

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

На правах рукописи

Хеирбеик Бассел

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛИВАНИЯ ДОЖДЯ
ДОЖДЕВАТЕЛЯМИ ДЕФЛЕКТОРНОГО ТИПА**

Специальность 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Журавлева Лариса Анатольевна

Москва 2024

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1. Состояние и проблемы орошения РФ.....	9
1.2. Исходные требования к дождевальнoй техники нового поколения.....	18
1.3. Анализ дождеобразующих устройств	21
1.4. Конструктивные схемы рассекателей потока жидкости.....	31
1.5. Интенсивность дождевания.....	35
1.6. Проблемная ситуация, выводы, направления исследований	38
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЖДЕВАТЕЛЕЙ ДЕФЛЕКТОРНОГО ТИПА ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН.....	39
2.1. Выбор основных параметров дождевателей и схем их расстановки.....	41
2.2. Каскадные (многодефлекторные) дождеватели.....	50
2.3. Дождеватели с вращающимся дефлектором.....	53
2.4. Предлагаемый номенклатурный ряд дождевателей дефлекторного типа.....	54
2.5 Выводы по главе.....	57
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	58
3.1. Программа исследований.....	58
3.2. Описание лабораторных установок и оборудования для проведения исследований.....	58
3.3. Основные характеристики дождевальных машин кругового действия.....	60
3.4. Методика проведения исследований.....	62
3.4.1. Экспериментальные исследования разработанных дождевателей.....	64

	стр
3.4.2. Экспериментальные исследования характеристик работы дождевальных машин кругового действия.....	65
3.5. Схемы расстановки дождевателей.....	67
3.6. Определение влажности почвы.....	67
3.7. Обработка результатов экспериментальных исследований	70
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ....	71
4.1. Результаты исследований дождевателей дефлекторного типа...	71
4.2. Комплектация дождевальных машин дождевателями, их расстановка.....	89
4.3. Результаты исследований работы широкозахватных дождевальных машин с установленными разработанными дождевателями.....	91
4.3.1 Потери дождевой воды на испарение и снос ветром.....	95
4.3.2 Оценка энергетических показателей при поливе «Кубань-ЛК1М» и ДМ «КАСКАД».....	97
4.3.3 Равномерность полива на примере ДМ «Фрегат», оборудованных разработанными дождевателями.....	97
4.4 Выводы по главе.....	98
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	99
5.1. Экономическая эффективность внедрения разработанных дождевателей на ДМ «Фрегат»	99
5.2. Выводы по главе.....	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	102
ЛИТЕРАТУРА.....	106
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	127

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Сельскохозяйственное производство в большинстве регионов Российской Федерации осуществляется в сложных природно-климатических условиях, когда 80% пахотных земель испытывают недостаток в количестве осадков или не совпадении с вегетационным периодом выращиваемой культуры. Высокий и стабильный уровень сельскохозяйственного производства может быть обеспечен только за счет дополнительного и тщательно планируемого орошения.

Для общего повышения эффективности использования мелиорированных земель необходимо значительно повысить технический уровень всей отрасли, включая работы по восстановлению, реконструкции и капитальному ремонту мелиоративных систем, модернизации и их техническому перевооружению, что требует обоснованного и комплексного подхода, научных разработок, экспериментальных исследований, внедрения новых технологий и техники в мелиоративную отрасль.

Эффективность пользования водными и почвенными ресурсами, экологическое состояние как на текущий момент так и на дальнюю перспективу во многом определяются качеством техники и технологии орошения.

Серьезной проблемой для развития отрасли является недостаточное количество конструкторских разработок по дождевальной технике, внедренных в производство, эффективных модернизаций уже существующей и все большее увеличение количества иностранной техники.

Поэтому очень важно не только создание опытных образцов и модернизация существующей техники, но и развитие производства новой отечественной оросительной техники, соответствующей по своим технико-эксплуатационным и эколого-экономическим характеристикам зарубежным образцам и современному уровню научно-технического развития.

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

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

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

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

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

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

Задачи исследования:

1. Оценить состояние дождевальной техники, существующие средства дождеобразования, определить направление развития конструкций дождевателей для широкозахватных дождевальных машин.
2. Провести исследования влияния конструктивных особенностей дождевателей на характеристики образующегося дождя и качество полива.
3. Оптимизировать конструктивные параметры дождевателей, режимы и условия их работы, обеспечивающие требуемые характеристики дождя.
4. Экспериментально подтвердить влияние конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа и режимов их работы на процесс образования дождя и качественные показатели полива.

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

В качестве основных методов использовались аналитическое описание процессов на основе законов и методов классической механики, гидравлики и математического анализа. Обработка результатов исследований проводилась методами математической статистики с помощью стандартных программ MicrosoftExcel, Statistica.

Экспериментальные исследования проводились с учетом общепринятых методик проведения экспериментов, действующих стандартов, методик разработанных ВНИИ «Радуга», ВолжНИИГиМ и др.

Научная новизна.

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

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

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

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

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что научно обоснована закономерность влияния конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа на формирование дождя с оптимальными характеристиками крупности капель, интенсивности, равномерного распределения дождя по

площади.

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

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

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

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

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

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

Положения, выносимые на защиту:

–аналитические зависимости, описывающие влияние формы дефлектора

дождевателя на характеристики потока жидкости.

–математические зависимости для определения конструктивных параметров дождевателей дефлекторного типа;

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

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

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

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается экспериментальными данными лабораторных и полевых исследований и результатами внедрения. Достоверность обеспечивается статистическими методами оценки данных и адекватным согласованием теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения диссертационной работы публиковались и докладывались в период 2018-2024 гг. на конференциях профессорско-преподавательского состава в ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ФГБОУ ВО СГУГБИ имени Н.И. Вавилова, International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» 2022. Beijing, China.

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

Структура и объем диссертации.

Общий объем работы составляет 137 страницы текста и 5 приложений. Основной текст изложен на 128 страницах: 13 таблиц, 50 иллюстраций. Список литературных источников включает 192 наименования, в том числе 21 на иностранных языках.

1 ГЛАВА СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Состояние и проблемы орошения в РФ

На конец 2021 года общая площадь мелиоративного фонда Российской Федерации составляла 9,47 млн. га, из них орошаемая - 4,69 млн. га [61].

Структура площадей, поливаемых водой, подаваемой государственной системой водоснабжения, выглядит следующим образом:

- Общая площадь орошаемых земель: 14130 тыс. га,

В разбивке: зерновые 2340 тыс. га, рис 1860 тыс. га, овощи 2280 тыс. га, кормовые культуры 4880 тыс. га, прочие культуры 2790 тыс. га, рис. 1.1[61].

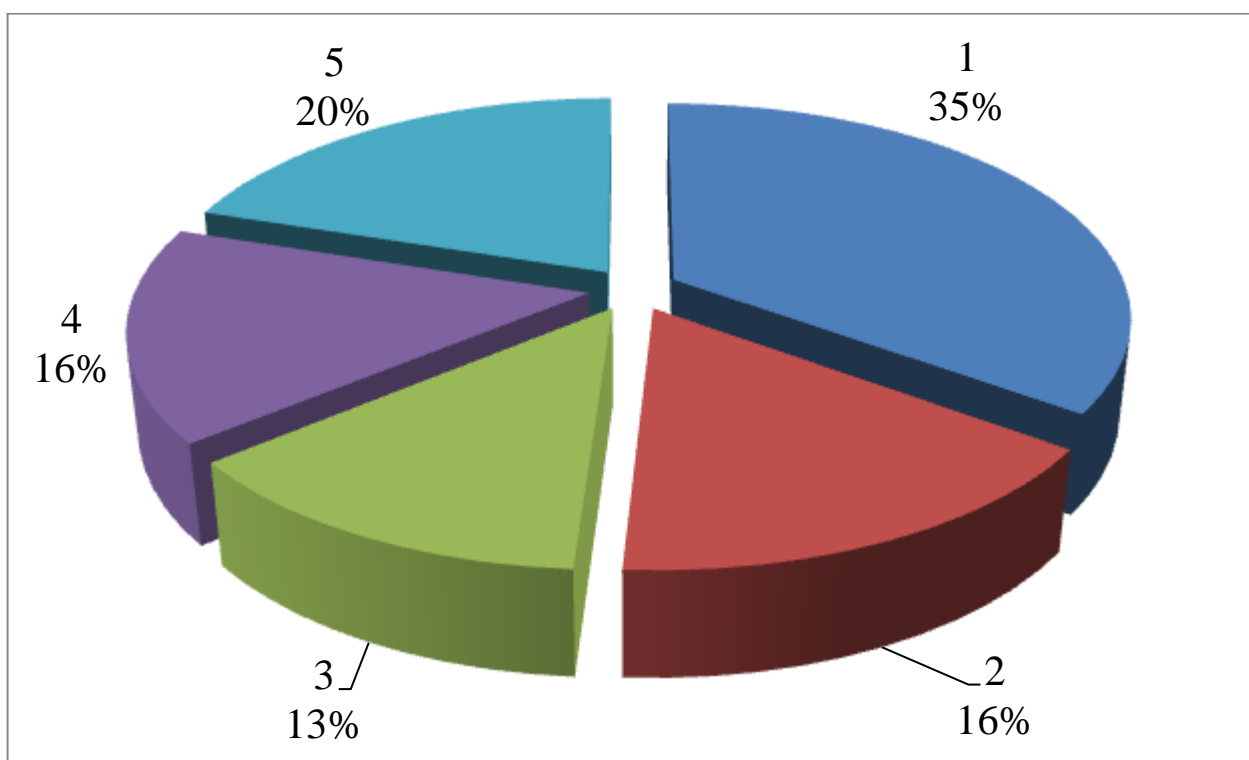


Рисунок 1.1- Структура севооборотов на орошаемых землях РФ: 1- кормовые культуры, 2-овощи, 3-рис, 4-зерновые культуры, 5- прочее -дождевальная техника, всего 8370 единиц,

Структура орошаемых площадей, по технике полива:

в том числе: широкозахватные дождевальные машины и комплексы кругового и фронтального перемещения - 6590 штук; шланговые барабанные дождевальные - 1090 штук; стационарные дождевальные системы - 195 штук;

дождевальные машины типа ДДА-100, ДДН-70:100 - 855 штук; дождевальные установки, на базе разборных трубопроводов - 770 штук; системы микроорошения (капельный полив) – 3196 комплектов, таблица 1.1 [61].

Надо отметить, что широкозахватные дождевальные машины кругового и фронтального перемещения (6592 единицы) обеспечивают полив площади порядка 400,0 тыс. гектаров [61].

Таблица 1.1 - Наличие и структура парка оросительной техники
Российской Федерации в 2021 году

№ п/п	Наименование технических средств полива	Количество, штук.	Площадь земель, тыс. га
1	2	3	4
1	Всего оросительных технических средств по РФ (включая ДМ иностранных производителей и капельное орошение)	11 830	640,0
2	Российские ДМ и технические средства полива всего, в том числе по маркам:	5 180	345,0
	«Фрегат»	2 780	190,0
	«Волжанка»	550	30,0
	«Днепр»	20	2,0
	«Кубань»	116	10,0
	ДДА-100М	632	60,0
	ДДН-70, ДДН-100	220	20,0
	прочие ДМ и разборные поливные трубопроводы	765	30,0
	Дождевальные стационарные	108	3,0

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
	технические средства полива с аппаратом ДД-30		
3	Машины и установки иностранных производителей всего, в том числе:	3 460	200,0
	широкозахватные ДМ	2 290	170,0
	кругового перемещения	1 990	140,0
	фронтального перемещения	320	30,0
	Шлангобарабанные машины	1 086	250
	Прочие ДМ и установки	85	5,0

Анализируя динамику парка дождевальной техники за последние пятьдесят лет, можно выявить следующую тенденцию: в 2016 году, наличие импортных дождевальных машин в РФ составило 2416 штук. Как показывают отчеты по реализации программы, из них: широкозахватных дождевальных машин кругового перемещения 840 штук; фронтальных дождевальных машин - 115 штук; шланговых барабанных дождевальных машин - 950 штук. Прочие дождевальные машины и установки - 511. Систем капельного орошения в - 2150 орошаемых участка на площади 75 тыс. га [61, 119].

В последующий период происходил непрерывный рост поставок зарубежной дождевальной техники. В 2017 году только широкозахватных дождевальных машин было поставлено 440 единицы, в 2018 году - 432 единиц [61, 119].

В 2021 году количество импортных дождевальных машин достигло 3460 штук. Из них: широкозахватных дождевальных машин кругового перемещения 2280 машин, фронтальных – 1990 машин, таблица 1.2, рисунок 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 - Структура парка техники орошения в 2016 и 2021 годах

№ п/п	Наименование техники	Количество, штук 2016	Количество, штук 2021
1	2	3	4
1	Всего дождевальной техники по РФ (в том числе импортные и капельного полива)	10 960	11 825
2	Российские ДМ, технические средства полива и установки всего, в том числе по маркам:	6 390	5 180
	«Фрегат»	2 965	2 780
	«Волжанка»	575	550
	«Днепр»	30	20
	«Кубань»	47	113
	ДДА-100М	510	640
	ДДН-70, ДДН-100	275	220
3	Прочие технические средства полива	1375	760
	Дождевальные стационарные системы с аппаратом ДД-30	610	108
	Машины иностранных производителей, системы и установки всего, в том числе:	2 415	3 460
4	Широкозахватные многоопорные ДМ	950	2 290
	кругового перемещения	840	1 990
	фронтального перемещения	115	320

	2	3	4
	Шланго-барабанного типа машины	950	1 090
	Прочие ДМ и установки	510	85
5	Системы капельного полива	2 150	3 190
6	Насосные станции, системы на орошаемых системах, штук	2 360	3 360

Общее количество насосных станций составляет 3358 комплектов и включает следующие технические средства: стационарные насосные станции и установки [61]:

- 1730 штук,
- передвижные насосные установки и станции - 1460 штук.

Можно отметить, что произошло значительное увеличение количества импортного дождевального оборудования, машин, в основном за счет поставок широкозахватных дождевальных машин и машин шланго-барабанного типа дождевальных машин, соответственно:

-шланговые дождевальные машины- на 1045 с коэффициентом обновления технических средств для полива – 1,45и

-шланго-барабанные дождевальные машины на 140 единиц с коэффициентом обновления технических средств 1,15.

Анализ программы ввода мелиорированных земель и поставок дождевальной техники и технических средств за предыдущие десять лет (2016-2019 годы) показал, что в основном спрос на рынке оросительного оборудования осуществлялся за счет поставок машин и оборудования иностранных производителей.

В частности, дождевальной техники было привезено около 1300 широкозахватных дождевальных машин и 300 шланговых барабанных иностранных производителей [61].

Можно также заметить, что за последние несколько лет, по широкозахватным дождевальным машинам производители увеличили производство от 0 до 16%, а по шлангобарабанным дождевальным машинам от 0% до 48% от общих объемов наличия на рынке [61].

Надо отметить, что в последние годы парк оросительной техники по целому ряду позиций значительно обновился и повысил свои показатели, появилось ряд моделей, отвечающих современным требованиям надежности и качества, тем не менее из 5175 российских машин, более 95% устарело. Многие дождевальные машины работают значительно дольше нормативного срока эксплуатации и их характеристики значительно снижены.

Менее половины от общего парка дождевальной техники находится в хорошем техническом состоянии.

Прогноз потребности техники орошения

Для прогнозирования потребности технических средств полива необходимо коснуться вопроса механизмов финансовой поддержки сельскохозяйственных производителей агропродукции и эксплуатирующихся мелиорированные земли. Надо отметить, что это по прежнему являются федеральные программы развития мелиорации и очень малая доля участия в этом бизнеса. Практически отсутствуют проекты, реализованные при участии и различных фондов инноваций, бизнес-стартапов.

За последние за три года введенная в пользование площадь составила 73 тыс. гектара, в том числе в 2019 году – 25 тыс. гектаров, в 2020 году – 30 тыс. гектаров, а в 2021 году – 19 тыс. гектаров [61].

Доля региональных технических средств орошения, которые эксплуатировались в период с 2014 по 2019 год, выглядит следующим образом:

- широкозахватные ДМ – 60%;
- шланговые барабанные ДМ – 5,0%;

– комплекты на основе быстро собираемых трубопроводных систем и дождевальных аппаратов – 1,5%;

–поверхностный полив - 20,0%;

– стационарные системы – 2,0%.

– системы мелкодисперсного дождевания – 1,5%,

– системы капельного орошения – 12,0%.

Ведь если учесть, что площадь орошаемых земель, орошаемых широкозахватными ДМ, составляет около 50 000 га, а одна машина обслуживает площадь в 70 га, то ежегодно требуется не менее 700 широкозахватных устройств.

Учитывая опыт реализации программы освоения орошаемых территорий, можно прогнозировать, что в период с 2021 по 2025 год этот объем не опустится ниже указанного уровня. Потребность в модернизации существующих технических средств полива весьма значительна.

С учетом замены существующих широкозахватных дождевальных машин, работающих в настоящее время с истекшим сроком эксплуатации, может потребоваться всего около 4500 машин только кругового перемещения.

Импортная оросительная техника

Основными производителями иностранной техники на Российском рынке являются Valley, Zimmatik, Reinke, TL (производство в США), RKD (производство в Испании), Western (производство в ОАЭ), Lindsay (Турция), Bauer (Австрия), Beinlich (Германия), Ocmis, RM, Nettuno, Idrofoglia, Irtec, Irrimec (Италия).

Только за 2016-2018 годы этими компаниями было завезено в РФ около 1320 широкозахватных дождевальных машин и 310 шланговых барабанных дождевальных машин, организованы дилерские сети и сервисные службы.

Более подробный анализ показывает следующее:

Шланговые барабанные ДМ – 310 штук. Основным поставщиком является Италия – 98,0%, а основными компаниями-производителями: IRRIMEC – 25,6%; OCMIS – 16,7%; RM – 22 %; NETTUNO – 13,5%; IRTEC–11,5%.

Мобильных дождевальных систем оборудованных среднеструйными дождевальными аппаратами было поставлено 86 комплектов для орошения 5,0 тыс. гектаров. Производители: Rein Berd, Raesa, Bayer.

Широкозахватных дождевальных машин – 1290 штук. Основные компании – поставщики корпорации: Valley – 41,24%; Lindsey – 24,42%; TL – 12,67%; Reinke – 7,37%; Bayer – 6,91%.

На долю остальных стран (Китай, Италия, Франция, Испания, Саудовская Аравия) приходится порядка 7,4%. На долю фирм – производителей дождевальной техники из США приходится основная часть - 85,70% всего рынка.

Системы капельного орошения – 213 комплектов было поставлено за этот же период времени.

Основными производителями оборудования и запасных частей к ним являются Netafim ltd– 60%; Seo won co., ltd –10,0%; “Hekimoglu plastik ve kalip sanayi – recep gumus” -10% Metzerplas ltd –10,0% Micro mist irrigation products co.,ltd–5% [61].

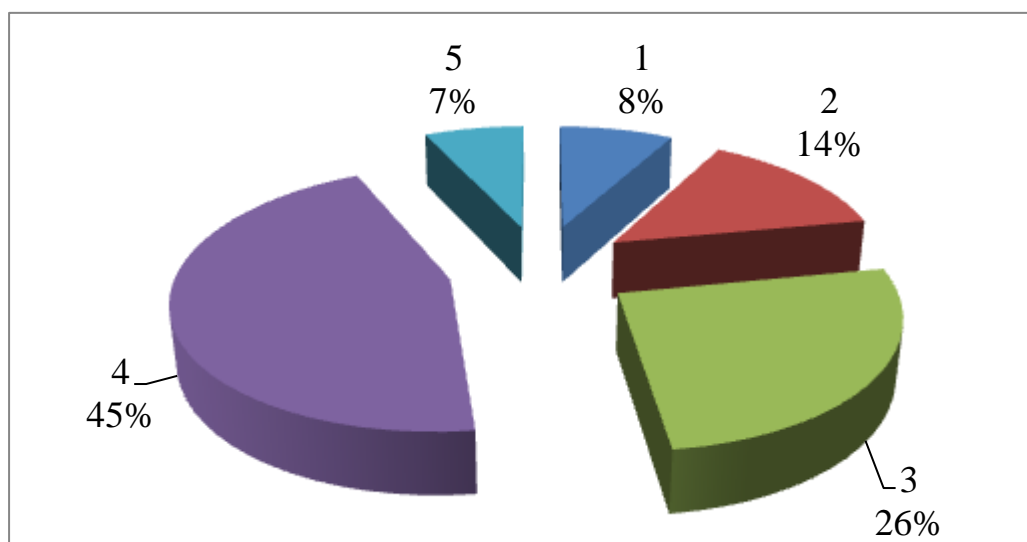


Рисунок 1.2– Статистика иностранной техники полива: 1-Reinke, 2-TL, 3-Lindsey, 4-Valley, 5-другие

Российская дождевальная техника

В 2015-2016 годах ряд российских производителей возобновил

непрерывный выпуск отечественных дождевальных машин.

Всего в 2016-2019 годах было выпущено 176 отечественных широкозахватных дождевальных машин. К числу производителей, выпускающих в настоящее время более 20 машин:

- Казанский завод производства оросительной техники. Производство началось в 2016 году. К 2020 году всего было выпущено более 90 штук дождевальных машин: 2017 год - 35, 2018 год - 40, 2019 год - 22 [61].

- ООО "БСГ". Производство широкозахватных дождевальных машин новых моделей "Фрегат" началось в 2016 году. Всего до 2020 года было произведено 60 единиц. В том числе: 2016 год - 22, 2017 год - 6, 2018 год - 22, 2019 год - 22. Производство автоматизированных широкозахватных ДМ типа "Кубань" начато компанией в 2019 году и 30 единиц в 2020 году.

Производство шлангобарабанных машин за 2016-2019 годы составило 175 единицы.

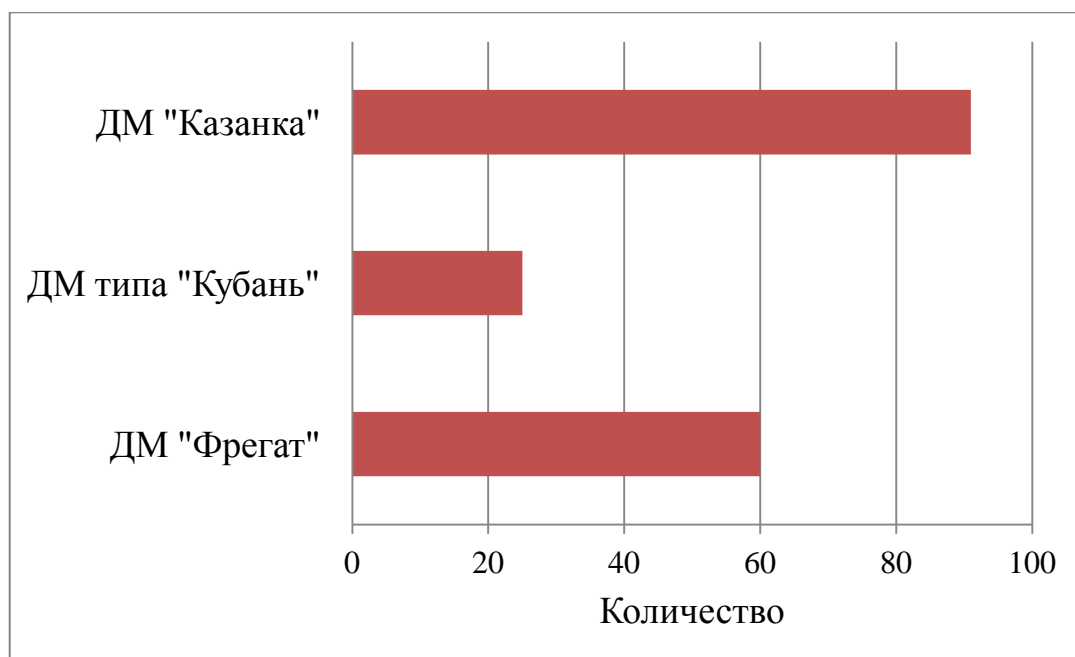


Рисунок 1.3 - Производство широкозахватных дождевальных машин в России за 2016-2018 г.

ООО «Завод дождевальных машин». Сборка и производство были начаты в 2015 году. За 2016-2019 годы было произведено 120 машин «Харвест». В частности в 2016 году – 16 штук, в 2017 году – 22, в 2018 году – 24, в 2019

году - 60 штуки [61].

ОАО «Промтрактор-Вагон», Концерн «Тракторные заводы» - произведено шлангобаранных дождевальных машин «Ниагара» за 2016-2017 годы - 40, за 2018 год –18 [61].

1.2 Требования к техническим средствам полива нового поколения

При проектировании и изготовлении технических средств полива нужно ориентироваться на современные требования и существующий уровень мировой техники. Разработка их должна соответствовать следующим требованиям:

- диаметр капель воды должен быть обеспечен в границах от 0,5 до 1,0 мм,
- интенсивность - до 0,25 мм/мин,
- равномерность распределения по площади орошения - не менее 0,9.

Показатели качества дождя

Качественные показатели создаваемого дождевателями искусственного дождя зависят от конструкции дождевальных машин и дождевателей, расположении дождевателей, расстоянии их вдоль пояса дождевальных машин.

Контролируемые характеристики:

- интенсивность осадков;
- Равномерность орошения;
- Диаметр дождевых капель;
- Потери воды за счет испарения и ветра;
- Среднее и фактическое количество осадков.
- Распределение слоев осадков на орошаемых территориях.

Качество полива оцениваются по критериям:

- коэффициентом эффективного орошения $K_{ЭП}$,
- коэффициентом избыточного орошения $K_{ИЗ П}$ и
- коэффициентом недостаточного орошения $K_{НП}$. Данные коэффициенты во

многим являются основными оценочными показателями.

Урожайность в основном зависит от равномерности распределения слоя осадков. Технические средства полива должны обеспечивать равномерное распределение осадков при условии, что эффективный коэффициент орошения составляет не менее 0,7.

Важным параметром при оценке качества орошения является диаметр дождевых капель, особенно медианный диаметр. Физический смысл этого показателя заключается в том, что половина осадков выпадает в виде капель диаметра меньшего, а половина - в виде капель большего диаметра.

Известно, что диаметр капель дождя при поливе дождеванием как правило составляет от 0,5 до 2,4 мм, но согласно существующим требованиям средний диаметр капель не должен превышать 1,5 мм [55, 56, 133].

К примеру, для дождевальных аппаратов дождевальных машин «Фрегат», установленных в начале водопроводящего пояса, средний диаметр капель составляет 0,2-0,4 мм, увеличиваясь к концу до 1,6-2,2 мм, что оказывает на почвы негативное влияние [55, 56, 109, 110, 142, 143].

На равномерность влияют следующие параметры: скорость и направление ветра, дисперсия струи и ее перекрытие, колебания давления в замкнутой сети, рельеф поля и т.д.

Интенсивность полива также изменяется в значительных пределах в зависимости от места ее измерения относительно расположения от основной опоры машины.

Основной характеристикой является мощность осадков - это энергия W потока осадков, действующая в единицу времени t :

$$N_d = \frac{W}{t}, \quad \text{Вт} \quad (1.1)$$

Удельная мощность образуемого дождя [55, 56, 75], Вт/м²:

$$N_{уд} = 0,0083 \rho_{ср} \sum_{i=1}^n (n_i V'_{ki})^2 = 0,14 \rho_{ср} d_k, \quad (1.2)$$

где: V'_{ki} - м/с скорость капель; $\rho_{ср}$ м/с - интенсивность, мм/мин; n_i - доля

соответствующего размера от общего количества.

Важное влияние оказывают интенсивность полива и такая характеристика, как норма полива до образования стока.

Исследования, проведенные ВолжНИИГиМ показали, что в центре машины "Фрегат" -13-18 %. Ближе к консольной части сток значительно увеличивается, до 16-23 % в конце трубопровода [55, 56, 142].

В центральной части трубопровода оросительная система относительно стока уменьшается с 63 мм до 54 мм и не превышает 25 мм в конце машины.

В конце ДМ «Фрегат», дождь имеет интенсивность уж 0,55-0,60 мм/мин, после первого полива образуется 8-11% стока, а после пятого - 21-33% [142].

У последней тележки интенсивность дождевых капель достигают значительных величин, вызывая сток и эрозионные процессы почвы. Согласно исследованиям всех авторов, объем стока увеличивается в конце водопроводящего пояса машины и с увеличением частоты поливов [55-57]. Аналогичные результаты были получены учеными ВолжНИИГиМ в Саратовской области (полив "Фрегатом" на темно-каштановых и каштановых почвах [142-144]).

Таким образом, в настоящее время накоплен важный фактический материал о качестве полива широкозахватными дождевальными машинами. Он заключается в том, что равномерность полива дождевальными машинами при эффект ветре явно недостаточна, а потери воды за счет испарения и сноса значительны, что требует технико-технологических решений.

Поэтому разработка дождевальных машин и дождеобразующих устройств и модернизация уже существующей техники для повышения качества орошения, равномерности полива, уменьшения размера капель воды и интенсивности подаваемого дождя, является актуальной задачей.

1.3 Анализ дождеобразующих устройств

Определимся с терминами. Оборудование для образования распыленной

воды, совокупность изделий и устройств, устанавливаемых от выхода трубопровода до корпуса дождевальной машины называется дождеобразующими устройствами.

То есть в них входят устройства в виде штанг или гибких водосточных труб для подачи воды, муфты и фитинги, грузы и регуляторы давления, а также непосредственно сами дождеватели. Т.е. дождеватель - это составная часть дождеобразующего устройства.

На дождевальной технике самого разного принципа действия, в том числе кругового и фронтального перемещения применяются дождеватели различных конструкций, работающие по разным принципам и обеспечивающие разные дождевые факелы распыла.

К наиболее известным, широко применяемым и внедренным на широкозахватных дождевальных машинах относятся: среднеструйные дождевальные аппараты "Фрегат", секторные насадки; дождевальные насадки грибкового типа; центробежные насадки; "сегнерово колесо"; щелевого типа; дефлекторного типа.

Широко известны дождеватели Всероссийского института "Прогресс"; дефлекторные (ФГБНУ-Волж-НИИГиМ) и разные другие [16, 55, 56, 75, 107, 110, 120, 142, 143, 144].

Как можно заметить, имеющие разные принципы формирования дождя, особенности, достоинства и недостатки.

Проанализируем конструктивные особенности, принципы работы, преимущества и недостатки каждого типа используемых дождевателей.

Наиболее широко распространенная широкозахватная дождевальная машина "Фрегат" первоначально оснащалась среднеструйными дождевальными аппаратами нескольких типов, маркируемых номерами [139].

К основным достоинствам среднеструйных аппаратов "Фрегат" можно отнести большой радиус орошения.

Недостатками, в частности, и у дождевальной машины «Фрегат», являются

их высокая стоимость, масса, а соответственно и металлоемкость и большой размер дождевых капель в конце струи.

Мгновенное количество осадков также изменяется вдоль трубопровода "Фрегат" в диапазоне 1,2-2,6 мм/мин. Кроме того, дождевальные аппараты требуют обслуживания, затратного по времени.

При высоте подъема дождевых облаков 5-8 м вероятность сноса ветром увеличивается. Кроме того, для струйных дождевальных аппаратов среднего характера нестабильная работа и высокая вероятность засорения сопел, что требует периодического обслуживания.

Российские НИИ и компании производители также в большинстве случаев начали переоснащение машин дождевателями российских или западных моделей. Например, разработанный СибНИИХИМ дождеватель на "Фрегат" 159 штук, вместо 49 струйных аппаратов [55, 56, 142].

К устройствам постоянного действия относятся дефлекторные распылители, сопла специальной формы и дополнительные стволы для создания нескольких струй. К устройствам периодического действия относятся кольцевые и гребенчатые прерыватели [49, 55, 56, 142-145]. Повышение устойчивости струи против ветра может быть достигнуто за счет уменьшения угла выброса струи относительно горизонта, рассеивания факела распыла и скорости вращения [14, 26, 55, 56, 59, 62, 143].

Дождеватель типа "грибок", разработанная СтавНИИХИМом [142], образует тонкую пленку жидкости, распадающуюся на мелкие капли, образуя факел распыливания. К недостаткам можно отнести быстрое заиливание, засоряемость, сравнительно частую поломку, необходимость в промывании и сложность регулировки расхода.

Дождевальные аппараты имеют значительную стоимость и металлоемкость, даже при замене части их деталей на пластиковые или дешевых сплавов. Вопрос снижения стоимости имеет большое значение. Для этого используют дождеватели в виде дефлекторных насадок, при более частом расположении на трубопроводе,

так как они имеют меньший радиус распыления. Практически все иностранные производители устанавливают на широкозахватных дождевальными машинами дефлекторные дождеватели, работающие на низком напоре, компенсируя недостатки регуляторами давления на каждом дождевателе.

Секторные дождеватели работают при давлении 0,6-0,7 МПа на машинах "Фрегат", при этом диаметр сопел 1,5-2,0 мм для дождевателей в начале трубопровода машины обеспечивает требуемый расход воды, способствуя образованию мелких капель воды, подверженных воздействию ветра и испарению. Кроме того, они подвержены частому засорению.

