателя ручного режима SA1, реле времени К3 в ПСЛ1...9.

9. P1.4, миллиамперметр контроля переменного тока, предназначен для контроля тока поданного на катушки контакторов К1,К2, реле времени К3,К4, напряжения 220В в ПСЛ1...9.



Фазоуказатель.

Рисунок 3—Лабораторные приборы ЛП-01.3, ЛП-01.4. Схема электрическая

Лабораторный прибор ЛП-01.4 предназначен для проверки и испытания ПСЛ10, дождевальная машина кругового действия.

1. SA1.18, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки правильности подключения схем ручного управления, переключатель -SA1 в ПСЛ10, -"движение вперёд", -"движение назад".

2. SA1.15, тумблер П2Т-1 предназначен для проверки правильности подключения схем управления, -"движение вперёд", -"движение назад", в ПСЛ10.

3. P1.4, миллиамперметр контроля переменного тока, предназначен для контроля тока поданного на катушки контакторов K1, K2, напряжения 220В в ПСЛ10.

4. HL1.6 контрольная лампочка ENR-22/230В предназначена для проверки включения, выключения - переключателя ручного режима SA1, в ПСЛ10.

5. Гнезда X1, X2, предназначены для проверки правильности подключения в схему ПСЛ10 резисторов R1, R2. К гнездам X1, X2 подключаем омметр  $R=11,4\text{Ом}$ .

## Распределение объемов воды в мерных емкостях

Объем воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Кубань-ЛК1М» с дождевателями дождеватели типа 1 исполнения 1 (напор на входе 0,45, скорость ветра 3,5м/с)

№ тележ.	d <sub>0</sub> , мм	P <sub>д</sub> , МПа	V, мл	№ тележ.	d <sub>0</sub> , мм	P <sub>д</sub> , МПа	V, мл	№ тележ.	d <sub>0</sub> , мм	P <sub>д</sub> , МПа	V, мл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	5		590	6	8	0,09	260	8			310
4	5	0,16	450	6	8		310	8	12		240
4	5		370	6	8		200	9		0,25	210
4	5		360	7	8		270	9	12		200
4	5		350	7	8		200	9			350
4	5	0,12	200	7	8	0,09	360				
4	5		330	7	8		350	9			330
4	5		340	7	8	0,18	350	9	12		200
4	6		400	7	9		230	9			190
4	6		360	7	9		240	9	12		220
5	6	0,22	370	7	9		270	9			200
5	6		390	7	9		230	9	12		200
5	6		380	7	9		270	9			360
5	6	0,2	140	7	9		220				
5	6		200					9			250
				7	10		340	9	13		270
5	7		300	7	10	0,093	260	9			190
5	7	0,095	350	7	10		280	9	13		230
5	7		280	7	10		230	9			220
5	7		170	8	10		290	10	13	0,22	130
5	7		300	8	10	0,085	180	10			360
5	7	0,095	150	8	10		350				
5	7		220					10			230
5	7		220	8	12	0,16	380	10	13		160
5	7		230	8	12		190	10			230
5	7	0,095	220	8	12		290	10	13		200
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	7		220	8	12		300	10	13		170
6	7		220	8	12		270	10			320
6	7		270	8	12		270				
6	7	0,095	150	8	12		220	10			360
6	7		200	8	12		360	10	14		240
								10			240
6	8		310	8	12		320	10	14		190
6	8	0,095	250	8	12		220	10			280
6	8		220					10	14		260
6	8		200					10			360
6	8		230								
6	8	0,09	170								
6	8		300								

d<sub>0</sub> – диаметр сопла, мм; P<sub>д</sub> – давление на выходе, МПа; V – объем воды в дождемерах, мл.

## Объем воды в дождемерах (ДМ «Фрегат» с дождевателями 1, скорость ветра 7,1м/с)

№ те- леж.	№ дожд.	V, мл	№ те- леж.	№ дожд.	V, мл	№ те- леж.	№ дожд.	V, мл	№ тележ.	№ дожд.	V, мл
Конс.	1	290		46	660		91	760		137	750
	2	-		47	880		92	740		138	920
	3	-		48	880		93	730	6		
	4	-	13	49	890		94	870		139	970
	5	682		50	850		95	900		140	400
	6	600		51	910		96	890		141	660
	7	610		52	920		97	990		142	780
	8	770		53	810		98	750		143	760
	9	730		54	690	9	99	-		144	770
	10	700		55	960		100	850		145	480
	11	590		56	700		101	740		146	910
				57	810		102	790		147	990
16	12	540		58	900		103	620		148	-
	13	570		59	910		104	730	5		
	14	470		60	900		105	880		149	-
	15	470		61	840		106	950		150	1090
	16	510		62	980		107	710		151	870
	17	620	12				108	700		152	830
	18	620		63	810		109	630		153	740
	19	590		64	970		110	430		154	680
	20	480		65	770		111	450		155	930
	21	570		66	870		112	450		156	880
	22	610		67	950		113	640		157	990
	23	660		68	840	8				158	780
				69	820		114	660		159	780
15	24	680		70	650		115	440		160	630
	25	580		71	840		116	510		161	860
	26	760		72	810		117	690	4		
	27	980		73	900		118	660		162	770
	28	730		74	690		119	930		163	980
	29	570		75	890		120	760		164	630
	30	770	11				121	480		165	420
	31	760		76	670		122	690		166	510
	32	890		77	650		123	720		167	500
	33	870		78	910		124	690		168	550
	34	670		79	890	7				169	820
	35	710		80	830		125	750		170	960
	36	720		81	810		126	780		171	720
				82	940		127	620		172	710
14	37	700		83	970		128	460	3		
	38	780		84	840		129	540		173	570
	39	750		85	990		130	350		174	720
	40	790		86	830		131	760		175	520
	41	830		87	960		132	830		176	500
	42	810		88	960		133	980			
	43	810	10				134	970			
	44	660		89	1110		135	790			
	45	670		90	640		136	510			

Объем воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) с дождевателями схема 4 (напор на входе 0,35, скорость ветра 3,5м/с)

№ тележ.	d <sub>0</sub> , мм	P <sub>д</sub> , МПа	V, мл	№ тележ.	d <sub>0</sub> , мм	P <sub>д</sub> , МПа	V, мл	№ тележ.	d <sub>0</sub> , мм	P <sub>д</sub> , МПа	V, мл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	5		490	6	8	0,09	250	8			310
4	5	0,15	460	6	8		330	8	12		240
4	5		370	6	8		220	9			230
4	5		360	7	8		270	9	12	0,25	230
4	5		360	7	8		240	9			350
4	5	0,14	280	7	8	0,09	360				
4	5		330	7	8		350	9			330
4	5		350	7	8		350	9	12	0,12	200
4	6	0,22	400	7	9		230	9			220
4	6		360	7	9	0,2	240	9	12		220
5	6		370	7	9		270	9			200
5	6		390	7	9		260	9	12	0,19	200
5	6		380	7	9		270	9			360
5	6	0,2	340	7	9	0,18	220				
5	6		290					9			250
				7	10		340	9	13	0,24	270
5	7		310	7	10	0,093	260	9			240
5	7	0,095	350	7	10		280	9	13		230
5	7		280	7	10		240	9			220
5	7		270	8	10		290	10	13	0,17	200
5	7		300	8	10	0,085	260	10			360
5	7	0,095	250	8	10		330				
5	7		220					10			230
5	7		230	8	12		380	10	13	0,33	160
5	7		230	8	12	0,16	290	10			230
5	7	0,095	220	8	12		290	10	13		200
6	7		220	8	12		330	10	13		190
6	7		230	8	12		270	10			320
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	7		270	8	12		270				
6	7	0,095	250	8	12	0,18	230	10			360
6	7		200	8	12		360	10	14	0,25	240
								10			240
6	8		310	8	12		320	10	14		240
6	8	0,095	250	8	12	0,21	320	10			280
6	8		220					10	14	0,23	260
6	8		210					10			360
6	8		230								
6	8	0,09	260								
6	8		300								

d<sub>0</sub> – диаметр сопла, мм; P<sub>д</sub> – давление на выходе, МПа; V-объем воды в дождемерах, мл.

