

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

На правах рукописи

**Надежкина Галина Петровна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ  
ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ПОЛИВА  
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «ФРЕГАТ»**

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация  
и охрана земель

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук  
профессор В.В. Слюсаренко

Саратов - 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Анализ использования дождевальной техники в Саратовской области.....	9
1.2 Анализ качественных показателей работы дождевальных машин «Фрегат».....	13
1.3 Анализ конструкций насадок и дождеобразующих устройств.....	20
1.4 Анализ конструкции устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат».....	20
1.4.1 Распределение интенсивности дождя вдоль радиуса полива.....	25
1.5 Выводы.....	28
1.6 Цель и задачи исследований.....	29
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ ПРИ ПОЛИВЕ ДМ «ФРЕГАТ».....	30
2.1 Потери воды на испарение и снос при поливе дождеванием.....	30
2.2 Исследования по влиянию конструктивных параметров дождевателей на процесс формирования дождя.....	42
2.3 Выводы.....	53
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
3.1 Программа исследований.....	54
3.2 Лабораторные исследования.....	55
3.3 Полевые исследования.....	60
3.4 Обработка результатов экспериментальных исследований.....	69
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК.....	72
4.1. Расход воды дефлекторной насадкой .....	72
4.2 Потери напора по длине устройства приповерхностного дождевания ...	74
4.3 Радиус захвата дождем при поливе дефлекторной насадкой.....	76
4.4 Средняя и действительная интенсивность дождя.....	77
4.5 Крупность капель дождя при поливе дефлекторной насадкой.....	80
4.6 Карты настройки дефлекторных насадок .....	83
4.7 Расход воды ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.....	85
4.8 Норма полива и потери воды на испарение и снос ветром.....	86

4.9 Равномерность полива ДМ «Фрегат» оборудованных устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками.....	92
4.10 Мощность дождя и норма полива до стока.....	98
4.11 Масса разбрызгиваемой почвы после полива машины «Фрегат» с различными типами дождевателей.....	104
4.12 Выводы.....	107
5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ДМ «ФРЕГАТ» .....	109
5.1 Влажность почвы и урожайность сельскохозяйственных культур при поливе дефлекторными насадками и серийными аппаратами.....	109
5.2 Экономическое обоснование применения дефлекторных насадок на дождевальную машину.....	110
5.3 Выводы.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	117
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	134

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Орошение является важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства. Наиболее распространенным способом механизированного полива является дождевание. Дождевальная машина «Фрегат» является наиболее распространенной в мелиоративном комплексе Саратовской области. На ее долю в стране и в Саратовской области приходится соответственно более 42 и 76 % от всего количества дождевальных машин. Преимущества дождевальной машины «Фрегат» очевидны: автоматический полив в круглосуточном режиме; высокая производительность, значительный срок службы базовых деталей; простота конструкции и дешевизна по сравнению с зарубежными дождевальными машинами и др.

Анализ информационно-аналитических материалов выявил следующие недостатки полива дождевальной машиной «Фрегат»: непроизводительные потери, воды на испарение и снос, обычно они составляют 10–15 %, в жаркие дневные часы могут достигать 20–30% и более; недостаточная равномерность полива при ветре, коэффициент эффективного полива уменьшается до 0,5...0,6; значительное энергетическое воздействие струйного дождя на почву, что приводит к неконтролируемому стоку и перераспределению воды по полю, прибиванию молодых растений и покрытию их мелкоземом при поливе дождем большой мощности.

Важнейшим направлением в решении выше изложенных проблем является научное обоснование и разработка новой техники полива с учетом мировых тенденций развития мелиорации. Задачи исследований, направленные на минимизацию или устранение недостатков, обеспечат значительную экономию водных ресурсов и будут способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

В связи с этим улучшение агротехнических показателей полива ДМ «Фрегат» является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы.** В Российской Федерации дождевальные машины предусматривают полив различных культур на различных режимах, различными нормами. В исследованиях особое внимание уделено поливам рассады капусты, других овощных и бахчевых, культур.

Процесс испарения воды в окружающую среду при поливе дождеванием хорошо описан в работах В.Ф. Дунского, И.Д.Федоренко, Д.В. Сивухина и др. Однако при этом не учитывались метеорологические факторы, а технологические параметры дождя исследовались как фактические для конкретных машин без учета конструктивных параметров дождеобразующих устройств и их местоположения над поверхностью земли.

Таким образом, требуются исследования и разработка новых конструкций и технологических приемов подачи воды к растениям с меньшими потерями на испарение и снос, с минимальным воздействием на почву и растения.

**Цель исследований** – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» путем совершенствования технологии и конструкции устройств приповерхностного дождевания.

**Задачи исследований:**

1. Провести анализ эффективности использования ДМ «Фрегат» и определить перспективный способ и устройства, обеспечивающие агротехнические требования полива.
2. Теоретически обосновать снижение потерь воды на испарение и снос, а также повышение равномерности полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.
3. Разработать конструкцию устройства приповерхностного дождевания, удовлетворяющую агротехническим показателям полива.
4. Экспериментально исследовать агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.
5. Оценить экономическую эффективность применения на ДМ «Фрегат» устройств приповерхностного дождевания.

**Научная новизна работы:**

- обоснованы и уточнены математические зависимости, описывающие процессы испарения и сноса дождя при поливе дождеванием, полета и сноса струй при ветре;
- установлено влияние конструктивных параметров насадок и устройств приповерхностного полива на агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат»;
- предложены новые математические зависимости, описывающие потери воды при поливе ДМ «Фрегат» с учетом технологических параметров и метеорологических условий.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы заключается в обосновании и уточнении математических зависимостей, описывающих процессы испарения и сноса дождя при поливе дождеванием, полета и сноса струй при ветре.

Разработаны и обоснованы новая конструкция устройства приповерхностного дождевания и дефлекторной насадки и технологические схемы их расстановки на пролетах ДМ «Фрегат», обеспечивающие формирование качества и снижение интенсивности дождя.

Предложены новые математические зависимости, описывающие процесс дождевания при поливе ДМ «Фрегат» в зависимости от технологических параметров и метеорологических условий.

Практическая значимость работы заключается в том, что проведение исследований завершено внедрением в орошаемых хозяйствах ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания и усовершенствованными дефлекторными насадками из полимерного материала, установленными на трубопроводе машины по учащенной схеме в шахматном порядке, что обеспечивает: повышение равномерности полива при ветре на 16–45 %, снижение потерь воды на испарение и снос на 14–20 %, уменьшение энергетического воздействия дождя на почву и повышение нормы полива до стока на 18–43 %, повышение урожайности сельхозкультур на 5–18 % и производительности машин на 8–15 %.

**Методология и методы исследований.** В работе использовались теоретические методы исследований – математическое моделирование, системный

анализ, описания технологических процессов на основе известных законов и методов классической механики и математического анализа. Экспериментальные методы включали полевые и лабораторные исследования по изучению агротехнических и энергетических характеристик полива ДМ «Фрегат» с устройством приповерхностного дождевания, водных свойств почвы и урожайности сельхозкультур. Данные исследования выполняли в соответствии с требованиями РД 70.11.1–89 «Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Теоретическое обоснование снижения потерь воды на испарение и снос и повышения равномерности полива ДМ «Фрегат», модель расчета испарения воды при дождевании с учетом технологических параметров ДМ и метеорологических условий.
2. Конструктивно-технологическая схема приповерхностного дождевания и размещения УПД на ДМ «Фрегат».
3. Результаты аналитических и экспериментальных исследований устройств приповерхностного дождевания, величин потерь воды на испарение и снос в зависимости от конструктивно-технологических параметров и метеорологических условий.
4. Результаты исследований, подтверждающие эффективность использования ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность научных результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, применением современных государственных стандартов при организации и проведении полевых экспериментов, подтвержденных актами внедрения. Степень достоверности обеспечена статистическими методами оценки данных, с использованием ЭВМ, высокой степенью сходимости теоретических исследований, адекватность математических моделей и подтверждается большим объемом экспериментальных исследований.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке:

проблемы и перспективы» (Саратов, 2009); Международной научно-практической конференции «Основы рационального природопользования» (Саратов, 2011); научных конференциях профессорско-преподавательского состава в Саратовском ГАУ им. Н.И. Вавилова (Саратов, 2009–2013), также рассмотрены на расширенном заседании кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» СГАУ в 2014 г.

**Реализация результатов исследований.** ДМ «Фрегат» с устройством приповерхностного дождевания, обеспечивающие ресурсосберегающие процессы полива испытана в ФГУ «Поволжская машиноиспытательная станция» (Протокол № 08-95-2009). Результаты исследований и устройства приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» внедрены в Энгельском районе ОПХ «ВолжНИИГиМ», ООО «ВИТ» и используются в ООО «Березовское», в ЗАО Агрофирма «Волга» Марковского района, в ОНО «Крутое» Балаковского района, ООО «Мелиоснаб» (г. Маркс), ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» и др.

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 15 научных работах, в том числе 5 работ в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 1 патент на полезную модель. Общий объем с учетом долевого участия в коллективных публикациях составляет 3,75 печ. л., из них лично принадлежат автору – 2,09 печ. л.

**Структура и объем диссертации.** Работа изложена на 167 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованных источников из 178 наименований, в том числе 16 иностранных, содержит 19 таблиц, 43 рисунка, 9 приложений.

## **1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1 Анализ использования дождевальной техники в Саратовской области**

В Саратовской области сельское хозяйство ведется в сложных природно-климатических условиях в зоне рискованного земледелия. Отличительной чертой климата в регионе Заволжья является резкое изменение влажности во время вегетации культур. Учитывая факт вступления РФ в ВТО, потепления климата и повышение его засушливости проблема увеличения водообеспеченности страны в этом регионе является актуальной. Саратовская область в 1990 г. имела большой клин орошаемых земель, который составил 481,4 тыс. га. Изучение технологического процесса орошения тесно связано с проблемами возделывания овощных культур. В Саратовской области возможно интенсивное овощеводство в условиях орошения. Устойчивое увлажнение является наиболее важным для овощных культур.

При определении поливной нормы орошения для капусты, помидоров, баклажанов, перца и моркови глубина активного слоя почвы составляет 60-80 см, а для лука, огурца, редиса, салата, шпината, не более, чем 30-40 см.

Требования сельскохозяйственного производства к дождевальной технике, принимая во внимание ее назначение и функции, в основном обеспечивает оптимальное снабжение растений водой. Дождевальной техникой должны обеспечиваться:

1. Снабжение водой в нужном объеме, в установленные сроки, в соответствии с биологическими фазами развития растений.
2. Равномерное распределение дождя на орошаемых землях.
3. Увлажнение почвы горизонты после размещения растений корневой системы.
4. Создание микроклимата для надземных частей растений, восстановление теплового, воздушного и пищевого режимов в земле.

5. Отсутствие набрасывания почвы на надземные части растений, а также механических повреждений каплями дождя листьев, плодов, стеблей, и соцветий.

6. Общее исключение дезагрегирования дождем почвы, образование корки, уплотнение процессов эрозии верхнего слоя.

С 1997 года орошаемый клин в Саратовской области составляет 257,3 тыс. га, а к 2015 г. он возрастет до 260,8 тыс. га. Это повлияет на динамику численности состава дождевальных поливных машин (таблица 1.1).

В начале 70-х гг. в Саратовской области начался новый этап орошения с применением многоопорных дождевальных машин типа «Фрегат», «Волжанка» и «Днепр», а с 1980 г. – «Кубань».

В 1987 г. для полива использовались 7,9 тыс. единиц дождевальных машин, причем суммарная доля многоопорных машин составила 87,4 % («Фрегат» – 34,3 %, «Волжанка – 49,2 %, «Днепр – 3,9 %).

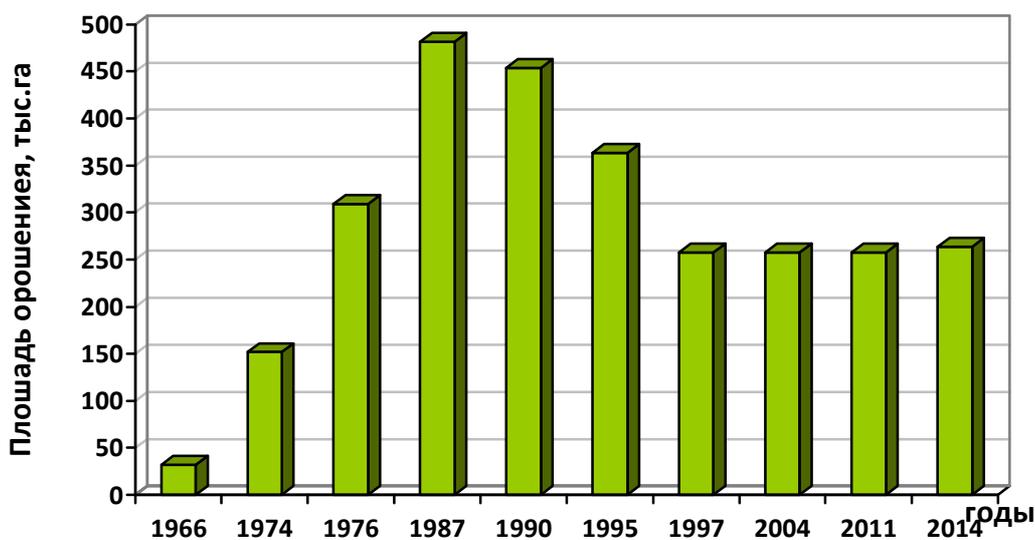


Рисунок.1.1 – Динамика изменения площади орошения в Саратовской области

Начиная с 2000 г. объем ввода орошаемых земель и поставки новых дождевальных машин резко сократился. Производств, занимающихся разработкой и выпуском новых дождевальных машин, практически не стало.

Таблица 1.1 – Динамика численного состава технических средств полива в Саратовской области

Показатели	1966 г.	1974 г.	1976 г.	1987 г.	1990 г.	1995 г.	1997 г.	2004 г.	2011 г.	2014 г.
Площадь орошаемых земель, га	32	151,9	309,0	481,4	453,5	363,7	257,3	257,3	257,3	260,8
Наличие дождевальных машин	385	2989	5421	7907	6085	5316	3964	2839	1773	1773
в том числе:										
«Фрегат»	–	72	1843	2714	2996	2927	2547	2188	1666	1666
«Волжанка»	–	440	2710	3893	2445	1775	899	524	64	60
«Днепр»	–	–	215	309	456	338	304	58	10	9
«Кубань»	–	–	–	–	3	33	–	–	–	–
ДДА-100М	124	832	542	835	–	–	–	56	20	12
ДДН-45, ДДН-70	248	581	–	–	–	–	–	13	–	–
Прочие	13	253	111	156	185	243	214	–	–	–
Число насосных станций	3	–	173	365	384	391	375	396	–	–
Общая установленная мощность, тыс. кВт	3,4	–	376	739	775	788	–	–	–	–

За рассматриваемый период сократилось количество дождевальных машин «Фрегат» с 2996 по 1666, но их доля в области орошения парка растет и теперь составляет 76,1% (таблица 1.1, рис. 1.2).

Это объясняется рядом причин, включая высокую степень автоматизации и надежностью работы основных узлов и деталей.

С увеличением доли ДМ «Фрегат» в парке машин увеличивается доля использования их для полива овощных культур. Однако крупнокапельный дождь и низкая устойчивость дождевого облака к сносу ветром наряду с высокой потерей влаги на испарение в известной степени сдерживают использование высоконапорных ДМ «Фрегат» на поливе овощных культур. При этом немаловажной задачей является снижение энергетического воздействия дождя на почву и растения. Образование уплотненной корки на поверхности почвы с одновременным разрушением верхнего плодородного слоя, прибивание всходов, их травмирование, а также покрытие мелкоземом приводит к снижению качества и количества урожая.