Центробежные дождеватели известны давно, широко применяются во всем мире. В частности, применяются на дождевальных машинах ДДА-100М и ДДА-100МА в Российской Федерации и Украине. Их можно охарактеризовать низким коэффициентом расхода ($\mu = 0,27-0,30$) и мелкокапельным дождем. Основным недостатком считается небольшой радиус захвата дождя и, как следствие, высокая интенсивность.

Основными дождевателями иностранного производства, но широко применяемыми в России как на импортной, так и российской технике полива являются (рис. 1. 4) модели Comet.



KPS фирмы Kometa



Twister фирмы Kometa



Superspray фирмы Senniger



LDN фирмы Senniger



i-Wob фирмы Senniger

Рисунок 1.4 – Основные дождеватели Российских и импортных ДМ

Модель Comet KPS позиционируется для низкое давление для бережного полива.

Comet Twister ставит задачей качественную работу при низком напоре до 0,15 МПа для различного типа почв, в том числе с малыми досточковыми нормами.

Senniger Super Spray – разработан для простой эксплуатации, его легко чистить и устанавливать.

Усовершенствования спринклерной системы "Комета" заключаются в следующем:

- равномерное распыление воды,
- энергоэффективность.

- постоянный диаметр капель в пределах нормативных значений,
- надежность конструкции дождевателя.

Особенностью дождевателя Komet 3-D Motion System, работающего при давлении от 0,04 до 0,14 МПа и выпускаемого с диаметром сопла от 2 до 11 мм, является возможность дополнительного колебательного движения дефлектора. По заявлениям производителей, при его колебании увеличивается диаметр зоны полива и обеспечивается мягкость воздействия дождя (рис. 1.5).



Рисунок 1.5– «Komet 3-D Система движения»

Дождеватели Nelson- ротаторы. Согласно характеристикам, данным производителями обеспечивают значительный радиус, равномерный полив, низкие нормы полива. Данная модель разрабатывалась с целью экономии воды и энергоресурсов.

Rotator – вращающиеся модели дождевателей, обеспечивающие высокую равномерность полива.

Дождеватели Nelson- ротаторы. Согласно характеристикам, данным производителями обеспечивают значительный радиус, равномерный полив, низкие нормы полива. Данная модель разрабатывалась с целью экономии воды и энергоресурсов.

Rotator – вращающиеся модели дождевателей, обеспечивающие высокую равномерность полива.

Их основные характеристики и области применения приведены в табл. 1.3.

Одним из главных критериев при разработке дождевальных машин и рабочих органов – дождевателей Senniger является экономия природных ресурсов, в частности бережное воздействие на растения и почву.

Одной из наиболее распространенных моделей является Zeniger i-Wob, в которой для повышения равномерности полива используется вращение дефлектора и колебательный эффект (рисунок 1.7).



Давление 0,06-0,1Мпа

Рисунок 1.6 – Дождеватель модели i-Wob

Из-за различных форм дефлекторов характеристики нисходящего потока воды, а, следовательно, и характеристики орошения, весьма разнообразны.

Компания Senniger - несколькими исполнения дефлекторов (рис. 1.7).

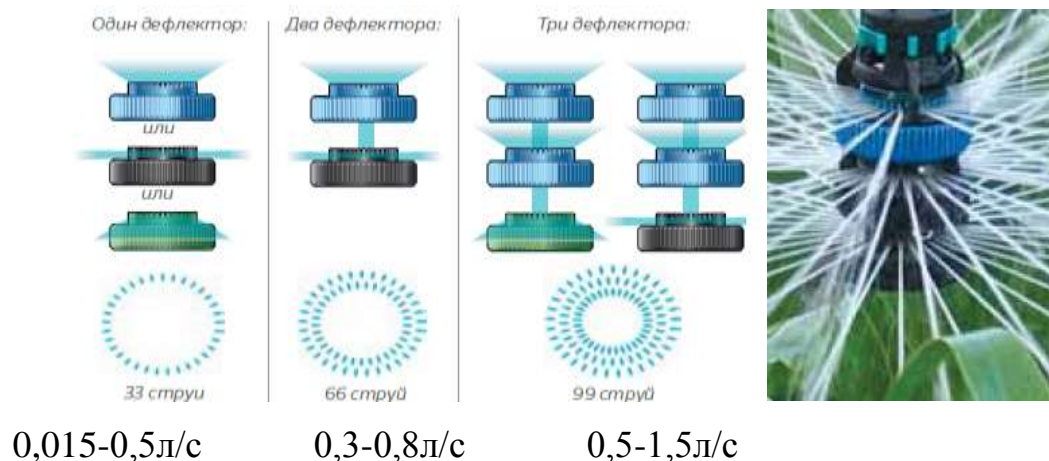


Рисунок 1.7 – Дождеватели с несколькими дефлекторами [280]

Для расширения эксплуатационных возможностей разработаны съемные вставки для направления воды (рис. 1.8).

Кукуруза. Вставка: 60°

Хлопок. Вставка: 15-30°

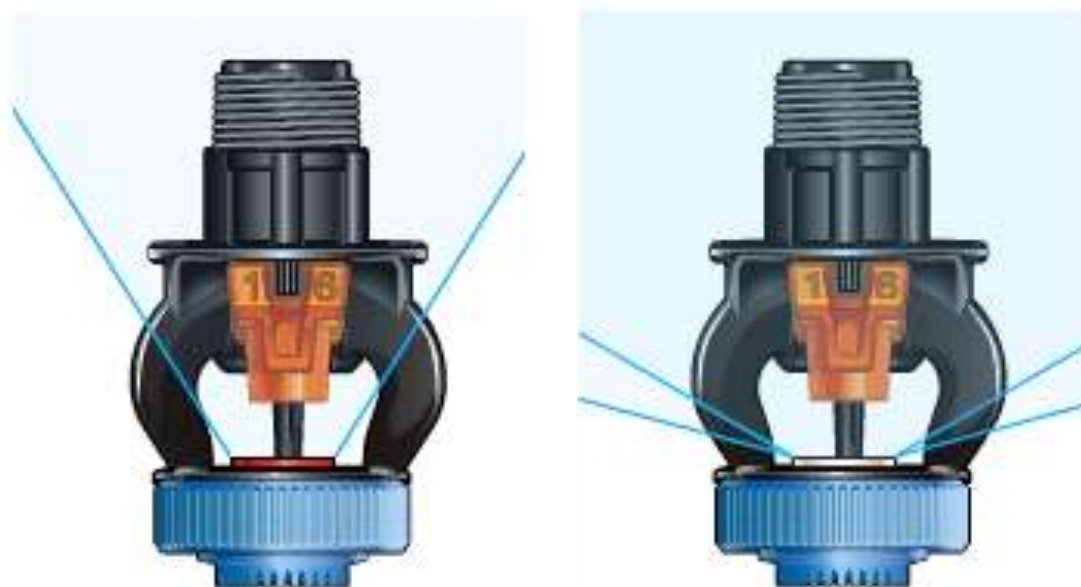


Рисунок 1.8 – Вставка для изменения подачи воды

Accelerator - модели дождевателей, применяемые для чувствительных культур и почв, Spinner (разбрасыватели, обеспечивают большую ветроустойчивость).

Модели Orbitor с конструируются для обеспечения большой

ветроустойчивости и меньшего засорения сопла.

Рассекатели Comet разделяются на несколько типов в зависимости от условий эксплуатации (рис. 1.9).




Рисунок 1.9 – Дефлекторы Comet

Таблица 1.3 – Характеристики дождевателей Nelson Irrigation [55, 56, 189]

Тип	Рисунок	Давление, МПа радиус полива, м	Особенности
1	2	3	4
Spinner		0,08-0,15 МПа 13-17 м	Мягкий полив под низким давлением. Свободно вращающийся дождеватель S3000 обеспечивает мягкое воздействие капель воды на культуры и почву.
Orbitor		0,05-0,15 МПа 11,5-19 м	Обтекаемая конструкция. Обеспечивает низкое давление, равномерность и оптимальный размер капель. Уменьшение засорения.

Продолжение таблицы 1.3

Sprayhead		0,05-0,3 МПа 5-13 м	Для проращивания семян и бережного полива
-----------	---	------------------------	--

Рассматривая модельный ряд дождевателей можно заметить, что было разработано и запущено в производство большое количество моделей и десятки дефлекторов, что экономически нецелесообразно.

Необходимо выявить наиболее важные факторы, влияющие на процесс распыления, и разработать экономически целесообразный номенклатурный ряд для различных условий эксплуатации.

Струйного типа дождеватели (рис. 1.10). В этого типа дождевателях поток воды образует плотную струю.

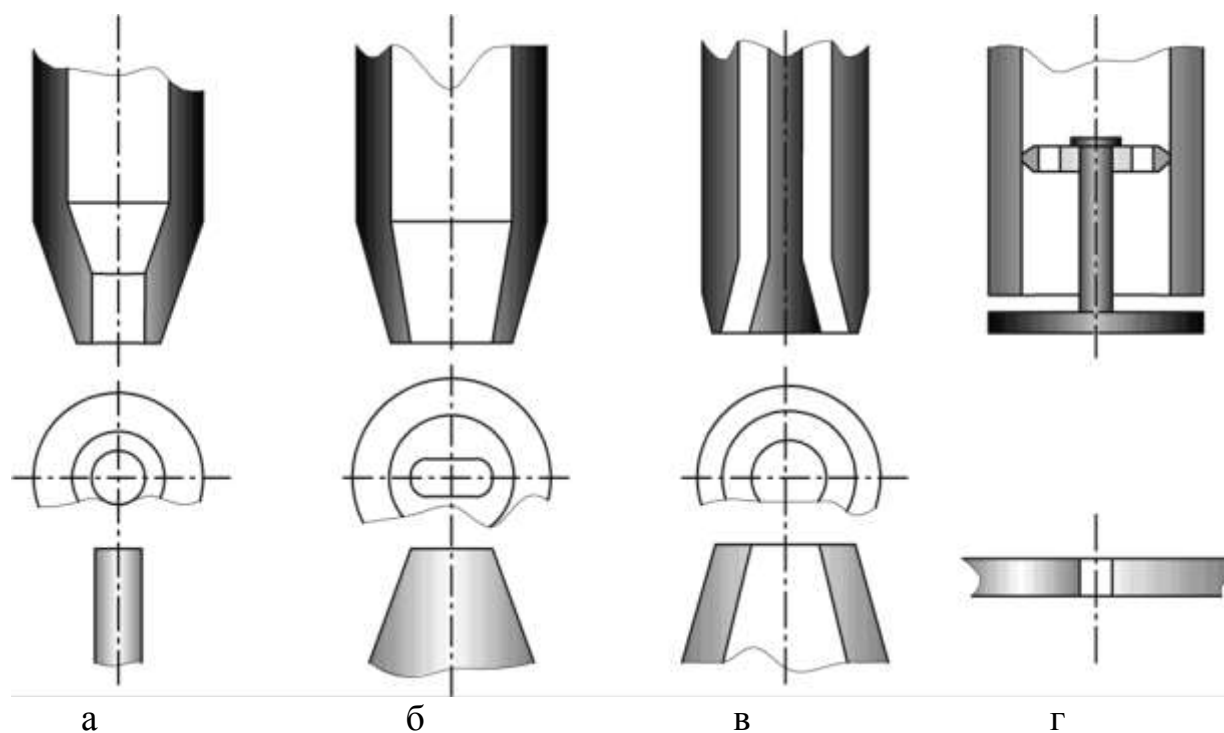


Рисунок 1.10 – Струйные: а – цилиндрическое сопло, б – щелевидное сопло, в – кольцевое сопло, г – сопло - прорезь

Принцип струйных дождевателей (струйно-ударного типа) основан на взаимодействии нескольких струй. При столкновении цилиндрических струй образуется плоская веерообразная струя. При столкновении двух или нескольких плоских струй образуется струя близкая к прямоугольной по форме. Кроме того, ее размеры можно регулировать, изменяя параметры исходных струи, количество струй и угол их наклона.

В ударно-струйных дождевателях распыливание обеспечивается взаимодействием струи с дефлектором (рис. 1.11), конфигурация которого и задает форму, направление факела, а также их количество.

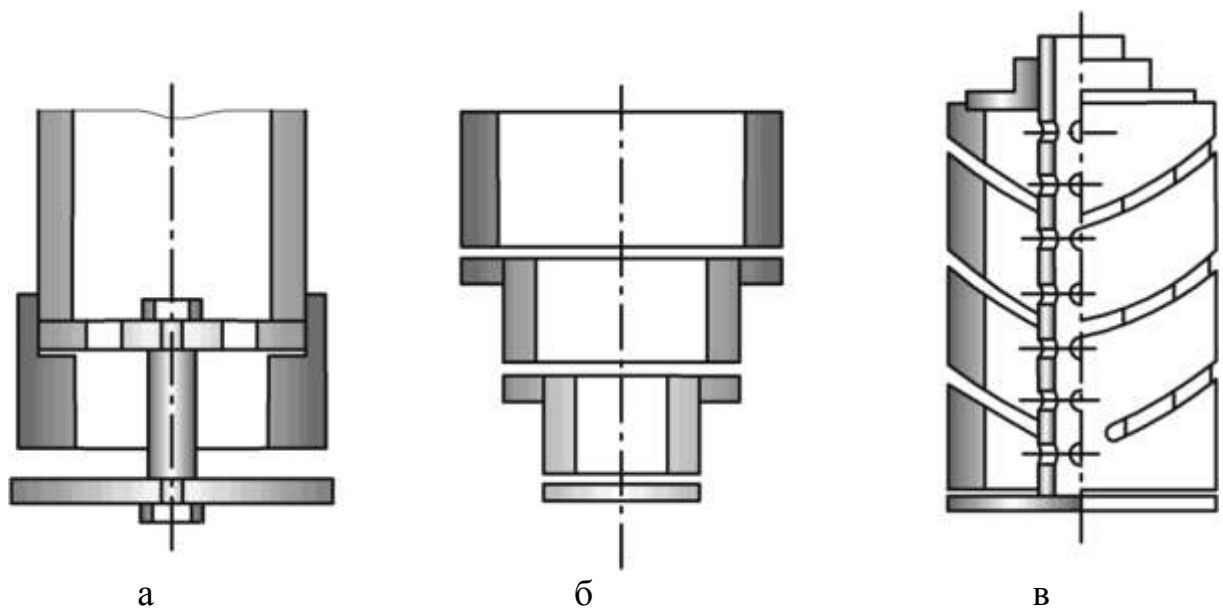


Рисунок 1.11 – Струйные с соплом круговой формы: а – одноплечная, б – многоплечная; в – спиральная

Центробежные насадки (рисунок. 1.12) имеют элемент, задающий потоку вращательное движение.

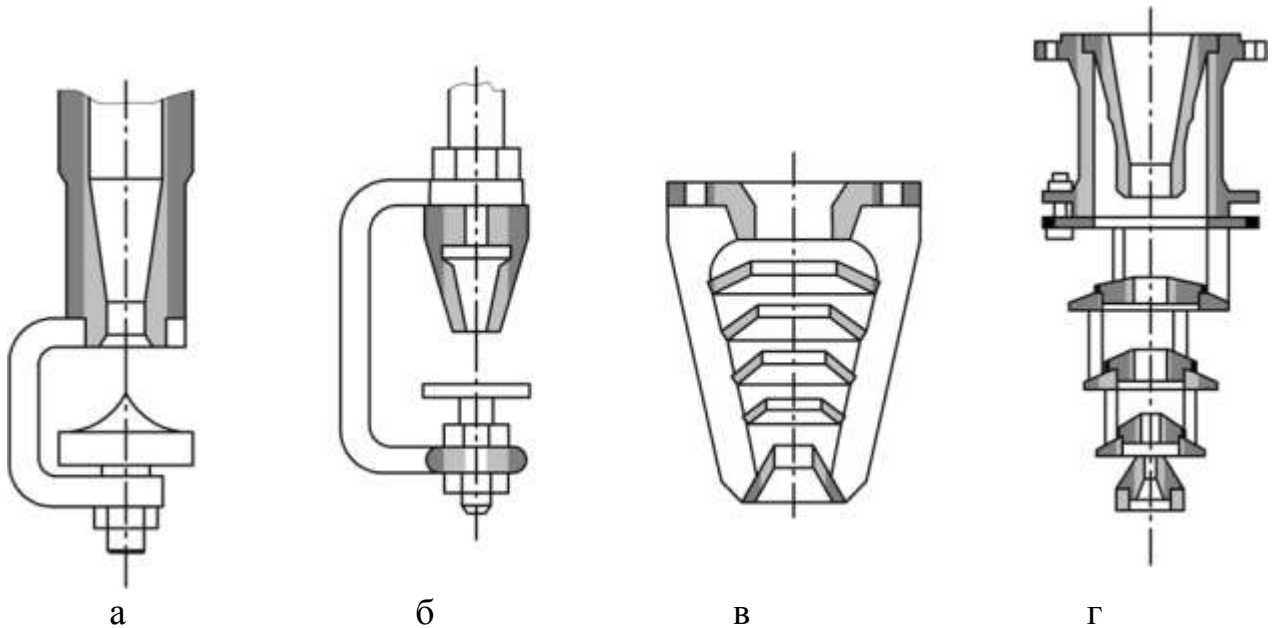


Рисунок 1.12 – Схемы ударно-струйных с дефлектором (а, б) и многодефлекторных (каскадных) (в, г)

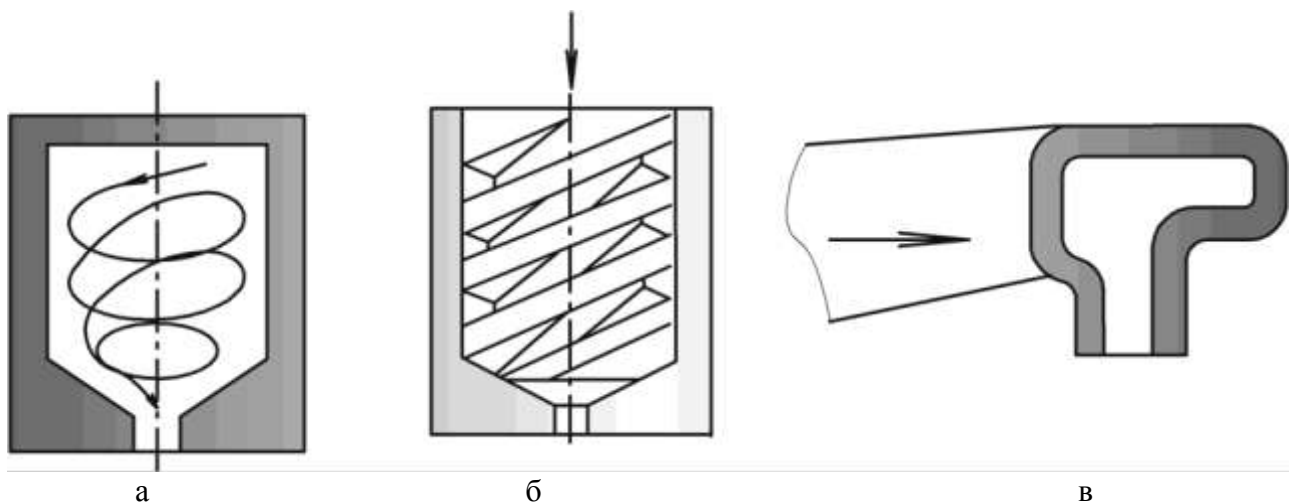


Рисунок 1.12 –Центробежные дождеватели: а – тангенциальная; б – шнековая; в – эвольвентная

1.4 Конструктивные схемы рассекателей потока жидкости

Дефлекторы по своему конструктивному решению и принципу действия можно разделить на стационарные и вращающиеся.

Дефлекторы в форме диска создают широкий факел, как показано на рис. (1.13).

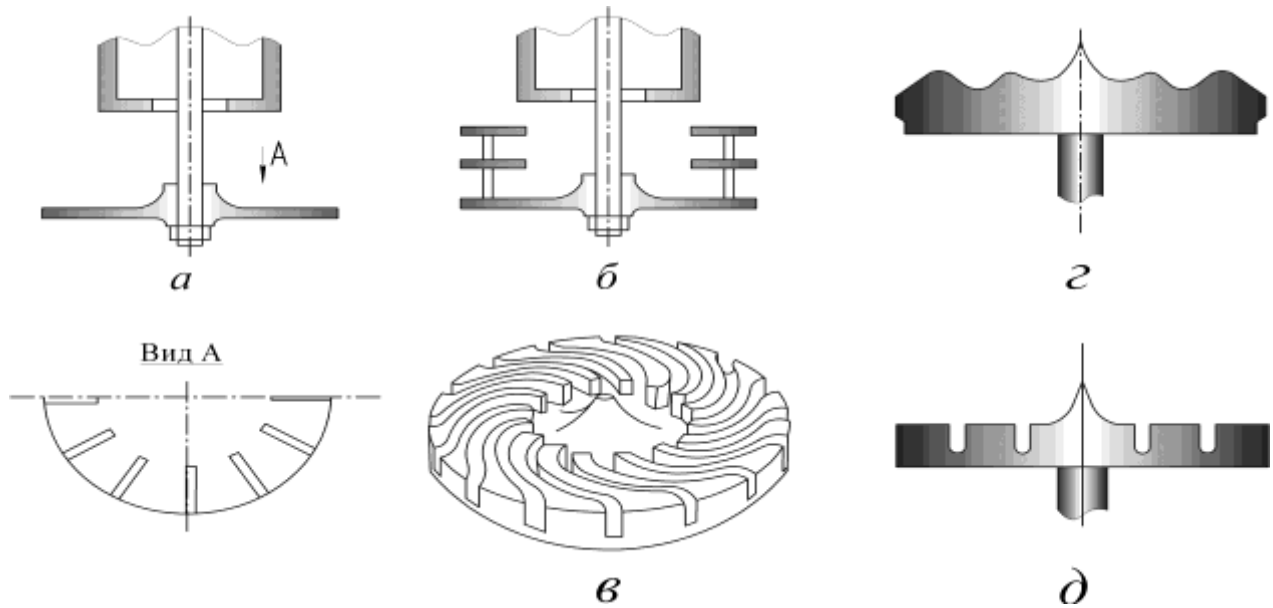


Рисунок 1.13 – Дискные дефлекторы: *а* – гладкий; *б* – с лопастями, многоярусный; *в* – с криволинейными насечками прямоугольного профиля; *г* – с насечками обтекаемой формы; *д* – с насечками параболической формы

Помимо гладких, они могут быть искусственно шероховатыми. В этом случае величина шероховатости, например насечек на поверхности должна соответствовать или превышать толщину пленки жидкости, образуемой на дефлекторе.

Во вращающемся дефлекторе траектория потока жидкости искривлена таким образом, что струя течет по касательной к внешнему диаметру. Вытекающая струя создает постоянный момент реакции, и дефлектор начинает вращаться вокруг своей оси. Плотность орошения и форма облака орошения могут регулироваться формой бороздок (шириной, положением, формой и количеством), а размер поверхности орошения - высотой бороздок и углом раствора щели.

Скорость вращения дефлектора определяется параметрами расхода жидкости и давления: при давлении более 0,02 МПа он начинает вращаться. При дальнейшем увеличении давления скорость вращения возрастает; при давлении

свыше 0,07 МПа пленка жидкости уменьшается.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений являются дефлекторного типа дождеватели, преимуществом которых является формирование мелкокапельного дождя. Радиус захвата дождя достигает 6-18 м, а средняя интенсивность - 0,3-0,8 мм/мин [21, 55, 56, 75, 78, 108-110, 142, 144, 145, 148].

Изготовление их из полимерных материалов позволяет снизить затраты и повысить надежность.

Поэтому к дождевателям предъявляются следующие основные требования:

- качественные показатели (размер капель, интенсивность, ветроустойчивость, эрозионная безопасность) для орошения при низком напоре;
- низкая цена;
- каждый элемент дождевателя должен обеспечивать универсальность и унификацию для различных условий эксплуатации.

Факторы, влияющие на выбор:

- характеристики почвы;
- выращиваемые культуры;
- условия эксплуатации;
- ветер и испарение;
- применение пестицидов.

1.5 Интенсивность дождевания

Согласно требованиям [50], дождевание как метод, следует применять на незасоленных и промытых почвах, где средняя интенсивность искусственных осадков не превышает впитывающей способности почвы и где уровень грунтовых вод не выше 2,5 м, оросительная норма не превышает 600 м³/га, поскольку процессы засоления, эрозии почвы, подъема грунтовых вод

усугубляются с течением времени.

Другими словами, ограничение связано с ирригационной эрозией, вызванной поливом. Известно, что она возникает при подачи воды с интенсивностью, превышающей скорость впитывания воды. Определяется типом почв, мощностью дождя, крупностью капель и др.

Тип почвы, состояние орошаемой поверхности, рельеф, качественные и количественные характеристик осадков и время полива определяют инфильтрационную способность почвы.

А.Н. Костяков упрощенно охарактеризовал допустимую интенсивность полива зависимостью от механического состава:

т.е. 0,1-0,2 мм/мин допустимо для тяжелых почв,

0,2-0,3 мм/мин - для средних почв и

0,3-0,8 мм/мин - для легких почв.

М.И. Багров и И.Г. Кружилин в своих исследованиях дали рекомендации допустимой интенсивности с учетом уклона орошаемой поверхности. Допустимая интенсивность составляет 0,5-0,85 мм/мин для поверхностей с уклоном 0,01-0,12 и для легких почв, 0,4-0,2 мм/мин для средних почв и 0,2-0,1 мм/мин для тяжелых почв.

В общем случае допустимая интенсивность определяется типом почвы, уклоном местности и диаметром капель.

Приведенные данные являются усредненными показателями. Для конкретных почвенных условий необходимо делать поправку на уклон поверхности орошаемого поля, стадию развития орошаемой культуры, условия агрофона и т.д.

Процесс образования капель при дождевании подробно изучен А.П. Исаевым [72]. Размеры капель варьируются от 0,4 до 4,0 мм [69-72]. Во многих работах [18, 20, 21, 43, 55, 56, 88] указывается на негативное влияние увеличения размера капель на поверхность почвы.

Распределение искусственных осадков по орошаемым поверхностям имеет

достаточно сложную природу. На него влияет ширина захвата машины и неравномерность радиуса от сопел дождевальных аппаратов. На него влияют перекрытие соседних струй дождевателей, напорно-расходная характеристика, а также погодные факторы.

Поскольку процессы достаточно многофакторны, для упрощения и установления нормативных значений норм полива зачастую учитываются только такие ключевые факторы, как динамическое воздействие дождевых капель на почву, интенсивность, технические характеристики и режим работы машины.

Упрощенный подход, при всех своих недостатках, не учета многих факторов и особенностей, позволяет определить наиболее опасные с точки зрения возникновения водной эрозии критические участки. Например, в случае ДМ "Кубань-ЛК1" интенсивность дождя в начале трубопровода у основной опоры составляет 0,4 мм/мин, а ближе к последней тележке - 1,25 мм/мин.

В исследованиях ВолжНИИХИМа [140-145] данные с 5-й по 12-ю тележки ДМ "Фрегат" показывают, что интенсивность увеличивается от 0,29 до 0,72 мм/мин и до 1,7 мм/мин по радиусу дождевателя.

Средний диаметр капель ДМ «Фрегат» от 8 до 16 тележек варьировался от 1,5 до 5,0 мм. Средний диаметр капель от 8 до 16 тележек машины колебался от 1,5 до 5,5 мм.

ДМ "Кубань-ЛК" имеет среднюю интенсивность дождя 0,98 мм/мин и диаметр капель от 1 до 1,2 мм (при оснащении короткоструйными дождевателями).

Структура и интенсивность осадков является одним из определяющих параметров при проектировании дождевальной техники и в значительной степени зависит от конструкции рабочего органа, дождевателя и схемой расположения по трубопроводу машины. Для снижения энергопотребления и обеспечения приемлемого качества полива необходимо было усовершенствовать конструкцию дождевальных машин, работающих при низком давлении, и схему расположения по длине водопровода дождевальной машины.

Снижение интенсивности осадков в ДМ "Кубань" было достигнуто путем установки на проемы дефлекторных насадок для рассеивания дождя [55, 56, 68].

Для "Фрегатов" ДМ низкого давления разработаны различные спринклеры и способы их регулирования. Предложено несколько схем размещения комбинаций дождевателей [146].

Например, в начале и конце ДМ дождеватели второй серии размещаются на $1/6-1/8$ длины трубопровода машины, а короткоструйные насадки секторного действия (ДМ "Кубань") в середине через каждые 2,5 м.

К недостаткам можно отнести увеличение размера капель к концу трубопровода и увеличение интенсивности дождя до 30% за счет более узкой зоны струи.

Известен способ размещения полиэтиленовых короткоструйных дождевателей с интервалом 2,7 м для низконапорных ДМ "Фрегат". Аналогичная схема использовалась в Казахстане, при этом сопла располагались через три метра друг от друга. В базовой машине количество дождевателей составляло 143 штук. [146]. Оснащение короткоструйными дождевателями улучшило структуру и качество осадков, повысило равномерность увлажнения почвы.

Следует также отметить исследования ВолжНИИГиМа [141-145]. Был предложен вариант комплектации разнотипных дождевателей с их определенной расстановкой, снижающей энергетическое воздействие дождевых капель на почву и растения. Схема представляла собой применение среднеструйных ДМ № 2 и короткоструйных секторных дождевателей и установку на поверхностных оросительных устройствах дождевателей дефлекторного типа с улучшенными характеристиками.

А.И. Рязанцев обосновывает и рекомендует следующее расположение по типу рельефа для обеспечения экологичного полива ДМ кругового перемещения [146]

1. Способ размещения дождевателей вдоль трубопровода. Для умеренного рельефа и всех типов почв.

Дождевальные аппараты устанавливаются в начале (серия № 1) и чаще в конце (серия № 2) машины. Дефлекторные дождеватели устанавливаются между ними. Дождеватели устанавливаются в начальной части, чтобы обеспечить необходимую интенсивность дождя и избежать засорения.

2. Способ размещения дождевателей вдоль трубопровода. Для уклонов до 0,05 и водопроницаемых грунтов. Разреженная установка дождевальных аппаратов 1, 2 и 3 по длине машины (серийный способ) [146].

3. Способ размещения дождевателей вдоль трубопровода на уклонах до 0,05 и на грунтах с низкой водопроницаемостью. По длине машины оборудование серий № 1 и 2 устанавливается разреженно в начале и более часто в конце машины серии № 2 [146].

4. Способ размещения дождевателей вдоль трубопровода. Для уклонов до 0,07 и всех типов грунтов схема размещения дождевальных аппаратов такая же, как и в предыдущем варианте, рис(1.14).

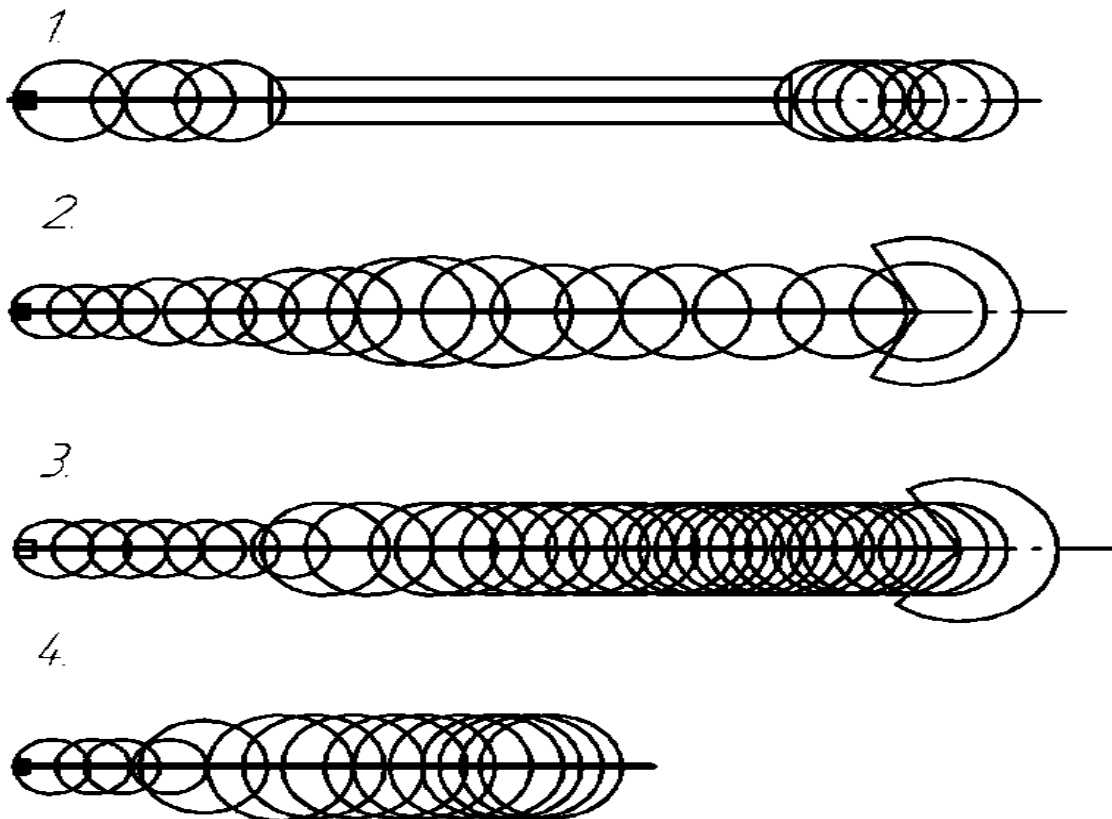


Рисунок 1.14 –Схемы расстановки

Все перечисленные модернизации зависят от конструкции и материалов изготовления дождевальных насадок, их количества и схемы размещения дождевальных аппаратов друг от друга.