## Объем воды в дождемерах (ДМ «Фрегат» с дождевателями 1, скорость ветра 1,1м/с)

№ тележ.	№ дожд.	V, мл	№ тележ.	№ дожд.	V, мл	№ тележ.	№ дожд.	V, мл	№ тележ.	№ дожд.	V, мл
Конс.	1	390		46	660		91	660		137	650
	2	-		47	680		92	640		138	620
	3	-		48	680		93	630	6		
	4	-	13	49	690		94	670		139	670
	5	682		50	650		95	700		140	600
	6	600		51	610		96	690		141	660
	7	610		52	620		97	690		142	680
	8	670		53	710		98	650		143	660
	9	630		54	640	9	99	-		144	670
	10	700		55	660		100	650		145	680
	11	690		56	700		101	640		146	610
				57	610		102	690		147	690
16	12	540		58	600		103	620		148	-
	13	570		59	610		104	730	5		
	14	670		60	600		105	680		149	-
	15	670		61	640		106	650		150	690
	16	610		62	680		107	710		151	810
	17	620	12				108	700		152	830
	18	620		63	610		109	630		153	740
	19	590		64	670		110	530		154	680
	20	580		65	670		111	600		155	630
	21	670		66	670		112	650		156	880
	22	660		67	650		113	640		157	990
	23	660		68	640	8				158	780
				69	720		114	660		159	780
15	24	680		70	650		115	540		160	730
	25	580		71	740		116	510		161	860
	26	660		72	710		117	690	4		
	27	680		73	700		118	660		162	770
	28	630		74	690		119	630		163	980
	29	570		75	690		120	660		164	630
	30	770	11				121	680		165	620
	31	760		76	670		122	690		166	510
	32	690		77	650		123	620		167	560
	33	670		78	710		124	690		168	550
	34	670		79	790	7				169	720
	35	710		80	730		125	650		170	960
	36	620		81	710		126	680		171	720
				82	740		127	620		172	710
14	37	600		83	770		128	660	3		
	38	680		84	740		129	540		173	570
	39	650		85	790		130	650		174	720
	40	690		86	730		131	660		175	520
	41	630		87	660		132	630		176	580
	42	610		88	660		133	680			
	43	610	10				134	670			
	44	660		89	660		135	690			
	45	670		90	640		136	610			



## Объем воды в дождемерах после прохода ДМ «КАСКАД» с схема 4, скорость ветра 3,1м/с

№ те- леж.	№ дожд.	V, мл	№ те- леж.	№ дожд.	V, мл	№ те- леж.	№ дожд.	V, мл	№ те- леж.	№ дожд.	V, мл
1	1	450		46	660		92	660		138	750
	2	580		47	680		93	640		139	720
	3	560		48	680		94	630		140	660
	4	510		49	690		95	670		141	770
	5	580		50	650		96	700		142	500
	6	600		51	510		97	790		143	660
	7	610		52	520		98	790		144	770
	8	670		53	510		99	750			
	9	630		54	590		100	700			
	10	700	4	55	560		101	750			
	11	690		56	700		102	740			
	12	430		57	610		103	790			
	13	490		58	700		104	620			
	14	570		59	710		105	600			
	15	570		60	700		106	730			
	16	510		61	690		107	710			
	17	520		62	640		108	750			
	18	500		63	680						
				64	610	7	109	700			
2	19	540		65	670		110	530			
	20	500		66	570		111	430			
	21	470		67	570		112	550			
	22	510		68	550		113	550			
	23	660		69	540		114	640			
	24	600		70	520		115	660			
	25	580		71	550		116	540			
	26	580		72	540		117	550			
	27	760					118	690			
	28	680	5	73	600		119	700			
	29	710		74	590		120	730			
	30	570		75	590		121	760			
	31	670		76	510		122	670			
	32	660		77	570		123	650			
	33	690		78	550		124	710			
	34	670		79	610		125	680			
	35	670		80	590		126	780			
	36	610		81	530	8	127	770			
	37	620		82	610		128	670			
3				83	740		129	560			
	38	600		84	770		130	640			
	39	680		85	640		131	450			
	40	650		86	690		132	560			
	41	690		87	530		133	530			
	42	630		88	460		134	680			
	43	510		89	560		135	870			
	44	510		90	560		136	690			
	45	560	6	91	640		137	610			



Рисунок 1 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Фрегат»  $K_{ЭП} = 0,73$ ;  $K_{НП} = 0,12$ ;  $K_{ИЗП} = 0,14$ , скорость ветра 5м/с