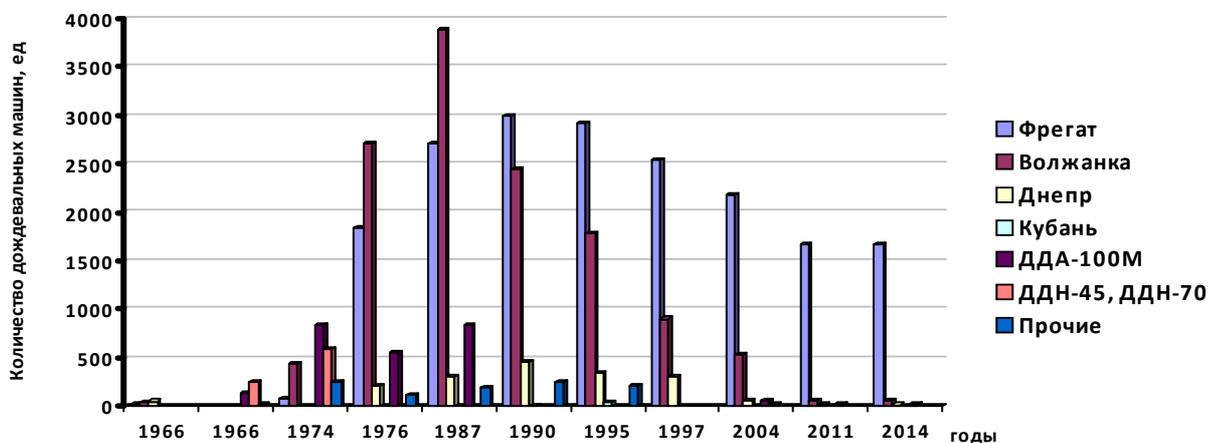


Рисунок 1.2 – Динамика изменения общего количества дождевальных машин в Саратовской области.

Таким образом, в настоящее время в Саратовской области дождевальная машина «Фрегат» является основной, наиболее используемой в мелиоративном комплексе, и повышение эффективности ее использования является своевременной и актуальной задачей.

## 1.2 Анализ качественных показателей работы дождевальных машин «Фрегат»

В настоящее время существует значительное количество экспериментальных данных по повышению качества полива ДМ «Фрегат». Результаты исследований показали [10, 18, 41, 62, 75, 91, 98], что коэффициент эффективного полива равен 0,87.

Согласно данным ВНИИМиТП [91], коэффициент эффективного полива варьируется от 0,59 до 0,87 и коэффициент вариации слоя дождя от 21,0 до 33,2%. С увеличением скорости и направлением ветра уменьшается значение коэффициента эффективного орошения  $K_{эф}$  и уменьшением давления на входе. Особенно заметен спад  $K_{эф}$  при встречном и попутном ветре в виду значительного изменения равномерности распределения слоя дождя по площади полива.

Проведенными исследования в АзНИИГиМе С.Х. Гусейн Заде [41] установлено, что  $K_{эф}$  в зависимости от скорости ветра изменяется с 0,77 до 0,87 для ДМ «Фрегат». А по данным И.П. Кружилина и П.И. Кузнецов [72] с увеличением скорости ветра до 4 м/с  $K_{эф}$  уменьшается до 0,62 для Волгоградской области.

Для машин «Фрегат» после нескольких лет эксплуатации  $K_{эф}$  изменяется от 0,25 до 0,4 [18]. На Южно-Украинской МИС [41] по результатам испытаний дождевальной машины «Valley» доказано, что  $K_{эф}$  уменьшается с 0,54 до 0,25 при скорости ветра от 1,4 до 4,7 м/с. В Липецкой области по результатам исследований К.В. Губер и Ю.С. Пунинского [39,120] установили, что равномерность ее полива неудовлетворительная (коэффициент равномерного полива изменяется от 0,412 до 0,441). Ветер и рельеф оказывают значительное влияние на равномерность распределения осадков по длине трубопровода.

Результаты исследований ДМ «Фрегат» в Саратовской области показали, что равномерность полива  $K_{эф}$  в среднем составляет 0,371 без настройки аппаратов, а с отрегулированными аппаратами она достигает 0,70...0,78 (при паспортном давлении на входе и скорости ветра до 1 м/с). Однако коэффициент равномерности полива достигает 0,90...0,96 на пролетах машины от середины до

последней тележки, где хорошее перекрытие струй, уменьшена их степень распыления и частота вращения, что говорит о большом резерве повышения равномерности. При скорости ветра 4,0 м/с  $K_{эф}$  уменьшается до 0,53.

Анализ показывает, что на равномерность полива машины «Фрегат» оказывают влияние величины: скорость и направление ветра, степень перекрытия струй аппаратов, величина распыления струй, частота вращения аппаратов, точность их настройки на требуемый расход воды, колебания давления воды в трубопроводе, неравномерность рельефа, равномерность полива аппаратов, характер распределения дождя вдоль радиуса действия струи.

Исследованиями А.М. Абрамова [1,2], Г.М. Гаджиева [28], П.И. Кузнецова [74], Ю.А. Москвичева [91], установлено, что средняя интенсивность дождя в начале машины изменяется от 0,05 до 0,10 мм/мин и достигает в конце машины 0,45 мм/мин при штиле и увеличивается до 0,6...0,8 мм/мин при ветре. Средняя действительная интенсивность дождя изменяется вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» от 1,5 до 2,6 мм/мин.

По данным Ю.А. Москвичева [91], средний диаметр капель возрастает по мере удаления от неподвижной опоры с 0,2 до 2,8 мм. 70 % основной части поливной нормы образуется каплями 0,8...2,0 мм. У концевой части машины величина капель изменяется от 2 до 3 мм.

Исследованиями К.В. Губера [39], Ю.С. Пунинского [120], установлено, что средний диаметр капель машины «Фрегат» – 0,8...1,0 мм, а максимальный – 2,8 мм. По данным Ю.В. Просветова [119] при увеличении давления на входе в машину с 0,5 до 0,7 МПа, средний диаметр капель изменяется от 2,08 до 1,58 мм.

В результате испытаний установлено, что средний диаметр капель изменяется вдоль трубопровода машины от 0,5 до 1,9 мм, а по данным Г.М. Гаджиева – от 0,4 до 2,8 мм [27, 28, 29] .

Изучая образование дождевого облака и его влияние на разрушение структуры почвы [62], установили, что крупность капель изменяется по длине машины от 0,7 до 2,4 мм.

Уповать на решение проблем с внедрением импортной дождевальной техники мы бы не стали, так как дождевые осадки имеют те же характеристики, что и у ДМ «Фрегат».

Действительная интенсивность и крупность капель дождя не позволяет подавать оптимальные поливные нормы без стока. Исследованиями Ю.А. Москвичева [91] установлено, что при втором поливе кукурузы на черноземах Украины в середине машины «Фрегат» сток составляет 14–17 %, в конце трубопровода – 15–21 %. Норма полива до стока в середине трубопровода 64...55 мм, в конце трубопровода – 25 мм. При третьем поливе в начале трубопровода составляет 2–5 %, на расстоянии 200 м от гидранта – 20 %, а в конце машины не успевает впитываться 30 % воды.

По данным П.И. Кузнецова [73], на орошаемом участке, где интенсивность дождя составляет 0,55...0,60 мм/мин, размер поверхностного стока увеличивается с 8–10 % при первом поливе, до 20–30 % при пятом поливе. Для светло-каштановых почв Волгоградской области норма полива до стока в конце трубопровода составляет 33...23 мм.

По данным А.П. Клепальского [62], в условиях Куйбышевского Заволжья величина стока увеличивается по мере удаления от неподвижной опоры, а также с увеличением кратности поливов. Исследованиями ВолжНИИГиМ в Саратовской области были получены аналогичные результаты [130].

Проведенными исследованиями П.И. Кузнецова [73], Ю.А. Москвичева [91], установлено, что наблюдается увеличение объемной массы почвы, разрушается ее структура, снижается коэффициент структурности, водопроницаемость почвы и доля водопрочных агрегатов в зоне полива аппаратов № 3 и 4. Аналогичные результаты при поливе дождеванием приводятся в статьях В.А. Ковды (МГУ), В.А. Попова (ЮжНИИГиМ), А.А. Волоховой, Б.И. Костина, Т.К. Платоновой (ВолжНИИГиМ) и др.

Исследованиями Н.С. Ерхова [48] установлено, что с увеличением объемной массы почвы при одной и той же структуре дождя снижается норма полива до стока.

По данным Г.М. Гаджиева [35], М.К. Мустафаевой [92], А.И. Штангея [160], В.А. Овчарова [102], И.Д. Федоренко [146], при поливе дождеванием величина испарения воды во время полета капель достигать 20–30 %. По данным В.Я. Чичасова и В.Н. Черноморцевой [154], А.М. Абрамова [1], величина испарения находится в пределах 10–15 %, по данным В.Е. Хабарова [149] – не более 5 %, а по данным А.А. Рачинского и В.К. Севрюгина [124] – в пределах 1–2 %.

Впервые явления сноса и испарения были рассмотрены в работах [148, 159, 48], где отмечалось увеличение потерь воды с ростом и увеличением высоты подъема дождевого облака.

В результате испытаний машин «Valley» на Южно-Украинской МИС установлено, что потери воды на испарение и снос дождя ветром составляют 31,3–38,3 %.

Анализ водного баланса на опытном участке Каховской оросительной системы в засушливом 1972 г. показал, что 40 % оросительной воды расходуется на испарение капель в полете, с поверхности листьев и со слоя почвы 0...5 см. Во влажный 1973 г. для этих же условий непродуктивные потери воды не превышали 14 % [21].

Потери воды на испарение в совхозе «Голодностепновский» в 1973–1975 гг. составили 30 % от поливной нормы. Определялись потери воды по разнице между водозабором из дождевальных аппаратов и слоем дождя в дождемерах. Результаты исследований САНИИРИ свидетельствуют о том, что потери воды на испарение ДМ «Фрегат» при поливной норме брутто 614 м<sup>3</sup>/га в среднем составили 23,3 % [3].

Проведенные М.С. Мансуровым опыты по изучению потерь воды на испарение в условиях Азербайджана показали, что с переходом от короткоструйного дождевания к дальнеструйному потери воды на унос ветром при скорости ветра 3 м/с увеличиваются с 7 до 10 %. По его данным, величина потерь на испарение при короткоструйном дождевании с увеличением скорости ветра с 1,1 до 3,1 м/с при температуре окружающей среды 25...30 °С

увеличивается с 13,7 до 20,7 %. А при относительной влажности 40–60 % потери воды увеличиваются до 23,3 % [7].

Для улучшения агротехнических показателей полива ДМ «Фрегат» проведены работы по выбору оптимального режима работы дождевальных аппаратов и их модернизации для снижения угла вылета струи. Это обеспечило снижение потерь воды на испарение и снос с 15,5 до 13 % и повышение равномерности полива с 0,59 до 0,71.

Для ДМ «Фрегат» и «Valley» величина потерь воды на испарение и снос по данным исследований изменяется в пределах 31,3–38,3 %. По данным Ю.А. Москвичева [91],  $E_{ис}$  в семи опытах из одиннадцати составили 1 %, в трех опытах 26 % и только в одном 35 %.

По различным зависимостям можно рассчитать величину испарения и сноса дождя (суммарные потери). Формула, полученная в ВНИИ «Радуга» 1973 [92]:

$$I = (0,75 + 0,15V_v)(1 - \varphi/100) T, \quad (1.1)$$

где  $I$  – потери воды на испарение, %;

$V_v$  – скорость ветра, м/с;

$\varphi$  – относительная влажность воздуха, %;

$T$  – температура воздуха, °С.

М.И. Назаренко [95], испытывая дождевальные аппараты типа СДА-2, ДН-1, ДДУ-48 и аппарат ГрузНИИГиМ № 4 в прибрежной зоне озера Иссык-Куль, определил, что потери воды на испарение и снос описываются формулой:

$$E_{ис} = 80(V_v \cdot r^{-1})^{0,33}, \quad (1.2)$$

где  $E_{ис}$  – потери воды на испарение и снос ветром, %;

$V_v$  – скорость ветра, м/с;

$r$  – относительная влажность воздуха, %.

Для расчета величины  $E_{ис}$  в зависимости от напряженности климата  $\Phi$  для дождевальных машин «Фрегат», ДДА-100М, ДДН-70 и ДКШ-64 «Волжанка» В.Е. Хабаровым [148] получены регрессионные уравнения. Зависимость  $E_{ис}$  от

температуры воздуха  $T$ , относительной влажности воздуха  $\varphi$  и скорости ветра  $V_B$  для машины «Фрегат» имеет вид:

$$E_{ис} = 0,206[T(1 - \varphi/100)(V_B + 1)]^{0,81} = 0,208\Phi^{0,81}, \quad (1.3)$$

где  $\Phi$  – коэффициент метеорологической напряженности.

В результате исследований Иванова В.И. [53] получена формула для расчета величины  $E_{ис}$  в зависимости от напора  $H$ , диаметра струи  $d$ , высоты ее подъема  $h$ , дефицита влажности воздуха  $D$ , температуры воздуха  $T$  и скорости ветра  $V_B$ , которая имеет вид:

$$E_{ис} = D^{0,5} \cdot H^{0,6} \cdot d^{0,26} \cdot 0,9 + 0,45 \cdot h + 0,2(T - 20) + 2(V_B - 2), \quad (1.4)$$

Данное уравнение выведено без учета изменения диаметра капель. В настоящее время таким образом, в России и за рубежом накоплен большой фактический материал по определению величины испарения и сноса при дождевании различными типами машин с учетом некоторых метеорологических данных. Общего уравнения пока нет, в котором бы учитывались как метеорологические условия ( $V_B$ ,  $T$ ,  $\varphi$ ) так и конструктивно-технологические параметры дождевателей и машин (диаметр капель, высота подъема струи над почвой, средняя и мгновенная интенсивность дождя и др.).

Существующие зависимости для расчета потерь воды на испарение и снос не совсем корректны для расчета потерь ДМ «Фрегат», так как не учитывают изменения направления, скорости ветра и высоты подъема водяного облака по длине машины; кроме того, не учтены имеющие место превышения между отметками рельефа местности, в свою очередь влияющие на скорость ветра, температуру и т. д. Имеющий место сток вообще не учтен в зависимостях.

Анализ проведенных исследований показывает, что одним из основных способов снижения потерь воды на испарение и снос является изменение высоты подъема дождевого облака над поверхностью почвы. Поэтому первоочередной является задача разработки технических и технологических решений для снижения высоты установки дождеобразующих устройств с использованием устройств приповерхностного дождевания.

Кроме того, при выборе технических решений, снижающих высоту подъема дождевого облака, необходимо учитывать изменения агротехнических характеристик полива – равномерности распределения дождя, нормы полива до стока, средней и мгновенной интенсивности дождя, среднего диаметра капель и скорости их падения, и др.

Известно, что потери воды при поливе дождеванием могут достигать 40 %, что в значительной мере определяет неравномерность распределения дождя и соответственно недобор урожая.

Одним из направлений повышения эффективности использования ДМ «Фрегат» является приповерхностное дождевание.

Результаты исследований показали, что технология приповерхностного дождевания снижает потери воды на испарение и снос в среднем с 15–20 до 4–10 % и повышает равномерность полива с 0,3–0,5 до 0,7–0,75.

Однако в данных исследованиях влияние климатических условий не учитывалось. Кроме того, разработанные устройства приповерхностного дождевания отличались большой металлоемкостью, сложностью изготовления, монтажа, демонтажа и низкой надежностью в эксплуатации.

Таким образом, в России в настоящее время накоплено достаточно фактического материала по качеству полива ДМ «Фрегат». Исследованиями установлено значительные потери воды на испарение и снос, недостаточная равномерность полива серийных аппаратов при ветре. В конце ДМ «Фрегат» интенсивность и крупность капель дождя достигают значительной величины, при этом вызывают сток и эрозионные процессы при поливе. Приповерхностное дождевание является важным приемом повышения эффективности использования дождевальных машин. Поэтому поиск более эффективных конструктивных и технологических решений с целью улучшения качественных показателей полива, повышения равномерности полива, уменьшения крупности капель и действительной интенсивности дождя, снижения величины потерь воды на испарение и снос ветром является своевременной и актуальной задачей.

### **1.3 Анализ конструкций насадок и дождеобразующих устройств**

В дождевальных машинах применяются струйные, центробежные и ударно-струйные дождевальные насадки.

Струйные насадки представляют собой корпус с цилиндрическим отверстием. Вытекающая из него под действием перепада давления струя распадается на капли, образуя дождевое облако.

В ударно-струйных насадках работа основана на разбивании струи о расположенный напротив сопла отражатель.

В зависимости от конструкции отражателя могут быть конусными и плоскими. Центробежные насадки имеют либо тангенциальные входные отверстия, либо элемент, способный придать вращение жидкости в канале насадки на выходе.