Основная проблема заключалась в совершенствовании конструкции водопроводящих поясов для стандартных дождевальных машин вне заводских условий. Необходимо разработать новую технологию и технологические средства полива, низконапорные дождевальные машины, обеспечивающую безстоковый полив и высокие качественные показатели.

1.6 Проблемная ситуация, выводы, направления исследований

1. Одним из основных критериев как при выборе дождевальной техники, ее характеристик и технологии полива, так и при проектировании новой техники и разработке технологий ее работы, должно быть сохранение плодородия почв, снижение поверхностного стока и непроизводительных потерь оросительной воды.

2. Улучшение качества полива за счет снижения дисперсности дождя, повышения равномерности распределения по орошаемой площади, снижения поверхностного стока и минимизации потерь на испарение и снос ветром.

3. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости разработки дождевателей, в частности для почв средней и низкой водопроницаемости:

– спроектировать дождеватели, обеспечивающие полив малой интенсивности, создающие дождь с заданными характеристиками: диаметр капель 0,5-1,0 мм, интенсивность до 0,5 мм/мин при работе на низких напорах и рекомендаций размещения их, комплектации на дождевальной машине для обеспечения качественного распределения дождя по площади.

2. ГЛАВА ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЖДЕВАТЕЛЕЙ ДЕФЛЕКТОРНОГО ТИПА ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

2.1 Выбор основных параметров дождевателей и схем их расстановки

Выбору основных параметров дождевателей, исследованию их конструктивных особенностей посвящены работы многих ученых [5, 16, 32, 45, 54- 56, 70, 71, 95, 109, 142] и др.

К основным характеристикам относятся расход воды через корпус и сопло дождевателя, радиус полива, средняя интенсивность осадков, диаметр капель, испарение при поливе и снос под влиянием ветра.

Обтекание дефлектора имеет важное значение при проектировании короткоструйных дождевальных насадок. Поток жидкости, обтекающей вокруг дефлектора имеет вид достаточно устойчивой пленки, которая сохраняется до некоторого расстояния от точки схода с поверхности дефлектора, но затем теряется устойчивость и пленка распадается на отдельные капли или струйки. При этом капли можно разделить на основные и капли-спутники или так называемую «водяную пыль».

Движение турбулентной струи жидкости и ее распад в воздушной среде описать математически достаточно сложно, в частности невозможно описать этот процесс на основе решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Поскольку разрушение струи начинается с периферии, то дальность полета капли, образовавшейся в центре струи, максимальна. Точка падения капли на поверхность почвы является точкой максимального вылета струи и по этим каплям и производят измерение радиусы при экспериментальным исследованиям.

Фактически принято считать, что вся жидкость движется по одной траектории.

Большинство существующих исследований при определении толщины пленки и взаимодействия между жидкостью, обтекающей дефлектор и дефлектором не учитывают силы трения [55, 56, 71, 72].

Далее рассмотрим случай осредненного турбулентного установившегося продольного потока над вращающимся криволинейным дефлектором с характерным углом β , рис(2.1)

Предполагается что расстояние z_0 не менее r_1 , при этом дефлектор не влияет на характер истечения. Уравнения Бернулли для сечений 1–1, 2–2 составим с предположением, что движение в расчетных сечениях плавно изменяющееся, пренебрегаем высотой z_0 по сравнению со скоростными напорами [56, 58, 59]:

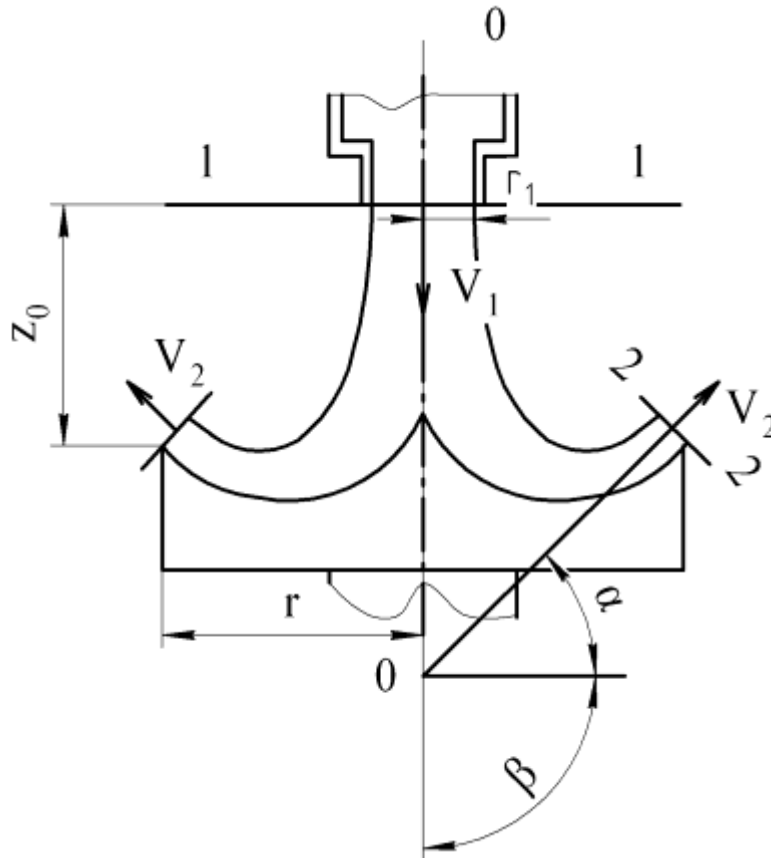


Рисунок 2.1 – Схема течения потока жидкости по конструктивным элементам дождевателя

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (2.1)$$

где δ - толщина пленки жидкости в сечении 2-2; h_f – потери напора от работы сил трения на поверхности дефлектора; V_1, V_2 – скорости движения жидкости в сечениях 1-1 площадью $\omega_1 = \pi r_1^2$ и 2-2 площадью $\omega_2 = \pi \delta (2r + \delta \cos \beta)$; α_1, α_2 - коэффициенты Кориолиса.

Суммарные потери напора можно определить по формуле Вейсбаха [56, 59]

$$h_f = \zeta \frac{V_2^2}{2g}, \quad V_1 = kV_2 \quad (2.2)$$

где ζ - суммарный коэффициент гидравлического сопротивления.

$$k = \sqrt{\frac{\alpha_2 + \zeta}{\alpha_1}} \quad (2.3)$$

- коэффициент, учитывающий силы трения.

Из уравнения (2.2) средняя скорость потока через расход Q и площади ω_1 и ω_2 живого сечения может быть исключена и записана как:

$$\omega_2 = k\omega_1 \quad (2.4)$$

Подставляя площади живых сечений ω_1, ω_2 , в (2.4) можно получить выражение для толщины пленки.

$$\delta^2 - \frac{2r}{\sin \alpha} \delta + k \frac{r_1^2}{\sin \alpha} = 0 \quad (2.5)$$

решение уравнения (2.5) имеет вид

$$\delta = \frac{r}{\sin \alpha} \pm \sqrt{\frac{r^2}{\sin^2 \alpha} - k \frac{r_1^2}{\sin \alpha}} \quad (2.6)$$

Знак уравнения (2.6) выбирается из следующих обстоятельств:

- Если $\alpha > 0$ ($\beta > \pi/2$), то следует принять знак "-". В противном случае толщина пленки будет пропорциональна $r/\sin \alpha$, что противоречит эксперименту;

- Если $\alpha < 0$ ($\beta < \pi/2$), то принять знак "+".

Рассмотрим первый случай:

$$\delta = \frac{r}{\sin \alpha} - \sqrt{\frac{r^2}{\sin^2 \alpha} - k \frac{r_1^2}{\sin \alpha}} \quad (2.7)$$

Из (2.7) видно, что толщина пленки увеличивается с ростом коэффициента сопротивления ζ , а из (2.5) следует, что для $\alpha = 0^\circ$ [56, 59]

$$\delta = 0.5k \frac{r_1^2}{r} \quad (2.8)$$

Уравнения (2.7, 2.8) обобщают результаты работ при учете работы сил трения. Уравнение (2.7) может быть преобразовано к следующей безразмерной форме

$$\frac{\delta}{r} \sin \alpha = 1 - \sqrt{1 - k \left(\frac{r_1}{r} \sqrt{\sin \alpha} \right)^2} \quad (2.9)$$

Графики в соответствии с уравнением (2.9) для различных значений параметра k приведены на рис. 2.2.

Сила динамического давления струи P на дефлектор определяется в следующем виде:

$$P = \rho_B V_1 \omega_1 (V_1 - V_2 \cos \beta) \quad (2.10)$$

где ρ_B - плотность жидкости (воды). Из уравнения (2.2) средняя скорость V_2 может быть выражена:

$$P = \rho_B V_1^2 \omega_1 \left(1 + \frac{\sin \alpha}{k} \right) \quad (2.11)$$

Это обобщение известного уравнения для динамической силы удара струи по твердой поверхности.

В отличие от исследований [72], где потери энергии определяются эмпирическим множителем, равным 0,92-0,95, в уравнении (2.11) все потери энергии объясняются коэффициентом k .

Можно сделать вывод, что коэффициент k может быть определен экспериментально, если известны только размеры дефлектора (при конструировании он задается минимальным для снижения материалоемкости), толщина пленки и угол схождения пленки α (см. рис. 2.1).

Без учета влияния скорости ветра, траектория и длина вылета струи (радиус сопла) R' выражаются в соответствии со схемой, приведенной. Здесь начало координат помещено в центр тяжести активной секции 2-2 (см. рис. 2.2), а), $z_{\text{нас}} + 0,5\delta \cos \alpha$ - расстояние от центра тяжести активной секции 2-2 до поверхности земли.

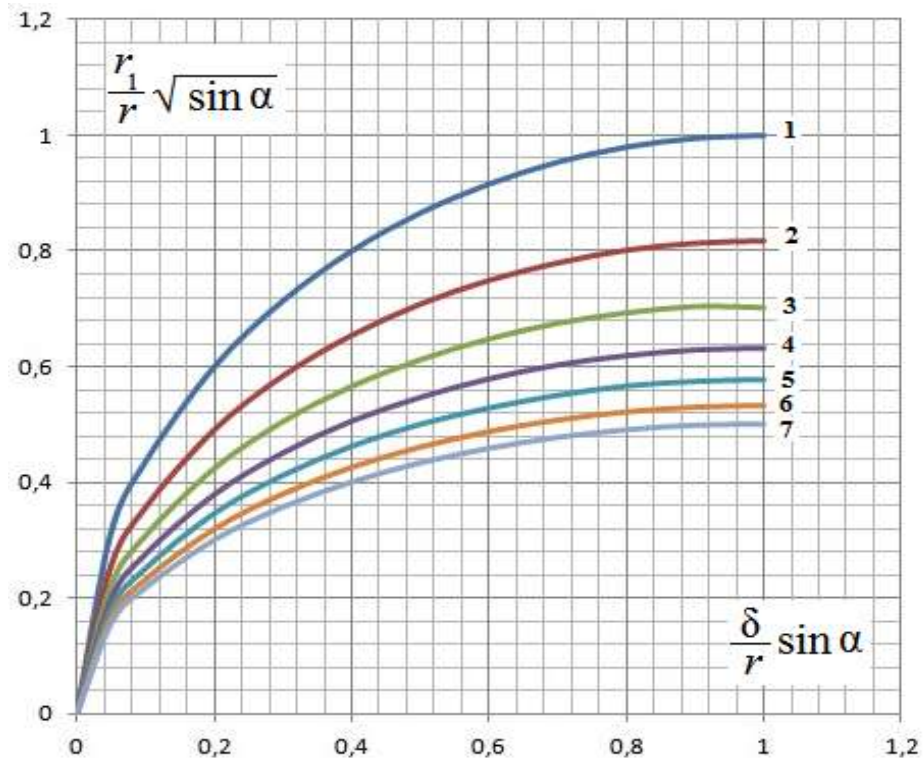


Рисунок 2.2 - Графическое представление зависимостей (2.9)

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

Очевидно, что поскольку $z_{\text{нас}} \gg 0,5\delta \cos \alpha$, то в дальнейшем рассматривается только высота установки $z_{\text{нас}}$ дефлектора.

Поскольку движение жидкости в дефлекторе осесимметрично, уравнение траектории струи для любого осевого участка потока при отсутствии сопротивления воздуха может быть записано в следующем виде:

$$z = xt \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2V_2^2 \cos^2 \alpha} x^2 \quad (2.12)$$

Исключение скорости V_2 из уравнения (2.2) дает

$$z = xt \operatorname{tg} \alpha - k^2 \frac{g}{2V_1^2 \cos^2 \alpha} x^2 \quad (2.13)$$

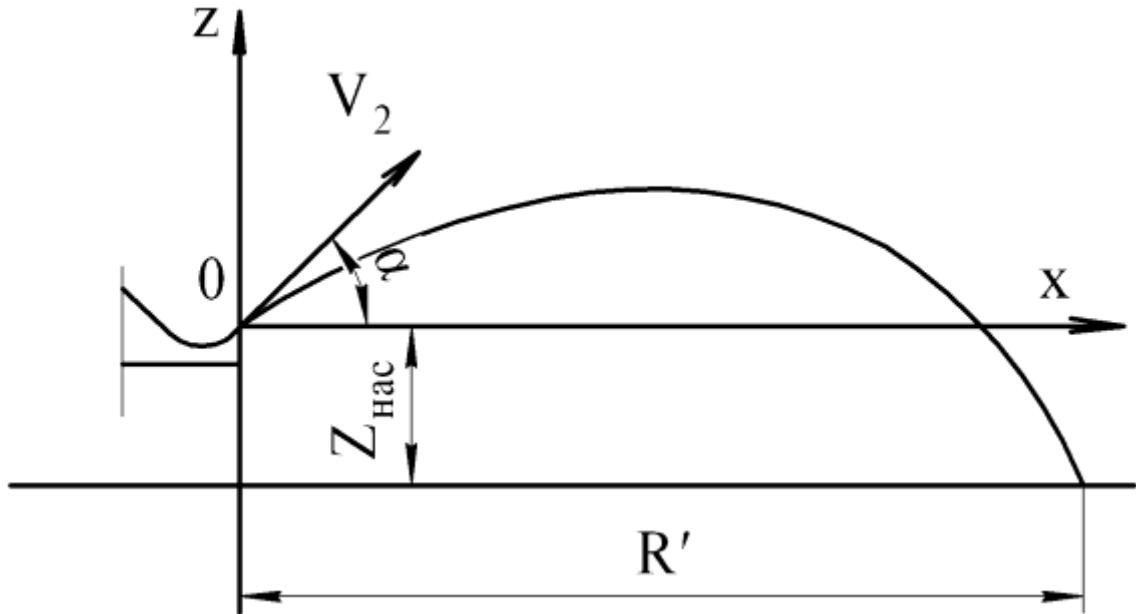


Рисунок 2.3 - Траектория струи при отсутствии ветра

Выразим начальную скорость V_1 с помощью формулы для цилиндрического сопла [124].

$$V_1 = \mu \sqrt{2gH} \quad (2.14)$$

где: μ - коэффициент расхода сопла; H - напор перед дождевателем.

В этом случае уравнение для траектории струи:

$$z = xtg\alpha - \frac{k^2}{4\mu^2 H \cos^2 \alpha} x^2 \quad (2.15)$$

$$h_f \approx \lambda \frac{1}{4R_2} \frac{V_2^2}{2g} = \frac{\lambda}{k^2} \frac{x}{4R_2 \cos \alpha} \frac{\mu^2 2gH}{2g} = \frac{\lambda \mu^2}{4k^2} \frac{Hx}{R_2 \cos \alpha} \quad (2.16)$$

Тогда окончательная форма траектории струи записывается в виде

$$z = xtg\alpha - \frac{k^2 x^2}{4\mu^2 H \left(1 - \frac{\lambda \mu^2}{4k^2 R_2 \cos \alpha} x\right) \cos^2 \alpha} \quad (2.17)$$

Из уравнения (2.17) можно получить уравнение, определяющее радиус действия дождевателя R' .

где λ - коэффициент сопротивления;

$$z_{\text{Нас}} = R' \operatorname{tg} \alpha - \frac{k^2 R'^2}{4\mu^2 H \left(1 - \frac{k^2 K}{4\mu^2 H \cos \alpha} R'\right) \cos^2 \alpha} \quad (2.18)$$

$$\text{где} \quad K = \frac{\lambda \mu^4}{k^4} \frac{H}{R_2} \quad (2.19)$$

К в общем случае является безразмерным параметром, зависящим от r , r_1 , α , δ , H и сопротивления дефлектора и воздушной среды.

Для расчета параметра К необходимо определить гидравлический радиус R_2 в сечении 2- 2, которое представляет собой усеченный конус с образующей δ (см. рис. 2.1).

$$R_2 = \frac{\omega_2}{X_2} = \frac{\pi \delta (2r - \delta \sin \alpha)}{2\pi r} = \delta - \frac{\delta^2}{2r} \sin \alpha \quad (2.20)$$

Поскольку $(\delta^2 / 2r) \sin \alpha \ll \delta$, то можно принять $R_2 \approx \delta$,

R_2 - гидравлический радиус сечения 2 - 2.

$$K = \lambda \frac{\mu^4}{k^4} \frac{H}{\delta} \quad (2.21)$$

Где коэффициент трения λ определяется числами Фруда и Рейнольдса, и, как показывают эксперименты А.И. Дидебулидзе, для чисел Рейнольдса порядка 105 коэффициент трения λ составляет $\lambda \approx 0,0018$. 0.0020 можно считать равным 0,0020.

Запишем решение квадратного уравнения (2.18) в следующем виде:

$$R' = L_0 \cos \alpha \quad (2.22)$$

$$L_0 = \frac{\sqrt{(az_{\text{Нас}}K - \sin \alpha)^2 + 4az_{\text{Нас}}(1 + K \sin \alpha) - az_{\text{Нас}}K + \sin \alpha}}{2a(1 + K \sin \alpha)}, \quad a = \frac{k^2}{4\mu^2 H} \quad (2.23)$$

Для нахождения максимального радиуса сопла R'_{max} необходимо найти производную $dR'/d\alpha$, которая должна быть равна нулю. Производная $dR''/d\alpha$ имеет очень громоздкий вид, поэтому проще для нахождения значения R'_{max} использовать численный метод по алгоритмам (2.20)-(2.23), не вычисляя производную $dR''/d\alpha$ напрямую. [56]

$$Q_H = 0.65 \text{ л/с}, \quad d_1 = 10 \text{ мм}, \quad d = 50 \text{ мм}, \quad \mu = 0.83, \quad z_{\text{Нас}} = 0.6 \text{ м} \quad (2.24)$$

Это свидетельствует о том, что максимальная длина вылета струи (радиус сопла) $R'_{\text{max}} = 1,5$ м достигается при $\alpha \approx 17 \dots 18^\circ$, что достигается при $\alpha \approx 17^\circ$.

Если пренебречь в уравнении (2.17) величиной $z_{\text{нас}}$ в связи с ее малой величиной по сравнению с другими членами уравнения (что возможно для $\alpha > 20^\circ$), то радиус R' можно записать:

$$R' = \frac{2\mu^2 H \sin 2\alpha}{k^2(1+K \sin \alpha)} \quad (2.25)$$

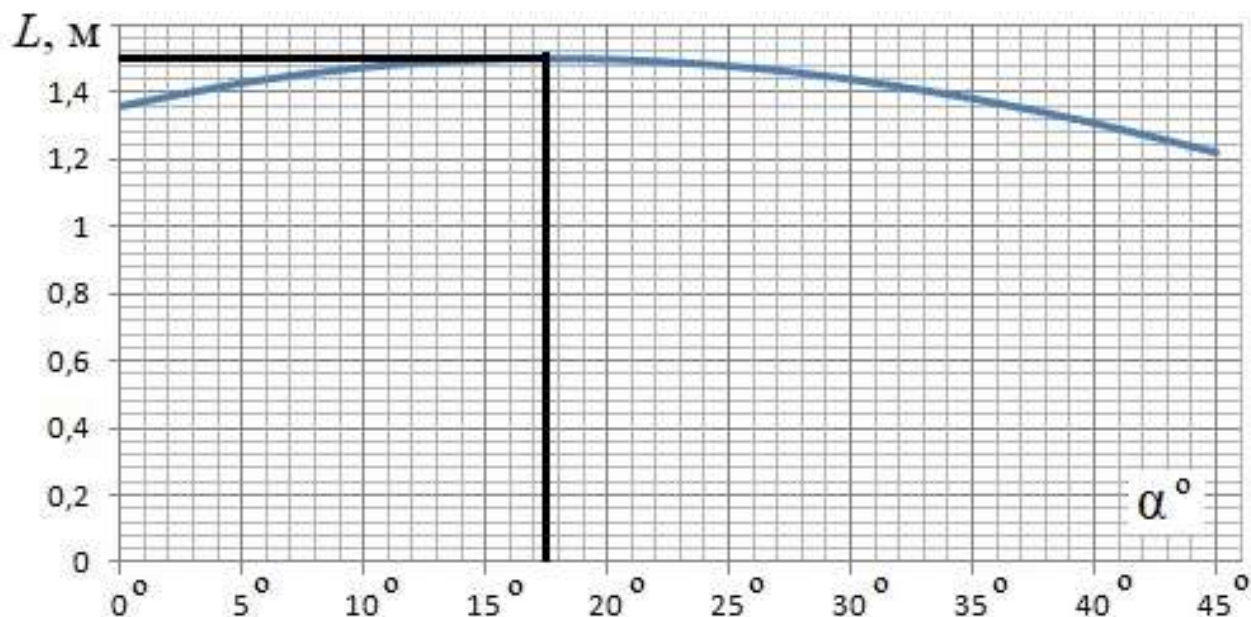


Рисунок 2.4- Определение радиуса захвата дождем

Нахождение производной $dR'/d\alpha$ и приравнивание ее к нулю дает

$$K \sin^3 \alpha + 2 \sin^2 \alpha - 1 = \frac{dK}{d\alpha} \sin^2 \alpha \cos \alpha \quad (2.26)$$

Любое решение α уравнения (2.26), для которого известно значение параметра K , дает максимальное значение радиуса сопла. Производная $dK/d\alpha$ в уравнении (2.26) имеет вид.

$$\frac{dK}{d\alpha} = -\frac{K}{\delta} \frac{d\delta}{d\alpha} = -\frac{K}{2\delta} \frac{2r\delta - kr_1^2}{r - \delta \sin \alpha} \operatorname{ctg} \alpha \quad (2.27)$$

Учитывая производную (2.27), видно, что уравнение (2.26) является алгебраическим уравнением пятого порядка относительно $\sin \alpha$ и не может быть

решено радикалами. В соответствии с (2.26) решение этого уравнения можно представить в графической форме, рис. 2.5.

С другой стороны, расчеты по (2.22) показывают, что параметр K слабо связан с углом α (рис. 2.5). При изменении угла α от 20° до 45° согласно (2.24) значение K снижается менее чем на 0,5%.

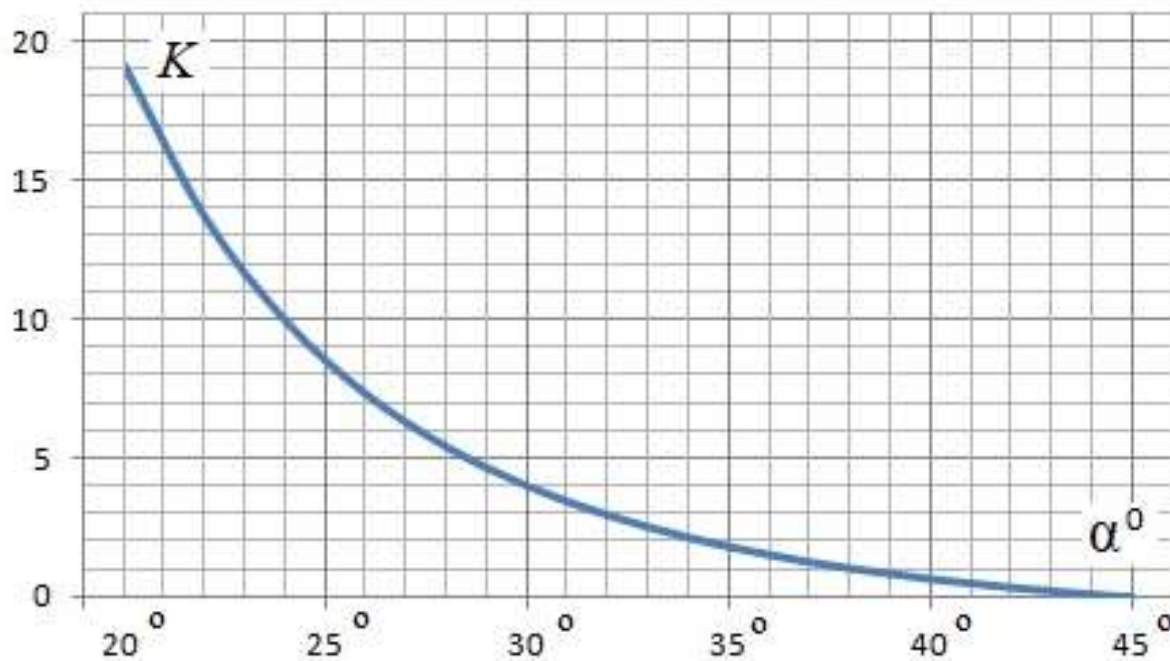


Рисунок 2.5 -Графическое определение оптимального угла вылета струи

Для приближенных расчетов можно считать, что K не зависящим от α ($dK/d\alpha = 0$), и уравнение (2.26) значительно упрощается.

$$K \sin^3 \alpha + 2 \sin^2 \alpha - 1 = 0 \quad (2.28)$$

Решение уравнения (2.28) можно представить как графически, так и найти аналитически по формулам Кардано [101].

Расчет траектории гидравлической струи по уравнению (2.16) с учетом данных (2.23) приведен на рис. 2.6.

Полученные расчетные зависимости и значения заданных параметров используются для проектирования криволинейного дефлектора дождевателя, определения расстояния между дождевателями и подбора номенклатурного ряда

сопел дождевателей дождевальной машины "КАСКАД».

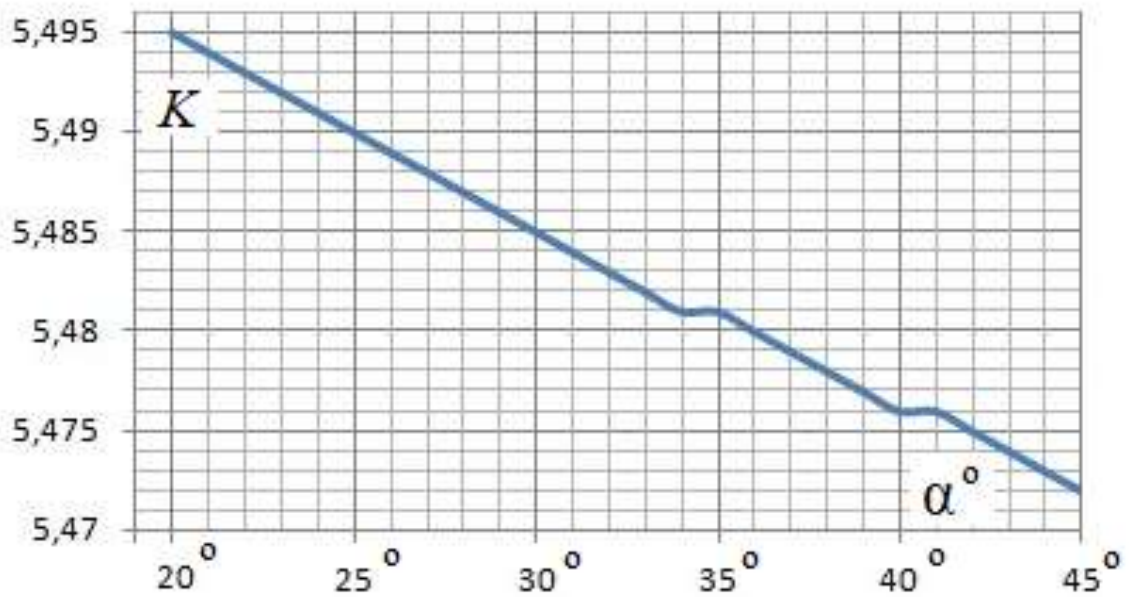


Рисунок 2.6 – Зависимость параметра K от угла α

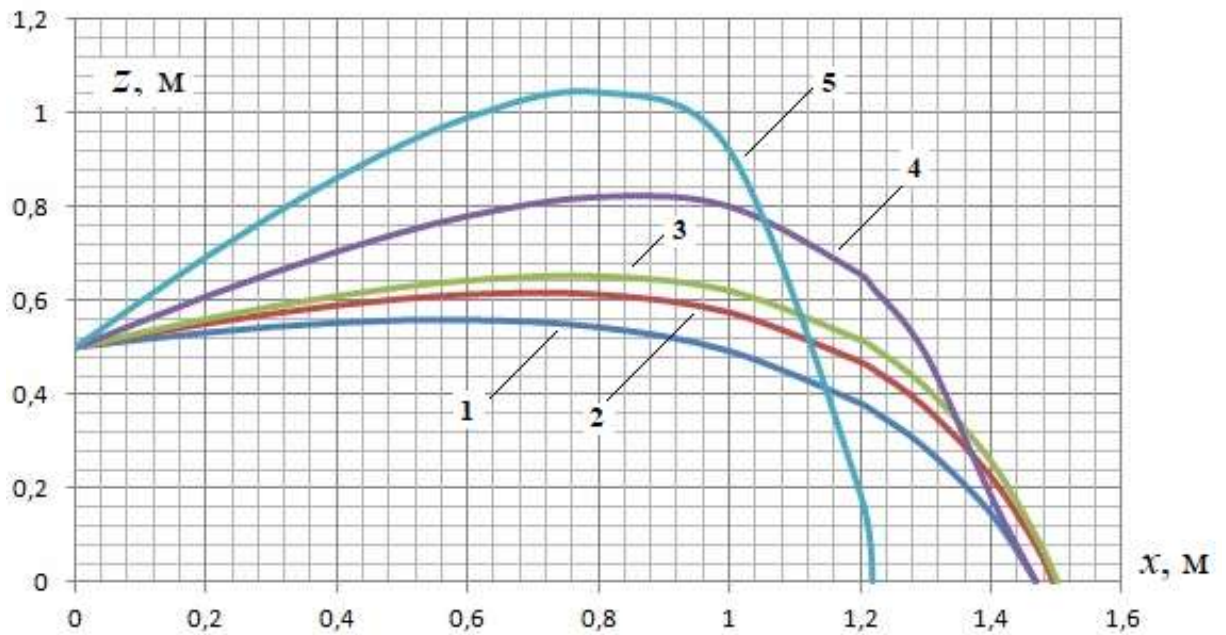


Рисунок 2.7 - Траектории гидравлической струи при различных углах вылета струи: 1 - $\alpha = 10^\circ$; 2 - $\alpha = 15^\circ$; 3 - $\alpha = 18^\circ$; 4 - $\alpha = 30^\circ$; 5 - $\alpha = 45^\circ$.

Базовая модель разработанного дождевателя (рис. 2.8) представляет собой основной корпус, в нижней части которого установлена сменная насадка, с соплом, определяющим расход воды за счет отверстия. Дефлектор

спроектирован с криволинейной образующей поверхностью.

Груз в нижней части дождевателя исключает вибрацию дождевателя из-за ветрового воздействия и повышает равномерность полива. Основные задачи заключались в снижении стоимости изготовления, упрощении конструкции и повышении эксплуатационной надежности.