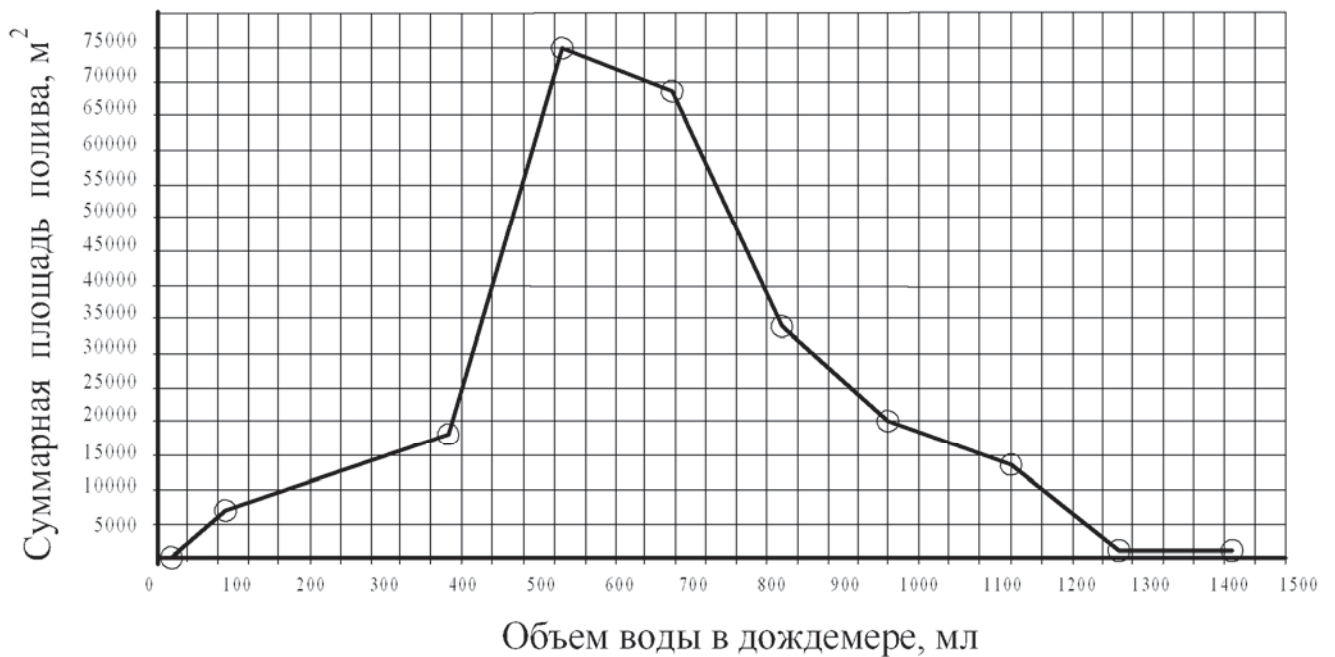


Рисунок 2 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с оборудованием приповерхностного дождевания (опыт 2)  $K_{ЭП} = 0,5$ , скорость ветра 8м/с

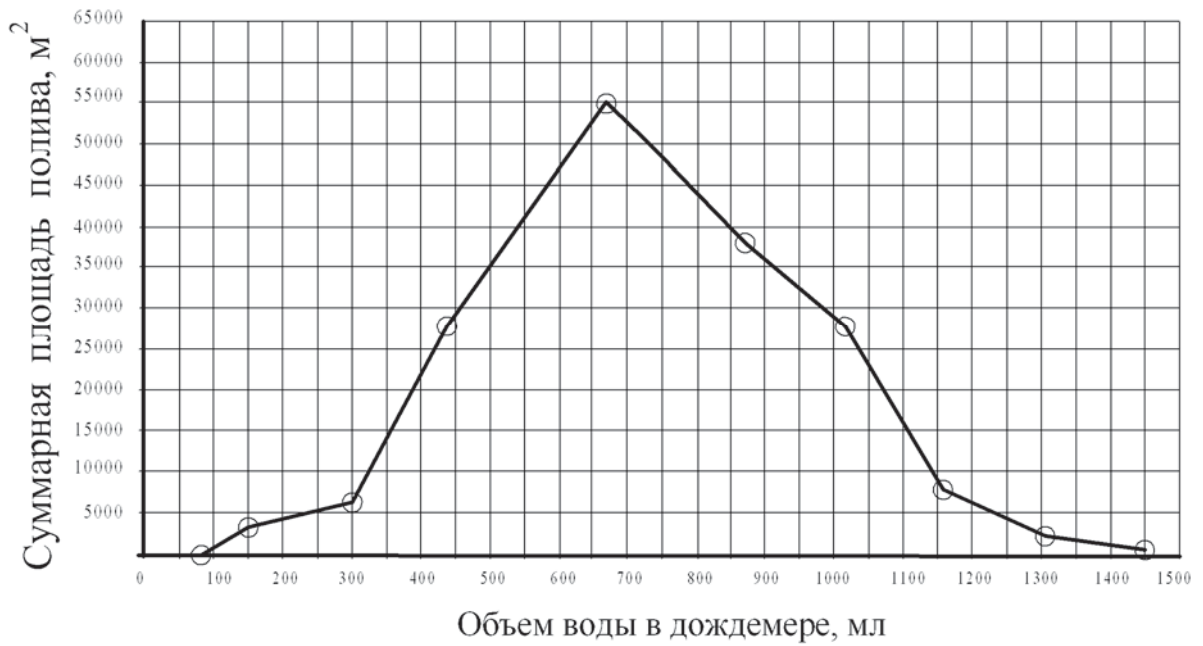


Рисунок 3 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «КАСКАД»  $K_{ЭП} = 0,77$ ;  $K_{НП} = 0,11$ ;  $K_{ИЗ П} = 0,12$ , скорость ветра 3,5 м/с

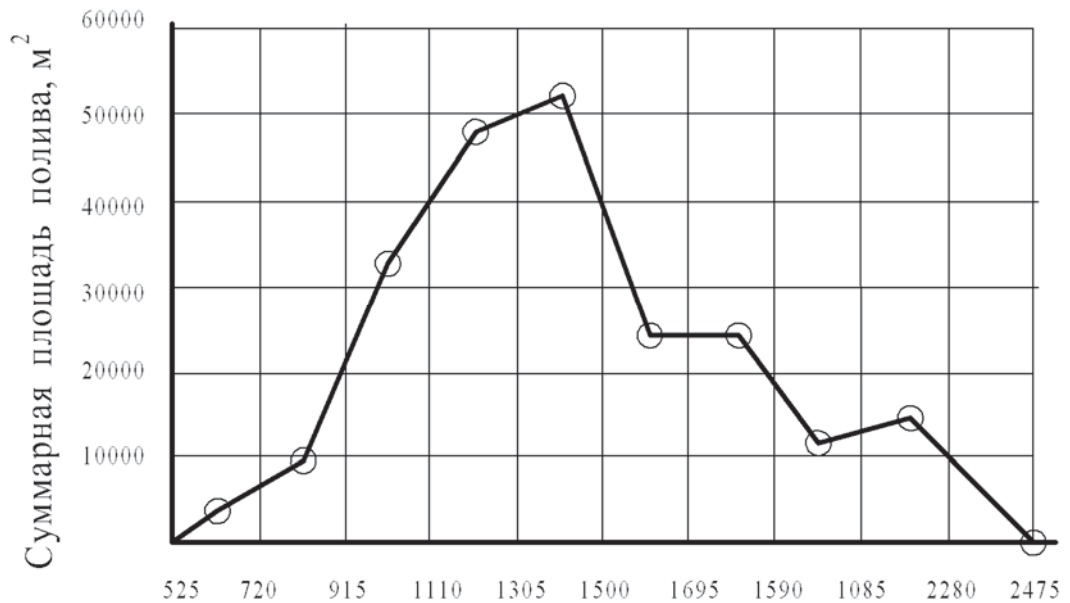


Рисунок 4 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «КАСКАД»  $K_{ЭП} = 0,67$ ;  $K_{НП} = 0,20$ ;  $K_{ИЗ П} = 0,134$  при скорости ветра 5 м/с