В данной работе особое внимание уделено ударно-струйным насадкам как наименее энергоемким при образовании дождевого облака и широко используемым на дождевальных машинах всех типов.

Исходя из классификации, считаем, что дефлекторные насадки должны устанавливаться вертикально и выходящие струи должны иметь положительный угол с горизонтом  $\alpha = 0 \dots 30^\circ$ .

### **1.4. Анализ конструкций устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат»**

Одним из направлений улучшения агротехнических показателей полива дождевальной машины «Фрегат» является использование устройств приповерхностного дождевания (УПД).

По типу перемещения УПД подразделяются на осевые и радиальные. В настоящей работе рассмотрены и классифицированы все известные УПД.

Принцип работы всех существующих УПД аналогичен и направлен на выполнение определенных функций:

– осуществить забор воды из трубопровода и транспортирование забранной воды к насадкам с наименьшими потерями;

– обеспечить регулирование уровня разбрызгивания воды, как по горизонтали, так и по вертикали.

В ВолжНИИГиМе разработан ряд конструкций УПД для многоопорных дождевальных машин типа «Фрегат», «Кубань-М», «Кубань-ЛК». Аналогичные разработки для многоопорных машин проводились во ВНИИМиТП, в Узбекистане, в Австрии, США и других странах. В основу классификации устройств приповерхностного полива положен принцип перемещения дождеобразующего устройства относительно водопроводящего пояса дождевальной машины (рисунок 1.3).

Принципиальные схемы конструкции УПД для многоопорной дождевальной машины «Фрегат» показаны на рисунке 1.3. Устройства приповерхностного дождевания (рисунок 1.3, а), разработанные в 1978–1983 гг., представляли собой три дополнительных полиэтиленовых трубопровода, смонтированных на каждом пролете машины. Запитка их осуществлялась из водопроводящего трубопровода машины. Высота установки УПД находилась в пределах 0,6...2,0 м от поверхности почвы в зависимости от высоты сельскохозяйственной культуры. Дополнительные полиэтиленовые трубопроводы снабжались короткоструйными насадками или поливными шлангами с короткоструйными насадками.

Недостатки УПД данного типа: сложность конструкции и большая материалоемкость, значительные затраты на изготовление и монтажно-регулирующие работы. Пластмассовые трубы подвержены значительным деформациям, так как обладают недостаточной жесткостью, что не позволяло насадкам сохранить вертикальное положение. Применение большого числа насадок на пролете значительно уменьшает проходное сечение сопла, от чего повышается их засоряемость при поливе из открытых каналов.



Рисунок 1.3 – Классификация устройств приповерхностного дождевания, применяемая на многоопорных дождевальных машинах типа «Фрегат», «Кубань-М» и «Кубань-ЛК»

УПД штангового типа состоит из полиэтиленовой водоподводящей трубы и трубы-штанги, перемещающейся относительно трубопровода машины (рисунок 1.3, б). На штанге устанавливалась секторная короткоструйная насадка с углом вылета струи  $5...10^\circ$  к горизонту.

В связи с большой материалоемкостью данное приспособление не нашло широкого распространения. Большую материалоемкость имеет и УПД штангового типа (рисунок 1.3, в), перемещающееся вертикально вверх-вниз. Кроме того, данное УПД снабжено дождевальными аппаратами с отражательными лопатками, которые работают в перевернутом положении, и имеет низкую надежность в эксплуатации и сложную регулировку.

Также известно УПД рычажного типа (рисунок 1.3, г), которое снабжалось дождевальным аппаратом или дефлекторной насадкой. Эта конструкция имела плавные гидравлические переходы за счет напорных рукавов и позволяла расширить зону полива благодаря выносу дождевателей до 2,5 м от трубопровода. Однако в результате исследований был выявлен ряд недостатков, в частности недостаточная жесткость конструкции всей машины, что особенно важно при работе аппаратов с коромысловыми приводами.

Известны зарубежные конструкции УПД: Узбекистана, Австрии, США и других стран. Они имеют однотипную конструкцию (рисунок 1.3, е), и представляют собой вертикальную трубу, на нижнем конце которой установлена короткоструйная насадка. Основным недостатком конструкции данного типа – отсутствие регулировки высоты расположения дождевателя над поверхностью почвы. Дождеватели устанавливаются ниже трубопровода машины, обычно на постоянной высоте 1,0...1,5 м от почвы, что приводит к сносу дождевого облака.

Анализ известных конструкций УПД, применяемых на многоопорных дождевальных машинах «Фрегат», «Кубань» и «Кубань-ЛК», показывает, что они отличаются металлоемкостью, сложностью в изготовлении, имеют недостаточную надежность в работе, их сложно и трудоемко монтировать и демонтировать.

На основании анализа работы существующих УПД установлено, что ни одна конструкция не может удовлетворять одновременно требованиям изменения

высоты дождеобразующего устройства и его положения относительно оси трубопровода, а также обладать достаточной простотой и надежностью в работе.

Решение данных задач нашло отражение в полученном патенте № 74033 [109] (рисунок 1.3, д; рисунок 1.4).

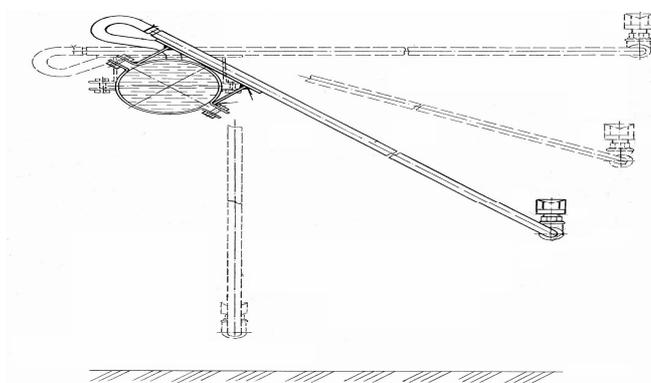


Рисунок 1.4 – Оборудование приповерхностного дождевания рычажного типа

Устройство приповерхностного дождевания рычажного типа (рисунки 1.4 и 1.5) при помощи хомутов закрепляется на водопроводящем трубопроводе дождевальной машины «Фрегат». Ослабляя болты и поворачивая хомут и рычаг относительно трубы, высоту установки дождевателей можно изменять от 0,6 до 2,5 м над поверхностью почвы. Для подачи воды используется напорный рукав, более гибкий и соответственно меньших размеров, чем у ранее применяемых полиэтиленовых труб.

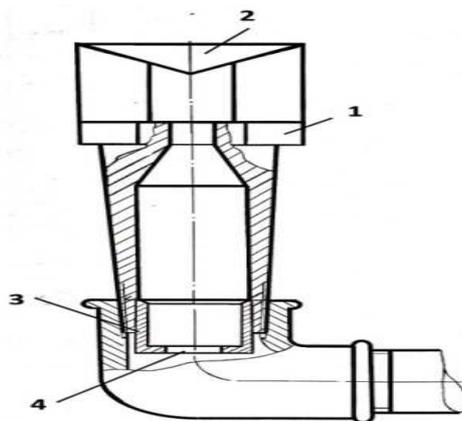


Рисунок 1.5 – Схема монтажа дефлекторной насадки в уголок оборудования приповерхностного дождевания:  
1 – корпус; 2 – дефлектор; 3 – дюза; 4 - калиброванное отверстие

Устройства приповерхностного дождевания типа «поворотный рычаг» обеспечивают снижение металлоемкости по сравнению с известной вертикальной штангой. Масса УПД с водой снижается, снижена и стоимость этих устройств.

Для снижения турбулентности потока воды изменена конструкция дождевальных насадок. Увеличение длины корпуса и уменьшение длины дюзы дефлекторных насадок позволило уменьшить число дополнительных муфт и переходников, а также стабилизировать поток перед распылом (рисунок 1.5). Для исключения коррозии и снижения трудозатрат на регулировку втулка узла вращения изготовлена из полимерного материала.

#### **1.4.1 Распределение интенсивности дождя вдоль радиуса полива**

Особый интерес вызывает распределение интенсивности дождя вдоль радиуса полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок, которые установлены на устройствах приповерхностного дождевания. Работы в этом направлении проведены А.Г. Васильевым [19], С.П. Казаковым [56], Б.М. Лебедевым [77], И.Д. Федоренко [146] и др.

Первые исследования по определению эпюр распределения дождя вдоль радиуса захвата короткоструйными насадками были проведены Д.И. Федоренко [145], в которых анализировались графики распределения интенсивности дождя в зависимости от напора и конструкции насадки.

Исследуя эпюры распределения интенсивности дождя С.П. Казаков [56], установил, что при расположении дефлекторных насадок типа КДУ с диаметром 10...12 мм и напором 15...20 МПа по схеме равнобедренного треугольника со сторонами  $A=1,6R$  и высотой  $h=1,4R$  [56, 77] получается наилучшая равномерность полива. Насадки целесообразно размещать при квадратной схеме на расстоянии  $A = h=1,41R$ , а по схеме равностороннего треугольника расстояние между насадками должно быть  $A=1,7R$  и высотой  $h=1,5R$ .

Модель оценки интенсивности дождя и коэффициента равномерности при дождевании по Кристиансону разработал J. Fukui (Япония) [169]. Данные для

расчета: схема расстановки дождевальных аппаратов, траектория полета капель дождя от насадки и распределение дождя от опытного дождевального аппарата, экспериментально установленного при скорости ветра, близкой к нулю. Получена оптимальная схема расстановки дождевальных аппаратов [169]. На основе моделирования на ЭВМ уже известного распределения дождя вдоль радиуса полива могут быть определены более точные значения оптимального расстояния между аппаратами и коэффициентом равномерности полива. Такие программы были составлены за рубежом [171] и в нашей стране [130].

В.М. Строгий [142] разработал математическую модель расчета распределения слоя дождя вдоль радиуса полива для определенных значений диаметров насадки дождевальных аппаратов «Фрегат»-№ 3, «Фрегат»-№ 4 и «Роса»-3:

$$h = [a + b \cdot H] e^{bHR - cHR} \quad (1.5)$$

где  $H$  – напор на выходе струи, м;

$R$  – радиус полива, м;

$a, b, c$  – коэффициенты уравнения.

У струйных аппаратов наибольшее количество воды выпадает на расстоянии 0,7...0,8 радиуса полива [11]. Для более равномерного распределения дождя вдоль радиуса полива дальнеструйные и среднеструйные аппараты обычно имеют одно или два дополнительных сопла меньшего диаметра, увлажняющих часть поля, ближнюю к месту установки аппарата. Б.М. Лебедев [77] приводит пример расчета диаметра дополнительного сопла дальнеструйного аппарата, исходя из действительного распределения интенсивности дождя вдоль радиуса полива. По его рекомендации, отношение диаметра сопла основной к диаметру сопла дополнительной насадки для существующих конструкций аппаратов должно находиться в пределах 2,6...3,0, что дает отношение площадей отверстий насадок и расходов воды примерно 6...9.

У аппаратов с небольшим расходом воды (0,1...0,7 л/с) обычно применяется одна насадка, а равномерность слоя дождя вдоль радиуса полива достигается путем ввода в струю специального рассекателя, прерывателя или за счет выполнения прорези в насадке. На распад струи, и характер ее распределения оказывает влияние

дефлекторная (реактивная) лопатка. Т.Н. Нуритдинов [101] установил влияние геометрических параметров дефлектора аппарата на распределение дождя вдоль радиуса полива. В работе определены оптимальные параметры дефлекторной лопатки. Рекомендуемая конструкция привода позволила повысить устойчивость работы среднеструйных дождевальных аппаратов и равномерность полива. Применение аппаратов с экспериментальным дефлектором на дождевальной установке «Волжанка» позволило увеличить равномерность полива по сравнению с серийным дефлектором на 9 %.

В большей степени зарубежными исследователями выполнены работы по расчету слоя и интенсивности дождя после прохода дождевальных машин. Американский исследователь К. Solomon [167] разработал методику обработки опытных данных по распределению дождя с получением расчетной схемы распределения и соответствующих ему значений диаметра насадки, и рабочего напора. Обработка ведется в три этапа: нормализация схем распределения дождя; обработка их по алгоритму группировки; анализ полученных групп для определения оптимального сочетания диаметра и напора соответствующих этим группам схем. Алгоритмы группировки представляют интеррациональный процесс преобразования фактических данных в группы и нахождения центральных точек отдельных групп, позволяющих находить пригодные расчетные схемы распределения дождя, характеризующие эффективность работы дождевателя в зависимости между расходом воды, диаметром насадки и напором.

В случае прямоугольного, эллиптического и треугольного распределения дождя по длине радиуса полива дождевального аппарата работе Н.С. Hummel [163] представлены зависимости распределения слоя дождя при прямолинейном и круговом перемещении трубопровода машины с аппаратами. Недостатки этих зависимостей в том, что уравнения применимы только для принятых трех схем распределения дождя.

Исследователем Р. Райковым определено поперечное распределение дождя при прямолинейном перемещении трубопровода. Полученные математические

уравнения применимы для описания работы дождевальных машин типа ДДА-100МА.

На распределение интенсивности дождя вдоль радиуса полива дефлекторной насадки влияют следующие факторы: диаметр насадки, напор на выходе струи, отношение диаметра основной насадки к диаметру дополнительной, частота пересечения коромысла со струей, величина ввода рассекателя в струю, установка на аппарат прерывателя и геометрические размеры дефлектора. Однако пока нет возможности рассчитать характер распределения дождя и определить его равномерность еще на стадии проектирования дождевальных машин с аппаратами, дефлекторными насадками, установленными на устройствах приповерхностного дождевания.

### **1.5 Выводы**

Дождевальные машины «Фрегат» составляют основу парка поливной техники и осуществляют полив 60 % площадей, занятых под овощными культурами. Они формируют дождь большой крупностью капель, средней и мгновенной интенсивностью дождя, что приводит к значительному воздействию дождя на почву, разрушая ее структуру, уплотняя верхний слой почвы и не позволяя выдавать оптимальные поливные нормы.

Несмотря на накопленный фактический материал по определению величины потерь воды на испарение и снос, существующие на сегодняшний день зависимости по определению потерь воды на снос, испарение и сток не объединены единым уравнением с учетом метеорологических условий и конструктивно-технологических параметров дождевальных машин.

Анализ проведенных исследований показывает, что одним из основных направлений снижения потерь воды на испарение и снос и повышения равномерности полива является использование устройств приповерхностного дождевания. Анализ известных конструкций УПД, применяемых на многоопорных дождевальных машинах, позволил провести их классификацию и

выявить основные пути совершенствования. Разработано устройство приповерхностного дождевания (Патент 74033) [109]. Обоснована конструкция дефлекторной насадки, которую необходимо применять на устройствах приповерхностного дождевания. Обоснована схема размещения устройств приповерхностного дождевания на пролетах ДМ «Фрегат».

Исследования по определению влияния конструктивных и агротехнических показателей полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок зачастую носят частный характер. Поэтому необходимо провести исследования по уточнению зависимостей расхода, радиуса захвата и распыления дождя от высоты установки дефлекторной насадки.

## 1.6 Цель и задачи исследований

**Цель исследований** – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» путем совершенствования технологии и конструкции устройств приповерхностного дождевания.

### **Задачи исследований:**

1. Провести анализ эффективности использования ДМ «Фрегат» и определить перспективный способ и устройства, обеспечивающие агротехнические требования полива
2. Теоретически обосновать снижение потерь воды на испарение и снос и повышение равномерности полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.
3. Разработать конструкцию устройства приповерхностного дождевания, удовлетворяющую агротехническим требованиям полива.
4. Экспериментально исследовать агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат» с устройством приповерхностного дождевания.
5. Оценить экономическую эффективность применения на ДМ «Фрегат» устройств приповерхностного дождевания.

## ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ ПРИ ПОЛИВЕ ДОЖДЕВАНИЕМ

### 2.1 Потери воды на испарение и снос при поливе дождеванием

Одним из направлений повышения эффективности полива являются водосберегающие технологии орошения. При этом изучение влияния технологий полива и технологических решений на снижение потерь воды на испарение и снос является основополагающей задачей.