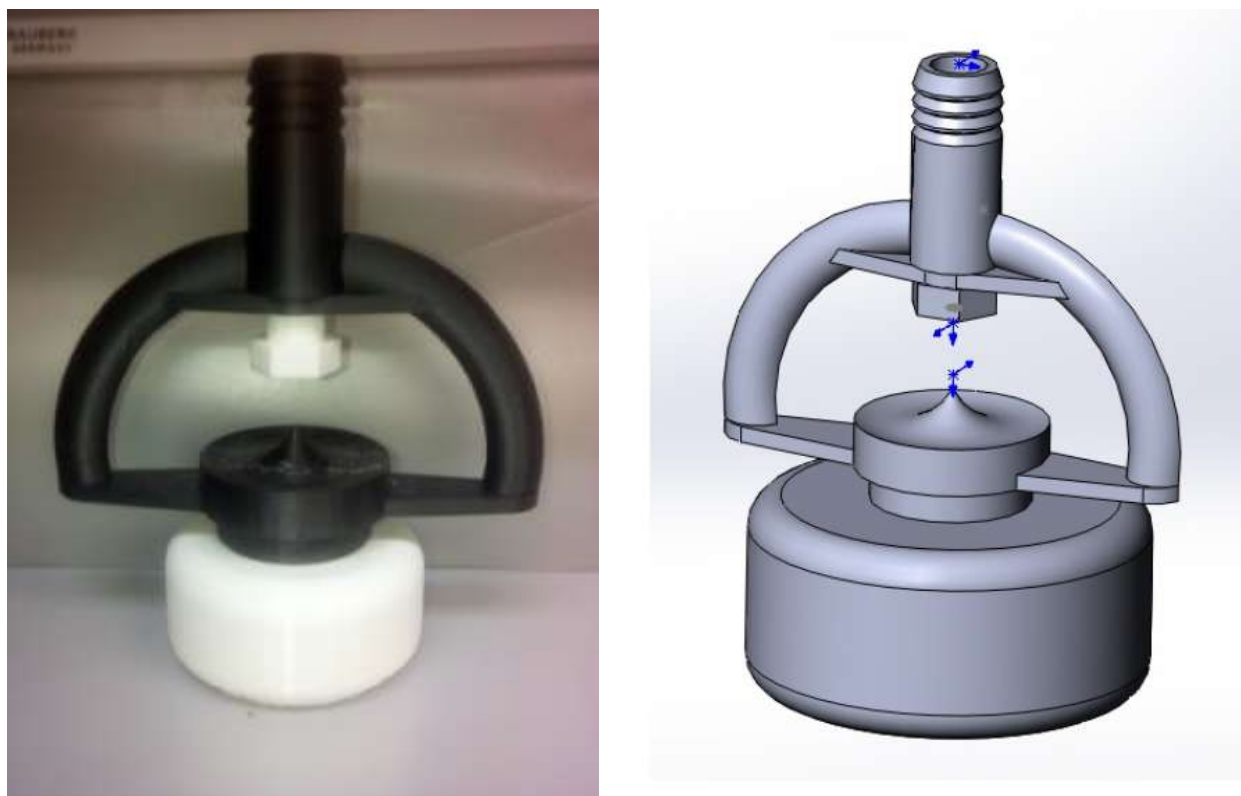


Рисунок 2.8 – Дождеватель (базовая модель с грузом)

Равномерность полива дождевальными машинами определяется характеристиками взаимного перекрытия осадков, выпадающих из соседних дождевальных машин.

В методике [92] предлагается уменьшать расстояние между дождевателями в зависимости от ветровых условий.

При неустойчивых ветровых условиях

$$L_{\text{д}} = 1,42\varepsilon R' \quad (2.29)$$

где: $L_{\text{д}}$ - расстояние, м; R' - радиус, м; ε - коэффициент уменьшения, необходимый для обеспечения перекрытия радиусов полива.

Это означает, что с увеличением напора на входе в машину расстояние между дождевателями должно увеличиваться, что также рационально с точки зрения снижения материалоемкости и снижения стоимости.

Работа дождевальных машин на наклонном рельефе требует учета изменения гидравлических характеристик потока в трубопроводе:

$$\dot{R}_{д,ук} = 1,42\varepsilon \dot{v} \dot{R} \quad (2.30)$$

Здесь \dot{v} - коэффициент, учитывающий уменьшение радиуса орошения при колебаниях потока на склонах. Для его уточнения необходимы экспериментальные исследования.

2.2 Каскадные (многодефлекторные) дождеватели

Для увеличения производительности без снижения качества распыления можно устанавливать распылители с несколькими дефлекторами, т.е. каскадные или ступенчатые (рис. 2.9).

В каскадных дождевателях внешний слой струи воды, кольцо, как бы "срезается" и поступает на дефлектор, а внутренняя часть струи проходит через отверстие в дефлекторе на ниже расположенный дефлектор.

Если расход из сопла водяной струи составляет Q_H , м³/с :

$$Q_H = \mu V_1 \omega_0 \quad (2.31)$$

V_1 - начальная скорость, зависящая от давления перед дождевателем, м/с.

Расход, обеспечивающий сходящийся поток жидкости с первого дефлектора:

$$Q_{1H} = \mu \pi (r_0^2 - r_{10}^2) V_1 \quad (2.32)$$

где: r_0 - радиус сопла дождевателя, м; r_{10} - радиус первого отверстия дефлектора, м.

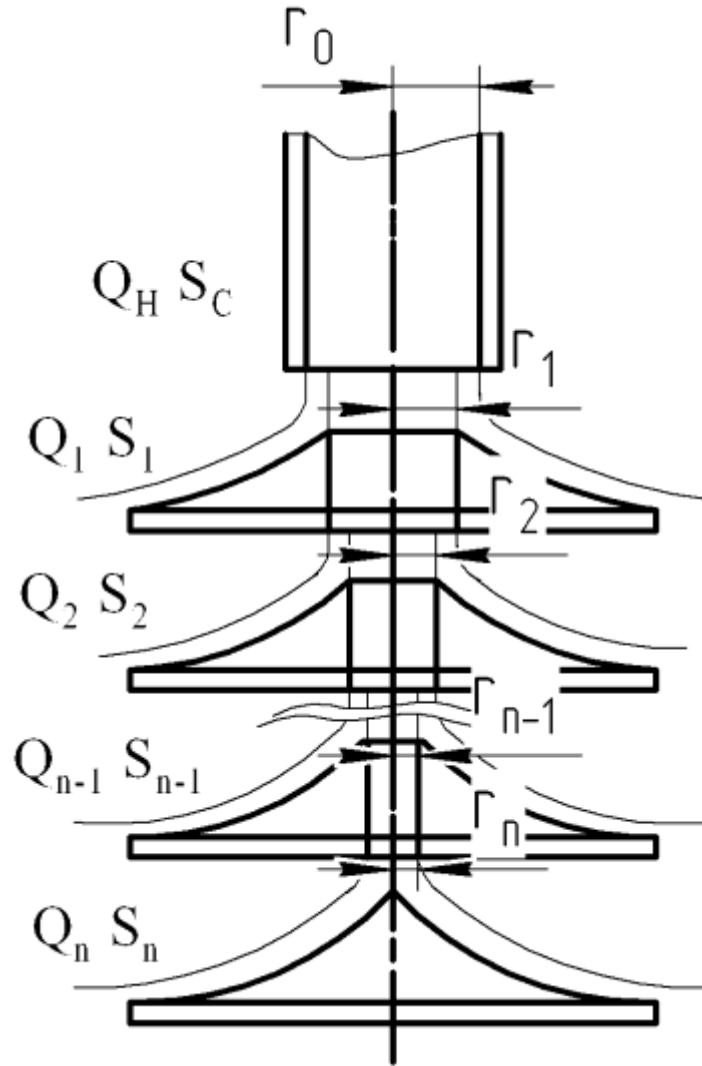


Рисунок 2.9- Распределение потока по дождевателю

$$Q_{2H} = \mu\pi(r_0^2 - r_1^2)V_1 \quad (2.33)$$

r_2 – радиус отверстия в конусе второго дефлектора, м.

$$Q_{n-1} = \mu\pi V_1 (r_{n-1}^2 - r_n^2) \quad (2.34)$$

Последний: $Q_n = \pi V_1 \mu r_n^2 \quad (2.35)$

$$Q_H = Q_{1H} + Q_{2H} + \dots + Q_{(n-1)H} + Q_{nH} \quad (2.36)$$

Следующее условие обеспечивает равный расход воды с каждого дефлектора:

$$Q_{1H} = Q_{2H} = Q_{(n-1)H} = Q_{nH} = \pi\mu(r_0^2 - r_1^2)V_1 = \pi\mu(r_1^2 - r_2^2)V_1 = \dots = \pi\mu(r_{n-1}^2 - r_n^2)V_1 = \pi V_1 \mu r_n^2 \quad (2.37)$$

$$\text{Т.е. } Q_H = n_K \mu \pi (r_{n-1}^2 - r_n^2) V_1 = \mu \pi R_0^2 V_1 \quad (2.38)$$

$$\pi\mu V_1(r_{n-1}^2 - r_n^2) = \pi V_1 \mu r_n^2 \quad (2.39)$$

Тогда можно упрощенно выразить:

$$r_n = 0.71r_{n-1} \quad (2.40)$$

Таким образом, зная радиус сопла дождевателя, который зависит от места расположения дождевателя вдоль трубопровода машины относительно основной опоры. Диаметры отверстий в конусах дефлекторов подбираются так, чтобы обеспечить равные расходы, табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Рекомендуемые значения

Радиус отверстия сопла, мм	4	5	6	7	8
Радиус отверстия в конусе первого дефлектора, мм	2,5	3,5	4	5	5,5
Радиус отверстия в конусе второго дефлектора, мм	1,75	2,5	3	3,5	4

Подобное конструктивное решение целесообразно при длине трубопровода более 350 м во второй или последней трети длины машины. Как их недостаток следует отметить более сложную конструкцию, возможность засорения отверстий, а соответственно повышение требований к обслуживанию или качеству воды.

Диаметр капель d_K может быть определен по эмпирической зависимости [58, 124]:

$$d_K = 4,71 \cdot 10^{-2} d_0 Ga^{-0,59} Fr_0^{-0,5}, \quad (2.41)$$

где Fr_0 – критерий Фруда, Ga – Галилея.

$$Ga = \frac{gd_0^3 \rho_B^2}{\nu_1^2}, \quad (2.42)$$

d_0 - диаметр сопла, м; ρ_B - плотность воды, кг/м³; ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Диаметр образуемых капель в значительной степени зависит давления.

При выборе типа дождевателя, устанавливаемых у последних тележек, следует учитывать значительное увеличение диаметра капель с уменьшением

давления за счет отбора расхода.

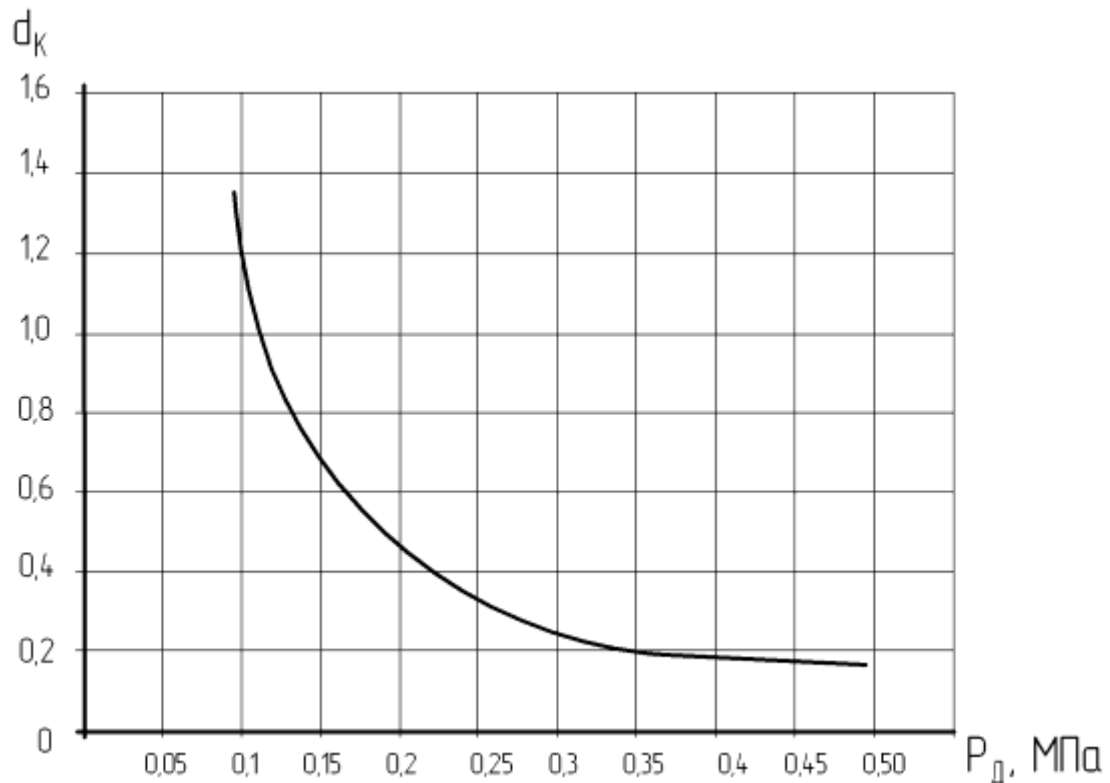


Рисунок 2.10 – Зависимость диаметра распыляемых капель от давления при диаметре 5мм.

2.3 Дождеватели с вращающимся дефлектором

Рассмотрим процесс распыливания воды дождевателями с дефлекторами, имеющими возможность вращения. Поток воды попадает в криволинейные проточки на корпусе дефлектора, которые изогнуты таким образом, что создается момент силы реакции вытекающей струи. Дефлектор начинает вращаться вокруг своей оси, достигая определенной частоты. После начала вращения, поток воды подается уже на вращающийся дефлектор.

Для определения диаметра образующейся основной капли можно использовать уравнение Д.Г. Пажи [56, 123], исходя из условия, что центробежная сила, действующая на каплю, и поверхностное натяжение σ равны:

$$d_K = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{r\rho_B}}, \quad (2.43)$$

где ρ_B - плотность воды, кг/м³; ω - угловая скорость, с⁻¹; r - радиус дефлектора, м; c - константа.

Известно, что с увеличением скорости вращения дефлектора, диаметр капель факела распыливания уменьшается, что свидетельствует о том, что такими конструктивными решениями, т.е. установкой дождевателей с вращающимися дефлекторами может уменьшить диаметр капель, т.е. обеспечить щадящий полив.

Форму облака орошения можно изменять и регулировать шириной, расположением и количеством бороздок дефлектора, их направлением, а размер орошаемой поверхности - высотой бороздок и углом раствора.

2.4 Предлагаемый номенклатурный ряд дождевателей дефлекторного типа

Помимо требований к качеству орошения, основными задачами были упрощение конструкции и повышение эксплуатационной надежности.

Варианты дождевателей со сменными дефлекторами, выполненных для исследования (рис. 2.11-2.12).

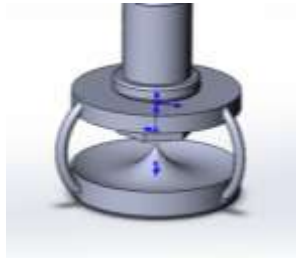
1- с гладким не вращающимся, закрепленным жестко дефлектором;

2-статические (не вращающиеся) дефлекторы с треугольными бороздками (ширина/глубина 1,5-5 мм) на поверхности дефлектора;

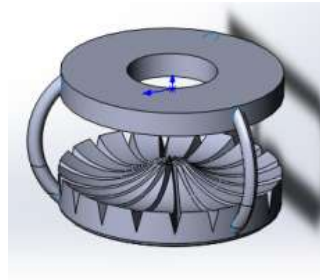
3-статические (не вращающиеся) дефлекторы с полукруглыми бороздками (ширина бороздки 2-5 мм, глубина 2-6 мм) на поверхности дефлектора;



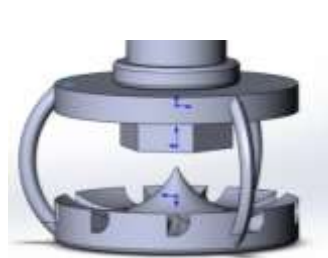
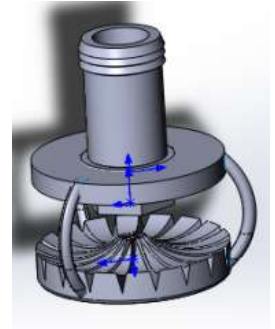
Рисунок 2.11 –Дождеватели с дефлекторами разного типа



тип 1



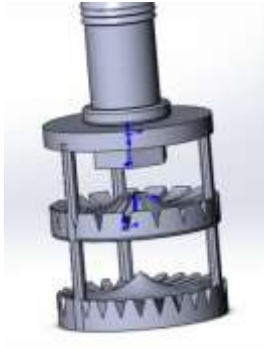
тип 2



тип 3



тип 4-5



тип 6

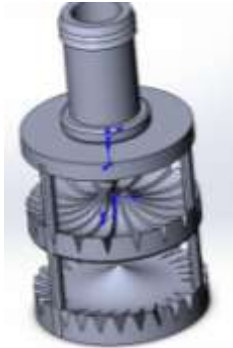


Рисунок 2.12 – Типы дождевателей

4-вращающиеся дефлекторы с треугольными бороздками на поверхности дефлектора (ширина бороздки 1,5-5 мм, глубина 2-6 мм);

5-вращающиеся дефлекторы с полукруглыми бороздками на поверхности дефлектора (ширина бороздки 2-5 мм, глубина 2-6 мм);

6 - каскадные (изменялись диаметры отверстий и расстояние между дефлекторами).

Необходимо провести ряд испытаний для определения таких показателей, как диаметр капель, радиус и интенсивность орошения.

2.5 Выводы по главе

1. Исследования взаимодействия потока воды с конструктивными элементами дождевателей позволили сформулировать методику расчета и выбора конструктивных параметров, получить аналитические зависимости, описывающие влияние геометрии дефлектора дождевателей на характеристики потока жидкости.

2. Разработаны усовершенствованные конструкции дефлекторных дождевателей для различных режимов полива и условий эксплуатации, определены оптимальные расстояния между дождевателями, варианты комплектации и размещения разных типов дождевателей вдоль трубопровода машины для обеспечения равномерного и качественного полива.

3. Для подтверждения теоретических расчетов и методики и их применения необходимо провести экспериментальные исследования на широкозахватных дождевальными машинах различного типа: ДМ "КАСКАД", "Фрегат", "Кубань-ЛК1", "Кубань-ЛК1М" (КАСКАД).

3. ГЛАВА ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Программа экспериментальных исследований включают лабораторные и полевые исследования.

Программа лабораторных исследований:

- Измерение расходных и напорных характеристик дождевателей дождевальными машин;

- Измерение интенсивности дождя;

- Измерение диаметра капель дождя.

- Измерение испарения и потерь воды под действием ветра.

Программа полевых исследований:

- Определение равномерности полива кругового ДМ с установленными дефлекторными дождевальными машинами;

- Оценка энергетического индекса осадков при орошении круговыми ДМ.

3.2 Описание лабораторных установок и оборудования для проведения исследований

Оборудование для определения качественных показателей работы дождевателей

Стенд для измерения качественных характеристик дождевателей дождевальными машин представляет собой стойку 1 с гибко регулируемой опускной трубой 2, на которой закреплена испытываемый дождеватель 3. Подача воды осуществляется центробежным насосом 4 через водосчетчик 5 (рис. 3.1).

Давление регулируется краном 6 и измеряется манометром 7. Измерительные емкости 8 устанавливаются с интервалом 0,5 м на стальной раме в виде лучей с углом 10-15°.

Измерительные средства и приборы для проведения исследований: манометр ГОСТ 2405-88, секундомер ГОСТ 1197-70, анемометр ручной крыльчатый АСО-3, рулетка, психрометр Assmann.

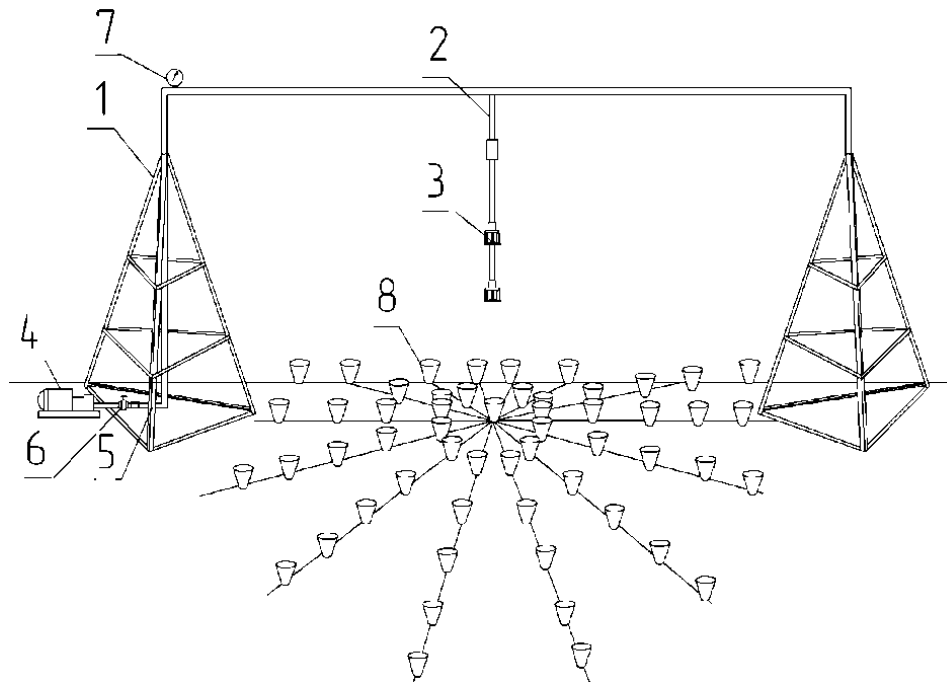


Рисунок 3.1 – Стенд для испытаний

3.3 Основные характеристики ДМ кругового действия

Исследования проводились с установкой дождевателей на электрифицированные ДМ кругового перемещения "Кубань-ЛК1М" ("Каскад") и "КАСКАД", выпускаемые ООО "Мелиоративные машины" и ООО "ЛандшафтСтройСервис", совместно с ФГБОУ ВО СГАУ им. Н.И. Вавилова, 3.2-3.6.

Основные характеристики и условия исследования представлены в табл. 3.1-3.4.

Таблица 3.1 - Технические характеристики машин

Показатель	Значение	
	1	3
Наименование, особенности эксплуатации	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	«КАСКАД»
	Многоопорные, с движением по кругу, От гидранта, скважины.	
Скорость последней тележки, м/с	$(1,6 \text{ -- } 30,0) \cdot 10^{-3}$	
Дорожный просвет, мм	Не менее 450	
Высота трубопровода, м	2,7	2,8-2,9
Диаметр водопроводной трубы, мм	159	219, 203, 168, 159, консоль 133
Диаметр консольной трубы, мм	133	133, 114, 108, 89
Расстояние между опорными тележками, м	48,7	48,7; 53,7; 59,5; 65,25
Количество опорных тележек, штук	1-10	1-10
Расход воды при отсутствии уклона, л/с	до 90	
Давление воды на входе в машину МПа при длине 500 м	0,43	

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Типы колес, установленных на самоходных тележках	пневматические, камерные	
Мотор-редукторы, марка	УМС	
Тип колесных редукторов самоходных тележек	червячные	
Норма полива за один проход, м ³ /га	95-600	



Рисунок 3.2 – «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)



Рисунок 3.3 – Электрифицированная дождевальная машина КАСКАД

Таблица 3.2-Характеристики ДМ «Кубань-ЛК1» [55, 56].

Показатель	Значение
Марка	«Кубань-ЛК1» МДЭК 212
Привод машины	Дизель-электрический
Мощность двигателя, кВт	6
Расход, л/с	16
Минимальное давление, Мпа	0,21
Максимальное давление, Мпа	0,4
Скорость машины, м/мин	0,1-1,8
Длина, м;	212
Количество самоходных опорных тележек, штук	4
Длина пролета, м	48,7
Ходовая система: колесная -тип -количество	Пневмо, камерные Ф148 16-20 2

3.4 Методика проведения исследований

3.4.1 Экспериментальные исследования низконапорных дождевателей

Предлагаемые конструктивные решения дождевателей и схемы их расстановки применялись в 2018–2023 гг. в УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО СГАУ имени Н.И. Вавилова (с. Степное Энгельсского района), УНПК Агроцентр при ФГБОУ ВО СГАУ имени Н.И. Вавилова; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район) на широкозахватных ДМ Кубань-ЛК1М «Каскад», «КАСКАД», «Фрегат», ООО «Биокомплекс» дождевательных машинах Reinke.

Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с требованиями СТО АИСТ 001–2010 и методиками ГОСТ [36 -39].

Полный напор измерялся с помощью трубки Пито. Дождеватель был снабжен заборной крышкой, через которую вода поступала в измерительную емкость. Время заполнения которой измерялось секундомером. Расход воды определялся по уравнению:

$$Q = \frac{V_{\text{МБ}}}{t} \quad (3.1)$$

где $V_{\text{МБ}}$ -объем мерной емкости, л; t -время, с.



Рисунок 3.4 - Определение характеристик дождевателей



Рисунок 3.5 - Сходящий поток для разных форм дефлектора
 Максимальное расстояние распыливание определялось для высоты установки дождевателей от 1,0 до 2,5 м. Давление в трубопроводе составляло от

0,07 МПа до 0,45 МПа; диаметры сопел - от 3,0 мм до 15,0 мм.

Скорость ветра измерялась с помощью ручного лопастного анемометра АСО-3 в диапазоне от 0,1 до 5 м/с. Относительная влажность воздуха измерялась с помощью всасывающего гигрометра Assmann M-34.

Средняя фактическая интенсивность $\rho_{\text{ср}}$, мм/мин, определялась как отношение расхода воды $Q_{\text{Н}}$ к мгновенной орошаемой площади [55, 56, 141, 142]:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{60Q_{\text{Н}}}{\pi R'^2} \quad (3.2)$$

где $Q_{\text{Н}}$ - расход, л/с; R' - радиус распыливания дождя, м.

Диаметр дождевых капель измеряли по методике [72] с использованием бумажных фильтров по 100-150 капель, измеряемых в начале, середине и конце распыливаемого потока.

Равномерность орошения оценивалась коэффициентом эффективности полива и коэффициентом неравномерности орошения.

По методике Кристиансена определялся коэффициент равномерности орошения [100]:

$$\sigma_0 = 100 \left(1 - \frac{\sum(h_i - h)}{h \cdot n_{\text{ИЗМ}}} \right) \quad (3.3)$$

где h - средний слой осадков, мм; $h_i - h$ - абсолютное значение отклонения от среднего слоя, мм; $n_{\text{ИЗМ}}$ - количество измерений.

Адекватность между теоретически рассчитанным и измеренным распределениями осадков оценивалось по критерию χ^2 Пирсона [100]:

$$\chi^2 = \sum(\rho_{\text{ф}} - \rho_{\text{т}})^2 / \rho_{\text{т}} \quad (3.4)$$

где $\rho_{\text{ф}}$, $\rho_{\text{т}}$ - экспериментально определенное и теоретическое значения интенсивности полива в точке i -ой радиуса орошения, мм/мин.

3.4. 2 Экспериментальные исследования характеристик работы ДМ кругового действия

Полевые опыты проводились на участках УНПО "Поволжье" ФГБОУ ВО СГАУ имени Н.И. Вавилова (с. Степное, Энгельский район, Саратовская

область), УНПК Агроцентр СГАУ и ООО "Наше дело" [55, 56].

Условия экспериментальных исследований в ООО "Наше дело" представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Условия исследований

Показатель	Значения	
	ТУ	Данные испытаний
	Полив кормовых, зерновых, технических культур	Полив кукурузы
Характеристика почвы	Все типы почв	Темно-каштановый суглинок
Наименьшая влагоемкость почвы, %	-	12
Температура воздуха, °С	+5 – +45	23-26
Относительная влажность воздуха, %	-	44-46
Температура воды, °С	-	21,0-23,0
Культура	-	кукуруза
Число растений, тыс. штук/га	-	80-120
Содержание взвешенных частиц в поливной воде, г/л	5	0,05-0,1

Исследуемые величины определялись в соответствии с ГОСТ 20915-2011 и СТО АИСТ 11.1-2010.

Фактическое среднее значение нормы полива определялась по следующей формуле, м³/га:

$$m_{\text{ф}} = 10 \cdot h, \quad (3.5)$$

где h - средний слой осадков, мм.

При проведении полевых исследований вдоль трубопровода дождевальная

машины устанавливались дождеприемники емкостью 3 л. Объем воды в дождеприемниках измерялся мензуркой, а время полива дождем и продолжительность эксперимента - секундомером и часами.

Скорость ветра измерялась с помощью ручного анемометра, который был установлен на высоте 2 м.

Распределение слоя дождя по участкам поля:

$$h = \frac{10 \cdot V_d}{S_d} \quad (3.6)$$

где: h - слой дождя, мм; V_d - объем воды в дождеприемнике, мл; S_d - площадь приемника дождемера, см².

Значения потерь от дождя и ветрового сноса определялись по уравнениям [55, 56, 142, 143]:

$$E_{ис} = \frac{m_p - m_\phi}{m_\phi} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

где: m_p , m_ϕ – теоретическая и экспериментальная поливная норма.

3.5 Схемы расстановки дождевателей

Дождевальные машины кругового перемещения были укомплектованы по следующим способам размещения вдоль трубопровода.

1. ДМУ-Б 463-90 "Фрегат" гладкими дефлекторами.
2. ДМ "КАСКАД" модели 497-90 гладкими дефлекторами до половины длины машины, дождевателями с полукруглыми бороздками на поверхности дефлектора, с вращающимися дефлекторами со второй половины водопровода через 3,5 м, с давлением 0,3 МПа на входе в машину.

3.6 Определение влажности почвы

Влажность почвы измерялась трех-пятикратно с интервалом 10 см в слое 0-100 см до и после полива и рассчитывалась по уравнению [36]:

$$V_{\Pi} = \frac{100 \cdot m_B}{m_{СП}} = 100 \frac{m_{1c} - m_{0c}}{m_{0c} - m_c} \quad (3.8)$$

где m_B - масса испарившейся воды, г; V_{Π} - полевая влажность, %; m_C - масса тары, г; $m_{СП}$ - масса сухой почвы, г; m_{0C} - масса высушенной почвы, г; m_{1C} - масса влажной почвы с тарой, г.

Для определения содержания влаги образцы почвы массой 15-50 г собирались квартованием, взвешивались, помещались в пронумерованные стаканчики и закрывались крышками. Почву высушивали при температуре (105 ± 2) °С в течение 5 ч до постоянной массы (рис. 3.6).

Определение величины стока проводилось по общепринятой методике с использованием делянок площадью 1000 см^2 .

При выборе экспериментальных площадок ориентировались на однородность почвы, рельефа местности.

Условия проведения экспериментов и технические характеристики технических средств полива представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 - Условия экспериментальных исследований

Характеристика	Марка ДМ		
	ДМУ-Б 463-90	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) 497-90	Reinke-400
Давление воды от насосной станции на входе в машину, МПа	0,55	0,43	0,35
Расход, л/с	50	90	72
Способ размещения дождевателей вдоль трубопровода	1	2	1



Рисунок 3.6- Определение влажности почвы

3.7 Обработка результатов экспериментальных исследований

Для определения адекватности и достоверности данных использовались методы математической статистики [12, 48, 100].

Параметры $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ распределений характеризовались следующими методами. Среднее значение полученного распределения

$$X = \sum X_i / n_{\text{изм}} \quad (3.8)$$

где X_i - результат отдельного параметра измерения;

$n_{\text{изм}}$ - количество измерений.

Дисперсия распределения:

$$D = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n_{\text{изм}} - 1} \quad (3.9)$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_{\text{от}} = D^{0.5} \quad (3.10)$$

Коэффициент вариации:

$$\text{KB} = \frac{100 \cdot \sigma_{\text{от}}}{\bar{X}} \quad (3.11)$$

Точностью эксперимента:

$$P_{\text{оп}} = \frac{100 \cdot \sigma_{\text{от}}}{\bar{X} \cdot n_{\text{изм}}} \quad (3.12)$$

Коэффициент множественной корреляции:

$$R_m = \left(1 - \frac{D_{\text{ост}}^2}{D^2}\right)^{0.5} \quad (3.13)$$

Методом наименьших квадратов определялись коэффициенты регрессии:

$$(Y_i - Y_p)^2 = \min \quad (3.14)$$

где Y_i - фактические значения показателей;

Y_p - расчетное значение на основе регрессии.

Достоверность определялась по критерию Фишера:

$$F = \frac{D^2}{D_{\text{ост}}^2} \quad (3.15)$$

Отдельные измерения и обработка данных представлена в приложениях.

4. ГЛАВА РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований дождевателей дефлекторного типа

Характеристика расход-давление

Расходно-напорные характеристики дождевателей имеют первостепенное значение при оценке работы, приведены на рис. 4.1.