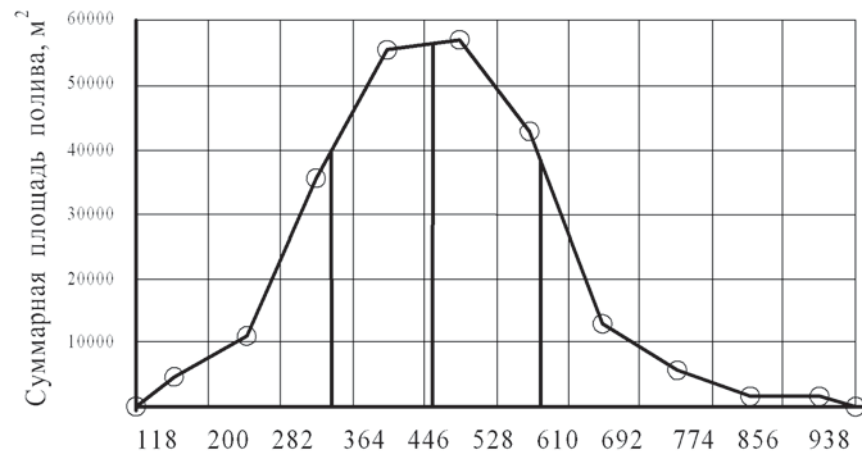


Рисунок 5 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Фрегат»  $K_{ЭП} = 0,63$ ;  $K_{НП} = 0,17$ ;  $K_{ИЗП} = 0,21$ , скорость ветра 7 м/с

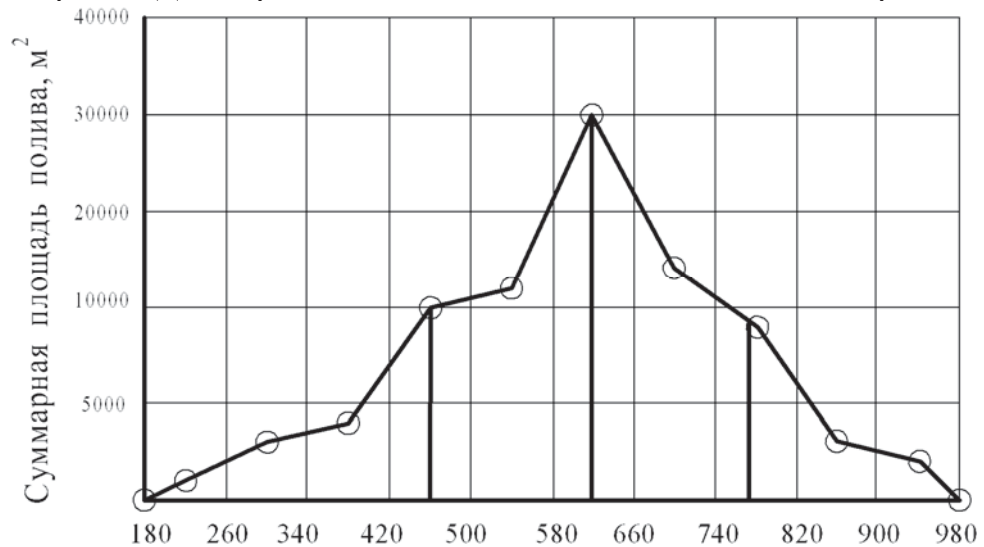


Рисунок 6 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «КАСКАД» с оборудованием приповерхностного орошения (опыт 2)  $K_{ЭП} = 0,72$ ;  $K_{НП} = 0,17$ ;  $K_{ИЗП} = 0,11$ , скорость ветра 5 м/с

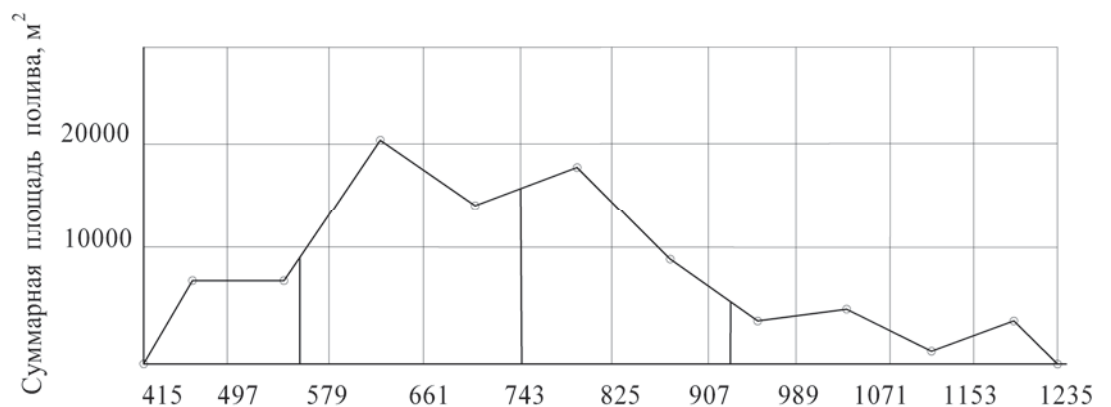


Рисунок 7 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «КАСКАД»  $K_{ЭП} = 0,75$ ;  $K_{НП} = 0,11$ ;  $K_{ИЗП} = 0,14$  скорость ветра 4,0 м/с

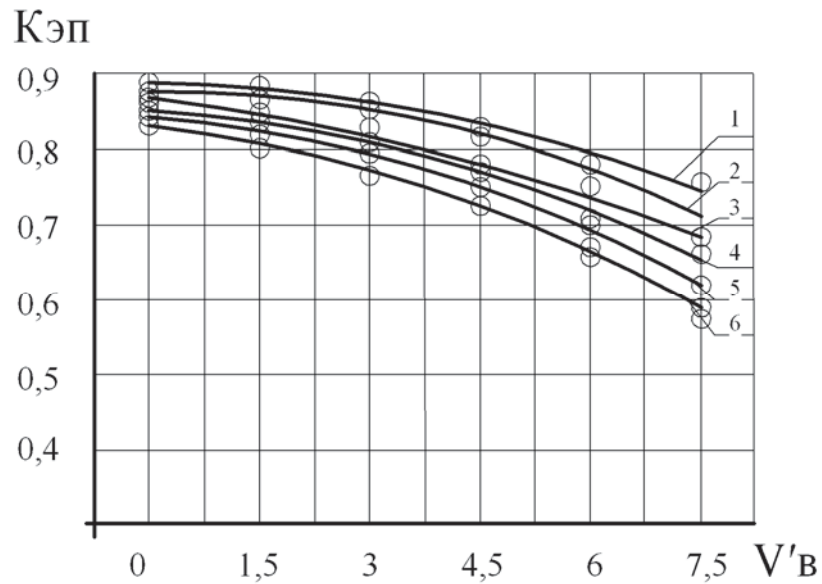


Рисунок 8 – Изменение коэффициента эффективного полива  $K_{ЭП}$  в зависимости от скорости ветра с 1–схема 5 «КАСКАД»; 2 – схема 6 «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД); 3 – схема 3 «КАСКАД»; 4 – схема 1 «Фрегат», 5 – схема 4 «КАСКАД»; 6 – схема 6 (установка на трубопроводе «Кубань-ЛК1М») (КАСКАД)