Испарение капель дождя в воздухе играет важную роль в результатах работы дождевальных машин. Процесс медленного (квазистационарного) испарения однокомпонентной капли в неподвижном воздухе при давлении, близком к атмосферному, хорошо описан в работах В.Ф. Дунского [46], И.Д. Федоренко [145] и др. Диффузионный поток пара воды капли  $I$  через сферическую поверхность радиусом  $r$  при стационарном испарении [46] есть величина постоянная:

$$I = -4\pi \cdot D \cdot r^2 \cdot \frac{dC}{dr} \quad (2.1)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии пара в окружающем каплю воздухе, см<sup>2</sup>/с;

$C$  – концентрация пара, г/см<sup>3</sup>;

$r$  – радиус капли, мм.

На основании этого положения, были получены следующие зависимости, определяющие радиус капли после определенного времени полета  $t$  и время до полного испарения капли  $T$ :

$$r = r_0 \left[ 1 - \frac{2D \cdot t}{\rho_{жс} \cdot r_0^2} (C_0 - C_\infty) \right]^{0,5}, \quad (2.2)$$

$$T = \frac{\rho_{жс} \cdot r_0^2}{2D(C_0 - C_\infty)} \quad (2.3)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии пара в окружающем каплю воздухе, см<sup>2</sup>/с;

$C_\infty$  – концентрация пара на удаленном расстоянии от капли, г/см<sup>3</sup>;

$r_0$  – начальный радиус капли, мм;

$t$  – время полета капли, с;

$C_0$  – концентрация пара возле капли, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, г/см<sup>3</sup>.

Е.Г. Зак на основании теоретических и экспериментальных исследований потерь воды на испарение вывел формулу для расчета времени полного испарения капли:

$$T = \frac{176,4d^2}{(1+1,92V_e)D}, \quad (2.4)$$

где  $T$  – время полного испарения капли, мин;

$d$  – диаметр капли, мм;

$V_{\text{в}}$  – скорость ветра, м/с;

$D$  – дефицит упругости пара, мм.

И.Д. Федоренко [146], используя формулу (2.4), вывел зависимость для расчета потерь капли воды на испарение:

$$E = 100 \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{Dt(1+1,92V_e)}{10584d^2} \right)^{1,5} \right]. \quad (2.5)$$

Данная формула показывает, что испарение капли пропорционально времени полета  $t$ , дефициту упругости пара  $D$ , скорости ветра  $V_{\text{в}}$  и обратно пропорционально квадрату диаметра капли  $d$ .

Следовательно, чем меньше диаметр капли, тем меньше скорость ее падения и тем больше время падения и как следствие больше потерь на испарение. При ветре происходит снос капель дождя, который, по данным Ж.Р. Дидко [143] может достигать значительной величины (таблица 2.1).

По данным этого автора, капля воды диаметром 100 мкм полностью испарится, пролетев порядка 6 секунд, т. е. не долетев до земли (время осаждения 11,5 с) при температуре воздуха 25 °С и относительной влажности 30 %.

По расчетам И.Д. Федоренко, при скорости ветра 3 м/с с высоты 4 м, температуре воздуха 30 °С и дефиците упругости пара 60 % при падении капли диаметром 0,5 мм потери на испарение составляют 10 %, а с высоты 12 м – 20 %.

При увеличении температуры воздуха до 40 °С и дефиците упругости пара до 70 % потери воды на испарение для капли диаметром 0,5 мм, падающей с высоты 4 и 12 м составят соответственно 20 и 38 % [41].

Таблица 2.1 – Скорость падения, время оседания и величина сноса капли в зависимости от ее диаметра

Диаметр капли, мкм	Конечная скорость падения, см/с	Время оседания капли, с	Величина сноса, м	
			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1000	400,0	0,8	0,8	3,2
500	220,0	1,3	1,3	5,2
200	72,0	4,2	4,2	16,8
100	26,0	11,5	11,5	46,0
50	7,0	43,0	43,0	172,0
20	1,2	250,0	250,0	1000,0
10	0,3	1000,0	1000,0	4000,0

Примечание: X<sub>1</sub> и X<sub>2</sub> – величина сноса, определенная при высоте падения 3 м и скорости ветра 1,0 и 4,0 м/с соответственно.

Экспериментально установлено, что потери на испарение и снос дождя ветром при дождевании находятся в пределах от 0,4 до 65 % от вылитого объема воды [148, 149].

Большой разброс опытных данных (от 1–2 % до 60 %) объясняется различными методами исследований и замеров, а также различием понимания и толкований этого термина.

Саратовское Заволжье расположено в зоне с жесткими климатическими условиями. Так, на высоте 2 м от поверхности почвы за вегетационный период температура воздуха изменяется от 13 до 34 °С (в среднем на 17,4 °С), относительная влажность воздуха в среднем на 59 %, скорость ветра в среднем на 3,8 м/с [102].

По данным С.М. Гордона, Б.И. Бережкова, в дневные часы скорость ветра от 0 до 1 м/с составляет 5 %, от 2 до 5 м/с – 50 %, 6...9 м/с – 40 %, более 9 м/с – 5 %

на высоте флюгера 10 м. В полдень средняя скорость ветра составляет 6,27 м/с [33]. Средняя дневная скорость ветра с учетом процентов вероятности составляет:  $V_B = (0,5 \cdot 5 + 3,5 \cdot 50 + 7,5 \cdot 40 + 9 \cdot 5) / 100 = 5,2$  м/с, на высоте 2 м:  $V_B = 0,7 \cdot 5,2 = 3,6$  м/с. В 13 часов:  $V_B = 4,4$  м/с. Такие же данные были получены при проведении полевых опытов в Саратовском Заволжье.

Величина испарения воды с поверхности капли  $E_{и}$  при дождевании может находиться в достаточно широких пределах:

- от 3,7 до 4,2 % при температуре воздуха 24...30°C, скорости ветра 1,5...4 м/с и относительной влажности 43–59 % [154];

- от 4,0 % для ДКШ–64 «Волжанка» при относительной влажности 40 %, температуре воздуха 15 °С и скорости ветра 0 м/с до 12,3 % при температуре воздуха 30 °С и скорости ветра 5 м/с [136];

- до 5 % для ДКШ–64 [151];

- до 13,7 % для короткоструйных насадок и до 14,5 % для дальнеструйных аппаратов [7];

- от 0,7 % для дождевальных аппаратов «Райн-Бард» при скорости ветра 0...1 м/с, дефиците влажности 10 мм, отношении Н/Д = 0,02...0,08 МПа/мм до 3,5 % при скорости ветра 4,5...5,0 м/с и от 2,1 до 11,0 % при дефиците влажности 15 мм, скорости ветра 0...1 м/с и Н/Д = 0,02...0,08 МПа/мм [37];

- от 5 до 10 % для ДКШ–64 «Волжанка».

По данным Г.М. Гаджиева [28], величина  $E_{и}$  изменяется от 5,0 % до 28,6 %.

Незначительные потери воды на испарение за время полета капли отмечены:

- от 1 до 2 % для ДМ «Фрегат», работающей в условиях Красноярского края (В.Д. Миняйло, 1980);

- от 0 до 1,4 % для дальнеструйной машины ДДФ-100, работающей в условиях Средней Азии (по данным В.К. Севрюгина А.М. Рачинского, [124]), где в расчетах принят средний диаметр капель 1,3 мм и не учитывается «водяная пыль» у которой капли диаметром 0,05...0,5 мм.

Результаты исследований ВолжНИИГиМ показывают, что величина потерь воды за время выхода из сопла аппарата «Фрегат» до момента падения на поверхность почвы при температуре поливной воды 19 °С, температуре воздуха 24,8 °С, скорости ветра 5...7 м/с, относительной влажности 50 %, находится в пределах 0–7 % (в среднем 3,5 %). А при поливе каплями дождя диаметром 0,2...0,5мм, вылетающими из сопла диаметром 5,5 мм с дефлекторной пластиной при напоре 0,4 МПа, увеличивается до 9,5 % .

В этих опытах не учтены мелкие капли (водяная пыль), которые могут сноситься на расстояние 100...300 м и испаряться, не долетев до поверхности почвы.

Суммарная величина испарения воды в воздухе и сноса дождя  $E_{ис}$  ветром за пределы зоны орошения наиболее важна для практики. Она определяется объемным методом, по разности между расходом воды аппаратом и фактической нормой полива на поле. Эту величину изучали С.Х. Гусейн-Заде [41], В.И. Иванов [48], Г.С. Кальянов [58], А. Кван [60], А.П. Клепальский [62], А.Н. Корягин [68], М.С. Мансуров [82], М.К. Мустафаева [92], М.И. Назаров [95], Е.Г. Петров, П.К. Дороженко [112], В.Е. Хабаров [148, 149], О.К. Орлова [106], а также за рубежом: в США [167], Германии [163], Нигерии [177], Болгарии [164].

Доказано, что суммарные потери обычно больше при поливе одним аппаратом (насадкой), чем по машине в целом. Из исследований Е.Г. Петрова и П.К. Дороженко [112] видно что, суммарные потери изменялись от 14,1 до 25,2% при температуре 24,3 °С и 24,8 °С, относительной влажности 48,8 % и 61,0 %, скорости ветра 0,1 и 2,4 м/с.

Потери воды на испарение и снос при скорости ветра 9 м/с в условиях Апшеронского полуострова по данным М.К. Мустафаевой [92] доходили до 28 %. А для Шамхорского района они составили 19 % при скорости ветра 6,0 м/с. По данным Шамхорской опытно-мелиоративной станции, при работе среднеструйных дождевальными аппаратами величина испарения изменялась от 4 до 19 % при увеличении скорости ветра от 1 до 3 м/с.

Исследования М.С. Мансурова [82] показывают что, суммарные потери при поливе короткоструйной насадкой при скорости ветра до 3 м/с увеличились с 13,7 до 20,7 %, а при поливе дальнеструйным аппаратом – с 14,5 до 23,3 %.

Практически во всех исследованиях подтверждается связь величины испарения и сноса с метеорологическими условиями, но единого мнения по их учету не достигнуто.

В работах М.И. Назарова [95] и М.С. Мансурова [82] выявлены зависимости изменения потерь воды от высоты подъема дождевого облака над поверхностью почвы.

При поливе дождевальными машинами наблюдается перекрытие струй от работающих насадок и суммарные потери обычно несколько меньше, чем у отдельно работающих аппаратов и насадок ввиду некоторого понижения температуры в дождевом облаке.

По данным Г.С. Кальянова [58], в летнее время при поливе ДДА-100МА испарение возрастало от 9 до 30 % при увеличении дефицита влажности с 1 до 13 мм. В дневные часы испарение составляет 22,3 %, а в ночные всего лишь 12 %.

В Волгоградской области исследования В.И. Орловой [106] показали, что суммарные потери при поливе ДКШ-64 «Волжанка» изменялись от 2,9 до 15,6 % (таблица 2.2). При этом недостаток воды приходилось компенсировать нормой полива.

Таблица 2.2 – Величина потерь воды на испарение и снос ветра при поливе ДМ «Волжанка»

Температура, °С	Дефицит влажности воздуха, мб	Скорость ветра, м/с	$E_{ис}$ , %
12,1	9,1	3,1	2,9
22,8	16,2	1,6	8,5
27,2	18,4	2,3	15,4
23,4	16,5	3,2	15,6
25,6	17,5	1,7	5,2

Исследования С.Х. Гусейн-Заде [41] показывают что, потери воды на испарение и снос при поливе ДКШ-64 «Волжанка» при скорости ветра 1...2; 1,5...2; 2...3; 3...5 м/с составляет соответственно 13,7; 13,3; 17,6; 19,0 %.

Если величина радиуса капли за время полета капли уменьшилась, то при этом уменьшается и масса капли. И.Д. Федоренко [146], используя формулу (2.1), определил зависимость для расчета потерь воды на испарение:

$$E = 100 \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{D \cdot t \cdot (1 + 1,92 \cdot V_v)}{10584 \cdot d^2} \right)^{1,5} \right] \quad (2.6)$$

Из формулы видно, что испарение капли пропорционально времени полета капли  $t$ , дефициту упругости пара  $D$ , скорости ветра  $V_v$  и обратно пропорционально квадрату диаметра капли  $d$ .

Расчеты по приведенным формулам показывают, что величина испарения для мелких капель (водяная пыль диаметром 0,05...0,10 мм) может достигать 80 и 100 %.

Установлено, что при поливе дождевальными аппаратами и дефлекторными насадками создается полидисперсная структура дождя, а диаметр капель в зависимости от скорости истечения, толщины пленки и степени турбулизации может изменяться вдоль радиуса захвата в начале от 0,05...0,1 мм и в конце до 1,0...2,5 мм. Для расчета потерь воды на испарение необходимо знать количество капель различного диаметра и долю расхода, приходящую на каждый размер капель. Эти характеристики можно определить, зная закон распределения диаметра капель и интенсивности дождя вдоль радиуса полива дождевателя в зависимости от его конструктивно-технологических параметров (диаметр струи и рабочий напор на выходе струи). С учетом этих положений, а также с использованием известных зависимостей закона распределения диаметра капель и интенсивности дождя вдоль радиуса полива дождевателя [130] нами предложена модель расчета  $E_{и}$  (рисунок 2.1). В основу разработки алгоритма модели была положена гипотеза о влиянии на величину потерь от испарения не только технологических параметров дождя, но и метеорологических условий. В той же последовательности, как и при расчете модели, были проведены расчеты величины испарения для дефлекторных насадок и дождевальных аппаратов при различной высоте их установки и при постоянном расходе воды 0,415 л/с. Величина испарения дождя от дождевальных аппаратов с

высотой подъема дождевого облака 5,5 м в зависимости от метеорологической напряженности погоды может увеличиваться с 4 до 15 % (приложение А).

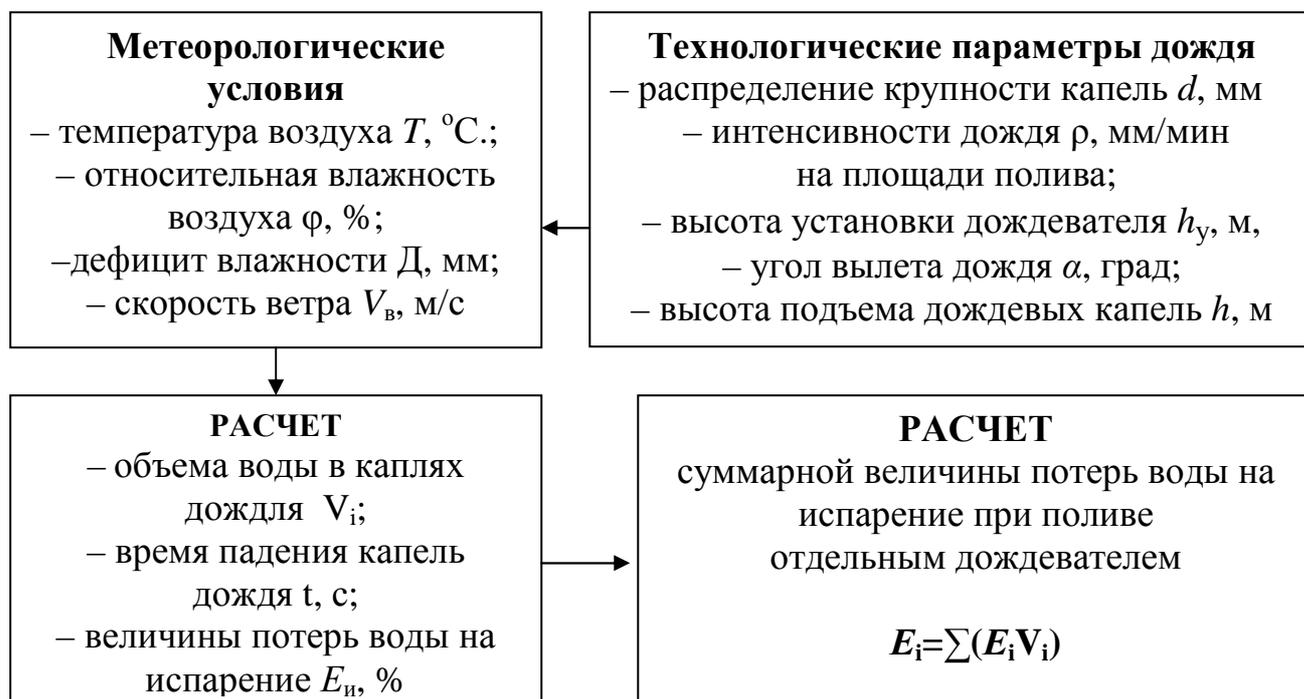


Рисунок 2.1 – Последовательность расчета величины испарения при поливе дождевателем

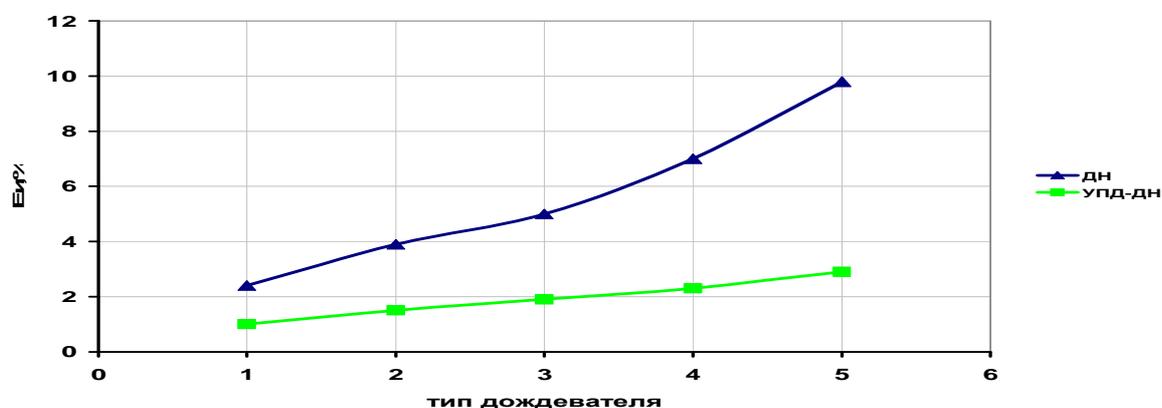


Рисунок 2.2 – Экспериментальные значения потерь воды на испарение  $E_{и}$  при поливе отдельным (ДН) и с устройством приповерхностного полива (УПД-ДН)

Для дефлекторной насадки диаметром 6 мм при высоте ее установки 0,6 над поверхностью величина испарения намного меньше и составляет от 0,3 до 3,8 % (рисунок 2.2, приложение А).