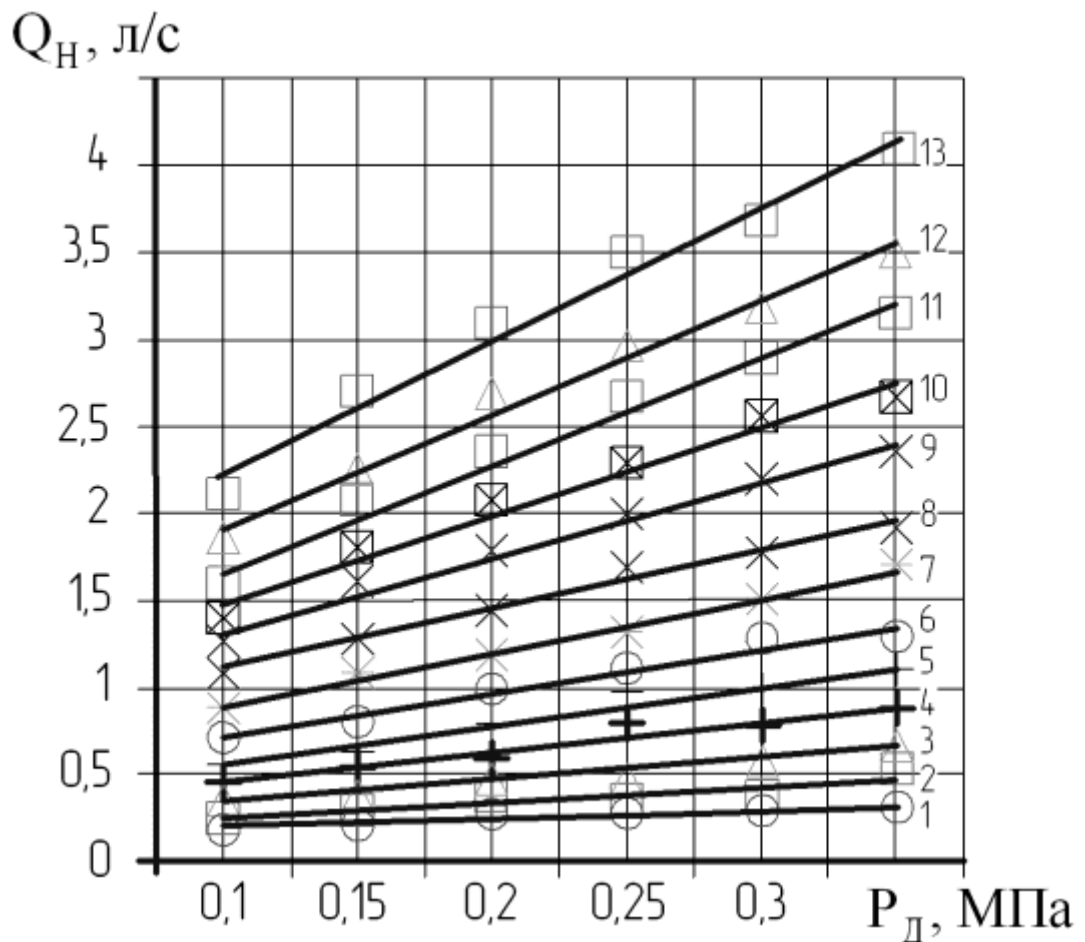


Рисунок 4.1 – Расходно-напорные характеристики дождевателей

На рисунке 4.1:

- 1- Диаметр сопла дождевателя Ø3 мм, $Q_H=0,51P_D+0,16$, $R^2=0,92$;
- 2 - Диаметр сопла дождевателя Ø4 мм, $Q_H=0,92 P_D+0,18$, $R^2=0,92$;
- 3 - Диаметр сопла Ø5 мм, $Q_H=1,25 P_D+0,24$, $R^2=0,98$;
- 4 - Диаметр сопла Ø6 мм, $Q_H=1,76 P_D+0,29$, $R^2=0,96$;
- 5 - Диаметр сопла Ø7 мм, $Q_H=2,32 P_D+0,36$, $R^2=0,97$;

- 6 - Диаметр сопла $\varnothing 8$ мм, $Q_H = 2,63 P_D + 0,48$, $R^2=0,98$;
 7 - Диаметр сопла $\varnothing 9$ мм, $Q_H = 3,13 P_D + 0,58$, $R^2=0,99$;
 8 - Диаметр сопла $\varnothing 10$ мм, $Q_H = 3,40 P_D + 0,79$, $R^2=0,99$;
 9 - Диаметр сопла $\varnothing 11$ мм, $Q_H = 4,43 P_D + 0,91$, $R^2=0,99$;
 10 - Диаметр сопла $\varnothing 12$ мм, $Q_H = 5,16 P_D + 0,94$, $R^2=0,98$;
 11 - $\varnothing 13$ мм, $Q_H = 5,94 P_D + 1,14$, $R^2=0,99$;
 12 - $\varnothing 14$ мм, $Q_H = 6,43 P_D + 1,36$, $R^2=0,99$;
 13 - $\varnothing 15$ мм, $Q_H = 7,73 P_D + 1,50$, $R^2=0,97$.

Радиус захвата дождем

Основной конструктивной характеристикой, влияющей на радиус захвата дождем, является диаметр сопла. Важнейшей технической характеристикой является давление перед дождевателем. Кроме того, определяющим фактором является высота дождевателя от поверхности поля.

Давление в трубопроводе машины определено давлением на входе в машину, т.е. параметрами насосной станцией, количеством работающих машин и технологически регулируется посредством регуляторов давления.

Диаметром сопла и формой и конструктивными характеристиками дефлектора можно изменять радиус распыливания в достаточно широких пределах.

Увеличение радиуса является целесообразным как с точки зрения максимального покрытия площади дождем, так и с точки зрения снижения интенсивности.

При увеличении диаметра сопла с 3 мм до 15 мм и при напоре 0,3 МПа радиус полива увеличивается с 4,5 до 13 м (рис. 4.2-4.3).

На рисунке 4.2:

- 1 – Диаметр сопла $\varnothing 8$ мм, $R' = -120 P_{BX}^2 + 88 P_{BX} - 2,0$, $R^2=0,99$;
 2 - Диаметр сопла $\varnothing 7$ мм, $R' = -108 P_{BX}^2 + 78 P_{BX} - 2,2$, $R^2=0,98$;

3 - Диаметр сопла $\varnothing 6$ мм, $R' = -98P_{\text{ВХ}}^2 + 68P_{\text{ВХ}} - 1,4$, $R^2 = 0,98$;

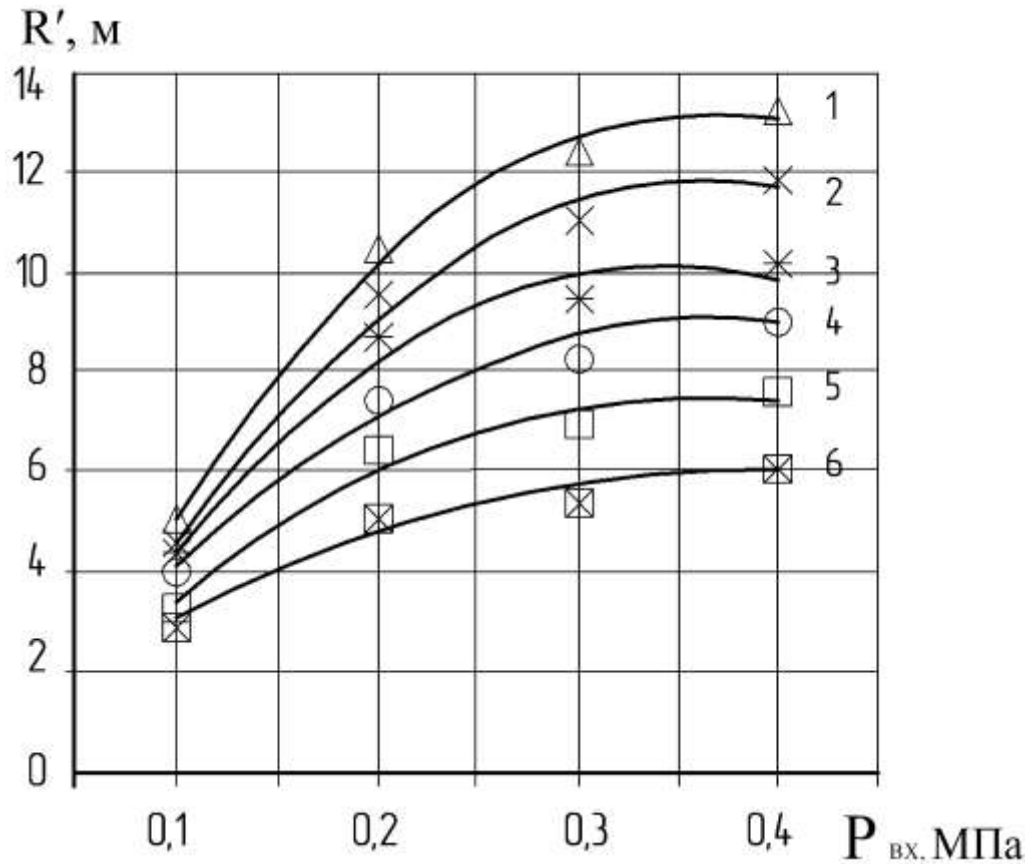


Рисунок 4.2 - Зависимость радиуса распыливания от напора (гладкий сменный дефлектор)

4 - Диаметр сопла $\varnothing 5$ мм, $R' = -71,4 P_{\text{ВХ}}^2 + 52 P_{\text{ВХ}} - 0,4$, $R^2 = 0,98$;

5 - Диаметр сопла $\varnothing 4$ мм, $R' = -66,9 P_{\text{ВХ}}^2 + 45 P_{\text{ВХ}} - 0,5$, $R^2 = 0,99$;

6 - $\varnothing 3$ мм, $R' = -38,3 P_{\text{ВХ}}^2 + 29 P_{\text{ВХ}} + 0,7$, $R^2 = 0,97$.

Высота установки 2,5 м над поверхностью поля.

На рисунке 4.3:

1 - Диаметр сопла $\varnothing 10$ мм, $R' = -143,6 P_{\text{ВХ}}^2 + 98,3 P_{\text{ВХ}} - 2,28$, $R^2 = 0,99$;

2 - Диаметр сопла $\varnothing 11$ мм, $R' = -118,9 P_{\text{ВХ}}^2 + 85,7 P_{\text{ВХ}} - 0,53$, $R^2 = 0,99$;

3 - Диаметр сопла $\varnothing 12$ мм, $R' = -116,3 P_{\text{ВХ}}^2 + 84,9 P_{\text{ВХ}} - 0,21$, $R^2 = 0,99$;

4 - $\varnothing 13$ мм, $R' = -131,9 P_{\text{ВХ}}^2 + 91,2 P_{\text{ВХ}} - 0,37$, $R^2 = 0,99$;

5 - $\varnothing 14$ мм, $R' = -128,4 P_{\text{ВХ}}^2 + 91,3 P_{\text{ВХ}} + 0,28$,

$R^2 = 0,98$.

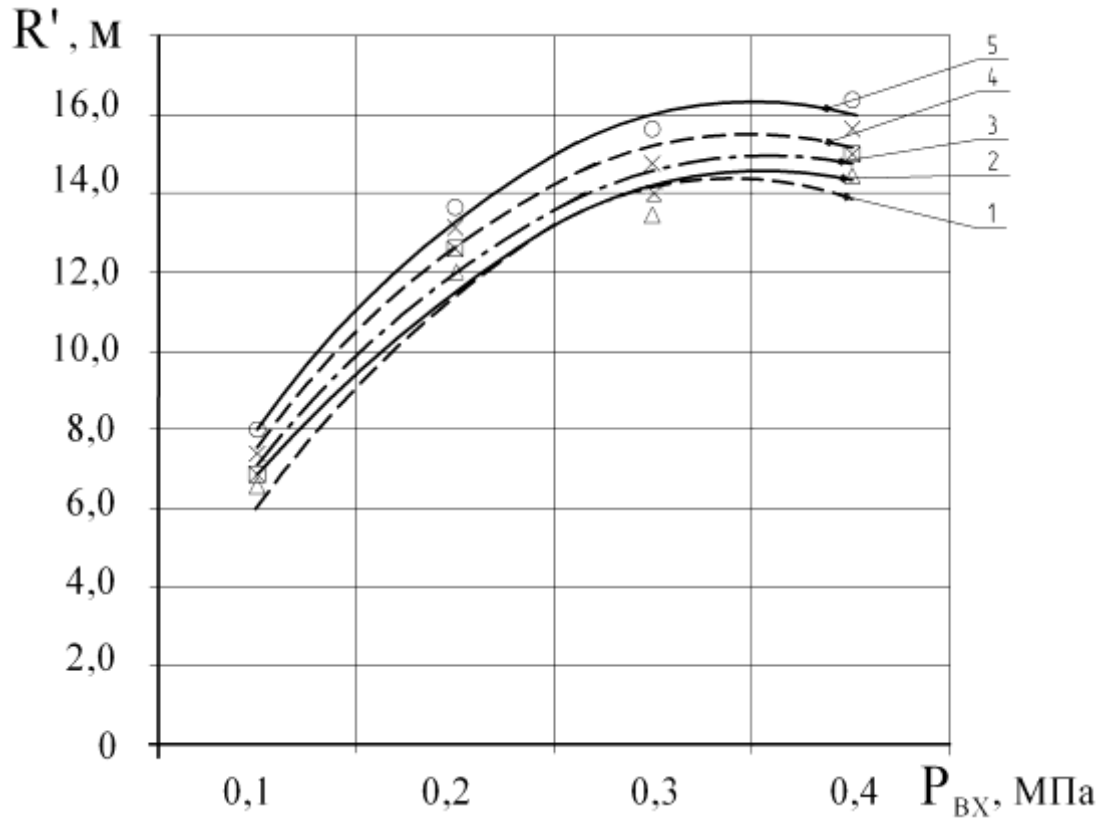


Рисунок 4.3 – Зависимость радиуса от давления (гладкий сменный дефлектор).

На рисунке 4.4:

1 – Радиус захвата $R' = -76 P_{BX}^2 + 38,9 P_{BX} + 0,78$, $R^2 = 0,91$ (бороздки овальной формы с шириной 5 мм, глубиной 5 мм на поверхности сменного дефлектора);

2 - Радиус захвата $R' = -71 P_{BX}^2 + 44,9 P_{BX} + 0,20$, $R^2 = 0,96$ (бороздки треугольной формы с шириной 5 мм, глубиной 5 мм на поверхности сменного дефлектора);

3 - $R' = -53 P_{BX}^2 + 36,8 P_{BX} + 0,38$, $R^2 = 0,95$ (бороздки треугольной формы с шириной 3 мм, глубиной 3 мм на поверхности сменного дефлектора);

4 - $R' = -48 P_{BX}^2 + 33,7 P_{BX} + 0,28$, $R^2 = 0,99$ (бороздки овальной формы, шириной 3мм, глубиной 3мм на поверхности дефлектора);

5 - $R' = -51 P_{BX}^2 + 34,1 P_{BX} + 0,24$, $R^2 = 0,95$ (бороздки треугольной формы шириной 1,5 мм, глубиной 1,5 мм на поверхности дефлектора);

6 - $R' = -48 P_{BX}^2 + 33,7 P_{BX} + 0,28$, $R^2 = 0,99$ (бороздки овальной формы

шириной 1,5 мм, глубиной 1,5 мм на поверхности дефлектора);

$$7 - R' = -38 P_{\text{ВХ}}^2 + 28,6 P_{\text{ВХ}} + 0,64, R^2 = 0,97 \text{ (гладкий сменный дефлектор)}.$$

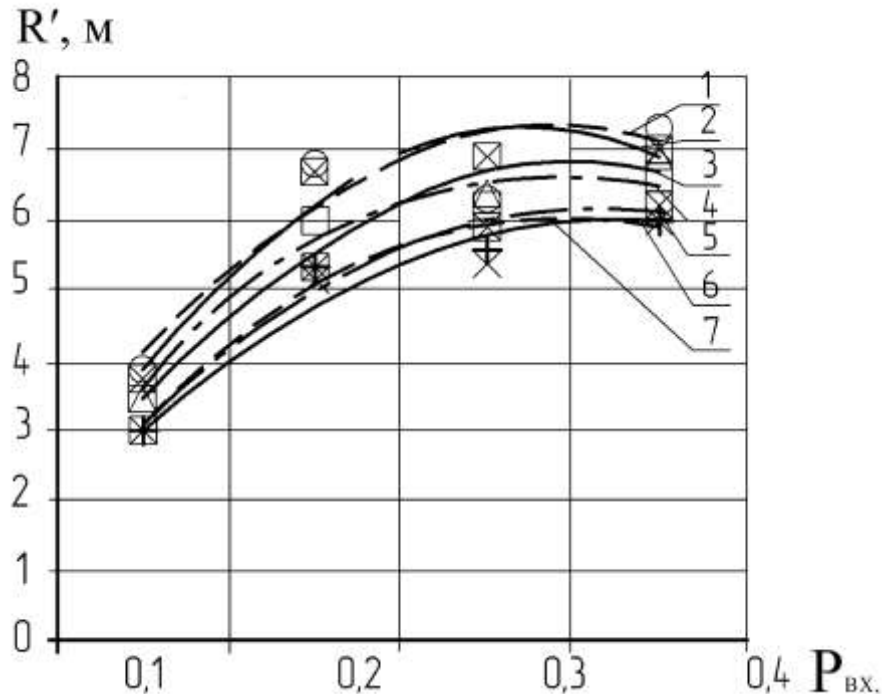


Рисунок 4.4 – Зависимость радиуса от давления в МПа (диаметр сопла Ø3 мм, дефлектор с бороздками на поверхности, высота установки над уровнем поверхности 2,5м).

Анализируя радиусы захвата дождем с неподвижно закрепленными дефлекторами и со сменными дефлекторами имеющими бороздки различных размеров и форм, можно сделать вывод, что дождеватели с бороздками на дефлекторах шириной и глубиной от 3 до 5 мм (2 и 3 типа) имеют наибольший радиус захвата дождем.

Видно также, что форма бороздки при такой же площади поперечного сечения и одинаковом режиме (расход-давление) не оказывает видимого влияния на значения характеристик полива, трудно оценить количественно.

Т.е. размер бороздки, допустим 3 мм ширина/глубина овальной и треугольной формы оказывает практически равное влияние на рабочие параметры. При принятии решения вероятнее всего следует руководствоваться

технологичностью изготовления дефлектора.

Статические дефлекторы с неглубокими бороздками формируют плотные мелкодисперсные струи, которые наиболее устойчивы к ветру и обеспечивают большой радиус орошения.

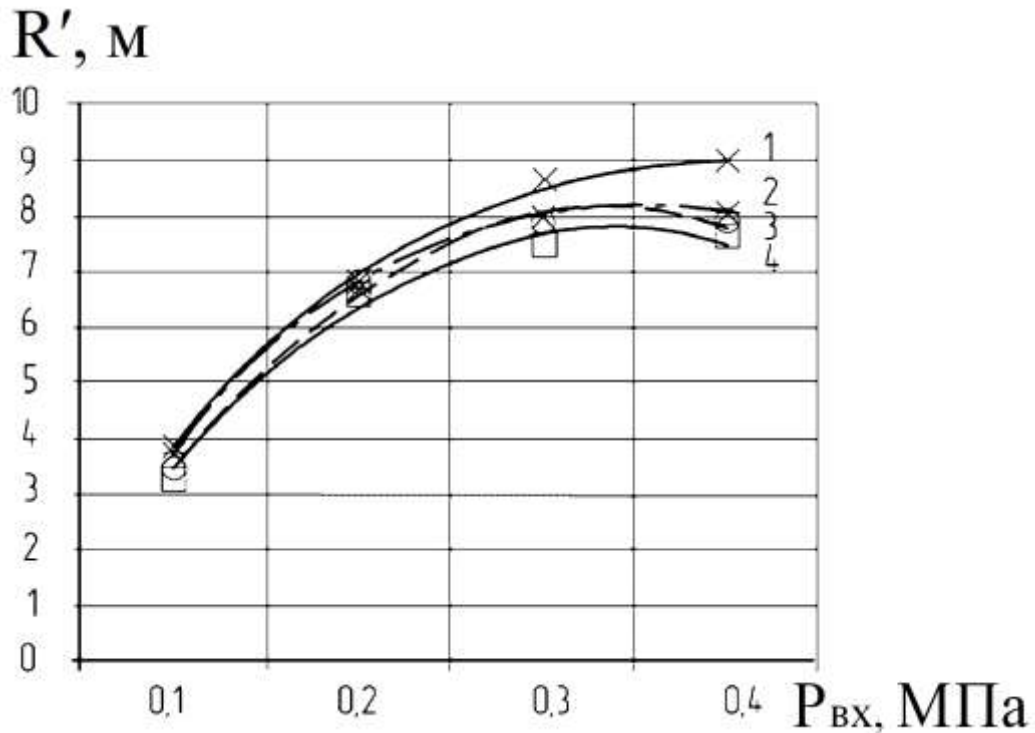


Рисунок 4.5 – Радиус полива для дождевателей со сменными дефлекторами, имеющими возможность вращения и диаметром сопла 3 мм

На рисунке 4.5:

1 - $R' = -92 P_{BX}^2 + 58 P_{BX} - 1,4$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с дефлектором имеющим возможность вращения с полукруглым профилем бороздок шириной 1,5 мм, глубиной 1,5мм);

2 - $R' = -94 P_{BX}^2 + 61 P_{BX} - 1,6$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с дефлектором имеющим возможность вращения с полукруглыми бороздками шириной 3мм, глубиной 3мм);

3 - $R' = -78 P_{BX}^2 + 53 P_{BX} - 0,68$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с дефлектором имеющим возможность вращения с треугольным профилем бороздок, шириной 3мм, глубиной 3мм);

4 - $R' = -83 P_{BX}^2 + 56 P_{BX} - 0,93$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с дефлектором

имеющим возможность вращения с полукруглыми бороздками шириной 5мм, глубиной 5мм).

Высота крепления дождевателей над поверхностью - 2,5 м.

С ростом давления радиус для всех дождевателей с установленными на них сменными дефлекторами, имеющими возможность вращения увеличивается значительно.

При сниженном давлении на входе в дождеватель 0,05-0,07 МПа с установленными на них сменными вращающимися дефлекторами - меньшие радиусы орошения, чем с дождевателями, имеющими гладкие стационарные дефлекторы.

Устойчивый рост такой характеристики как радиус захвата соответствует увеличению давления выше 0,8 МПа, что во многом, определяет область использования (рис. 4.6).

Исследования работы дождевателя с двойным дефлектором (тип 5) (рис. 4.7).

На рисунке 4.6:

1 - $R' = 47,8 P_{ВХ} + 0,2$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с установленным на нем вращающимся дефлектором и бороздками треугольной формы, диаметром сопла $\varnothing 6$ мм);

2 - $R' = 40,9 P_{ВХ} + 0,9$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным на нем гладким дефлектором, диаметром сопла $\varnothing 6$ мм);

3 - $R' = 48,9 P_{ВХ} + 1,2$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с установленным на нем сменным вращающимся дефлектором с треугольными бороздами, диаметром сопла $\varnothing 10$ мм);

4 - $R' = 34,9 P_{ВХ} + 2,5$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным на нем гладким дефлектором, диаметром сопла $\varnothing 10$ мм);

5 - $R' = 48,9 P_{ВХ} + 1,8$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с жестко установленным на нем сменным дефлектором с треугольными бороздами, диаметром сопла $\varnothing 10$ мм);

6 - $R' = 49,8 P_{ВХ} + 2,103$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с жестко установленным на нем гладким дефлектором, диаметром сопла $\varnothing 14$ мм).

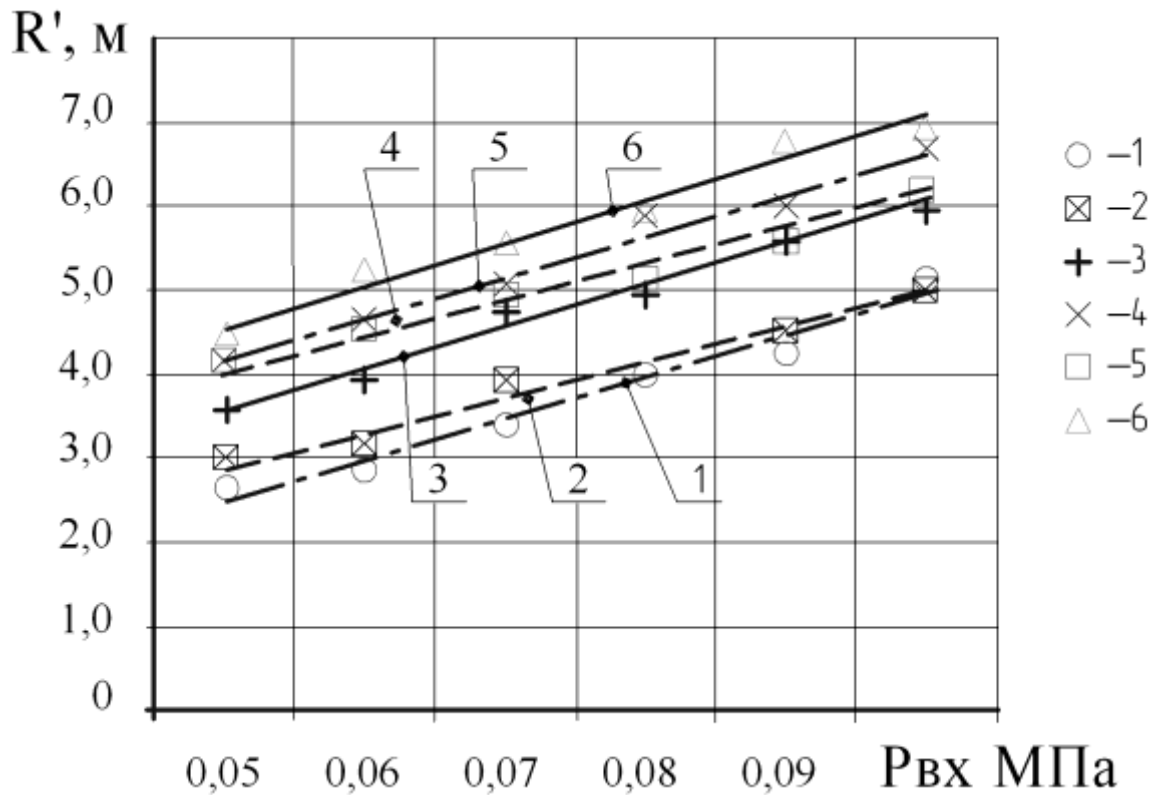


Рисунок 4.6 – Зависимость радиуса распыливания от давления при низком давлении

Сравнительные исследования радиусов захвата при распыливании воды дождевателями с установленными на них гладкими дефлекторами и дождевателями с дефлекторами, имеющими бороздки показали, что при прочих равных условиях дождеватели, имеющие дефлектором с бороздками имеют большие значения радиуса, т.е. улучшенные характеристики. Однако для того чтобы делать выводы о качестве полива, необходимо учитывать ряд показателей, в частности, диаметр образующихся капель.

Особенностью дождевателей с установленным сменным каскадным дефлектором является то, что радиус орошения не очень чувствителен к размеру отверстия в дефлекторе. Кроме того, как и в других дождевателях, радиус орошения увеличивается с увеличением радиуса сопла (рис. 4.7).

Для всех типов дождевателей характерно, что радиус орошения увеличивается с ростом давления.

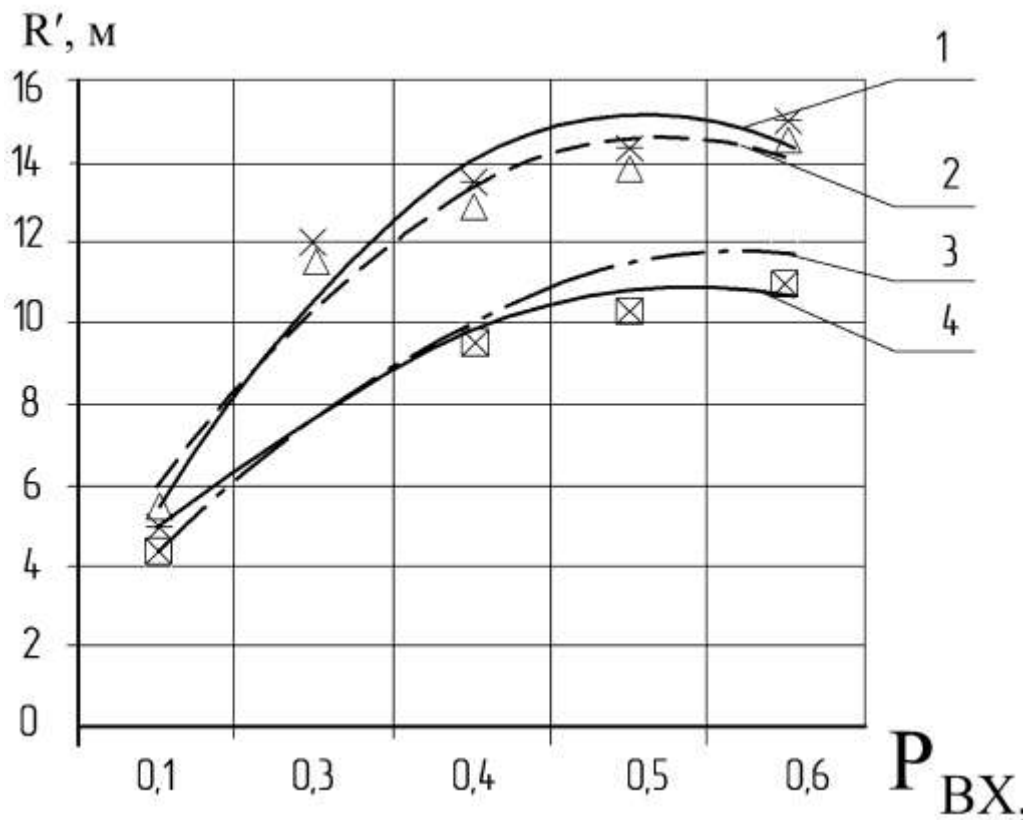


Рисунок 4.7 – Радиус дождевателя с двойным дефлектором в зависимости от давления

На рисунке 4.7:

1 - $R' = -134,2 P_{BX}^2 + 95,5 P_{BX} - 0,24$, $R^2 = 0,96$ (\varnothing 15 мм, диаметр отверстия в конусе верхнего дефлектора \varnothing 10мм);

2 - $R' = -32 P_{BX}^2 + 95,2 P_{BX} - 0,25$, $R^2 = 0,95$ (диаметр \varnothing 15 мм, диаметр отверстия в конусе верхнем дефлекторе \varnothing 7мм);

3 - $R' = -118 P_{BX}^2 + 84,3 P_{BX} - 0,6$, $R^2 = 0,97$ (диаметр сопла дождевателя \varnothing 10 мм, диаметр отверстия в конусе верхнем дефлекторе \varnothing 7мм);

4 - $R' = -143 P_{BX}^2 + 98 P_{BX} - 2,3$, $R^2 = 0,99$ (диаметр сопла дождевателя \varnothing 10 мм, диаметр отверстия в конусе верхнем дефлекторе \varnothing 5 мм).

Интенсивность дождя

При незначительных расходах до 0,5 л/с дождеватели с установленными на них гладкими дефлекторами занимают среднее положение по сравнению с другими конструктивными исполнениями дождевателей. Меньшие значения интенсивности наблюдаются у дождевателей, с установленными на них дефлекторами, имеющими на своей поверхности бороздки размерами 1,5-3 мм (ширина/ глубина).

Дождеватели с установленными вращающимися дефлекторами при расходах до 1,5 л/с обеспечивают несколько более высокие, но в пределах нормы, интенсивности, чем дождеватели с установленными жестко дефлекторами без бороздок (рис. 4.8-4.9).

Проведенные исследования интенсивности показывают, средняя интенсивность от 0,08 до 1,2 мм/мин.

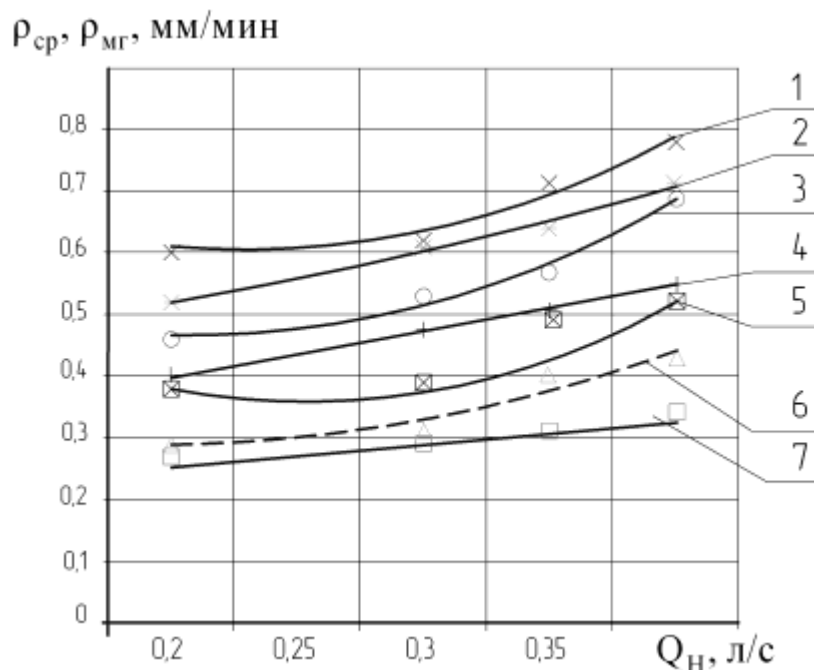


Рисунок 4.8 – Интенсивности дождя средняя ($\rho_{ср}$) и мгновенная ($\rho_{мг}$) в зависимости от расхода ($\varnothing 3$ мм)

Проведенные исследования интенсивности показывают, средняя интенсивность от 0,08 до 1,2 мм/мин.