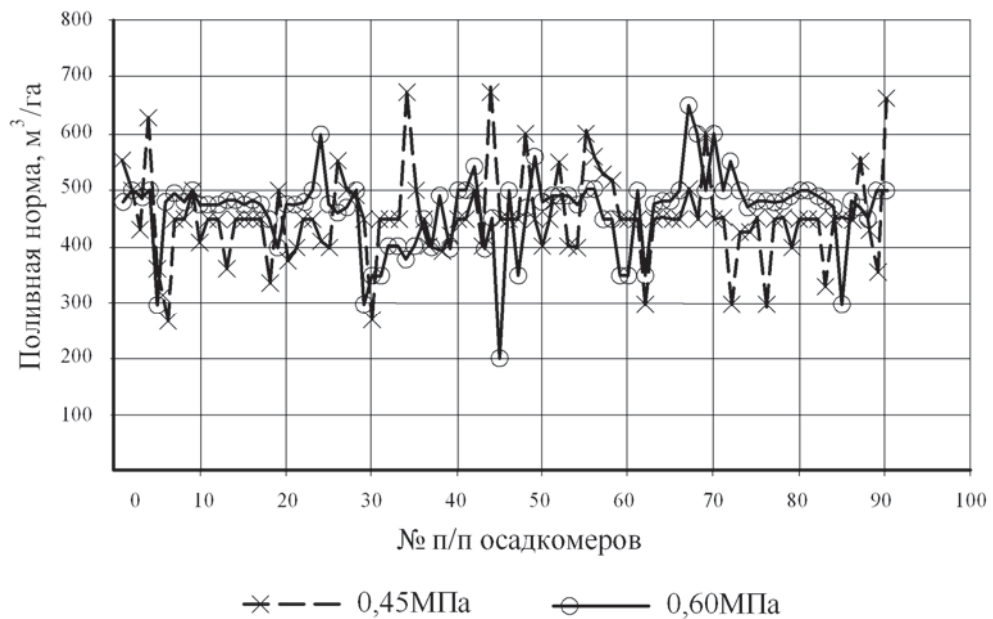


Рисунок 9 – Результаты замеров колебаний среднего слоя осадков для стандартной ДМ «Фрегат» с дождевателями типа 1, исполнение 1.

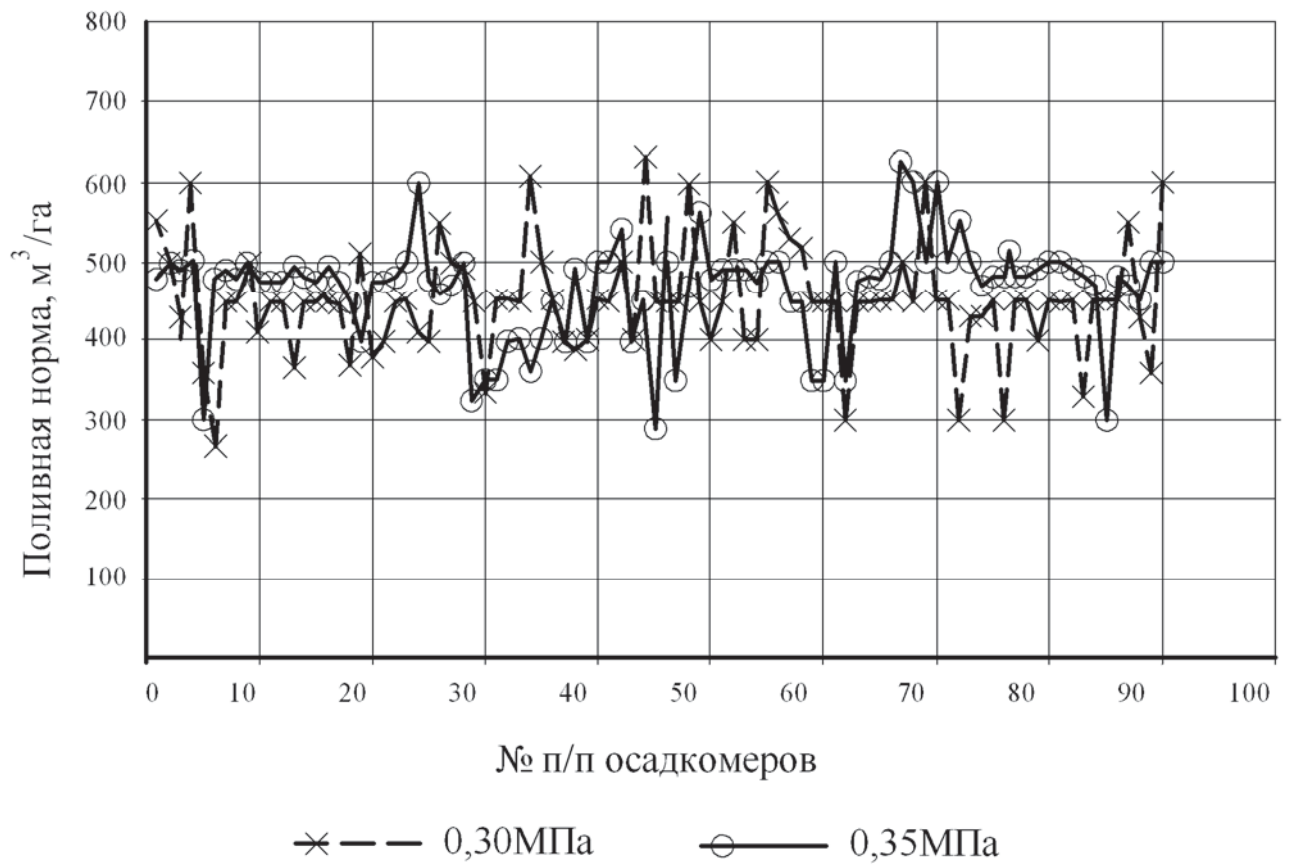


Рисунок 10 – Средние характеристики распределения осадков по длине ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) дождевателями типа 1, исполнение 1.