Приведенные выше формулы не совсем корректны для расчета потерь, так как не учитывают зависимость кинематического режима испарения от скорости полета капли. Также известно, что относительная влажность воздуха в дождевом облаке будет значительно отличаться от влажности воздуха вне облака. На параметры дождевого облака, создаваемого дождевальными машинами, влияют: форма распыла струи и характер наложения струй от соседних дождевателей, при этом немаловажными являются средняя и действительная интенсивность дождя, а также направление ветра относительно трубопровода дождевальной машины. При расчете потерь важно знать не только величину испарения, но и величину дождевых капель, уносимых за пределы орошаемого участка.

Математически обработаны результаты полевых опытов для оценки суммарной величины испарения и сноса дождя  $E_{ис}$  при поливе дождеванием, полива одиночными дождевальными аппаратами «Фрегат» № 1, 2, 3 и 4, дефлекторными насадками, а также дождевальными машинами «Фрегат». Достоверность математических зависимостей для расчета  $E_{ис}$  подтверждены опытными данными М.С. Мансурова [7, 82], А.П. Клепальского [62], К.М. Мустафаевой [92], Е.Г. Петрова, П.К. Дороженко [112] (приложение Б, таблицы 1–4).

Результаты исследований представлены на рисунке 2.3, где показано, что величина  $E_{ис}$  при поливе дефлекторной насадкой или отдельным аппаратом увеличивается с повышением температуры воздуха и скорости ветра и уменьшается с увеличением относительной влажности воздуха.

При дождевании температура воздуха, скорость ветра и относительная влажность воздуха воздействуют одновременно, то важно выяснить, как изменяется величина  $E_{ис}$  от комплексного показателя напряженности климата  $\Phi$  по В.Е. Хабарову [149]:

$$\Phi = T \cdot \left( 1 - \frac{\varphi}{100} \right) \cdot (V_6 + 1), \quad (2.7)$$

где  $T$  – температура воздуха, °С;

$\varphi$  – относительная влажность воздуха, %;

$V_B$  – скорость ветра, м/с.

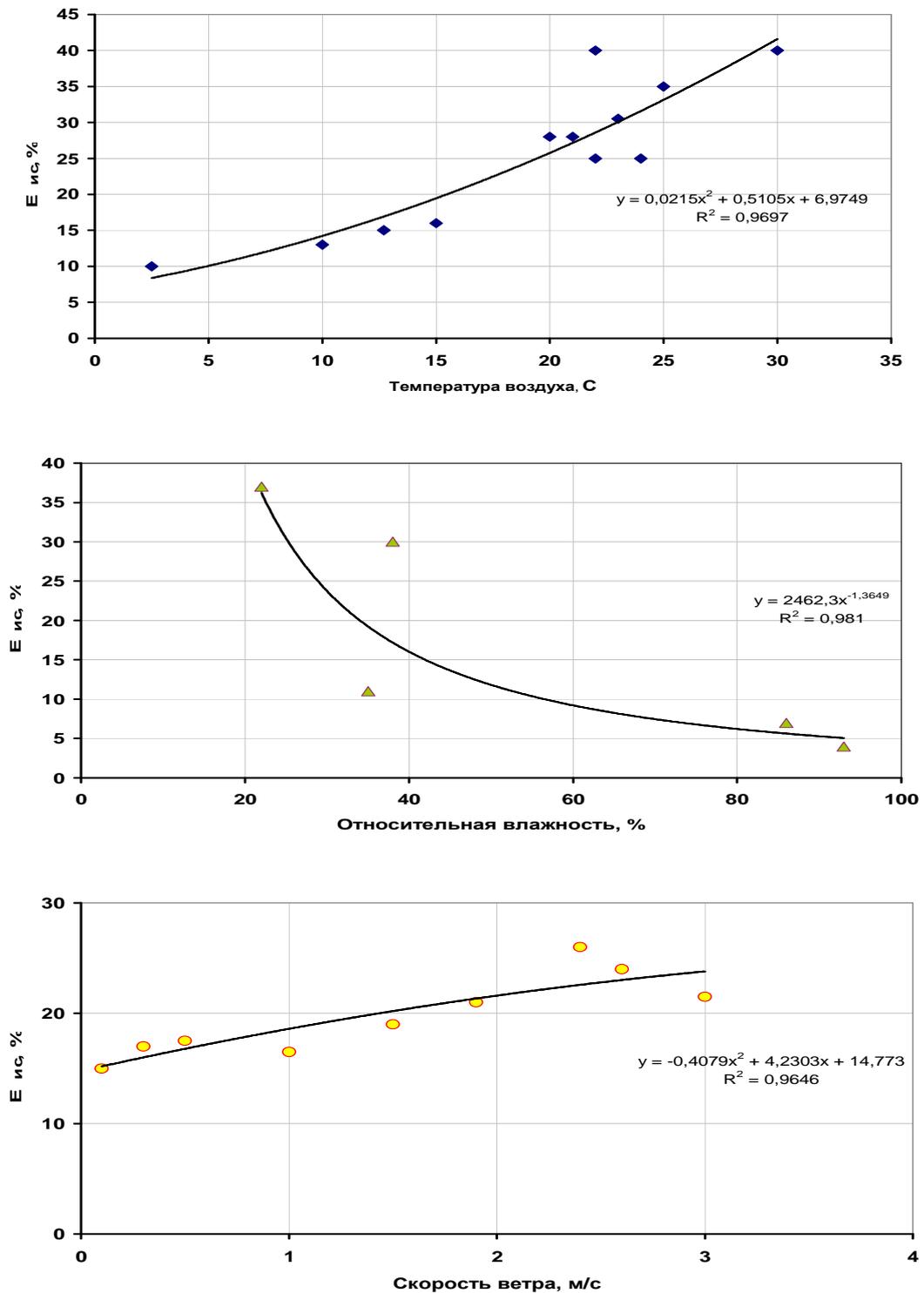


Рисунок 2.3 –Зависимость испарения и сноса дождя при поливе одиночными дождевальными аппаратами от: температуры воздуха , относительной влажности воздуха, скорости ветра

А.П. Клепальским [62] установлено, что величина  $E_{ис}$  дождя при поливе имитационными установками с дождевальными насадками АДП-350 и аппаратами ДКШ-64 с увеличением напряженности климата увеличивается и достигает 45 % и 35 % при  $\Phi = 60...80$ .

Наши исследования по определению зависимости  $E_{ис}$  от  $\Phi$  показали, что величина  $E_{ис}$  дождя зависит от конструктивно-технологических параметров как дождевальных аппаратов, так и машины в целом. Эта величина возрастает с увеличением частоты вращения струи и высоты подъема капель дождя над поверхностью почвы и уменьшается с увеличением среднего диаметра капель, средней и мгновенной интенсивности дождя.

При поливе дождевальными машинами величина  $E_{ис}$  зависит от направления ветра относительно трубопровода машины. Если направление ветра нормально оси трубопровода, то величина  $E_{ис}$  максимальная, а при направлении ветра вдоль трубопровода эта величина минимальная. Это связано с тем, что сносимые капли перемещаются в зоне дождя соседних аппаратов, где температура воздуха ниже, а относительная влажность воздуха выше, чем вне зоны дождя. Также здесь происходит больше соударений и слияний капель дождя. Для оценки влияния на величину  $E_{ис}$  направления ветра вдоль трубопровода введем коэффициент  $K_{\alpha}$  (формула 2.8). Если угол между направлением ветра и трубопроводом машины составляет 90 градусов ( $\alpha = 90^{\circ}$ ), то величина  $E_{ис}$  максимальная, а коэффициент  $K_{\alpha}=1$ . Для широкозахватных машин типа «Фрегат» с зоной захвата дождем 400...500 м величина  $K_{\alpha}$  снижается до 0,2...0,3.

Зависимость коэффициентов  $K_{\alpha}$  от величины угла между направлением ветра и трубопроводом дождевальной машины «Фрегат» описываются формулой:

$$K_{\alpha} = 1 - 0,009 \cdot (90 - \alpha) \quad (2.8)$$

Для каждой машины величина  $E_{ис}$  определяется конструктивно-технологическими параметрами и метеорологическими условиями, с учетом направления ветра относительно оси трубопровода:  $E_{ис} = K_T K_{\alpha} K_K$ .

Коэффициент, учитывающий влияние конструктивно-технологических

параметров дождевальных машин и дождевателей на величину потерь:

$$K_T = 2,67(h - 0,5)^{0,4} \cdot (n + 1)^{0,08} / d_k^{0,6} \cdot \rho_c^{0,25} \cdot \rho_m^{0,1} \quad (2.9)$$

Коэффициент учитывающий влияние климатических условий :

$$K_K = \left[ T \left( 1 - \frac{\varphi}{100} \right) (V_{\text{в}} + 1) \right]^{0,5} \quad (2.10)$$

В результате обработки опытных данных получено уравнение для расчета величины испарения и сноса дождя  $E_{\text{ис}}$  при дождевании машиной:

$$E_{\text{ис}} = 2,67(h - 0,5)^{0,4} (n + 1)^{0,08} / d_k^{0,6} \rho_c^{0,25} \rho_m^{0,1} \left[ T \left( 1 - \frac{\varphi}{100} \right) (V_{\text{в}} + 1) \right]^{0,5} K_{\alpha} \quad (2.11)$$

где  $h$  – высота подъема капель дождя над почвой, м;

$n$  – частота вращения аппарата, об/мин;

$d_k$  – средний диаметр капель, мм;

$\rho_c, \rho_m$  – средняя и мгновенная интенсивность дождя, мм/мин;

$T$  – температура воздуха, °С;

$\varphi$  – относительная влажность воздуха, %;

$V_{\text{в}}$  – скорость ветра, м/с,

$K_{\alpha}$  – коэффициент, учитывающий изменение величины испарения и сноса дождя в зависимости от величины угла между трубопроводом машины и направлением ветра.

Анализ формулы (2.11) показывает, что величина потерь на испарение и снос учитывает не только температуру воздуха, относительную влажность воздуха и скорость ветра, но и высоту подъема капель дождя над почвой, частоту вращения аппарата, средний диаметр капель, среднюю и мгновенную интенсивность дождя и коэффициент, учитывающий изменение величины испарения и сноса дождя в зависимости от величины угла между трубопроводом машины и направлением ветра, что в результате дает возможность предполагать о более полном учете всех факторов, что, несомненно, повлияет на повышение точности расчетов.

Таким образом, в полученном выражении потери на испарение и снос в любом конкретном случае определяются конструктивно-технологическими параметрами дождевальной машины, климатическими условиями работы дождевальной машины и вектором направления ветровой нагрузки к оси трубопровода.

Графические зависимости потерь воды на испарение и снос в зависимости от расхода воды, высоты установки дождевателей и метеорологических условий показаны на графике (рисунок 2.4).

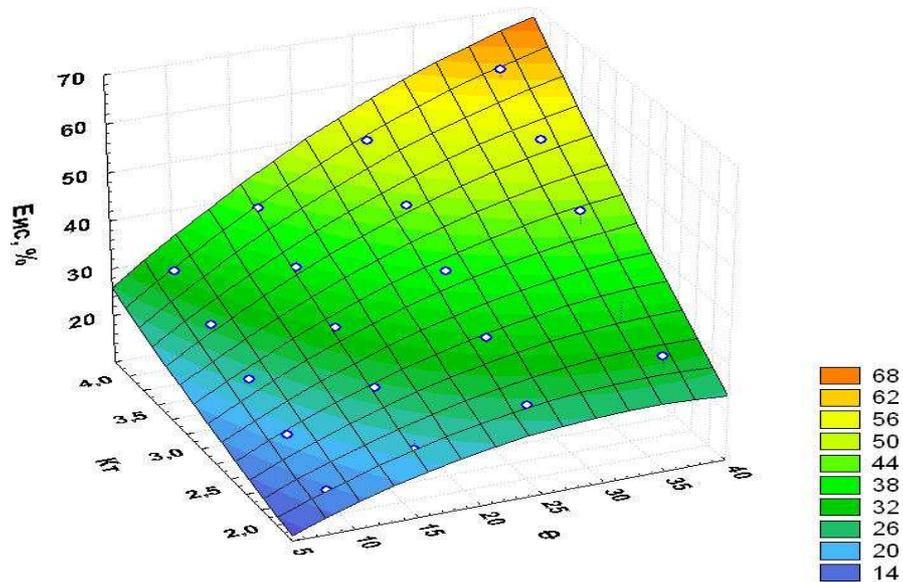


Рисунок 2.4 – Экспериментальные значения потерь воды  $E_{ис}$  в зависимости от  $\Phi$  и  $K_T$

Анализ полученных зависимостей показывает, что основным направлением снижения потерь воды на испарение и снос дождя при поливе дождевальными машинами является уменьшение высоты подъема дождевого облака, а также оптимизация параметров средней и действительной интенсивности дождя и крупности капель. Это возможно за счет снижения высоты установки дождевателей, оптимизации угла вылета струй, степени их распыла и величины перекрытия струй.

## 2.2 Исследования влияния конструктивных параметров дождевателей на процесс формирования дождя

Исследованиям основных конструктивных и агротехнических показателей полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок в нашей стране посвящены работы Б.М. Лебедева [77], С.П. Казакова [56], А.П. Исаева [54], А.И. Дедебулидзе, С.Х. Гусейн-Заде [41], Д.М. Кервашвили [61], В.П. Махмурян [85], А.Г. Васильева [19], И.Д. Федоренко [65, 66], М.А. Безродного, П.М. Степанова [140]. За рубежом этому вопросу

посвящены исследования Т. Эйлера, Цинкера, Имре Надя, И. Мазека, К. Solomona, А.Н. Чехлорова, С. Окамуры [163, 167, 173, 174, 175] и др.

Согласно формуле Б.М. Лебедева [77] дефлекторные насадки с соплом диаметром 4...16 мм и диаметром дефлектора 50 мм, имеют толщину пленки на сходе с дефлектора насадки в пределах 0,10...1,28 мм. Угол расширения струи по высоте зависит от скорости потока и в среднем составляет 3...4 град. При удалении элементарного участка потока от дефлектора концентрация водяной струи уменьшается. Чем больше толщина пленки и меньше скорость капли, тем больше длина полета концентрированного потока. При работе дефлекторной насадки наблюдается 3 участка струи (рисунок 2.5): 0–1 – участок сплошного потока (обычно 2...3 см), 1–2 – участок раздробленного потока, 2–3 – распыленный участок, где наблюдается полет отдельных капель дождя.