Рисунок 4.8:

1 - $\rho_{cp} = 6,5 Q_H^2 - 2,9 Q_H + 0,95$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с установленным вращающимся сменным дефлектором с бороздками 3 мм на поверхности дефлектора);

2 - $\rho_{mg} = 0,92 Q_H + 0,34$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором с бороздками 3 мм на поверхности дефлектора);

3 - $\rho_{cp} = 5,55 Q_H^2 - 2,23 Q_H + 0,69$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором с бороздками 1,5-2 мм на поверхности дефлектора);

4 - $\rho_{mg} = 0,75 Q_H + 0,26$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным вращающимся сменным дефлектором с бороздками 1,5 мм на поверхности дефлектора);

5 - $\rho_{mg} = 7,46 Q_H^2 - 3,84 Q_H + 0,86$, $R^2 = 0,93$ (дождеватель с установленным жестко закрепленным гладким дефлектором);

6 - $\rho_{cp} = 0,74 Q_H + 0,13$, $R^2 = 0,85$ (дождеватель с установленным сменным вращающимся дефлектором с треугольными бороздками 1,5 мм на поверхности дефлектора);

7 - $\rho_{mg} = 0,34 Q_H + 0,19$, $R^2 = 0,91$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором с треугольными бороздками 1,5 мм на поверхности дефлектора).

Средние расходы (1,0-2,4 л/с). При таких расходах - меньшие значения интенсивности за счет увеличения радиуса, чем дождеватели с жестко закрепленными дефлекторами (рис. 4.9) на 10-15%.

Дождеватели с жестко закрепленными дефлекторами, имеющими крупные бороздки (порядка 5 мм ширина/глубина) имеют большую интенсивность, чем дождеватели с гладкими, жестко закрепленными дефлекторами на 10-12%.

На рисунке 4.9:

1 - $\rho_{cp} = 0,20 Q_H + 0,32$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с установленным дефлектором с бороздками 3 мм на поверхности дефлектора);

2 - $\rho_{cp} = 0,18 Q_H + 0,26$, $R^2 = 0,94$ (дождеватель с установленным гладким

дефлектором);

3 - $\rho_{\text{ср}} = 0,22 Q_{\text{Н}} + 0,13$, $R^2 = 0,988$ (дождеватель с дефлектором имеющим возможность свободного вращения с бороздками 5 мм на поверхности);

4 - $\rho_{\text{мг}} = 0,21 Q_{\text{Н}} + 0,08$, $R^2 = 0,95$ (дождеватель с дефлектором с бороздами 3мм (глубина/ширина) на поверхности сменного дефлектора);

5 - $\rho_{\text{мг}} = 0,20 Q_{\text{Н}} + 0,04$, $R^2 = 0,96$ (дождеватель с установленным жестко закрепленным гладким дефлектором);

6 - $\rho_{\text{мг}} = 0,16 Q_{\text{Н}} + 0,07$, $R^2 = 0,96$ (дождеватель с установленным с возможностью свободного вращения дефлектором с бороздками величиной 5 мм на поверхности).

7 - $\rho_{\text{ср}} = 0,24 Q_{\text{Н}} - 0,12$, $R^2 = 0,829$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором с бороздками величиной 3 мм на поверхности дефлектора);

8 - $\rho_{\text{мг}} = 0,07 Q_{\text{Н}} + 0,11$, $R^2 = 0,983$ (дождеватель с установленным вращающимся сменным дефлектором с бороздками величиной 3 мм на поверхности дефлектора).

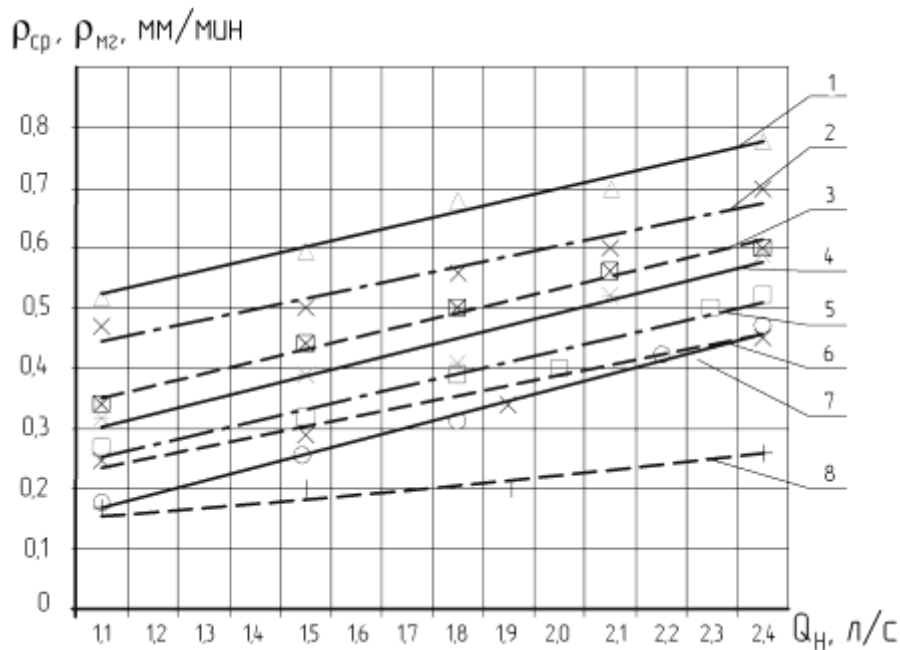


Рисунок 4.9 - Интенсивность дождя средняя ($\rho_{\text{ср}}$) и мгновенная ($\rho_{\text{мг}}$) в зависимости от расхода воды, $\varnothing 10$ мм.

Большерасходные дождеватели, работающие при больших нормах полива (500-600 куб.м/га). При значительных расходах (свыше 2 л/с) средняя интенсивность укладывается в требуемые значения. Наилучшими показателями обладают дождевательные машины, оборудованные дождевателями с вращающимися дефлекторами и с дефлекторами с неглубокими бороздками на поверхности, рис. 4.10.

На рисунке 4.10:

1 - $\rho_{\text{ср}} = 0,31 Q_{\text{н}} - 0,06$, $R^2 = 0,84$ (дождеватель с установленным гладким дефлектором);

2 - $\rho_{\text{ср}} = 0,28 Q_{\text{н}} - 0,06$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным каскадным дефлектором);

3 - $\rho_{\text{ср}} = 0,24 Q_{\text{н}} - 0,17$, $R^2 = 0,93$ (дождеватель с дефлектором с бороздками на поверхности);

4 - $\rho_{\text{ср}} = 0,27 Q_{\text{н}} - 0,31$, $R^2 = 0,94$ (дождеватель с установленным с возможностью вращения дефлектором с бороздками).

При помощи дождевателей с установленными каскадными (двойными) дефлекторами можно распределять значительные расходы воды с соблюдением нормативных границах интенсивности, обеспечивая мягкий режим полива.

Тем не менее в связи с возможностью засорения и зарастания илистыми отложениями и необходимости их прочистки их рационально устанавливать в конце трубопровода дождевательных машин, при диаметре отверстия сопла больше 10 мм.

Как показали исследования, дождеватели, оборудованные каскадными дефлекторами (с двумя дефлекторами) снижают интенсивность полива на 10-15% по сравнению с дождевателями, с одним установленным дефлектором при одинаковом расходе.

Интенсивность полива уменьшается при увеличении орошаемой площади, увеличении радиуса захвата дождя при распыливании и разделении потока на большее количество струй или потоков. Подобное конструктивное исполнение

оправдано как вариант конструкций, используемых при больших нормах полива.

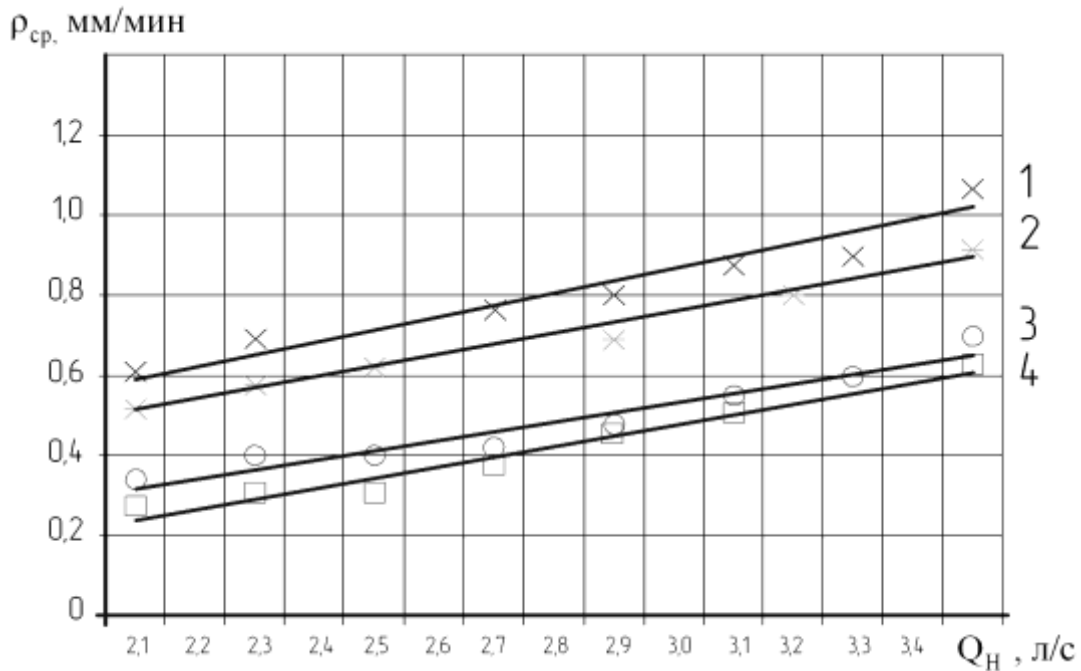


Рисунок 4.10 – Зависимости средней ($\rho_{ср}$) интенсивности дождя от расхода (диаметр сопла дождевателя 15 мм)

Исследования дождевателей с установленными сменными различного типа дефлекторов позволили выявить способы увеличения радиуса орошения и снижения воздействия ветра.

Диаметр капель дождя

Проведенные исследования показали, что средний диаметр дождевых капель увеличивается при увеличении относительного радиуса распыливания капель R_i/R , диаметра сопла и (наиболее важный параметр) давления перед дождевателем, т.е. в водопроводящем трубопроводе дождевальной машины.

Диаметр дождевых капель, образующихся при распыливании дождевателями с установленными гладкими дефлекторами и дождевателями с дефлекторами с бороздками на поверхности дефлектора увеличивается при установке сопел с большим диаметром отверстия (а значит, и расхода) и при

уменьшении давления в трубопроводе машины (рис. 4. 11, 4.12).

Другими словами, дождеватели установленные в конце трубопровода машины, где давление снизилось за счет потерь и отбора расхода и где установлены сопла в дождевателях с большими диаметрами заведомо будут образовывать капли большего диаметра, что требует дополнительных конструктивных решений.

На рисунке 4.11:

1 – Давление на входе $P_{ВХ} = 0,08$ МПа, $d_{СР} = 2,1R'_i/R' - 0,1$, $R^2 = 0,94$;

2 - Давление на входе $P_{ВХ} = 0,15$ МПа, $d_{СР} = 1,7R'_i/R' - 0,3$, $R^2 = 0,96$;

3 - Давление на входе $P_{ВХ} = 0,3$ МПа, $d_{СР} = 1,5 R'_i/R' - 0,4$, $R^2 = 0,98$.

Т. о. независимо от условий эксплуатации будет наблюдаться тенденция. В конце относительного радиуса капли образуются меньшего диаметра, и наибольшего в самом конце относительного радиуса.

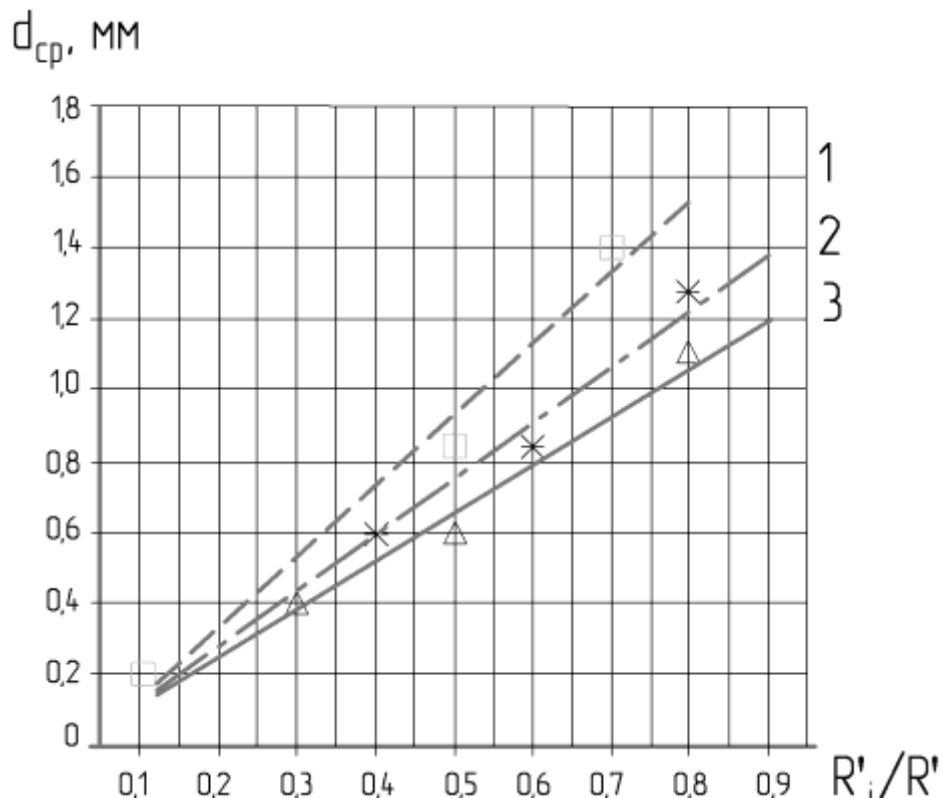


Рисунок 4.11 - Средний диаметр капель при увеличении относительного радиуса R'_i/R' ($\text{Ø}6$ мм.)

На рисунке 4.12:

1 - $d_{CP} = 1,5 R'_i/R' + 0,03$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным дефлектором с бороздами треугольной формы на поверхности дефлектора, $P_{BX} = 0,16$ МПа, диаметр сопла $\varnothing 10$ мм);

2 - $d_{CP} = 1,41 R'_i/R' - 0,04$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с установленным дефлектором с бороздками овальной формы, $P_{BX} = 0,16$ МПа, диаметр сопла 8 мм);

3 - $d_{CP} = 1,41 R'_i/R' - 0,08$, $R^2 = 0,97$ (дождеватель с установленным дефлектором с бороздами треугольной формы, $P_{BX} = 0,18$ МПа, диаметр сопла $\varnothing 10$ мм);

4 - $d_{CP} = 1,12 R'_i/R' - 0,006$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с установленным дефлектором с бороздами овальной формы, $P_{BX} = 0,2$ МПа, диаметр сопла $\varnothing 10$ мм).

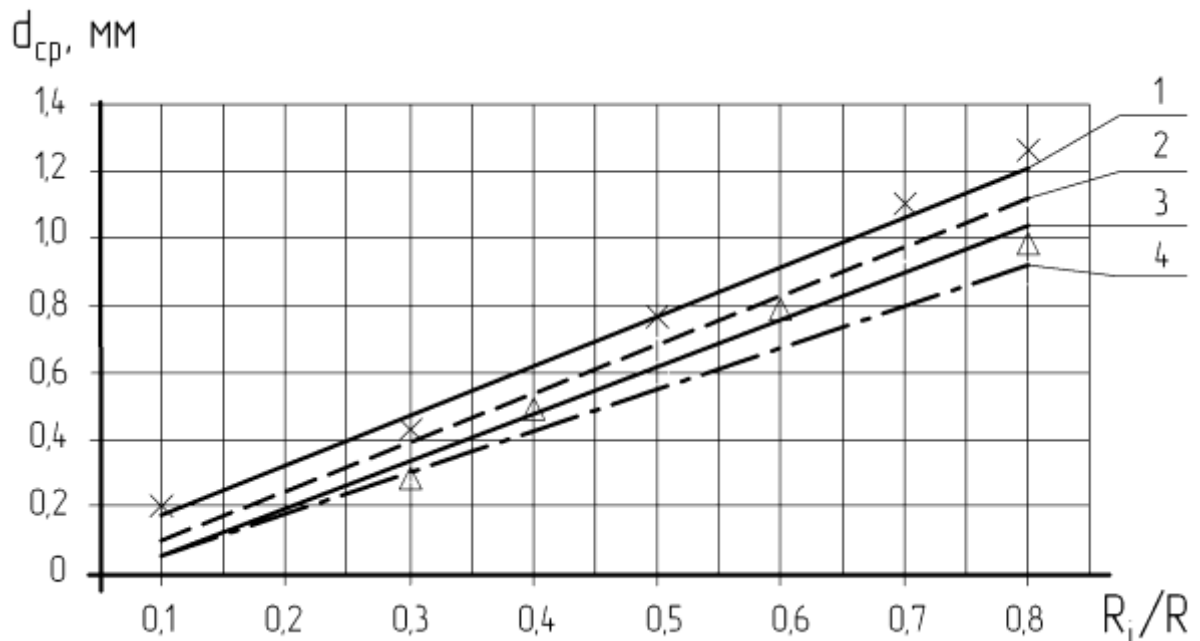


Рисунок 4.12- Изменение диаметра капель в зависимости от относительного радиуса R'_i/R'

Дождеватели с установленными дефлекторами с бороздками на поверхности образуют капли дождя, где зависимость диаметра капель от относительного радиуса разлета капель R'_i/R' более пологая и разброс диаметра капель меньше, в среднем на 15-20% (рис. 4.13).

На рисунке 4.13:

$$1 - d_{CP} = -1,4 (R'_i/R')^2 + 2,3 (R'_i/R') - 0,02, \quad R^2 = 0,9 \text{ (дождеватель с}$$

вращающимся дефлектором и треугольными бороздками 2 мм (ширина/глубина), $P_{ВХ} = 0,28$ МПа);

2 - $d_{ср} = -0,62 (R'_i/R')^2 + 1,6 R'_i/R' + 0,09$, $R^2 = 0,9$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором с треугольными бороздками 2 мм (ширина/глубина), $P_{ВХ} = 0,18$ МПа);

3 - $d_{ср} = -0,92 (R'_i/R')^2 + 1,87 R_i/R - 0,01$, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором и полукруглыми бороздками 5 мм, $P_{ВХ} = 0,2$ МПа);

4 - $d_{ср} = -0,8 (R_i/R)^2 + 2,1 R_i/R - 0,23$, $R^2 = 0,99$ (дождеватель с установленным вращающимся дефлектором и полукруглыми бороздками 5 мм (ширина/глубина), $P_{ВХ} = 0,35$ МПа)

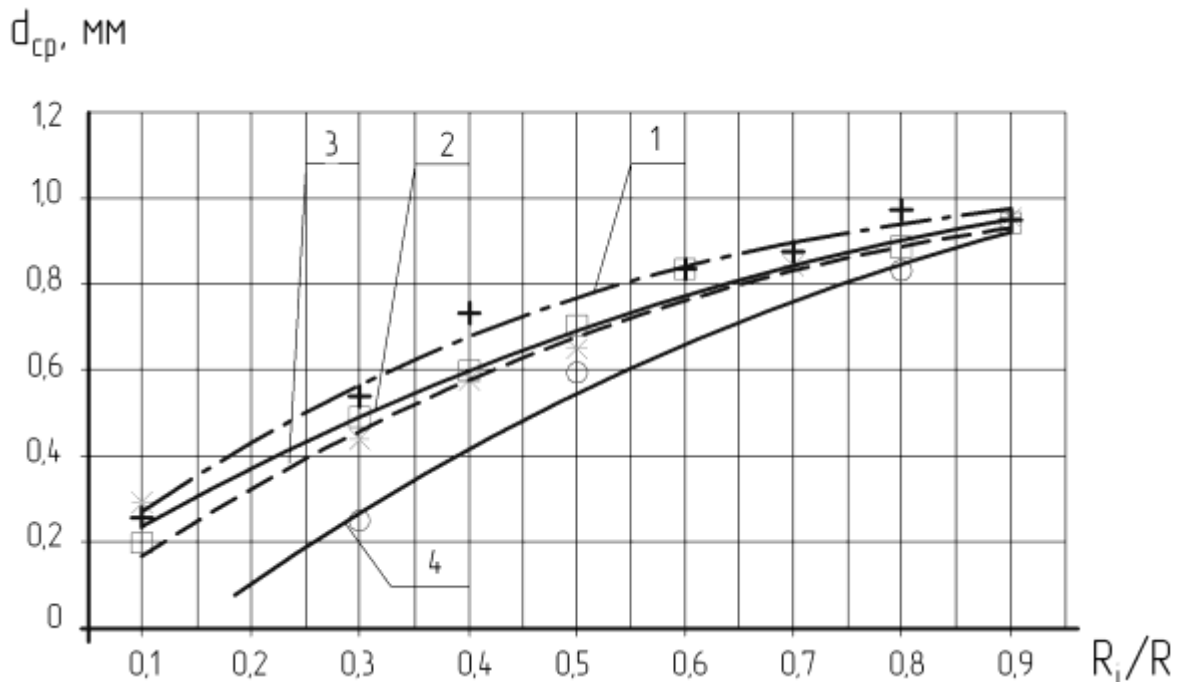


Рисунок 4.13 – Зависимость диаметра образующихся капель дождевателем, оборудованным сменным вращающимся дефлектором от относительного радиуса полета капель R'_i/R'

Одним из важнейших показателей, характеризующих качество распыливания и экологичность полива является диаметр капель образующегося дождя.

Диаметр капель в конце радиуса распыливания для всех типов

дождевателей, с установленными дефлекторами всех конструкций не превышает 1,6 мм при давлениях до 0,15 МПа.

Дождеватели с установленными каскадными дефлекторами (с двумя дефлекторами) и максимальным диаметром сопла 15 мм (рис. 4.14) при низком давлении обеспечивают образование капель с диаметром капель в пределах нормы.

В качестве рекомендаций можно отметить, что для уменьшения интенсивности дождя целесообразно устанавливать во второй половине длины широкозахватных дождевательных машин дождеватели с установленными на них вращающимися дефлекторами или каскадного типа.

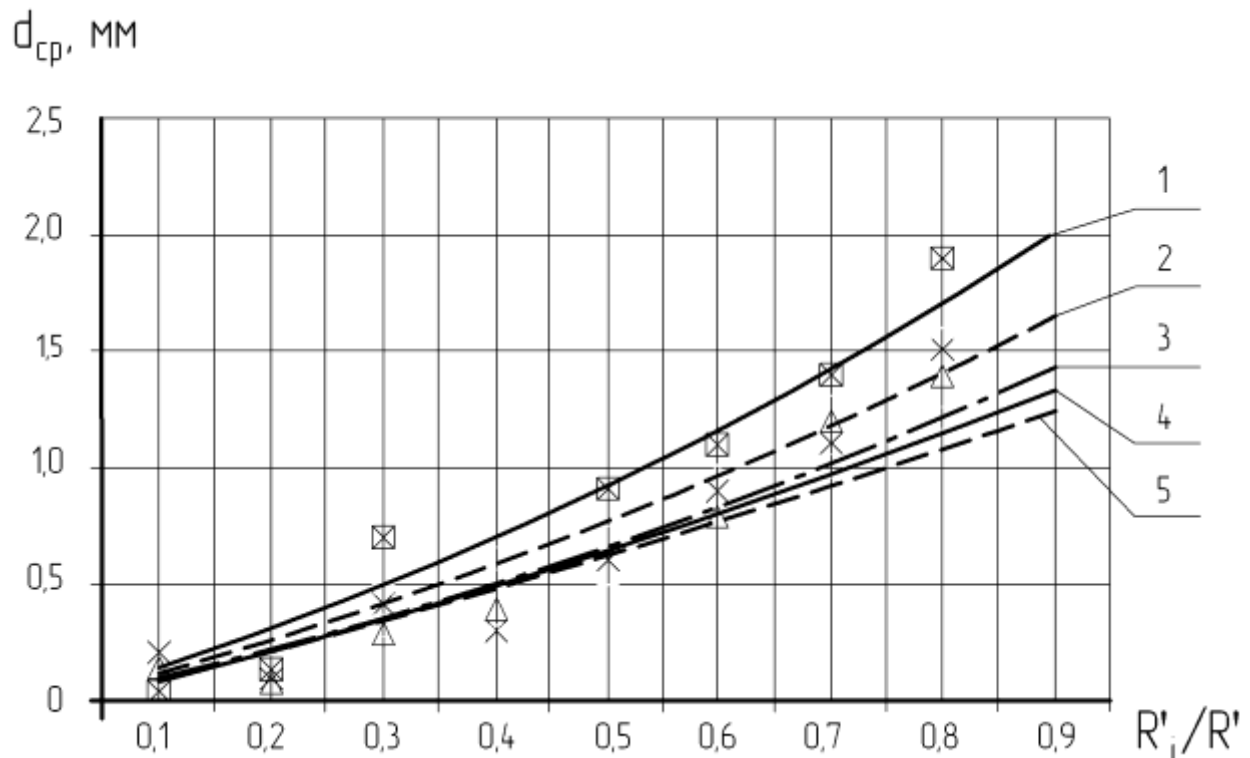


Рисунок 4.14 – Средний диаметр капель с увеличением R'_i/R' для дождевателей с установленными сменными дефлекторами каскадного типа (двойные дефлекторы)

На рисунке 4.14:

1 – $d_{ср} = 2,3 R'_i/R'^{1,320}$, $R^2 = 0,95$; $P_{вх} = 0,18$ МПа, диаметр сопла дождевателя $\varnothing 15$ мм;

2 – $d_{CP} = 1,9 R'_i/R^{1,303}$; $R^2 = 0,96$; $P_{BX} = 0,09$ МПа, диаметр сопла дождевателя $\varnothing 13$ мм;

3 – $d_{CP} = 1,7 R'_i/R^{1,279}$; $R^2 = 0,97$, $P_{BX} = 0,3$ МПа, диаметр сопла дождевателя $\varnothing 15$ мм;

4 – $d_{CP} = 1,5 R'_i/R^{1,247}$; $R^2 = 0,85$; $P_{BX} = 0,18$ МПа, диаметр сопла дождевателя $\varnothing 13$ мм;

5 – $d_{CP} = 0,4 R'_i/R^{1,124}$; $R^2 = 0,75$; $P_{BX} = 0,24$ МПа, диаметр сопла дождевателя $\varnothing 13$ мм.

4.2. Комплектация дождевальных машин дождевателями, их расстановка

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

При давлении на входе в трубопроводе до 0,2 МПа дождеватели базовой модели с гладким жестко закрепленным дефлектором необходимо устанавливать не более чем через 3,0 м для обеспечения перекрытия поверхности орошения соседними дождевателями и соответственно равномерного полива.

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

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

Рекомендуемое расстояние между многодефлекторными дождевателями зависит от вида и выполнения дефлекторов (вращающиеся или жестко закрепленные, гладкие или с бороздками на поверхности). Для моделей с

гладкими двухдефлекторными моделями рекомендуемое расстояние между ними 3,0 м при давлении до 0,2 МПа и 3,5-4,0 м при давлении 0,3-0,6 МПа.

Тогда для широкозахватных дождевальных машин:

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

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

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

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

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

Для полива сельскохозяйственных культур в зонах с **повышенным ветровым режимом**, рекомендуется комплектовать дождевальные машины дождевателями со сменными дефлекторами, имеющими крупные бороздки (до 5 мм глубина/ширина). Дефлектор может быть стационарно закрепленным или установленным с возможностью вращения.

Для проращивания ростков и щадящего воздействия на почву, рекомендуется полив дождевальными машинами укомплектованными

дождевателями со сменными дефлекторами, имеющими мелкие бороздки (1,0-2 мм ширина/глубина) на поверхности.

Использование различных типов дождевателей и оценка качественных показателей позволили сделать вывод, что уменьшение размера капель и снижение мощности дождя привели к снижению уплотнения верхнего слоя почвы, т.е. было обеспечено мягкое воздействие на почву и растения.

4.3. Результаты исследований работы широкозахватных дождевальных машин с установленными разработанными дождевателями

4.3.1 Потери воды дождевой на испарение и снос ветром

Количественно потери воды за счет испарения и снос ветром зависят в основном от подъема дождевого облака над поверхностью поля, (положения дождевателя), среднего диаметра дождевых капель и индекса интенсивности метеорологических факторов.

Применение мягких спускных трубопроводов для приповерхностного полива позволяет отчасти компенсировать потери. Высота надо поверхностью поля должна быть максимально низкой с учетом высоты культуры.

Уменьшение диаметра капель дождя с одной стороны снижает воздействие на почву и растения, обеспечивая экологически безопасный полив, с другой стороны увеличивая процент испарения и унос ветром, увеличивая потери воды.

Для определения объема потерь воды на испарение и унос ветром, выраженный в процентах можно использовать зависимость [55, 56, 142-144]:

$$E_{ИУ} = 1,22 \frac{h_{\Pi}^{0,6}}{d_K^{0,6} \rho_{ср}^{0,2} \rho_{мг}^{0,1}} \left[\left(1 - \frac{\varphi_B}{100} \right) (V'_B + 1) \right]^{0,5} K_{\alpha}, \quad (4.1)$$

φ_B - относительная влажность воздуха, %; V'_B - скорость ветра, м/с; K_{α} - коэффициент, зависящий от направления ветра; h_{Π} - высота подъема дождевого облака над поверхностью почвы, м; d_K - средний диаметр капель, мм; $\rho_{ср}, \rho_{мг}$ -

средняя и мгновенная интенсивность соответственно, мм/мин.

$$K_{\alpha} = 1 - 0,01(90 - \alpha'_0), \quad (4.2)$$

Фактический объем полива определялся путем установки на поле мерных емкостей.

Проведенные исследования подтвердили, что потери воды за счет испарения и ветра увеличиваются при большем подъеме дождевого облака и при уменьшении размеров капель 4,15-4,16.

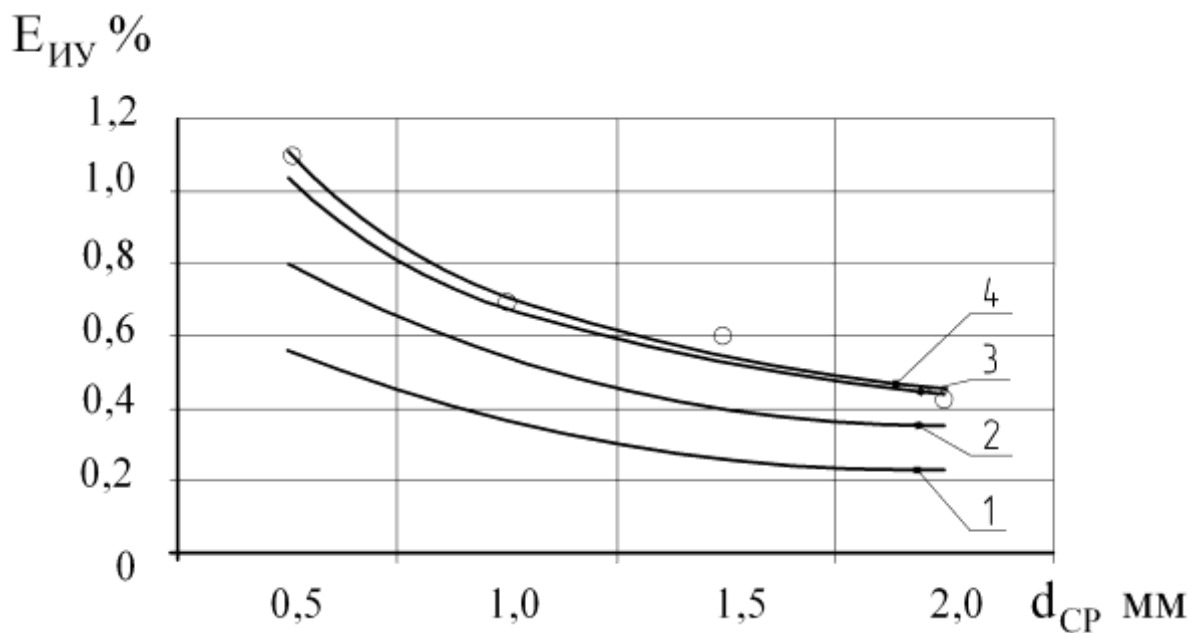


Рисунок 4.15 - Зависимость потерь на испарение и ветровые потери от диаметра капель при отсутствии ветра.

На рисунке 4.15:

1 – расчетная зависимость (высота смонтированного дождевателя над почвой $h_{П}=1$ м); 2 – расчетная зависимость (высота установки дождевателя над почвой $h_{П}=2$ м); 3 – расчетная зависимость (высота установки дождевателя над почвой $h_{П}=3$ м); 4 – зависимость полученная экспериментально,

$E_{ИУ}=0,8 d_{СР}^{-0,64}$, $h_{П}=3$ м, $R^2 = 0,98$ (дождеватель с установленным гладким дефлектором)

На рисунке 4.16:

1 – экспериментально полученная зависимость (расстояние от дождевателя до поверхности поля $h_{\Pi}=1$ м), $E_{ИУ}=0,75 d_{СР}^{-0,54}$, $R^2=0,99$;

2 – теоретическая зависимость, (расстояние от дождевателя до поверхности поля $h_{\Pi}=1$ м);

3 – экспериментальная зависимость, (расстояние от дождевателя до поверхности поля $h_{\Pi}=2$ м), $E_{ИУ}=1,12 d_{СР}^{-0,61}$, $R^2=0,98$.