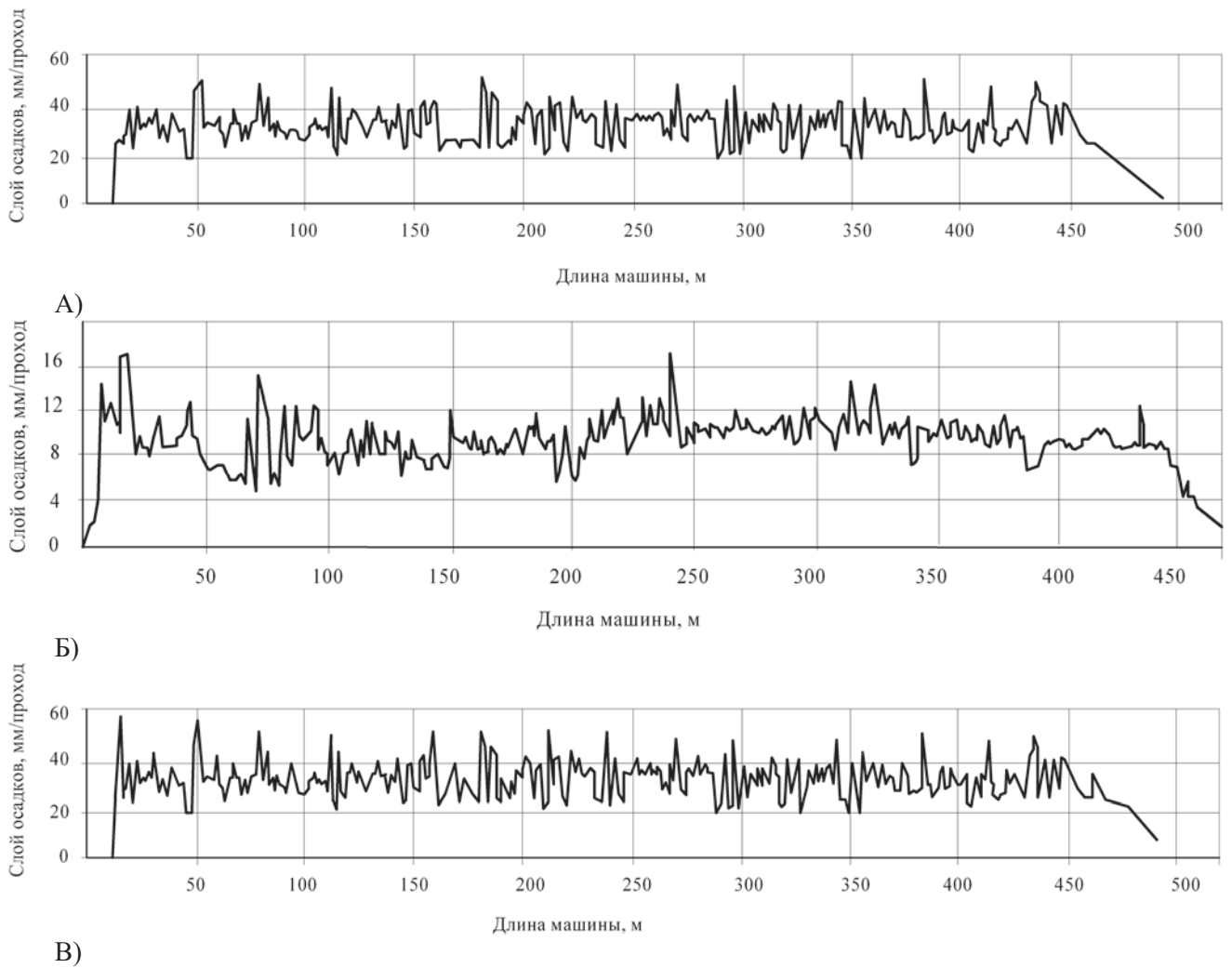


Рисунок 11 – Равномерность распределения дождя под ДМ «КАСКАД»: 1) на ровном рельефе (установка дождевателей через 3,5 м; дождеватели стальные оцинкованные с гладким дефлектором); 2) на пересеченном рельефе (установка дождевателей через 3,5 м; дождеватели стальные оцинкованные с гладким дефлектором), 3) на ровном рельефе (установка дождевателей через 4,5 м; дождеватели из полиамида с канавками до 2/3 длины трубопровода и каскадные с 2/3 длины трубопровода)

## Приложение 10 Программа расчета

Исходные данные для расчета:  $f$  – площадь полива ДМ, га;  $Q$  – расход ДМ,  $\text{м}^3/\text{га}$

$n$  – количество участков;  $k$  – порядковый номер полива ;  $n_p$  – количество поливов;  $E$  – среднесуточное водопотребление,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $m$  – начальная поливная норма,  $\text{м}^3/\text{га}$

Расчет:

CLS

OPTION BASE 1

$Pi=4*ATN(1)$

$f= : Q= : n= : k= : n_p= :$

$E1= : E2= :$

$m=$

$Fu=f/n$

$n_{max}=n*(n_p+1)$

DIM t (nmax), m(nmax)

Первый полив

FOR i=1 TO n

$s=(k-1)*n+1$

IF i=s THEN

$t(i)=Fu*m/(Q-(.5*Fu*E1))$

$m(i)=Q*t(i) / Fu$

ELSE

$x=t(i-1)*(Q+(.5*Fu*E1))$

$y=Q-(.5*Fu*E1)$

$t(i)=x/y$

$m(i)=Q*t(i)/Fu$

END IF

PRINT "k=" ; k, "t=" ; t(i), "m=" ; m(i)

NEXT i



Последующие поливы

PRINT

k=k+1

FOR i=(n\*k)-n+1 TO n\*k

s=(k-1)\*n+1

IF i =s THEN

$t(i) = Fu * (m - (.5 * E1 * t(i-n))) / (Q - (.5 * Fu * E2))$

$m(i) = Q * t(i) / Fu$

ELSE

$x = t(i-1) * (Q + (.5 * Fu * E2))$

$z = .5 * Fu * E1$

$a = t(i-n-1) + t(i-n)$

$y = Q - (.5 * Fu * E2)$

$t(i) = (x - z * a) / y$

$m(i) = Q * t(i) / Fu$

END IF

PRINT "k=" ; k, "t=" ; t(i), "m=" ; m(i)

NEXT i

**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);

- 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./



УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Мелиоративные машины»

Гомберг С.В.

1 октября 2016

### АКТ приемочной комиссии

Приемочная комиссия, назначенная приказом директора ООО «Мелиоративные машины» от 8 августа 2016 г. № 12, рассмотрев результаты производственных испытаний низконапорной дождевальной машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) разработанной коллективом ученых ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (профессора Есин А.И., Затинацкий С.В., доценты Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Бакиров С.М., Левин М.А., аспиранты Соловьев В.А., Колганов Д.А., Кириченко А.В., инженеры Лоськин А.П., Кузнецов Р.Е.), считает:

1. Поставленная на испытания низконапорная дождевальная машина «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) отвечает требованиям технического задания и следующим нормативам: ТР/ТС 010-2011 «О безопасности машин и оборудования»; ГОСТ 32617-2014 Машины для орошения. Общие требования безопасности; ГОСТ 53055-2008 Машины сельскохозяйственные и лесохозяйственные с электроприводом. Общие требования безопасности; ГОСТ Р 53489-2009 ССБТ Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности; комплекту документации согласно спецификации ЭК-100.000, утвержденной директором ООО «МЕЛИОМАШ» и рабочим чертежам.

2. Испытания проведены в течение поливного сезона 2016 года в соответствии с основными требованиями «Стандарт организации испытаний сельскохозяйственной техники: Машины и установки дождевальные. СТО АИСТ 11.1-2010. Дата введения – 2011-04-15»

3. Низконапорная ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) надежно выполняет в производственных условиях технологический процесс при хороших показателях качества работы.

### РЕКОМЕНДУЕТ

1. Продолжить работы по совершенствованию конструкции низконапорной ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), в особенности дождевого пояса.

2. Осуществить комплектацию производственных ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) полнмерными низконапорными дождевателями конструкции «КАСКАД».

3. Разработать модификацию ДМ с увеличенными до 59,5 и 65м пролетами.

Протокол производственных испытаний низконапорной ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) прилагается.

Председатель комиссии,  
инженер ООО «МЕЛИОМАШ»

С.С. Шаров



## ПРОТОКОЛ

## производственных испытаний низконапорной ДМ «Кубань-ЛК1М»

Примочная комиссия, назначенная приказом директора ООО «Мелиоративные машины» от 8 августа 2016 г. №12, провела производственные испытания низконапорной ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) в соответствии со «Стандарт организации испытаний сельскохозяйственной техники: «Машины и установки дождевальные. СТО АИСТ 11.1-2010. Дата введения – 2011-04-15» в течение поливного периода 2016 года.