Длину сплошного участка  $\ell_1$  струи (0–1) и окончание разрушения ядра струи  $\ell_2$  (0–2) с начальным диаметром  $D$  можно определить по формуле А.П. Исаева [54]:

$$\frac{\ell_1}{D} = 163,7 - 1,47 \cdot 10^{-4} \cdot Re, \quad (2.12)$$

$$\frac{\ell_2}{D} = 278,5 - 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot Re, \quad (2.13)$$

Длину 3-го участка струи можно определить, если в формулу Люгера [9] ввести поправочные коэффициенты:

$$\ell_3 = K_n \cdot K_k \cdot H_B, \quad (2.14)$$

где  $H_B$  – параметр подъема струи,  $H_B = H/(1 + \varphi \cdot H)$ , м;

$H$  – напор струи, м;

$\varphi$  – коэффициент зависящий от диаметра струи,  $\varphi = 0,25[d + (0,1d)^3]$ ;

$D$  – диаметр струи, мм;

$K_n$  – коэффициент, определяющийся величиной подъема струи,  $K_n = 0,8631 - 1,76 \cdot 10^{-3} \cdot H_B - 8,49 \cdot 10^{-5} \cdot H_B^2$ ;

$K_k$  – коэффициент, зависящий от качества изготовления дождевателя, его коэффициента расхода.

Координаты положения участка  $D_3$  определяются по формулам:

$$X_3 = l_3 / \cos \alpha, \quad Y_3 = l_3 / \sin \alpha$$

Время движения до участка  $D_3$ :  $t_3 = l_3 / V_c$ .

На участке 3–4 капли дождя летят как независимые материальные точки.

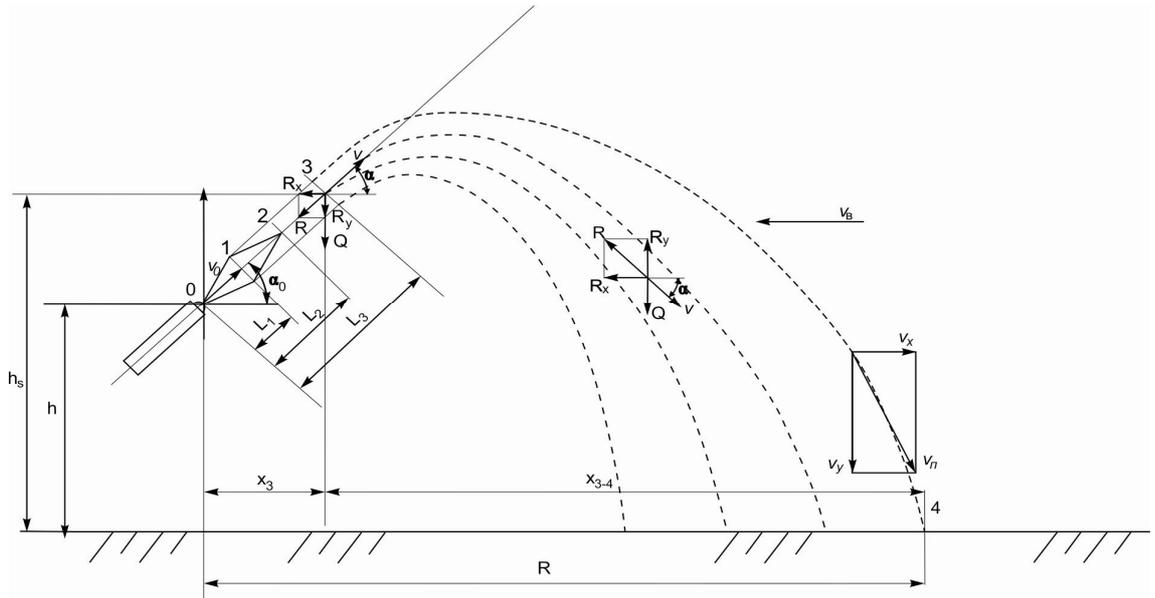


Рисунок 2.5 – Схема полета и распада струи дефлекторной насадки

Для определения характера полива рассмотрим движение материальной точки, на которую действуют две силы (рисунок 2.5): сила тяжести  $G$  и сила сопротивления воздуха  $R$ .

Сила сопротивления воздуха определяется по формуле:

$$R = C_x \cdot S \frac{\rho \cdot V_k^2}{2}, \quad (2.15)$$

где  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления тела данной формы;

$S$  – площадь поперечного сечения капли, перпендикулярного направлению ее движения,  $\text{см}^2$ ;

$\rho$  – плотность воздуха,  $\text{г/см}^3$ ;

$V_k$  – скорость движения капли,  $\text{м/с}$ .

Для решения данной задачи, величины  $C_x$ ,  $S$  и  $\rho$  принимаем постоянными, тогда сила сопротивления пропорциональна коэффициенту:  $\lambda = C_x S \frac{\rho}{2}$  и квадрату скорости  $R = \lambda V^2$ .

Дифференциальные уравнения движения капли имеют вид:

$$mx'' = F_x, \quad (2.16)$$

$$m\ddot{y} = F_y, \quad (2.17)$$

где  $F_x$  и  $F_y$  – проекции всех сил, приложенных к капле.

В данном случае:

$$mx'' = -R_x, \quad (2.18)$$

$$m\ddot{y} = -G \pm R_y. \quad (2.19)$$

Во втором уравнении знак (–) относится к восходящему движению, а знак (+) – к нисходящему.

Подставим значения  $R_x$  и  $R_y$  получим:

$$mx'' = -\lambda V^2 \cdot \cos \alpha; \quad (2.20)$$

$$m\ddot{y} = -G \pm \lambda V^2 \cdot \sin \alpha, \quad (2.21)$$

где  $\alpha$  – угол наклона вектора скорости к оси  $X$ .

Уравнение в таком виде не поддается интегрированию. Чтобы сделать решение возможным мы используем метод В.А. Волкова [41], который заменяет в правых частях уравнения  $\cos \alpha$  на  $K_x \cdot \cos^2 \alpha$  и  $\sin \alpha$  на  $K_y \cdot \sin^2 \alpha$ , где  $K_x$  и  $K_y$  – некоторые постоянные коэффициенты. Уравнения после замены примут вид:

$$mx'' = -K_x \lambda \cdot V^2 \cos^2 \alpha \quad (2.22)$$

$$m\ddot{y} = -G - K_y \lambda \cdot V^2 \cdot \sin^2 \alpha, \quad (2.23)$$

но  $V \cdot \cos \alpha = V_x = x'$ , а  $V \cdot \sin \alpha = V_y = y'$ , тогда получим:

$$m \cdot x'' = -K_x \cdot \lambda \cdot (x')^2, \quad m\ddot{y} = -G \pm K_y \lambda (y').$$

В отличие от исходных уравнений, эти являются приближенными, однако с достаточной точностью описывают движение капель при формировании дождя дождевателями. Решая их, мы получаем формулы для расчета.

Коэффициенты  $K_x$  и  $K_y$  характеризуют уменьшение искажения, вызванного заменой  $\cos \alpha$  на  $\cos^2 \alpha$  и  $\sin \alpha$  на  $\sin^2 \alpha$  и сближение их значений.

Определение величин проводится, исходя из условия равенства средних проекций сил сопротивления до и после замены. Сила сопротивления, как указывалось выше, выражается через скорость. Однако вначале расчета законы изменения величины скорости и ее угла с осью  $X$  еще не известны. Поэтому при нахождении  $K_X$  и  $K_Y$  величина скорости и угол ее наклона принимаются изменяющимися, так же как при движении тела без сопротивления среды, в которой, как известно, траектория имеет симметричный вид, и средние значения каких-либо функций для восходящей части будут средними значениями для всей траектории. Поэтому можно находить  $K_X$  и  $K_Y$  на восходящем участке при изменении  $\alpha$  от  $\alpha_0$  до  $0$  и принимать их постоянными для всех траекторий.

Горизонтальная проекция скорости при движении тела без сопротивления постоянна и равна  $V_0 \cos \alpha_0$ , а сама скорость равна:  $V = \frac{V_0 \cos \alpha_0}{\cos \alpha}$ . Подставим это значение скорости в выражения для проекции силы сопротивления, получим:

$$R_x = \lambda V^2 \cos \alpha = \frac{\lambda V_0^2 \cos^2 \alpha_0}{\cos \alpha}, \quad (2.24)$$

$$R_y = \lambda V^2 \sin \alpha = \frac{\lambda V_0^2 \cos^2 \alpha_0 \sin \alpha}{\cos^2 \alpha}, \quad (2.25)$$

а после замены  $\cos \alpha$  на  $K_X \cdot \cos^2 \alpha$  и  $\sin \alpha$  на  $K_Y \sin^2 \alpha$ :

$$R_x = K_X \lambda V^2 \cos^2 \alpha = K_X \cdot \lambda \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha_0, \quad (2.26)$$

$$R_y = K_Y \lambda V^2 \sin^2 \alpha = K_Y \lambda V_0^2 \cos^2 \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.27)$$

Приравняв средние значения проекции силы сопротивления до замены и после замены, можно найти значения  $K_X$  и  $K_Y$ :

$$K_x = \frac{\ln \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha_0}{2} + \frac{\pi}{4} \right)}{\alpha_0}, \quad (2.28)$$

$$K_y = \frac{\frac{1}{\cos \alpha_0} - 1}{\operatorname{tg} \alpha_0 - \alpha}. \quad (2.29)$$

Перед интегрированием уравнений вводим обозначения постоянных:

$\frac{\lambda q}{G} = a, \frac{G}{\lambda} = C^2$  и проводим замену:  $X' = V_X, Y' = V_Y$ , тогда в дальнейшем уравнения будет иметь вид:

$$\frac{dV_X}{dt} = -K_X a V_X^2, \quad (2.30)$$

$$\frac{dV_Y}{dt} = -K_Y \cdot a \cdot \left( \frac{C^2}{K_Y} \pm V_Y^2 \right). \quad (2.31)$$

Первое интегральное уравнение движения проекции тела на ось  $X$  дает:

$$V_X = X' = \frac{V_0 \cos \alpha_0}{K_X a V_0 \cos \alpha_0 t + 1}, \text{ где учтено начальное условие: при } t = 0, V_X = V_0 \cdot \cos \alpha_0.$$

После повторного интегрирования находим  $X$  как функцию времени:

$$X = \frac{1}{K_X a} \ln \cdot (K_X a V_0 \cos \alpha_0 t + 1) \quad (2.32)$$

Уравнение движения капли на ось  $Y$  необходимо интегрировать отдельно: сначала для восходящего значения, затем для нисходящего.

Уравнение движения проекции капли на ось  $Y$  при восходящем движении:

$$\frac{dV_Y}{dt} = -K_Y \cdot a \left( \frac{C^2}{K_Y} + V_Y^2 \right) \quad (2.33)$$

Последовательное интегрирование этого уравнения дает:

$$V_Y = \frac{C}{\sqrt{K_Y}} \operatorname{tg}(\delta - K_Y^{0.5} a c t) \quad (2.34)$$

где  $\delta = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{K} \cdot V_0 \sin \alpha_0}{C}$  – постоянная интегрирования.

Восхождение капли будет совершаться до момента  $V_Y = 0$ , откуда время восходящего движения равно:

$$V_Y = \frac{C}{\sqrt{K_Y}} \operatorname{tg}(\delta - \sqrt{K_Y} \cdot a c t) = 0, \quad t_{\text{восх}} = \frac{\delta}{\sqrt{K_Y} a C} \quad (2.35)$$

Дальнейшее интегрирование уравнения движения проекции капли на ось  $Y$

дает:

$$Y = \frac{1}{K_Y a} \ln \frac{\cos(\delta - \sqrt{K_Y} \cdot a c t)}{\cos \delta} \quad (2.36)$$

Подставляя в это уравнение время восходящего движения, определим максимальную высоту подъема:

$$h = \frac{1}{K_Y a} \ln \frac{1}{\cos \delta} = \frac{1}{2K_Y a} \ln \left[ \left( \frac{\sqrt{K_Y} \cdot V_0 \sin \alpha_0}{C} \right)^2 + 1 \right]. \quad (2.37)$$

Уравнение движения капли на ось  $Y$  по нисходящей траектории:

$$\frac{dV_Y}{dt} = -K_Y a \cdot \left( \frac{C^2}{K_Y} - V_Y^2 \right). \quad (2.38)$$

После интегрирования имеем:

$$V_Y = -\frac{C}{\sqrt{K_Y}} \operatorname{th} \sqrt{K_Y} \cdot a C t, \quad \text{причем время } t \text{ отсчитывается от начала нисходящего}$$

движения. Второе интегрирование дает:

$$Y = h - \frac{1}{K_Y \cdot a} \ln C \cdot h \sqrt{K_Y} a C t, \quad (2.39)$$

где  $h$  – высота, с которой началось нисходящее движение.

Время нисходящего движения определяем из условия, что это движение заканчивается в момент падения тела на ось  $X$  ( $Y = 0$ ).

$$Y = -\frac{1}{K_Y a} \ln C \cdot h (\sqrt{K_Y})^{0.5} a C t = 0, \quad (2.40)$$

$$Y = \frac{1}{K_Y \cdot a} \ln \frac{1}{\cos \delta} - \frac{1}{K_Y a} \ln C \cdot h (K_Y)^{0.5} a C t = 0, \quad (2.41)$$

откуда:

$$t_H = \frac{1}{(K_Y) a C} \cdot \operatorname{arch} \frac{1}{\cos \delta} = \frac{1}{(K_Y)^{0.5} a C} \cdot \operatorname{arch} \cdot \frac{(K_Y)^{0.5} V_0 \sin \alpha_0}{C}. \quad (2.42)$$

Если дефлекторная насадка расположена на высоте  $h_0$ , то максимальная высота подъема капли –  $h_{\max} = h_0 + h$ , тогда время нисходящего движения равно:

$$t_H = \frac{1}{(K_Y)^{0.5} a C} \operatorname{arch} \frac{\ell^{K_Y \cdot a \cdot h_0}}{\cos \delta}. \quad (2.43)$$

Общее время движения равно сумме времени восходящего и нисходящего движений:

$$t_{\text{общ}} = t_e + t_H = \frac{\delta}{(K_Y)^{0.5} a C} + \frac{1}{(K_Y)^{0.5} a C} \operatorname{arch} \frac{\ell^{K_Y \cdot a \cdot h_0}}{\cos \delta} = \frac{1}{(K_Y)^{0.5} a C} \cdot \left( \delta + \operatorname{arch} \frac{\ell^{K_Y \cdot a \cdot h_0}}{\cos \delta} \right) \quad (2.44)$$

где  $\delta = \text{arctg} \frac{\sqrt{KV_0 \sin \alpha_0}}{C}$  – постоянная интегрирования.

Подставляя это время в формулу (2.24), получим максимальную дальность полета капли на участке 3-4 с точки 3, расположенной на высоте  $h_0$  от поверхности почвы:

$$X_{3-4} = \frac{1}{(K_Y)^{0,5} aC} \ln \left[ \frac{K_Y V_0 \cos \alpha_0}{(K_Y)^{0,5} C} \left( \delta + \text{arch} \frac{\ell^{K_Y a h_0}}{\cos \delta} \right) + 1 \right]. \quad (2.45)$$

Общая дальность полета струи равна сумме:  $R = X_3 + X_{3-4}$ .

Теоретические расчеты значений радиусов полива и траекторий струй для дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок по разработанной выше методике и зависимостям показаны на рисунке 2.6.

При полете капель дождя при ветре необходимо учитывать воздействие силы ветра и угол между направлением полета капель и направлением скорости ветра. Наблюдения за полетом капли на ветер показывают, что в зависимости от диаметра капли, угла наклона струи к горизонту, начальной скорости капли и скорости ветра траектория полета может быть различной (рисунок 2.6).