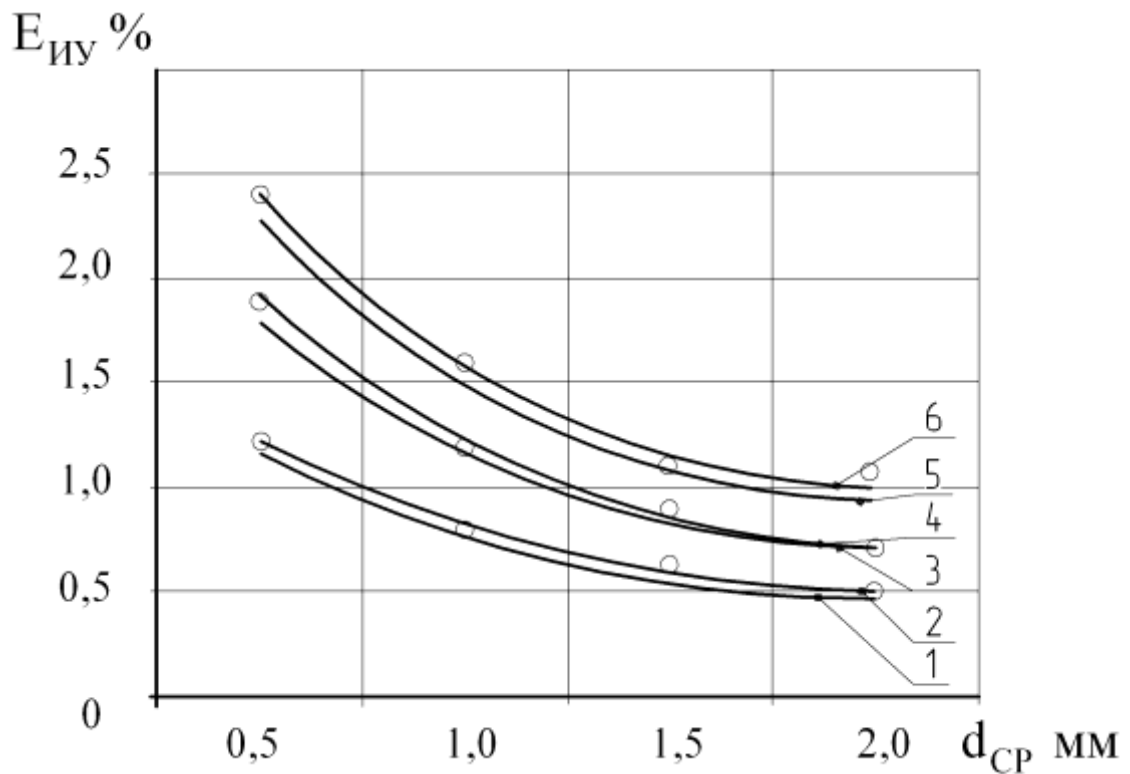


Рисунок 4.16 - Потери на испарение и снос ветром от диаметра, скорость ветра 3 м/с.

4 – расчетная, (расстояние от дождевателя до поверхности поля $h_{\Pi}=2$ м);

5 – экспериментальная, $E_{ИУ}=1,46 d_{СР}^{-0,64}$, (расстояние от дождевателя до поверхности поля $h_{\Pi}=3$ м), $R^2=0,99$;

6 – расчетная, (высота установки дождевателя над землей $h_{\Pi}=3$ м).

Одним из основных способов уменьшения потерь на испарение и ветровой снос решается при помощи спускных трубок приповерхностного полива.

При этом желательно оптимизировать структуру рассеивания воды. Важно соблюдать степень распыления до 0,5-1,0 мм диаметра капель. Тип дождевателя следует выбирать в зависимости от требуемого диаметра капель, при этом необходимо учитывать расстояние от дождевателя до поверхности земли, ветровые условия и режим работы машины.

Повышение давления воды приводит к уменьшению крупности капель, увеличению радиуса распыливания. Для дождевальных машин работающих при большом напоре вопрос качества распыливания менее актуален.

Уменьшение диаметра капель менее 0,3 мм ведет к росту потерь на испарение и снос ветром. Т. о. при установке дождевателя на трубопровод дождевальной машины без спускных гибких труб приповерхностного полива следует:

- устанавливать сменные дефлекторы с бороздками на поверхности дефлектора, чтобы сходящий поток воды образовывал струйки воды при сходе с дефлектора;

- увеличивать размеры бороздок;

- уменьшать угол вылета струи, с помощью формы конструкции дефлектора, что увеличивает ветроустойчивость.

Оптимальным является установка дождевателей на гибких трубках приповерхностного полива, ограничением при этом является высота поливаемой культуры.

Согласно результатам проводимых исследований, равномерность и качество полива при скорости ветра до 3 м/с достаточно высока.

Одним из основных, важных показателей дождевальной техники является коэффициент эффективности полива. При экспериментальных исследованиях для ДМ «Фрегат» с установленными на ней дождевателями с гладкими дефлекторами были получены значения в границах 0,76-0,8. Давление на входе в машину обеспечивалось - 0,34 МПа. В конце трубопровода машины определялось давление 0,11 МПа.

Полевые исследования дождевальнoй машины "КАСКАД", оборудованной дождевателями, имеющими дефлектор с бороздками на его поверхности, установленными через 3,5 м показали коэффициент эффективности полива 0,77 на первом участке и 0,87 на втором участке. Давление на входе в машину обеспечивалось 0,35 МПа.

Полевые использования дождевальнoй машины "КАСКАД", оборудованной дождевателями с вращающимися дефлекторами с половины длины машины, установленные через 3,5 м показали коэффициент эффективности полива 0,88. Давление на входе в машину обеспечивалось 0,3 МПа.

4.3.2 Оценка энергетических показателей при поливе «Кубань-ЛК1М» и ДМ «КАСКАД»

Более интенсивный дождь разрушает почву и увеличивает ее плотность. Подобные явления при поливе дождеванием в течении нескольких лет широко известны и требуют конструктивно-технологических решений.

Наибольшая скорость падения капель:

$$V_K = 4,11d_K^{0,5}, \quad (4.3)$$

Удельная мощность дождя, Вт/м²:

$$N_{уд} = 0,0083\rho_{cp} \sum_{i=1}^n (n_i V_{Ki})^2 = 0,14\rho_{cp} d_K, \quad (4.4)$$

ρ_{cp} – интенсивность, мм/мин; n_i – процентное соотношение капель i -го размера; V_{Ki} – скорость.

Мощность осадков при использовании различных типов дождевателей на широкозахватных дождевальных машинах, представлены в табл. 4.1.

Плотность почвы в зависимости от характеристик дождя даны в таблице 4.2.

Из табл. 4.2 видно, что из-за уменьшения размера капель и силы дождя уплотнение верхнего слоя почвы незначительно, что обеспечивает слабое воздействие на почву и растения.

Таблица 4.1 – Параметры дождя вдоль трубопровода ДМ

Тип	Расход, л/с	Давление, МПа	Средняя интенсивность, мм/мин	Средний диаметр капель, мм	Скорость падения, м/с	Средняя мощность, Вт/м ²
«Фрегат»						
Способ размещен ия 1	0,16	0,12	0,10	0,72	3,48	0,010
	0,26	0,24	0,26	0,54	3,00	0,019
	0,30	0,16	0,34	0,56	3,22	0,026
	0,52	0,24	0,40	0,62	3,24	0,034
	0,54	0,26	0,48	0,64	3,26	0,044
	0,63	0,20	0,46	0,66	3,32	0,046
	1,10	0,28	0,60	0,70	3,43	0,058
	1,42	0,24	0,76	0,72	3,45	0,075
	1,54	0,26	0,78	0,74	3,52	0,079
	1,67	0,34	0,84	0,80	3,66	0,092
	1,81	0,26	0,86	0,82	3,70	0,098
	1,94	0,22	0,92	0,84	3,76	0,110
	3,79	0,24	0,99	0,86	3,80	0,118
	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД»					
Способ размещен ия 2	0,18	0,16	0,08	0,62	3,22	0,008
	0,22	0,30	0,24	0,52	2,94	0,016
	0,30	0,22	0,30	0,54	2,98	0,024
	0,34	0,26	0,32	0,56	3,06	0,026
	0,37	0,29	0,36	0,59	3,12	0,028
	0,48	0,27	0,40	0,61	3,17	0,033
	0,54	0,24	0,44	0,64	3,23	0,037
	0,76	0,32	0,49	0,66	3,30	0,044
	0,99	0,29	0,56	0,68	3,35	0,051
	1,14	0,27	0,63	0,70	3,40	0,059
	1,25	0,29	0,68	0,72	3,48	0,066
	1,34	0,33	0,74	0,75	3,55	0,076
	1,55	0,29	0,80	0,78	3,60	0,084
	1,73	0,25	0,82	0,80	3,64	0,088
	2,47	0,27	0,88	0,82	3,71	0,098
	3,52	0,28	0,94	0,85	3,75	0,108

Таблица 4.2 – Плотность почвы в зависимости от характеристик дождя

Место измерений		Мощность дождя, Вт/м ²	Плотность почвы, г/см ³
Первый пролет	Способ размещения дождевателей 2, второй полив	0,016	1,05
Четвертый пролет		0,049	1,08
Последний пролет		0,098	1,11
Первый пролет	Способ размещения дождевателей, четвертый полив	0,020	1,06
Четвертый пролет		0,054	1,09
Предпоследний пролет		0,086	1,11
Богара			1,03

4.3.3 Равномерность полива на примере ДМ «Фрегат», оборудованных разработанными дождевателями

Показатели работы представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Показатели работы

Наименование показателей	Дождевальная машина
	«Фрегат» ДМУ-Б 463-90
Расположение водоотводов вдоль трубопровода	1
Дата исследования	09.07-26.07
Культура	кукуруза
Температура воздуха за время проведения исследований в границах, град	17-20
Скорость ветра, м/с	3,0-3,5
Напор, МПа	0,40
Расход, л/с	72
Слой осадков, мм	32
Коэффициенты:	
Эффективного полива	0,80
Недостаточного полива	0,10
Избыточного полива	0,09
Средний диаметр капель, мм	0,86
Глубина колеи последней опорной тележки (4 полив), м	0,17
Коэффициент земельного использования	0,98

Интенсивность дождя при поливе и диаметр капель находятся в пределах

0,54 мм/мин и 0,86 мм соответственно, что позволяет реализовать ресурсосберегающие технологии орошения.

4.4 Выводы по главе

1. Экспериментальными исследованиями были подтверждены теоретические положения, определяющие наиболее рациональные конструктивные решения и технологические параметры работы.

2. Подтверждено, что радиус захвата дождем зависит от ряда конструктивно-технологических параметров: диаметра сопла дождевателя, конструкции дефлектора дождевателя, давления на входе в дождеватель, высоты установки дождевателя над поверхностью поля, наличия и скорости ветра.

3. Рекомендованы конструкции и режимы работы дождевателей, типы сменных дефлекторов для различных условий эксплуатации.

4. Равномерность распределения слоя осадков была улучшена за счет оптимизированной установки разработанных дождевателей на дождевальные машины, верного подбора конструкций дождевателей.

Коэффициент эффективного полива показал высокие значения, что объясняется повышением равномерности полива, выравнивания слоя осадков дождя, уменьшением переполива под первыми и последними пролетами.

5. Средняя интенсивность дождя 0,5-0,6 мм/мин для всех технических решений, а диаметр капель - 0,7-1,0 мм, что делает полив экологически безопасным.

5. ГЛАВА ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Экономическая эффективность внедрения дефлекторных дождевателей на ДМ «Фрегат»

Разработанные дефлекторные дождеватели могут быть использованы на дождевальной машине "Фрегат" для повышения равномерности полива, уменьшения воздействия дождя на почву и тем самым снижения уплотнения почвы. Причиной этого является уменьшение диаметра капель воды.

За счет подбора дождевателей с бороздками на поверхности дефлекторов, обеспечивающих подачу плотных мелких струек и приповерхностного полива снижены потери воды за счет испарения и сноса ветра. Это позволило повысить урожайность на 8% (табл. 5.1).

Таблица 5.1– Экономическая оценка внедрения мероприятий

Показатели	Базовая ДМ «Фрегат»	Модернизированная ДМ «Фрегат»
Агрокультура	Кукуруза	
Коэффициент эффективности (скорость ветра 3 м/с)	0,67-0,77	0,77-0,82
Потери воды за счет испарения и сноса ветром, %	8-12	2,0-6
Средняя за три года урожайность кукурузы на силос, т/га	87,3	94,4
Прирост урожайности, т/га		6,9

Средняя урожайность кукурузы на орошаемых участках ДМ "Фрегат" с разработанными дождевателями со сменными дефлекторами для различных условий эксплуатации на 6,9 т/га выше, чем на участках полива дождевальными машинами с серийными дождевальными аппаратами.

Повышение урожайности объясняется более равномерной подачей поливной воды, уменьшения среднего диаметра дождевых капель и мощности дождя, снижения плотности почвенного покрова.

Экономическая эффективность от применения на дождевальными машинах разработанных дождевателей со сменными дефлекторами с бороздками на поверхности за счет:

- повышения равномерности полива (коэффициент эффективного полива 0,8);

- снижение потерь воды на испарение и снос ветром (2-6%);

- снижение мощности дождя за счет увеличения фракции с оптимальным диаметров капель (0,7-0,86 мм), что обеспечивает экологически безопасный полив, увеличивая дождевую норму;

- снижение стоимости дождевателей по сравнению с иностранными аналогами;

- уменьшение количества требуемых дождевателей за счет увеличения радиуса распыливания;

- повышение качества полива при больших расходах за счет установки двух дефлекторов.

Требуемый объем воды на один полив:

$$Q = Q_M T K_B + Q_C \quad (5.1)$$

где Q_M – расход машины, м³/ч, T – время работы машины, ч; K_B – коэффициент характеризующий потери воды на испарение и снос ветром; Q_C – величина стока.

Время работы машины определяется из выражения:

$$T = \frac{MS}{Q_M}, \quad (5.2)$$

где M – поливная норма, м³/га; S – площадь полива, га;

Потери воды за счет испарения и сноса ветром при установке на ДМ типа «Кубань», КАСКАД не превышают 5%, при установке на ДМ «Фрегат» - 6%, что

практически в два раза ниже стандартных дождевальных аппаратов.

Т.о. снижение непроизводительных потерь воды на сток и унос ветром может достигать 1250 м. куб. при максимальной длине машины и времени полива (нормы полива 500 м куб).

5.2 Выводы по главе

1 Применение дефлекторных дождевателей, разработанных для системы полива "Фрегат", повышает равномерность полива, снижает воздействие дождя на почву и, как следствие, уменьшает ее уплотнение.

2. Средняя урожайность кукурузы на орошаемых участках, орошаемых дождевальными машинами "Фрегат", оборудованными спроектированными дождевателями на 6-8 т/га выше, чем на орошаемых участках, поливаемых дождевальными машинами с установленными на них стандартными серийными дождевальными аппаратами. Это объясняется более равномерным и качественным поливом, снижением уплотнения почвы за счет снижения мощности дождя и диаметра капель.

3. Потери воды за счет испарения и сноса ветром при установке на ДМ типа «Кубань», КАСКАД не превышают 5%, при установке на ДМ «Фрегат» - 6%, что практически в два раза ниже стандартных дождевальных аппаратов.

Снижение непроизводительных потерь воды на сток и унос ветром может достигать 1250 м. куб. за сезон при максимальной длине машины и времени полива (нормы полива 500 м куб).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

3. Были определены оптимальные конструктивные решения дождевателей. Радиус захвата дождем зависит от диаметра сопла дождевателя, давления в трубопроводе машины, высоты установки дождевателя и характеристик дефлектора. Наибольшая дальность полета струи (радиус действия дождевателя) достигается для угла схода с дефлектора 17-18°. Дождеватели с установленными на них каскадными дефлекторами были разработаны для использования при больших расходах воды (значительных нормах полива) и для установки в конце трубопровода широкозахватных дождевальных машин, где диаметр сопла

дождевателя значительно увеличен и может достигать 15 мм. Параметры отверстий в дефлекторах подбираются таким образом, чтобы расход воды при сходе с каждого дефлектора были одинаковыми. Соотношение между радиусами сопла дождевателя и отверстий в дефлекторе составляет 1:0,71. Применение дождевателей с каскадными (двойными) дефлекторами рекомендуется применять на машинах длиной более 350 м во второй половине трубопровода, при больших расходах. Для различных режимов работы и условий эксплуатации рекомендована установка сменных дефлекторов различного типа.

4. Экспериментальные исследования подтвердили влияние конструктивных параметров дождевателей, в частности сменных дефлекторов и режимов работы на процессы дождеобразования и показатели качества орошения. В целом средняя интенсивность дождя изменяется в диапазоне 0,08-1,2 мм/мин, а мгновенная интенсивность - в диапазоне 0,08-1,1 мм/мин. Дождеватели с каскадными (двойными) дефлекторами могут использоваться для достижения мягкого режима полива при значительных расходах воды (нормах полива), обеспечивая интенсивность полива в пределах нормы. Дождеватели с установленными двойными дефлекторами при сравнении с однодефлекторными такого же типа, при одинаковом расходе, позволяют снизить интенсивность полива на 10-15%. Рассматривая работу каскадных дождевателей (с двумя дефлекторами), можно заметить, что при низком давлении и максимальном диаметре сопла 15 мм диаметр капель находится в пределах спецификации. Поэтому для снижения интенсивности целесообразно устанавливать во второй половине трубопровода широкозахватных дождевательных машин дождеватели с вращающимися дефлекторами или с каскадными дефлекторами.

5. Равномерность распределения дождя была значительно улучшена за счет установки разработанных дождевателей. Коэффициент эффективного полива также увеличился, что за счет повышения равномерности, уменьшения областей переполива. Средняя интенсивность - 0,5 мм/мин, а диаметр капель дождя 0,7-1,0 мм, что делает полив экологически безопасным. Разработанные дождеватели

дефлекторного типа могут быть использованы на дождевальных машинах "Фрегат" для повышения равномерности полива, уменьшения воздействия дождя на почву и, соответственно, снижения уплотнения почвы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ И ПРЕДПРИЯТИЯМ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИМ И ПРОИЗВОДЯЩИМ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ

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

- при больших расходах использовать дождеватели с дефлекторами каскадного типа;

- использовать дождеватели со сменными неподвижными или вращающимися дефлекторами для полива в зонах с сильными ветрами;

- для щадящего полива, с минимальным воздействием на почву и растения (полив всходов) дождевательные машины, оборудованные дождевателями имеющими бороздки на своей поверхности.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

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

На основе проведенных в данной работе исследований планируется дальнейшее исследование, разработка и внедрение реконфигурируемых и

регулируемых дождевальными машинами для различных специфических условий эксплуатации, а также дождевальными машинами точного полива.

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. 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.

4. Абрамов А. М. Методы определения эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1987. – 18 с

5. 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.

6. 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/– (Дата обращения: 18.01.2021).

7. Андреева, Е.В. Обоснование технических решений по снижению напора на входе ДМ «Фрегат» / Е.В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – М., 2008. – 1023 с.

8. Антонюк А.В. / Основные технико-эксплуатационные показатели многоопорных дождевальных машин «ZIMMATIC» / А.В. Антонюк // Научный взгляд в будущее. – 2016.– №2. – С. 34-40.

9. Айдаров И. П. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / И. П. Айдаров, К. П. Арент, В. Н. Басс; под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос,

1999. – 432 с.

10. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

11. Бобрышов А.В. / Вопросы применения отечественных широкозахватных дождевальных машин / А.В. Бобрышов, Б.П. Фокин // Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – №2. – С. 132-134.

12. Боровиков В. П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.

13. Бородин В. А. Распыливание жидкостей / В.А. Бородин. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с.

14. Бредихин Н. П. Влияние ветра на работу дальнеструйных дождевателей и пути повышения качества полива: Автореф. дис. канд. техн. наук.– М., 1969. – 19 с.

15. 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.

16. 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.

17. Буренин С.В. Совершенствование и разработка широкозахватных дождевальных машин и дождевальной техники / С.В. Буренин, Д.А. Колганов // Техногенная и природная безопасность: матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2017. – С.54-57.

18. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М., 1986. – 415с.

19. Варлев И. Оптимальная равномерность полива / И. Варлев // Гидравлика и мелиорация. – М., 1981. – № 6.– С. 77–81.

20. Васильев А. Г. Исследование стационарной дождевальной системы с

дефлекторными насадками в теплицах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1978. – 21 с.

21. Васильев, Б. А. 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.

22. 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.

23. 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. – (Дата обращения: 21.01.2022).

24. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 159с.

25. 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.

26. 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.

27. Гаврилица О. А. Эрозионная деградация черноземов при поливе дождеванием и пути ее предупреждения: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Кишинев, 1991. – 48 с.

28. Гаврилица О. А. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / О.А. Гаврилица // Почвоведение. – 1993. – № 3.– С. 77–84.

29. Гилёв В.Ю. Физика почв. Учебно-методические указания по полевой практике. / В.Ю. Гилёв. – Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2012. – 37с.
30. Голы М. Оросительные мелиорации / М. Голы. – М.: Колос, 1988. – 189 с.
31. Гомберг С. В. Совершенствование технико-технологических показателей полива дождевальными машинами «Фрегат»: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2007. – 19 с.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартинформ, 2006. – 8с.
37. ГОСТ 24059–88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технической оценки транспортных средств на этапе испытаний. – М.: Стандартинформ, 1988. – 48с.

38. ГОСТ ИСО 11545-2004. Оборудование сельскохозяйственное оросительное, машины дождевальные кругового и поступательного действия с дождевальными аппаратами или распылителями. Определение равномерности орошения. – М.: Стандартинформ, 2004. – 10с.

39. ГОСТ ИСО 8224-1-2004. Машины дождевальные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. – М.: Стандартинформ, 2004. – 29с.

40. 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.

41. 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.

42. Губер К.В. Дождевальные машины и их применение / К.В. Губер. Россельхозиздат, 1975. – 70с.

43. Губер К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: дис. д-ра техн. наук.– М., 2000. – 518с.

44. 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.

45. 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.

46. Гутер Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опытов / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. – М.: Физматгиз, 1970. – 432 с.

47. Данные организации Росстат. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mcx.ru/document_show/25438 –(Дата обращения: 13.02.2021).

48. 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.

49. Дитякин Ю.Ф. Распыливание жидкостей / Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков и др. – М.: Машиностроение, 1977. – 208с.

50 . Дождевальная машина «Фрегат»: руководство по эксплуатации ДМ-00.000 РЭ – СССР. – М.: изд. № ЛО-5884/3303. – 136 с.

51. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта/ Б.А. Доспехов. – М.: «УОУО Media», 2012. – 352 с.

52. Доспехов Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.И. Туликов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383с.

53. Дружинин В.С. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / В.С. Дружинин, А.В. Сикан. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2001. –169 с.

54. 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.

55. Журавлева Л.А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: дис. д-ра техн. наук.– Саратов., 2018. – 409с.

56. Журавлева Л.А. Дождеватели широкозахватных дождевальных машин /Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Хеирбеик Бассел. Монография. ФГБОУ ВО РГАУ –МСХА им. Тимирязева К.В., 140с

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

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

59. Журавлева Л.А., Магомедов М.С., Алдиаб А., Бассел Х. Теоретическое обоснование применения водопроводящего трубопровода широкозахватной

дождевальная машины из композиционного материала. Естественные и технические науки. – 2022. – №6. – С. 363-371.

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

61. Журавлева Л.А. Состояние земельного фонда и проблемы орошения в РФ. Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации / Л.А. Журавлева, А.С. Балабаев. Часть 1 Сборник статей Международной научно-практической конференции 12 августа 2021. Казань. с. 100-112.

62. Журавлева Л.А. Повышение экологической безопасности полива широкозахватной дождевальной техники на основе экспериментально-теоретических исследований / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов // Научная жизнь. Вып.1, 2022.

63. Журавлева Л.А. Технологические решения экологически безопасного полива широкозахватными дождевальными машинами для почв слабой водопроницаемости / Л.А. Журавлева // Аграрный научный журнал. № 2, 2021. С. 82-86.

64. Журавлева Л.А. Экспериментально-теоретические исследования системы «норма полива – почва – дождевальная машина» / Л.А. Журавлева, Т. Нгуен // Аграрный научный журнал. №10 . 2021 с. 103-107

65. Журавлева Л.А. Экспериментально-теоретические исследования системы «норма полива-почва-дождевальная машина» / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов // Аграрный научный журнал– 2022. – № 10 – С. 103-107.

66. Зажигаев Л. С. Методика планирования и обработка физического эксперимента / Л.С. Зажигаев . – М.: Атомиздат, 1978. – 170 с.

67. Затинацкий С.В. Оценка величины испарения и сноса дождя при

дождевании/ С.В. Затицацкий, 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.

68. 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.

69. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

70. Информационное письмо департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.chamsa-urpivot.chamsa-ur-389753.htm 2016. (дата обращения: 12.02.22).

71. 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.

72. Исаев А.П. Гидравлика дождевальных машин / А.П. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 214 с.

73. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.

74. 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.

75. Карпова О.В. Усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания дождевальной машины «Фрегат»: дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2017. – 197 с.

76. Каталог BAUER. Самая эффективная система под солнцем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.bauer-at.com. – (Дата обращения: 16.01.2022).

77. Каталог ирригационной продукции Zimmatic by Lindsay [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lindsay.com. – (Дата обращения: 23.01.2022).

78. Каталог. I-Wob Senninger. Дождеватель для механизированного орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.senninger.com – (Дата обращения: 26.01.2022).

79. Каталог Lindsay. Повышение урожайности пшеницы за счет применения эффективных решений в области орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lindsay.com – (Дата обращения: 23.01.2022).

80. Каталог. Отличительные особенности ирригационных машин Reinke [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.reinke.com – (Дата обращения: 8.01.2022).

81. Каталог фирмы RKD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rkd.su> / 2016. – (Дата обращения: 12.01.2022).

82. Каталог T-L Irrigation Company sales@tlirr.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tlirr.com – (Дата обращения: 8.01.2021).

83. Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / www.valmont.com/irrigation – (Дата обращения: 16.01.2021).

84. 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.

85. Каталог продукции RAIN HUNTER. Системы автополива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rainhunter.ru> – (Дата обращения 30.01.2021).

86. Каталог продукции Rain Bird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / www.rainbird.com. – (Дата обращения 30.01.2021).

87. Каталог продукции Rain Bird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: /

www. avtopoliv-rainbird.ru – (Дата обращения 30.01.2021).

88. Кеита Шейк Ахмед Тидиан. Обоснование широкозахватных дождевальных машин на пойменных землях: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1996. – 25 с.

89. Колганов Д.А. Дождевальная машина «Фрегат» с усовершенствованной системой водоподачи для полива в низконапорном режиме: дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2017. –168с.

90.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.

91.Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». –М., 2010. – 60 с.

92.Кравченко Л.В. Оптимизация процессов дождевания сельскохозяйственных культур с использованием вероятностного моделирования: дис. докт. техн. наук. – Краснодар, 2018. –307с.

93.Кузнецова Е.И. Орошаемое земледелие: учебное пособие / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю.Ф. Снопич. – М.: ФГБОУ ВПО РГАЗУ, 2012. – 117 с.

94.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.

95.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.

96. Ларионова А. М. Впитывающая способность почв при поливе дождеванием: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 39 с.

97. Лебедев Б.М. Дождевальные машины / Б.М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1965. – 225с.

98. 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.

99 . 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.

100. Макарова Н.В. Статистика в Excel: учебное пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 365с.

101. Маккавеев В.М. Гидравлика / В.М. Маккавеев, И.М. Коновалов. – М.-Л.: Речиздат, 1940. – 643с.

102. Материалы сайта компании Lindsay: url: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lindsayrussia.com> – (Дата обращения 20.01.2021).

103. 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.

104. Мелихов В.В. Мелиорация – потенциал и стратегия развития АПК и сельских территорий России /В.В. Мелихов// 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.

105. 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.

106. Мильченко Н. Ю. Обоснование параметров процесса смачивания сельскохозяйственных растений жидкими растворами и их распыления при механизированном внесении средств химизации: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Волгоград, 2003. – 23 с.

107. 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.

108. 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.

109. 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.

110. Надежкина Г. П. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания дождевальной машины «Фрегат»: дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2014. – 167 с.

111. 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.

112. Низар Х. З. Влияние дождевания и мелкодисперсного орошения на свойства почвы и на развитие кукурузы: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1993. – 22с.

113. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение. –

1991. – 288 с.

114.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.

115.Ольгаренко Г.В. Сохранить парк дождевальных машин в Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко, С.М. Давшан, С.С. Савушкин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – №5. –С. 16-19.

116.Ольгаренко Г. В. Экономическая оценка широкозахватных дождевальных машин / Г. В. Ольгаренко // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. – М., 2007. – С. 384–395.

117.Ольгаренко Д. Г. Эколого-экономическая оценка эффективности техники полива в мелиоративных инвестиционных проектах: Автореф. дис. канд. техн. наук.– М., 2008. –52 с.

118.Ольгаренко Г. В. Отечественные дождевальные машины «Кубань» / Г.В. Ольгаренко, А.Н. Мурачев // Земледелие. – 2004. – №6. –С. 33.

119.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.

120.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 «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

121.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.

122.Отчет организации ООО «Наше дело» за 2020 год.

123.Пажи Д. Г. Распылители жидкости / Д. Г. Пажи, В. С. Галустов. – М.: Химия, 1979. – 216 с.

124.Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.

125.ПД 100-00-000 СБ. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань – ЛК1М» (КАСКАД). Обоснование безопасности. – Саратов, 2016. – 30с

126.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.

127.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.

128.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.

129.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.

130.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.

131.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.

132.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.

133.Просветов Ю.С. Влияние характеристик дождя, создаваемого широкозахватными дождевальными машинами, на условия произрастания сельскохозяйственных культур: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1982. – 22 с.

134.Рабочий план: Министерство сельского хозяйства РФ: ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз». – Саратов, 2016. – 58 с.

135.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.

136.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.

137.Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД). – Саратов, 2016. – 121с.

138.Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 133с.

139.Руководство по эксплуатации ДМФ-К-00.00.000РЭ. Машина дождевальная ферменная кругового действия «Фрегат» с тросовой системой управления. – 2013. – 81с.

140. Рыжко Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания / Н.Ф. Рыжко // – Саратов: Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2014. – № 7. – С. 40–45.

141.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.

142. Рыжко Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. – 176 с.

143. 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.

144. Рыжко Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: Саратовский источник, 2007. – 110 с.

145. 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.

146. 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. – 253 с.

147. 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.

148. 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.

149. 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.

150.Снипич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. д-ра техн. наук. – Новочеркасск, 2011. – 340с.

151.Снипич Ю. Ф. Технологии и агротехнические требования к дождевальным машинам / Ю.Ф. Снипич // Политех. сетевой электр. науч. журнал «Кубанский ГАУ», 2011. –№68. –С. 100-109.

152.Стандарт организации испытаний сельскохозяйственной техники: Машины и установки дождевальные. СТО АИСТ 11.1 –2010. Дата введения – 2011–04–15.

153.СТО АИСТ 001–2010. Агротехническая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2013. – 60 с.

154.СТО АИСТ 11.1–2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

155.СТО АИСТ 003–2010. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2013. – 7 с.

156.Сухарев Ю.Ф. Агротехнические показатели дождя дождевальной машины ДКФ1ПК-1 под воздействием ветра / Ю.Ф. Сухарев, Ю.С. Карасев, Ю.Ф. Снинич // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ». Вып. 35. / Под ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2006.– С.135-139.

157.Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань – ЛК1М» (КАСКАД). – Саратов, 2016. – 29 с.

158 .Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная

машина электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 33с.

159.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.

160.Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин / Б.П. Фокин, А. К. Носов // Научное издание.– Ставрополь, 2011. –80 с.

161.Фокин Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: Автореф. дис. д-ра техн. наук.– Ставрополь, 2002. – 52 с.

162.Файзериев И.Ф. Дождевальная машина «Фрегат» ДМУ: рук. по эксплуатации. Книга №1/ И.Ф. Файзериев. – Казань: Дом печати, 2002. – 161с.

163.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.

164.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.

165.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.

166.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.

167.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.

168.Чураев А.А. Теоретический расчет дождеобразующих устройств для 3-опорной широкозахватной дождевальнoй машины /А.А. Чурляев, Ю.Ф. Снопич, Л.В. Юрченко, М.В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – №4. – С. 126-132.

169.Щедрин В.Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография в 2ч. / В.Н Щедрин, А.В Колганов. – Новочеркасск, 2013. –283с.

170.Шепелев А.Е. Дождеобразующие устройства зарубежной широкозахватной многоопорной дождевальнoй техники / А.Е. Шепелев, В.Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Новочеркасск, 2015. – №3. – С.191-195.

171.Яковлев В.Б. Статистика. Расчеты в Microsoft Exel / В.Б. Яковлев. – М.: Колос, 2005. – 352 с.

172 .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.

173.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 l Agricultural Experiment Station. – 1997. – P. 20.

174.Bresler El. Analysis of Trickle Irrigation with Application to Design Problems / El. Bresler // Irrigation Science. Vol. 1. – № 1. – 1978. – P. 3-17.