Низконапорная ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) прошла испытания на производственном полигоне в Агрочентр СГАУ имени Вавилова Н.И.

Завод номер	Год	Дата постановки на испытания		Период испытаний	Объем работы (наработка), ч	
		план	факт		план	факт
нет	2016	Май 2016	Май 2016	Май-июль	800	860

Испытания проведены на предмет определения работоспособности низконапорной ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) в производственных условиях.

## 1. Основные технические характеристики машины.

Наименование показателей	Норма
1	2
Условное наименование	«Кубань -ЛК1М» (Каскад)
Тип машины	Колесная, многоопорная, электрифицированная, кругового перемещения, с забором воды от закрытой оросительной сети или из скважины
Привод передвижения машины	Электромеханический, реверсивный, индивидуальный для каждой тележки, от мотор-редуктора
Источник питания	Внешняя трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью номинальным напряжением 380 В, 50 Гц
Количество обслуживающего персонала при групповом использовании машины (не менее 12 машин без применения дистанционного управления), на шесть машин, чел	1

1	2
Скорость движения последней тележки, регулируемая в пределах, м/с, (м/мин)	2,4 x (0,1) - 30,0 x (1,8)
Дорожный просвет (расстояние от нижней точки тележки до земли), мм, не менее	450
Расстояние от поверхности земли до нижнего пояса металлоконструкции (на ровном участке поля между тележками), м (мм)	2,7 ± 0,3 (2700 ± 300)
Способ дождевания	В движении машины по кругу по направлению и против направления движения часовой стрелки
Остановка машины в заранее заданном оператором месте	Автоматическая
Тип водопроводящего трубопровода	Секционный, ферменной конструкции
Пролет, м	48,7
Номинальные размеры поперечных сечений труб ферм и консоли, мм	159
Колеса опорных тележек: 1) тип 2) количество	Пневматические, камерные По два колеса на каждой тележке
Мотор-редукторы опорных тележек	UMC
Колесные редукторы опорных тележек, тип	Червячные
Расположение органов оперативного управления	- щит управления на неподвижной опоре; - дистанционный пульт управления внешней ориентальной системы
Режимы работы машины	в движении с поливом; в движении без полива (перегон)
Режимы движения машины (соответствуют режиму работы электродвигателя мотор-редуктора крайней самоходной тележки)	непрерывный, старт-стопный (программный)
Наработка на отказ, ч, не менее	150
Коэффициент готовности за время эксплуатации, не менее 800 ч), не менее	0,98

## 2. Основные характеристики работы машины

Кол-во тележек, шт.	Длина, м	Максимально допустимый уклон поля вдоль водопроводящего трубопровода	Максимально допустимая сумма абсолютных значений общих уклонов поля на длине машины	Расход воды при нулевом общем уклоне, л/с	Масса сухая, т
1	2	3	4	5	6
10	497,5	±0,01 (+0,010 -0,015)	0,02 (0,025)	90	15

Продолжение таблицы 2

Давление воды на входе в машину МПа	Интенсивность дождя средняя, мм/мин не более	Норма полива за проход, м <sup>3</sup> /га	Минимальное время полного оборота машины, ч	Номинальные параметры внешней системы электропитания, В
7	8	9	10	11
0,43	0,66	95-600	32,7	380

### 3. Результаты испытаний

#### 3.1. Техническая экспертиза

При проведении первичной технической экспертизы были выявлены отдельные недостатки не принципиального характера, которые были устранены в ходе монтажа конструкции.

В ходе проведения испытаний комиссия контролировала выполнение технологического процесса полива. В ходе проверок установлено:

-в течение всего времени испытаний машина находилась в технически исправном состоянии;

-ход машины устойчивый;

-низконапорные дождеватели работают с хорошим качеством распыла;

Фильтр на входе в машину не устанавливался.

#### 3.2 Эксплуатационно-технологические показатели

Перечень технических отказов и характеристика ремонтно-восстановительных работ при проведении испытаний

№	Наименование отказа	Характер работ	Наработка, ч
1	Забивание дождевателей пролетов 1-4	Прочистка	290
2	Забивание дождевателей пролетов 1-2	Прочистка	670

Время на устранение отказа, связанного с прочисткой дождевателя – не более 1ч.

#### 3.3 Показатели безопасности и надежности

Показатели безопасности и надежности полностью соответствуют требованиям.

### *ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ*

Основные выводы и рекомендации комиссии изложены в акте испытаний, к ним следует добавить следующее:

Следует разработать рекомендации по технологии полива низконапорными ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) с учетом изменения скоростей движения и расхода ДМ.

Председатель комиссии,  
инженер ООО «МЕЛИОМАШ»



С.С. Шаров

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 Энгельского района Саратовской области, Гагаринская оросительная система Энгельского 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 перепол-



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» (КАСКАД) 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

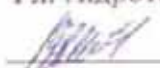
 /Колганов Д.А. /

 /Соловьев В.А. /

 /Кириченко А.В. /

От ООО «Наше дело»

Гл. гидротехник

 /Мещенков В.Н. /

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УНПО



## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие (технология, машина): Учебно-научно-производственное объединение «Поволжье», с. Степное Энгельсского района Саратовской области.
2. Наименование мероприятия, по какому плану внедрялось: внедрить модернизированную широкозахватную электрифицированную дождевальную машину кругового действия КАСКАД с применением отечественных комплектующих.
3. Наименование организации, проводящей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия: кафедра «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.
4. Срок начала внедрения мероприятий – февраль 2017 г.  
Срок введения в действие ДМ КАСКАД – май-июнь 2017 г.  
Срок завершения внедрения – сентябрь 2017 г.

## 5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия

Модернизированная дождевальная машина КАСКАД обладает хорошим качеством полива, возможностью регулировки нормы полива в широких пределах, работает на низком давлении. В машине использовалась в течение поливного периода система дистанционного управления. В машине использовано более 90% отечественных комплектующих, включая металлоконструкцию, систему автоматизации и дистанционного управления машиной, дождеобразующие устройства дефлекторного действия, элементы привода.

Преимущества использования дождеобразующих устройств дефлекторного действия: приповерхностный полив, высокая надежность в

работе, низкая вероятность засорения. Мелкодисперсный дождь диаметром 0,4-1,0 мм снижает энергетическое воздействие на почву, уменьшая разрушения почвенных частиц и улучшая показатели досточковой поливной нормы.

6. Основные показатели внедренного мероприятия:

а) фактический объем внедрения в натуральных показателях – 1 дождевальная машина (длина 362 м).

б) эффективность внедрения складывается от повышения равномерности полива, создания мелкодисперсного дождя, использования системы дистанционного мониторинга и управления, снижения вероятности засорения, внедрения отечественных комплектующих, возможности работы на низком давлении и регулирования поливной нормы. Срок окупаемости машины – в течение 2-3-х поливных сезонов (при использовании на ее культурах – соя, кукуруза).

От ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Зав. кафедрой ТБиТМ, д.т.н.