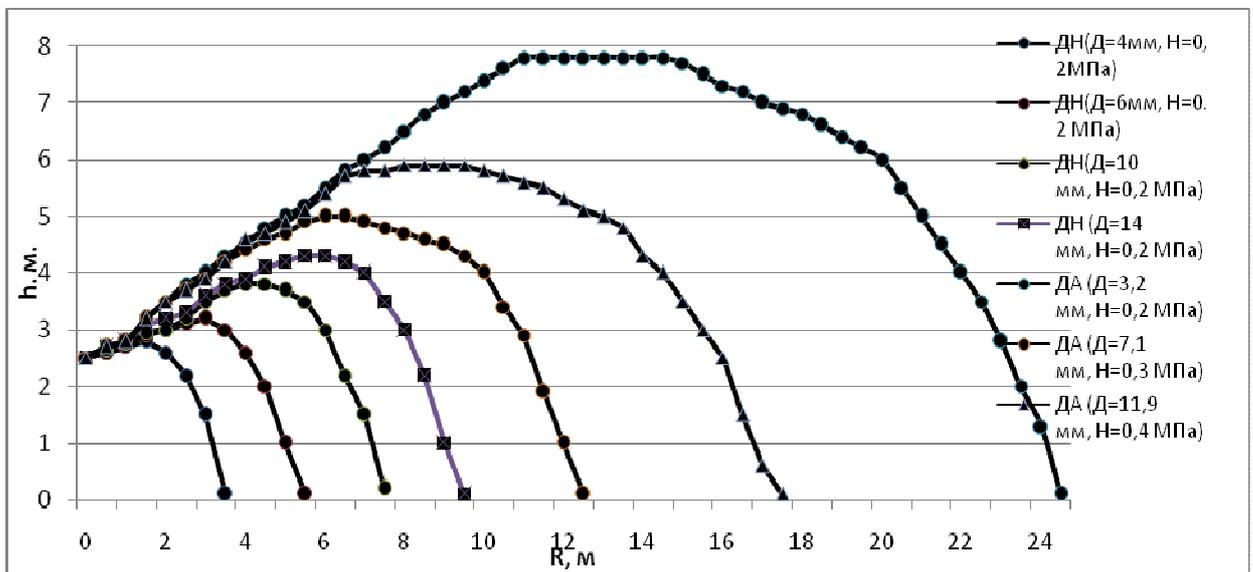


Рисунок 2.6. Траектория полета неподвижной струи дождевального аппарата (ДА) и дефлекторной насадки (ДН).

При небольшой скорости ветра от 1 до 3 м/с и средней крупности капель от 0,8 до 1,5 мм, наблюдается постепенное снижение горизонтальной скорости полета ( $V_0 \cos \alpha - V_{\text{в}}$ ). При попутном ветре увеличивается дальность полета струи. Встречный ветер

снижает дальность полета струи, и чем больше разница между скоростью ветра и скоростью полета капли, тем ощутимее влияние их друг на друга. Однако скорость полета каплей может быть меньше скорости встречного ветра, в этом случае наблюдается значительное уменьшение дальности ее полета (рисунок 2.7, кривая 2).

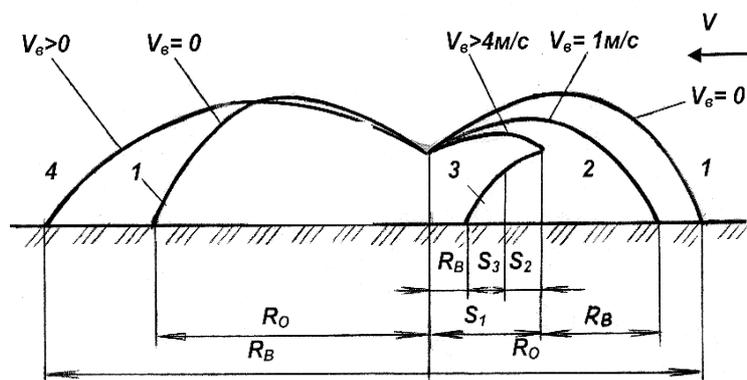


Рисунок 2.7 – Траектория капель дождя в зависимости от направления и скорости ветра

Уменьшение скорости полета капли происходит более интенсивно при увеличении скорости встречного ветра (рисунок 2.7, кривая 3) и в определенный момент времени  $\Delta t_1$ , горизонтальная скорость капли будет равна скорости ветра:

$$V_x = \frac{V_o \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha - V_B}{K_x \cdot a \cdot (V_o \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha - V_B) \cdot \Delta t_1 + 1} = V_B \quad (2.46)$$

Абсолютная скорость капли в данный момент будет равна нулю:  $V_{аб} = V_x - V_B = 0$ . Время наступления данного момента определяется решением уравнения (2.41) относительно  $\Delta t_1$ . Из уравнения (2.40) определяется расстояние полета капли на первом этапе.

Наступает полет капли в обратном направлении и абсолютная скорость увеличивается до величины скорости ветра. Время, за которое происходит разгон капли, с учетом количества движения капли:  $mV_B = F_B \cdot \Delta t_2$ .

Масса капли определяется ее объемом, это диаметр  $d$  и плотность воды  $\rho$  и равна:  $m = \pi d^3 / 6\rho$ .

$$F_B = \rho_B \cdot q \cdot V_B = \rho_B \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_B \quad (2.47)$$

Подставляя уравнение (2.35) и после преобразования получим:

$$\frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho \cdot V_B = \rho_B \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_B^2 \cdot \Delta t_2, \text{ отсюда: } \Delta t_2 = \frac{10d}{1,5\rho_B \cdot V_B} = 0,516 \frac{d}{V_B}, \quad (2.48)$$

где  $\rho_B$  – плотность воздуха,  $\rho_B = 1,29 \text{ г/см}^3$ .

Расстояние, которое пролетит капля за данный промежуток времени равно:  
 $S_2 = (V_B + 0) 0,5 \Delta t_2$ , тогда  $S_2 = V_B + 0,5 \Delta t_2$ .

На третьем этапе полета капли скорость ее полета определяется скоростью ветра. Промежуток времени  $\Delta t_3$  равен:  $\Delta t_3 = t_{\text{общ}} - \Delta t_1 - \Delta t_2$ .

Расстояние, которое пролетит капля на третьем этапе полета, равно:

$$S_3 = V_B \cdot \Delta t_3.$$

Общее расстояние полета капли в три этапа будет равно:  $R_B = S_1 - S_2 - S_3$ .

При полете капли попутно ветру различают два этапа полета капли (рисунок 2.7, кривая 4). Первый промежуток времени – скорость капли уменьшается до скорости ветра:

$$V_x = \frac{V_o \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha - V_B}{K_x \cdot a \cdot (V_o \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha - V_B) \cdot \Delta t_1 + 1} = V_B. \quad (2.49)$$

Время наступления данного момента определяется решением уравнения (2.13) относительно  $\Delta t_1$ . На первом этапе расстояние полета определяется из уравнения:

$$S_1 = \frac{X}{K_x \cdot a} \ln(K_x \cdot a \cdot V_o \cdot \cos \alpha_0 \cdot t + 1). \quad (2.50)$$

Скорость полета капли на втором этапе равна скорости ветра, а расстояние полета на втором этапе равно:  $S_2 = V_B \cdot \Delta t_2$ ,

где  $\Delta t_2$  – время полета капли на втором этапе и оно равно:  $\Delta t_2 = t_0 - \Delta t_1$ .

Общее расстояние полета капли равно:  $R_B = S_1 + S_2$ .

С использованием приведенных выше зависимостей проведен расчет радиуса полета струи дефлекторной насадки диаметром  $D = 8 \text{ мм}$  при напоре  $0,2 \text{ МПа}$  в зависимости от скорости ветра и его направления (рисунок 2.8). Расчеты показывают, что с увеличением скорости ветра радиус полива против ветра уменьшается, а при  $V_B = 5 \text{ м/с}$  и более принимает отрицательные значения, то есть

капля полностью сносится за точку ее установки (рисунок 2.8, а). С увеличением скорости ветра радиус полива за ветром повышается (рисунок 2.8, б).

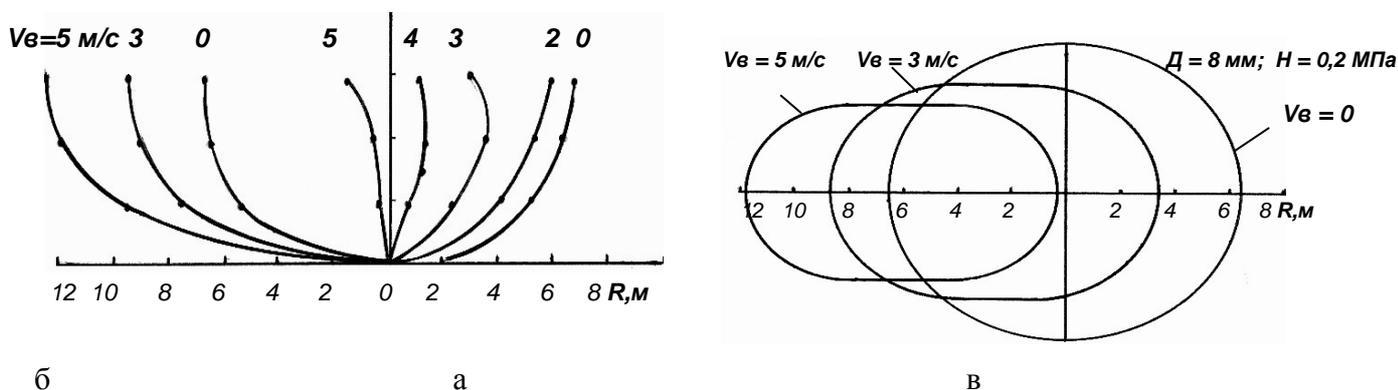


Рисунок 2.8 – Радиус полива на ветер (а) и против ветра (б) и площадь полива (в) дефлекторной насадки в зависимости от скорости ветра

Если между направлением потока капель дождя и направлением скорости ветра угол изменяется от  $0$  до  $180^\circ$ , то при определении дальности полета капель необходимо учитывать составляющие скорости по осям  $X$  и  $Y$ , а также уменьшение дальности полета капель в результате уменьшения коэффициента коллективного движения за счет выдувания капель дождя из общего потока. Причем максимальное уменьшение коэффициента коллективного движения будет при  $\alpha = 90^\circ$ , а минимальное – при  $\alpha = 0^\circ$  и при  $\alpha = 180^\circ$ . Изменение количества движения зависит от скорости ветра, массовости потока (определяется толщиной пленки или диаметром струи) и синуса угла между направлением ветра и скоростью ветра и в общем виде записывается:  $V_Y = V_B \sin \alpha \cdot d^x$ .

Скорость полета капли в общем виде равна

$$\text{по оси } X: V_X = (V_0 \varepsilon \cos \alpha \cdot \sin \alpha) - V_B \sin \alpha \cdot d^x, \quad (2.51)$$

$$\text{по оси } Y: V_Y = V_0 \varepsilon \cos \alpha \cdot \cos \alpha - V_B \cdot \sin \alpha \cdot d^x. \quad (2.52)$$

Скорость полета по оси  $X$  определяется соотношением скоростей капли и скорости ветра. Можно различить два варианта движения капли: первый вариант в зоне 1 при  $\alpha = 0 \dots 90^\circ$  и второй вариант в зоне 2 при  $\alpha = 90 \dots 180^\circ$ .

С использованием приведенных выше зависимостей, определены значения радиуса и контура полива струи для любых значений угла  $\alpha$  между направлением потока капель дождя и направлением скорости ветра (рисунок 2.8, в). Таким

образом, получены зависимости для расчета радиуса и площади полива струй при ветре.

### 2.3 Выводы

Предложена модель расчета  $E_{ис}$  дождевателя, которая учитывает метеорологические факторы ( $T$ , °С;  $\phi$ , %;  $V_v$ , м/с;  $D$ , мм), технологические параметры дождевателя (диаметр капель и эпюры распределения дождя на площади полива дождевателя, высота его установки). Разработана программа расчета на ЭВМ времени полета капель дождя, объема поданной воды и потерь воды на испарение для капель определенного размера и в целом отдельного дождевателя.

Получена зависимость для расчета потерь воды на испарение и снос (2.23), которая учитывает климатические параметры ( $T$ , °С;  $\phi$ , %;  $V_v$ , м/с и направление ветра вдоль трубопровода машины), а также конструктивно-технологические параметры дождевателей – высоту подъема дождевого облака над почвой, средний диаметр капель дождя, среднюю и мгновенную интенсивность дождя и частоту вращения аппарата. Расчеты показывают, что использование на ДМ «Фрегат» дефлекторных насадок позволяет снизить потери воды на испарение и снос в среднем с 15,6 % (у дождевальных аппаратов) до 11,7 %, в основном за счет снижения высоты дождевого облака с 5,6...8,0 м до 3,2...3,6 м.

Анализ распада и полета струи дефлекторной насадки позволил уточнить зависимости для расчета дальности полета и другие характеристики полива с учетом степени распыла струй, скорости ветра и высоты установки от поверхности почвы. Это позволило обосновать технологию приповерхностного дождевания и направления совершенствования дефлекторной насадки с целью повышения ветроустойчивости и равномерности полива при ветре, а также для обеспечения эрозионно-безопасной технологии полива.

### **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1 Программа исследований**

Для подтверждения ранее разработанных теоретических и технических предпосылок выполнялись полевые исследования. Они осуществлялись в три этапа:

I этап – исследование устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками;

II этап – определение эксплуатационных показателей УПД;

III этап – агротехнические показатели при поливе ДМ «Фрегат» с УПД с дефлекторными насадками.

I этап. Провести лабораторные исследования устройств приповерхностного дождевания (УПД) с дефлекторными насадками и определить расход воды, потери напора по длине УПД, радиус захвата дождем и высоту подъема капель дождя в зависимости от конструктивных параметров, рабочего напора и высоты установки дождевателя над поверхностью почвы. Получить показатели средней и мгновенной интенсивности дождя, распределения крупности капель и интенсивности дождя вдоль радиуса и на площади захвата дождем дефлекторной насадки.

II этап. Выполнить расчет карт настройки дефлекторных насадок на УПД для ДМ «Фрегат» различных модификаций, в том числе и для низконапорных машин. Изучить эксплуатационные показатели устройств приповерхностного дождевания, определить трудовые затраты на монтаж, демонтаж и регулировку высоты расположения дождевателя, металлоемкость устройств и др.

III этап. Определить расход воды ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками, оценить равномерность полива, потери воды на испарение и снос, норму полива до стока и сравнить с серийными дождевальными аппаратами. Изучить показатели надежности работы и вероятность засорения дефлекторных насадок. Определить

динамику влажности почвы на орошаемом участке и урожайность сельскохозяйственных культур при поливе ДМ «Фрегат» с серийными дождевальными аппаратами и с устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками. Дать экономическую оценку применения на ДМ «Фрегат» устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками.

### 3.2 Лабораторные исследования

Лабораторные исследования проводились в соответствии с требованиями РД 70.11.1–89 [125]. Был изготовлен стенд (рисунок 3.1), состоящий из электродвигателя с центробежным насосом 1, производящим забор воды из емкости 2 и подающего её в напорный трубопровод 3. Устройство приповерхностного дождевания с дефлекторной насадкой 7 установлено на кронштейне 6. Центробежный насос 1 забирал воду из бассейна 2 и под напором подавал в трубопровод 3 и напорный рукав 10, который подключен к устройству приповерхностного дождевания 7. Давление в трубопроводе 3 и перед устройством приповерхностного дождевания 7 замерялось образцовыми манометрами 4 ГОСТ 6521-60. Лишняя вода сбрасывалась трубой в емкость 2. Расход воды определялся объемным методом (рисунок 3.2). Краном 11 устанавливалось необходимое полное давление на выходе струи, которое замерялось путем ввода в струю трубки Пито на расстояние 3–5 мм от края насадки (рисунок 3.3). Далее на насадку устанавливали заборный колпак со шлангом. Объем воды замерялся мерным баком емкостью 40 л. Время наполнения бака фиксировалось секундомером ГОСТ 1197–70. Расход воды дефлекторной насадкой или аппаратом определялся по формуле

$$q = \frac{V}{t}, \quad (3.1)$$

где  $V$  – объем воды в мерном баке, л;  $t$  – время наполнения бака, с.

Определяя максимальный радиус захвата дождем дефлекторные насадки

(рисунок 3.1) устанавливались на устройстве приповерхностного дождевания на высоте от 0,6 до 2,5 м от поверхности почвы. Опыты проводились в полевых условиях при скорости ветра, близкой к нулю и гидротехнической лаборатории ВолжНИИГиМ. Максимальный радиус захвата дождем определялся от проекции оси дефлекторной насадки на поверхность поля до места падения крайних капель. Диаметр сопла изменялся от 4,0 до 16,0 мм, напор на выходе струи – от 0,07 до 0,58 МПа.