175.Catalog–Komet–Pivot–5–Features. Komet Austria GmbH. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: www.kometirrigation.com– (Дата обращения: 19.03.2021).

176.Catalog–Irrifrance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.irrifrance.com – (Дата обращения: 20.03.2021).

177.Catalog – DMFE «Fregat». Wide-catch truss sprinklers with electric drive DMFE "Fregat". [Online resource]. ОАО «Plant "Fregat"», Ukraine. - Pervomaysk. - Access mode: www.ruskontrakt.Ru– (Date of Addressing: 13.12.2021).

178.Favre, H. Contribution à l'étude des courants liquides / H. Favre. – Zürich.

– 1933.

179.Freddie R. Lamm. Erraticity of Sprinkler irrigated Corn in 2011/ Lamm R. Freddie, Terry A. Howell, James P. Bordovsky // Proceedings of the 24th Annual Central Plains Conference, Colby, Kansas, February 21-22, 2012. – P 88-101.

180 .Hazen A. & Williams G.S. Hydraulic Tables (3rd ed.). New York: John Wiley and Sons, 1920.

181.Hinds I. Side channel Spillways / I. Hinds // Proceedings of the on Society of Civ. Eng., 1926.

182.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.

183.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.

184.Journal of the Irrigation and Drainage Division. № 101, 4, 1975. – P. 265-278.

185 .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.

186 .Keller J. Trickle irrigation design / J. Keller, D. Karmeli // «Rein Bird Sprinkler Manufacturing Corporation», Glendora, California, USA. – 1975.

187.Keller J. Trickle irrigation design parameters / J. Keller, D. Karmeli. – Frans. ASAE. St. Toseph. mich. № 14, 4. – 1974. – P. 678-684.

188.Keller J. What about drip irrigation / J. Keller, R. Hanks // Idaho Farmer. Stockman. № 90, 6. – 1972. – P. 34-38.

189.Pivot PP2EG. Nelson. Solutions for mechanized irrigation. Irrigation

equipment for sprinkling machines. [Online resource]. – Mode of access: nelsonirrigation.com– (Date of Addressing: 23.01.2018).

190. Rain Bird. Landscape Irrigation Design Manual. 2000 Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. All rights reserved. Rain Bird Corporation, Tucson, AZ 85706 USA. –126 p.

191. 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.

192. Sprinkle & Trickle Irrigation Lecture Notes. Bie 5110/6110. Fall Semester 2004. Biological and Irrigation Engineering Department Utah State University, Logan, Utah. – P. 280.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Распределение объемов воды в мерных емкостях
дождеватели типа 1 (напор на входе 0,45, скорость ветра 3,0 м/с)

№	d ₀	P _Д	V	№	d ₀	P _Д	V	№	d ₀	P _Д	V
4	5		580	6	8	0,09	250	8			300
4	5	0,17	440	6	8		300	8	12		230
4	5		360	6	8		190	9		0,25	200
4	5		350	7	8		260	9	12		190
4	5		340	7	8		190	9			340
4	5	0,13	190	7	8	0,09	350				
4	5		320	7	8		340	9			320
4	5		330	7	8	0,18	340	9	12		190
4	6		390	7	9		220	9			180
4	6		350	7	9		230	9	12		210
5	6	0,23	360	7	9		260	9			190
5	6		380	7	9		220	9	12		190
5	6		370	7	9		260	9			350
5	6	0,3	130	7	9		210				
5	6		190					9			240
				7	10		330	9	13		260
5	7		290	7	10	0,093	250	9			180
5	7	0,09	340	7	10		270	9	13		220
5	7		270	7	10		220	9			210
5	7		160	8	10		280	10	13	0,22	120
5	7		290	8	10	0,085	170	10			350
5	7	0,09	140	8	10		340				
5	7		210					10			240
5	7		210	8	12	0,16	370	10	13		150
5	7		220	8	12		180	10			220
5	7	0,09	210	8	12		280	10	13		190
6	7		210	8	12		280	10	13		160
6	7		210	8	12		260	10			310
6	7		260	8	12		260				
6	7	0,09	140	8	12		210	10			350
6	7		190	8	12		350	10	14		230
								10			230
6	8		300	8	12		310	10	14		180
6	8	0,09	240	8	12		210	10			270
6	8		210					10	14		250
6	8		190					10			350
6	8		220								
6	8	0,09	160								
6	8		280								

d₀ – диаметр сопла, мм; P_Д – давление, МПа; V-объем воды в дождемерах, мл.

Объем воды в дождемерах (ДМ «Фрегат» тип 1, скорость ветра 7, 0 м/с)

№	№	V	№	№	V	№	№	V	№	№	V
Конс.	1	280		46	650		91	750		137	740
	2	-		47	870		92	730		138	910
	3	-		48	870		93	740	6		
	4	-	13	49	880		94	860		139	980
	5	670		50	840		95	890		140	370
	6	590		51	900		96	880		141	650
	7	600		52	910		97	970		142	750
	8	760		53	800		98	740		143	750
	9	720		54	680	9	99	-		144	760
	10	690		55	950		100	840		145	460
	11	580		56	690		101	730		146	900
				57	800		102	780		147	980
16	12	530		58	890		103	610		148	-
	13	560		59	900		104	720	5		
	14	460		60	910		105	870		149	-
	15	460		61	830		106	940		150	990
	16	500		62	970		107	700		151	880
	17	600	12				108	710		152	860
	18	610		63	800		109	620		153	750
	19	580		64	960		110	420		154	670
	20	470		65	760		111	440		155	910
	21	560		66	860		112	440		156	840
	22	600		67	940		113	630		157	960
	23	650		68	830	8				158	760
				69	810		114	640		159	760
15	24	670		70	640		115	430		160	640
	25	570		71	830		116	500		161	850
	26	750		72	800		117	680	4		
	27	970		73	890		118	670		162	760
	28	720		74	680		119	920		163	960
	29	560		75	880		120	750		164	640
	30	760	11				121	470		165	410
	31	750		76	660		122	680		166	530
	32	880		77	640		123	710		167	520
	33	860		78	900		124	680		168	530
	34	660		79	880	7				169	810
	35	700		80	820		125	740		170	940
	36	710		81	800		126	770		171	730
				82	930		127	610		172	730
14	37	710		83	960		128	450	3		
	38	770		84	830		129	530		173	520
	39	740		85	960		130	340		174	710
	40	780		86	840		131	750		175	510
	41	820		87	950		132	810		176	530
	42	800		88	950		133	970			
	43	800	10				134	950			
	44	650		89	900		135	760			

Объем воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Кубань-ЛК1М»
напор на входе 0,34 МПа , скорость ветра 4,5м/с)

№	d ₀	P _д	V	№	d ₀	P _д	V	№	d ₀	P _д	V
4	5		480	6	8	0,09	240	8			330
4	5	0,16	470	6	8		340	8	12		240
4	5		360	6	8		240	9			230
4	5		350	7	8		230	9	12	0,26	220
4	5		350	7	8		240	9			350
4	5	0,15	250	7	8	0,09	350				
4	5		340	7	8		350	9			350
4	5		330	7	8		360	9	12	0,12	250
4	6	0,23	420	7	9		240	9			260
4	6		350	7	9	0,2	270	9	12		260
5	6		360	7	9		280	9			250
5	6		370	7	9		260	9	12	0,19	210
5	6		370	7	9		250	9			310
5	6	0,23	340	7	9	0,19	240				
5	6		270					9			210
				7	10		330	9	13	0,24	220
5	7		300	7	10	0,09	230	9			230
5	7	0,09	320	7	10		230	9	13		240
5	7		230	7	10		220	9			250
5	7		240	8	10		260	10	13	0,17	260
5	7		310	8	10	0,08	270	10			370
5	7	0,09	250	8	10		370				
5	7		250					10			230
5	7		240	8	12		380	10	13	0,0	170
5	7		240	8	12	0,16	270	10			210
5	7	0,09	230	8	12		270	10	13		210
6	7		230	8	12		350	10	13		140
6	7		220	8	12		240	10			310
6	7		260	8	12		230				
6	7	0,09	270	8	12	0,18	230	10			320
6	7		210	8	12		320	10	14	0,26	230
								10			240
6	8		320	8	12		370	10	14		250
6	8	0,09	230	8	12	0,22	390	10			260
6	8		240					10	14	0,23	270
6	8		240					10			380
6	8		240								
6	8	0,09	250								
6	8		360								

d₀ – диаметр сопла, мм; P_д – давление, МПа; V-объем воды в дождемерах, мл.

Объем воды в дождемерах (ДМ «Фрегат» с дождевателями 1, скорость ветра 1,5 м/с)

№	№	V	№	№	V	№.	№	V	№.	№.	V
Конс.	1	340		46	640		91	650		137	630
	2	-		47	640		92	650		138	630
	3	-		48	630		93	660	6		
	4	-	13	49	640		94	670		139	620
	5	642		50	630		95	720		140	620
	6	640		51	620		96	630		141	630
	7	630		52	610		97	630		142	690
	8	640		53	720		98	640		143	690
	9	620		54	630	9	99	-		144	690
	10	710		55	640		100	640		145	680
	11	640		56	730		101	630		146	680
				57	620		102	630		147	680
16	12	550		58	690		103	640		148	-
	13	550		59	690		104	750	5		
	14	650		60	690		105	650		149	-
	15	660		61	680		106	660		150	670
	16	690		62	670		107	790		151	870
	17	600	12				108	770		152	870
	18	600		63	660		109	670		153	760
	19	590		64	600		110	560		154	660
	20	580		65	690		111	650		155	660
	21	680		66	690		112	630		156	850
	22	680		67	670		113	630		157	950
	23	670		68	670	8				158	750
				69	770		114	620		159	750
15	24	670		70	660		115	510		160	750
	25	570		71	780		116	500		161	840
	26	670		72	780		117	600	4		
	27	670		73	780		118	600		162	750
	28	670		74	650		119	690		163	960
	29	530		75	650		120	680		164	660
	30	730	11				121	680		165	630
	31	740		76	650		122	660		166	530
	32	630		77	640		123	650		167	530
	33	610		78	740		124	640		168	540
	34	640		79	750	7				169	710
	35	740		80	760		125	620		170	910
	36	640		81	760		126	630		171	720
				82	760		127	620		172	730
14	37	640		83	760		128	630	3		
	38	630		84	760		129	510		173	540
	39	620		85	760		130	610		174	750
	40	630		86	770		131	620		175	560
	41	640		87	680		132	640		176	570
	42	630		88	640		133	630			
	43	620	10				134	620			
	44	660		89	660		135	690			

Объем воды в дождемерах ДМ «КАСКАД» способ размещения дождевателей 2,

Приложение 2



Рисунок 1 – Распределения воды в дождемерах ДМ «Фрегат» $K_{ЭП} = 0,74$; $K_{НП} = 0,12$; $K_{ИЗП} = 0,14$, скорость ветра 4 м/с

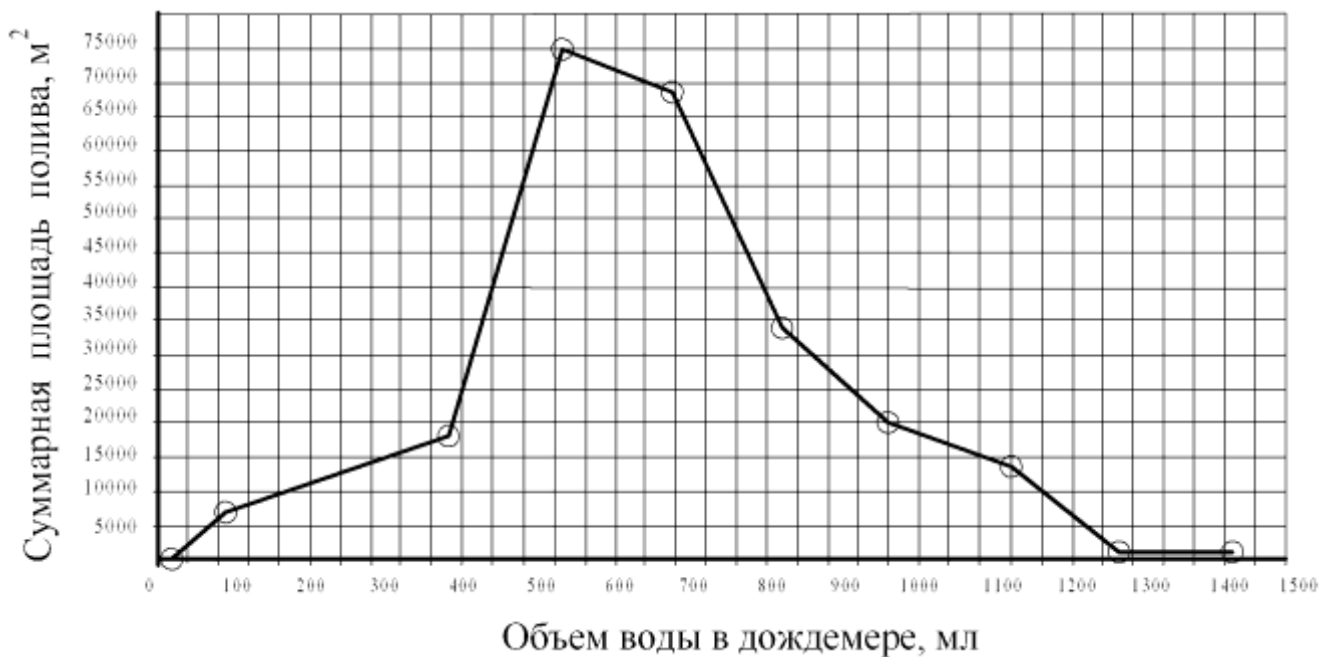


Рисунок 2 – Распределения воды в дождемерах ДМ «Фрегат» $K_{ЭП} = 0,5$, скорость ветра 8 м/с

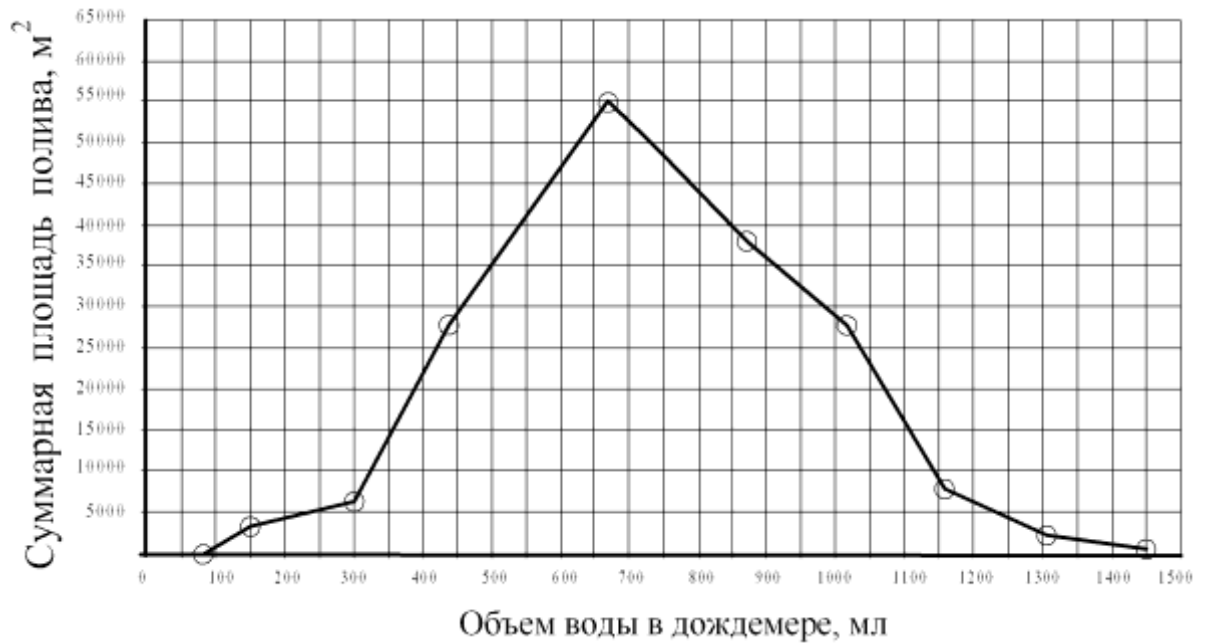


Рисунок 3 –Распределение воды в дождемерах
 ДМ «КАСКАД» $K_{ЭП} = 0,78$; $K_{НП} = 0,11$; $K_{ИЗП} = 0,12$, скорость ветра 3,0 м/с

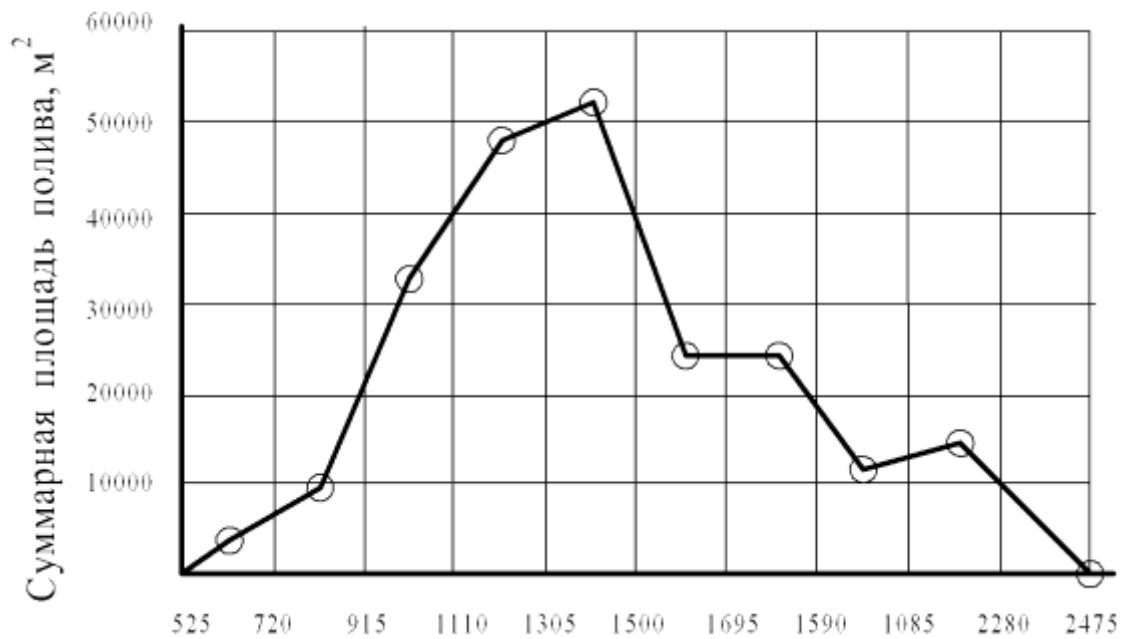


Рисунок 4 –Распределения воды в дождемерах
 ДМ «КАСКАД» $K_{ЭП} = 0,67$; $K_{НП} = 0,20$; $K_{ИЗП} = 0,13$, скорости ветра 4м/с

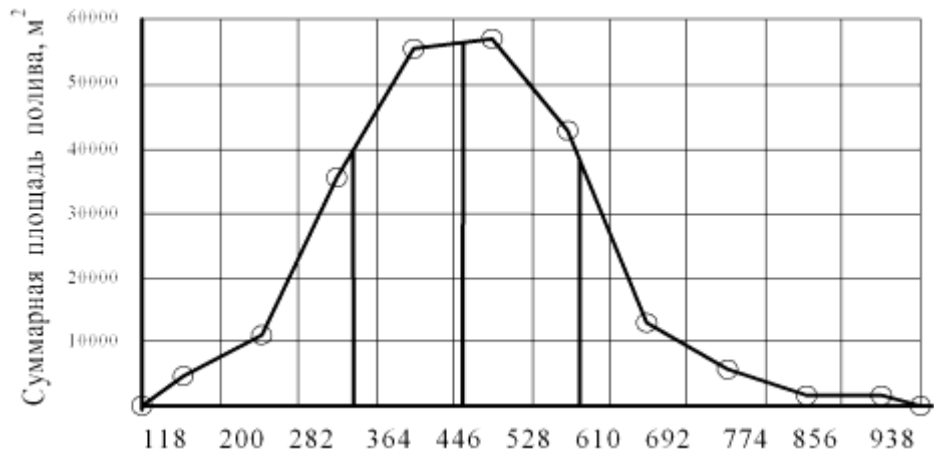


Рисунок 5 –Распределение воды в дождемерах
 ДМ «Фрегат» $K_{ЭП} = 0,63$; $K_{НП} = 0,17$; $K_{ИЗП} = 0,21$, скорость ветра 6 м/с

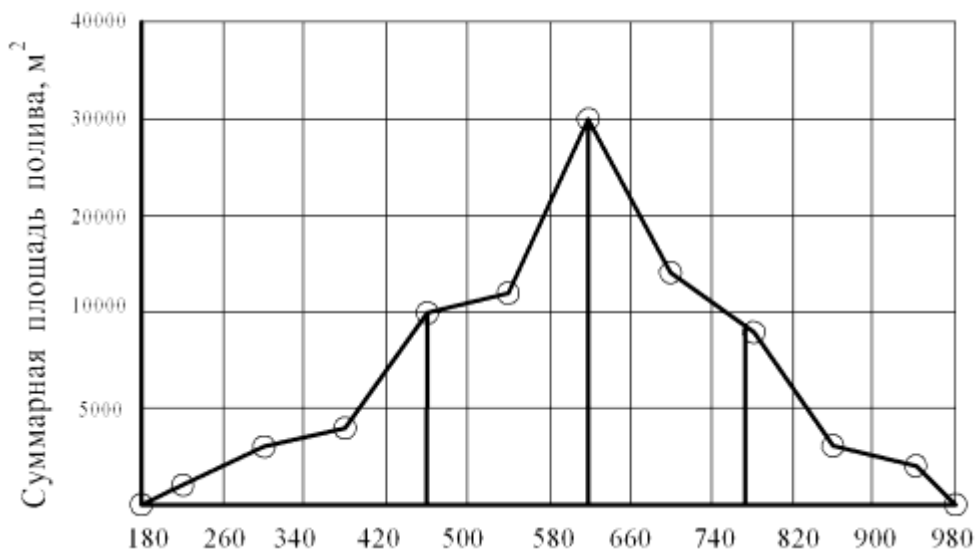


Рисунок 6 –Распределение воды в дождемерах
 ДМ «КАСКАД» $K_{ЭП} = 0,72$; $K_{НП} = 0,17$; $K_{ИЗП} = 0,11$, скорость ветра 4 м/с

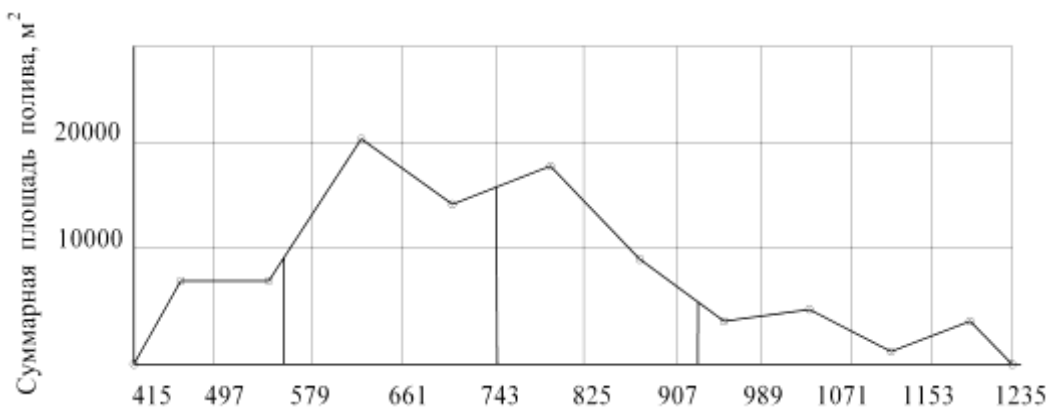


Рисунок 7 –Распределения воды в дождемерах
 ДМ «КАСКАД» $K_{ЭП} = 0,75$; $K_{НП} = 0,11$; $K_{ИЗП} = 0,14$ скорость ветра
 4,4 м/с

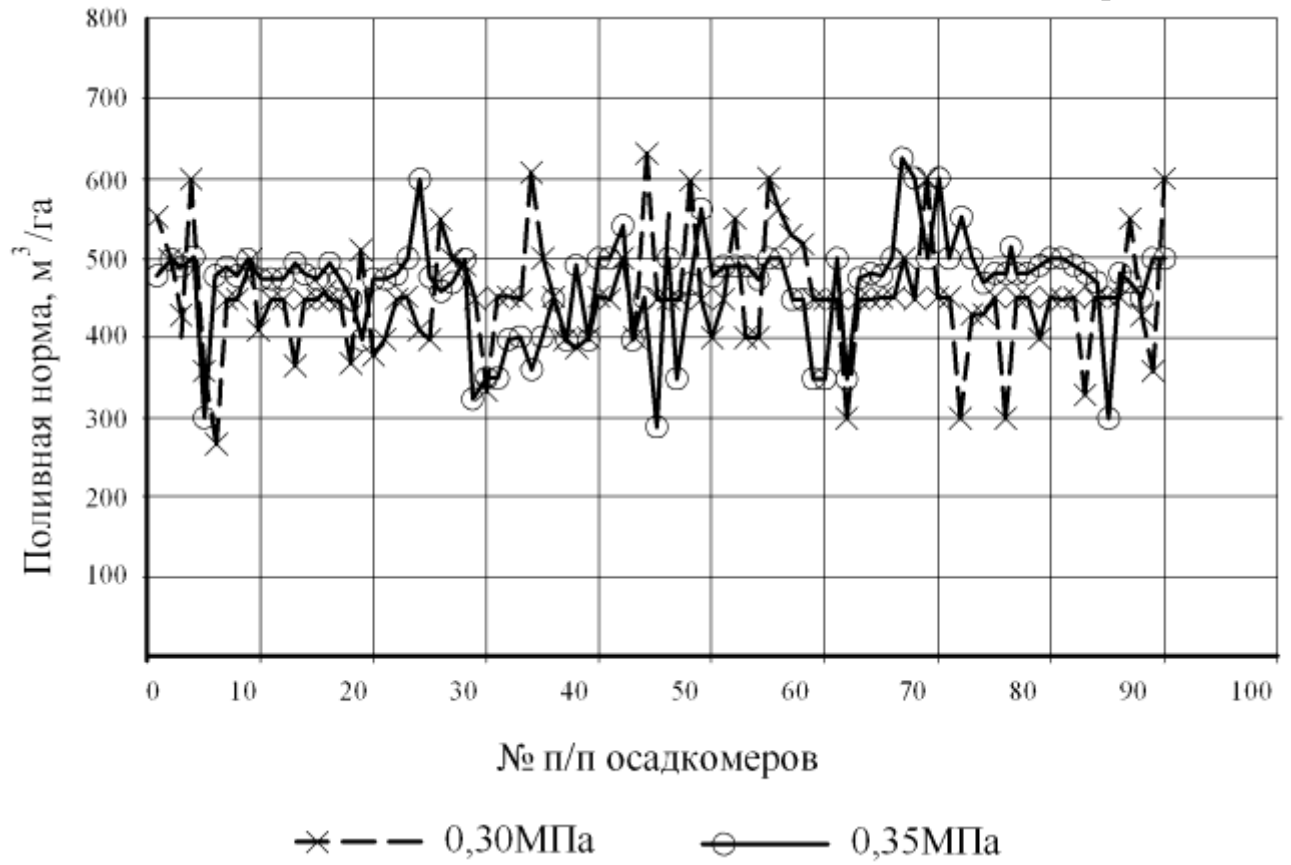


Рисунок 8 – Средние характеристики распределения осадков по длине ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

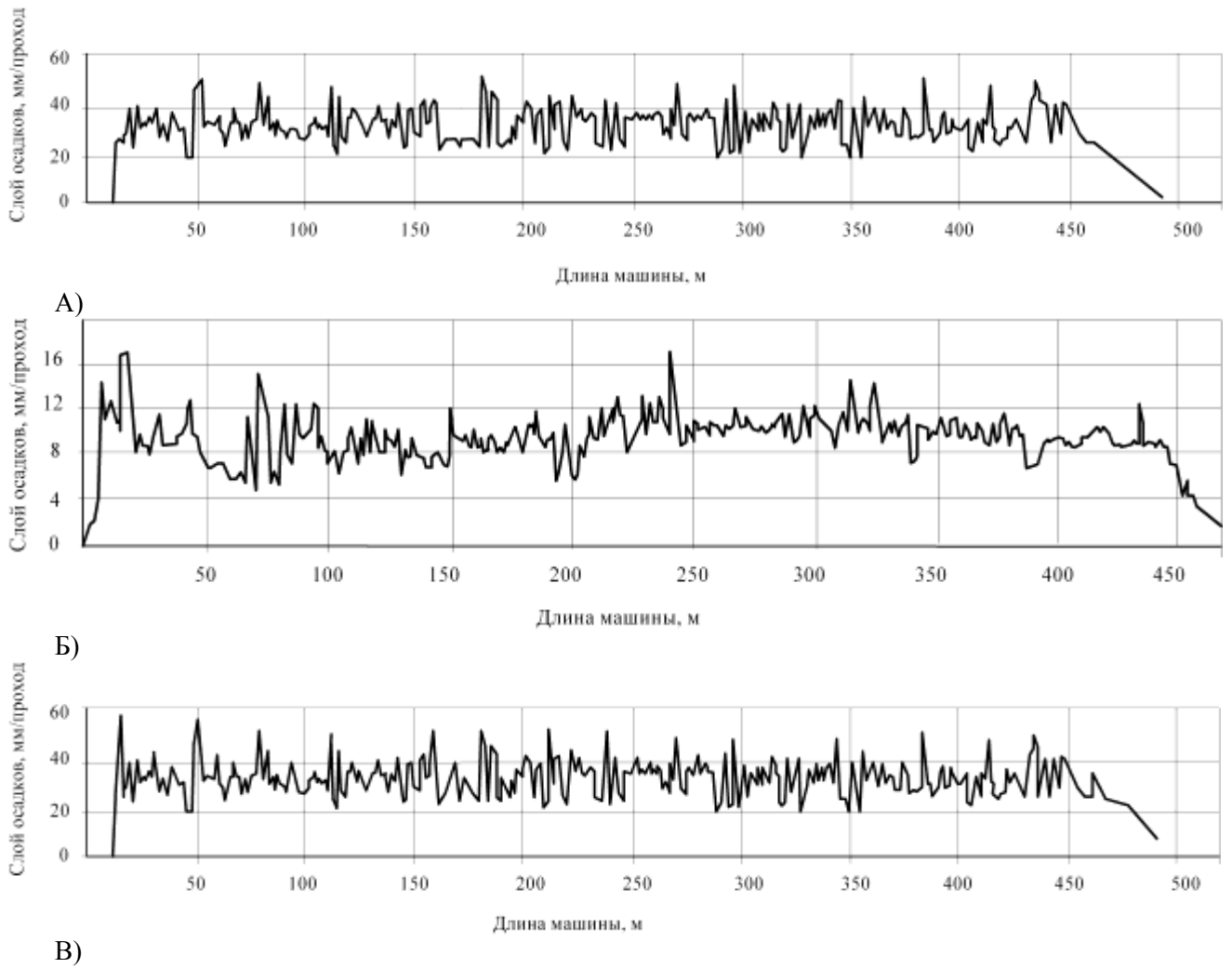


Рисунок 9 – Равномерность распределения дождя ДМ «КАСКАД»: 1) на ровном рельефе; 2) на пересеченном рельефе, 3) на ровном рельефе дождеватели с бороздками до $2/3$ длины трубопровода и каскадные с $2/3$ длины трубопровода



ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2023

XXV РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

г. Москва

**«За разработку технико-технологических решений и рекомендаций
по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии»**

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

مؤسسة علي انجيلة التجارية

نبين لكم بشأن حلول تحسين الة الرش الدائرية و المنفذة في مقاطعة ساراتوف للتقنيات الصديقة للبيئة و الوسائل التقنية للري و التي تم فيها اجراء البحوث النظرية للمشروع في معهد استصلاح و ادارة المياه و البناء كوستياكوف - أكاديمية موسكو الزراعية الحكومية تيميريا زيف و التي تم الاشراف عليها من قبل الدكتورة في العلوم التقنية لاريسا اناتولافنا و المقدمة من قبل طالب الدراسات العليا (دكتوراه) باسل حمزة خير بك من أجل ضمان جودة و سلامة البيئة للري حسب المعايير التكنولوجية في تحسين الرشاشات و أنظمة التحكم النتائج . مقارنة بين المعيار و المقترح أظهرت تقنيات الري مع الرشاشات بأن الري باستخدام التكنولوجيا المقترحة تسمح بالتقليل من هدر المياه للري بنسبة تصل الى ١٠ و التي يتطلب معدل الري فيه يزيد عن ٣٠٠ متر مكعب / هكتار في المناطق المائلة بتركيب الأجهزة المنظمة أو تطبيق معدل الري لعدة مرات .

و يعتبر هذا المشروع مناسب لانجازه في الجمهورية العربية السورية من الناحية التقنية و العلمية .

مدير الشركة

علي محمود انجيلة