 /Соловьев Д.А./

К.т.н., доцент

 /Журавлева Л.А./

К.т.н., доцент

 /Гомберг С.В./

К.т.н., доцент

 /Бакиров С.М./

Аспирант

 /Соловьев В.А./

Инженер

 /Лонькин А.П./

Аспирант

 /Кириченко А.В./

От УНПО «Поволжье»

зам. начальника

 /Хадькин А.В./



### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие (технология, машина): Учебно-научно-производственный комплекс «Агроцентр», г. Саратов.
2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедрялось Проведение исследований, разработка и испытания широкозахватной электрифицированной дождевальной техники.
3. Наименование научной организации, проводящей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Исполнители: профессора Есин А.И., Загинацкий С.В., доценты Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Бакиров С.М., Левин М.А., аспиранты Соловьев В.А., Колганов Д.А., Кириченко А.В., инженеры Лонькин А.П., Кузнецов Р.Е.
4. Срок начала внедрения мероприятия - 2014 г.  
Срок завершения внедрения - 2018 г.
5. Перечень внедренных и испытанных на базе УНПК «Агроцентр» инновационных разработок (мелиоративной техники и технологий):
  - система интеллектуального управления орошением с опытно-демонстрационным стендом, моделирующим работу насосной станции;
  - опытный образец современной электрифицированной дождевальной машины кругового действия «КАСКАД»;
  - опытные элементы конструкции пролетов для широкозахватных дождевальных машин;
  - дождевальная машина барабанного типа (полосовой дождеватель);

- испытательный стенд для исследования основных параметров дождевальных аппаратов и насадок.

Изготовление элементов и исследования работы дождевальных машин проводилось на экспериментально-опытных участках УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

Внедренная техника и технологии обеспечивают повышение урожайности, снижение энергозатрат на водоподачу, комплексную автоматизацию работы систем, простоту и удобство в эксплуатации.

Директор УНПК «Агроцентр»  
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ



Д.Ю. Бреднев

<p>СОГЛАСОВАНО</p> <p>Проректор по НИР</p> <p>ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ</p>  <p>Воротников И.Л.</p> <p>« 20 » / 12 / 2017 г.</p> 	<p>УТВЕРЖДАЮ</p> <p>Директор ФГБУ «Управление</p> <p>«Саратовмелиоводхоз»</p>  <p>Заигралов Ю.А.</p> <p>2017 г.</p> 
--	--

### АКТ

#### о внедрении законченной научно-исследовательской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» в лице руководителя НИР, декана факультета инженерии и природообустройства, д.т.н., доцента Соловьева Дмитрия Александровича и представителя Энгельского филиала ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» в лице директора Чуркиной Кристины Игоревны составили настоящий акт в том, что научно-исследовательская работа на тему: «Модернизация оросительных систем с разработкой, проектированием и внедрением новых технологий и создания отечественных технических средств в мелиорации на базе Энгельского филиала ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» выполнена в полном объеме в течение 2014-2017 гг.

По данной тематике выполнены следующие мероприятия:

- проведен анализ состояния оросительных систем Энгельского филиала ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз»;
- разработаны проекты реконструкции орошаемых участков, расположенных на землях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и ООО «Наше дело» с внедрением новых технологий и создания отечественных технических средств в мелиорации;

- разработаны и внедрены на базе оросительных систем Энгельского филиала ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» 3 дождевальных машины Кубань-ЛК1М (КАСКАД) с использованием отечественных комплектующих (две машины в ООО «Наше дело» и одна в УНПО «Поволжье»).

Эффективность внедрения обеспечивается повышением равномерности полива, мелкодисперсного дождевания, использования системы дистанционного мониторинга и управления, возможности работы на низких напорах и регулирования поливной нормы и др. Срок окупаемости разработок – в течение 2-3-х поливных сезонов (при использовании на с/х культурах – соя, кукуруза).

Научный руководитель  
и ответственный исполнитель,  
д-р техн. наук, доцент

  
Соловьев Д.А.

Исполнители:

К.т.н., доцент

  
/Журавлева Л.А./

К.т.н., доцент

  
/Гомберг С.В./

К.т.н., доцент

  
/Бакиров С.М./

Аспирант

  
/Соловьев В.А./

Инженер

  
/Лонькин А.П./

Аспирант

  
/Кириченко А.В./

Директор Энгельского филиала  
ФГБУ «Управление  
«Саратовмелиоводхоз»

  
Чуркина К.И.

СОГЛАСОВАНО  
 Директор  
 ООО «Мелиоративные машины»  
 Гомберг С.В. /  
 « 1 » 2018 г.  
 МП

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по НИР  
 ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ  
 Воротников И.Л. /  
 « 1 » 2018 г.  
 МП

### АКТ

#### о внедрении результатов НИР

Мы, представители ООО «Мелиоративные машины», в лице директора Гомберга Сергея Владимировича и инженера Шарова Сергея Сергеевича настоящим актом подтверждаем, что результаты Научно-исследовательской работы (НИР) по внедрению электрифицированных дождевальных машин кругового действия «Кубань-ЛКІМ» (КАСКАД) и «КАСКАД» с использованием отечественных комплектующих, выполненных кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологических машин» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в 2016-2018 гг. на орошаемых полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и ООО «Наше дело» (с. Ленинское Энгельского района Саратовской области). Количество внедренных машин с различными комплектациями – 5 шт.

Начало работы - февраль 2016 г.

Завершение работы: май 2018 г.

Вид внедрения результатов: разработка, изготовление, установка на орошаемых полях ООО «Наше дело» 2-х ЭДМ «Кубань-ЛКІМ» (КАСКАД) в 2016 году, одной дождевальной машины «Кубань-ЛКІМ» (КАСКАД) в 2017 году и 2-х дождевальных машин «КАСКАД» в 2018 году. Проведение испытаний и научных исследований.

Область внедрения современная мелиоративная техника.

Основные результаты: дождевальные машины ЭДМ «Кубань-ЛКІМ» (КАСКАД) и «КАСКАД» обладают хорошим качеством полива, возможностью регулировки нормы полива в широких пределах, работают на низком давлении. В машинах использовано более 90% отечественных комплектующих, включая



металлоконструкцию, систему автоматизации и дистанционного управления машиной, дождеобразующие устройства дефлекторного действия, элементы привода.

Исследования показали соответствие дождевальных машин ЭДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» требованиям действующих стандартов и рекомендованы к дальнейшему использованию на орошаемых площадях.

Технический уровень НИР создание новых дождевальных машин, патентование основных узлов и элементов конструкций (патенты на изобретение и полезную модель).

Срок окупаемости вложений в течении 2-х поливных сезонов (при использовании на с/х культурах – соя, кукуруза).

От ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Зав. кафедрой ТБиТТМ, д.т.н.

 /Соловьев Д.А./

К.т.н., доценты

 /Журавлева Л.А./

 /Бакиров С.М./

 /Левин М.А./

Инженер

 /Лонькин А.П./

 /Колганов Д.А./


Аспиранты

 /Соловьев В.А./

 /Кириченко А.В./

От ООО «Мелиоративные машины»

Инженер

 /Шаров С.С./


От ООО «Наше дело»

гл. гидротехник

 /Мещенков В.Н./

От УНПО «Поволжье»

зам. начальника

 /Хадыкина А.В./