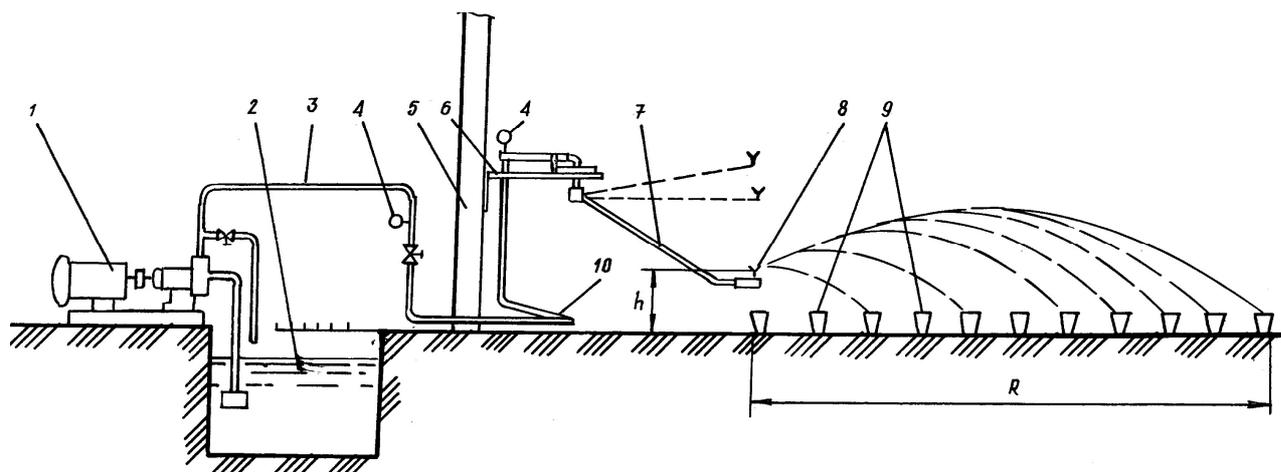


Рисунок 3.1 – Стенд для лабораторных испытаний оборудования, регулирующего высоту дождевания: 1 - центробежный насос; 2 - емкость для воды; 3 - напорный трубопровод; 4 - манометр образцовый; 5 - стена лаборатории; 6 - кронштейн; 7 - устройство приповерхностного дождевания; 8 - испытываемый рабочий орган; 9 - дождемеры; 10 - напорный рукав; 11- регулирующий кран.



Рисунок 3.2 – Замер расхода воды дефлекторной насадки объемным методом.



Рисунок 3.3 – Замер динамического напора при помощи трубки Пито на выходе струи из дефлекторной насадки.

Время оборота аппарата вокруг своей оси замерялось секундомером ГОСТ 1197-70. Частота вращения аппарата определялась по формуле:

$$n = \frac{60}{t_o}, \quad (3.2)$$

где  $t_o$  – время вращения аппарата вокруг своей оси, с.

Средняя действительная интенсивность дождя струи или дефлекторной насадки  $\rho_d$  определялась делением расхода воды  $q$  на мгновенную площадь полива струи  $\Pi_c$  или насадки  $\Pi_n$  по формулам

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

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

где  $q$  – расход воды, л/с;

$R$  – радиус полива струи или дефлекторной насадки, м;

$B$  – максимальная ширина захвата струи, м.

В зоне выпадения большого объема дождя определялась максимальная ширина захвата струи  $B$ .

При помощи обеззоленных бумажных фильтров, натертых чернильным порошком определялся диаметр капель дождя. По тарировочной кривой

устанавливается связь между отпечатком капель и их диаметром [42, 112] (рисунок 3.4).

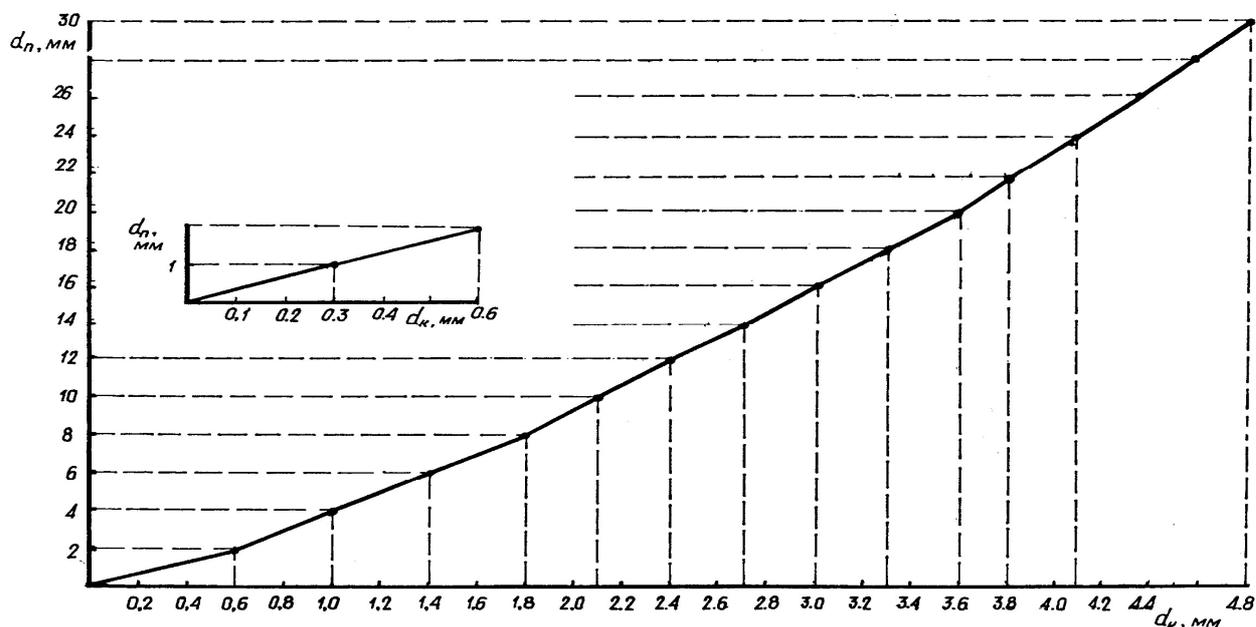


Рисунок 3.4 –Тарировочная кривая для определения диаметра капли дождя по диаметру пятна на фильтровальной бумаге

При исследовании дефлекторной насадки с регулировочной дюзой определялся напор на выходе струи в зависимости от напора перед дождевателем, диаметра отверстия сопла и диаметра отверстия регулировочной дюзы. Дождемеры при определении эпюр распределения слоя дождя вдоль радиуса захвата дождем дефлекторной насадки располагались в секторе круга по радиусам с центральным углом  $5...30^\circ$  от оси насадки (рисунок 3.5) или рядами по углам квадрата с интервалом  $0,5...1,0$  м (рисунок 3.6).

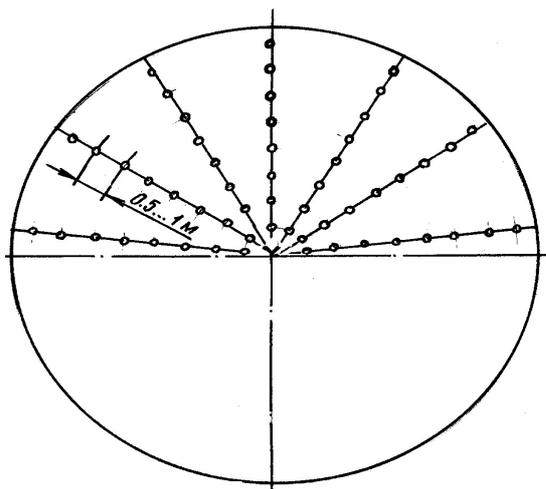
Нормативная интенсивность дождя в  $i$ -й точке радиуса захвата дождя определялась по формуле:

$$\rho = \frac{\rho_i}{\rho_c} \quad (3.5)$$

где  $\rho_c$  – средняя интенсивность дождя вдоль радиуса захвата дождем, мм/мин;

$\rho_i$  – интенсивность дождя в  $i$ -й точке радиуса захвата дождем, мм/мин.

а



б

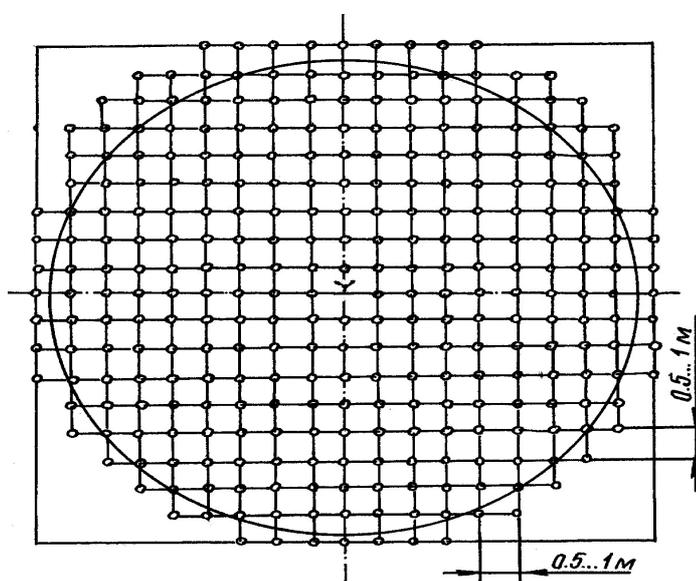


Рисунок 3.5 – Схема расстановки дождемеров по радиусам с центральным углом  $5-30^0$  (а) и по квадратной схеме (б) для определения распределения дождя при поливе дефлекторной насадкой

Равномерный полив дефлекторной насадкой оценивался распределением интенсивности дождя вдоль радиуса действия струи следующими показателями:

1. Коэффициентом эффективного полива, рассчитаным по РД 70.11.1–89 [125].
2. Коэффициентом неравномерности полива дефлекторной насадки [15]:

$$K_H = \frac{\sum(|\rho_i - \rho_c|) \cdot K_i}{\rho_c \cdot \sum K_i} \quad (3.6)$$

где  $K_i$  – коэффициент площади дождемера, оценивающего  $i$ -ю точку радиуса.

3. Коэффициент равномерности по Кристиансену:

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

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

По разработанной в ВолжНИИГИМе специальной программе рассчитывалось распределение интенсивности дождя вдоль радиуса захвата дождем. Соответствие теоретических расчетов фактическим значениям распределения дождя дефлекторной насадки, оценивалось  $\chi^2$ -критерием [58]:

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

где  $\rho_{\text{ф}}$ ,  $\rho_{\text{т}}$  – фактическое и теоретическое значение интенсивности дождя в  $i$ -й точке радиуса полива, мм/мин.

### 3.3 Полевые исследования

Полевые исследования проводились на полях ОПХ «ВолжНИИГиМ» (рисунок 3.6), а также на полях ООО «ВИТ», ЗАО «АФ «Волга», АО «Энгельское» и др. В ОПХ «ВолжНИИГиМ» подача воды осуществлялась стационарной подкачивающей насосной станцией с помощью двух насосных агрегатов СПС-70/80 (агрегат 6НДв и агрегат СПС-200/50). Оросительная сеть выполнена из стального трубопровода диаметрами: 400 мм, длина которого составляет 600 м, 300 мм – длина 1870 м и 250 мм – длина 1540 м.

Техника полива представлена дождевальными машинами «Фрегат» модификаций ДМУ. Система задвижек А, В, С, D на напорном коллекторе насосной станции позволяет реализовать различные варианты работы дождевальных машин в зависимости от производственной необходимости. Через задвижку E к системе подключен посторонний потребитель.

В соответствии с требованиями РД 70.11.1–89 «Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний» проводилась агротехническая

оценка работы ДМ «Фрегат» с серийными дождевальными аппаратами и с устройствами приповерхностного дождевания.

Выдаваемый машиной расход воды  $Q_m$ , определяется как сумма расходов каждого дождевателя  $Q_a$ , расходов на привод гидроцилиндров тележек  $Q_r$  и протечки в трубопроводе машины  $Q_p$ :

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

После прохода ДМ «Фрегат» фактическая средняя норма полива определялась по формуле

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

где  $h_c$  – средний слой дождя на участке полива, мм.

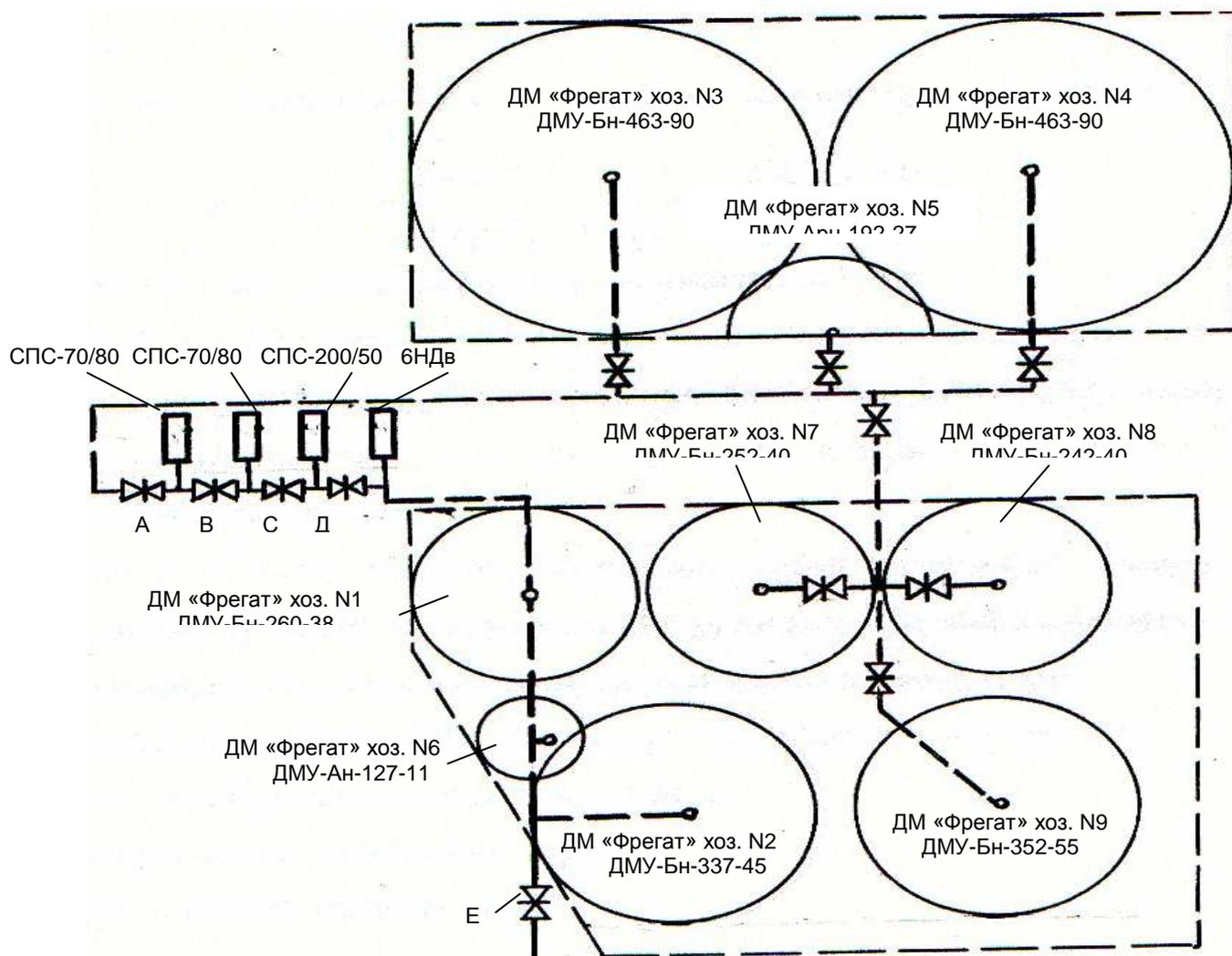


Рисунок 3.6 – Схема орошаемого участка в ОПХ «ВолжНИИГиМ»

По частотному графику распределения слоя дождя вдоль трубопровода определялись коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного

полива машины «Фрегат» [112]. Значения коэффициентов площади под каждым дождемером, которые зависели от положения дождемера относительно начала трубопровода использовались при построении частотного графика [124]. Площадь полива под  $i$ -м дождемером (Рисунок 3.7) при установке в рядах равнялась:

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

где  $R_i, R_{i+1}$  – величина радиуса от неподвижной опоры до центра интервала между  $i+1$ -м и  $i$ -м дождемером, м;

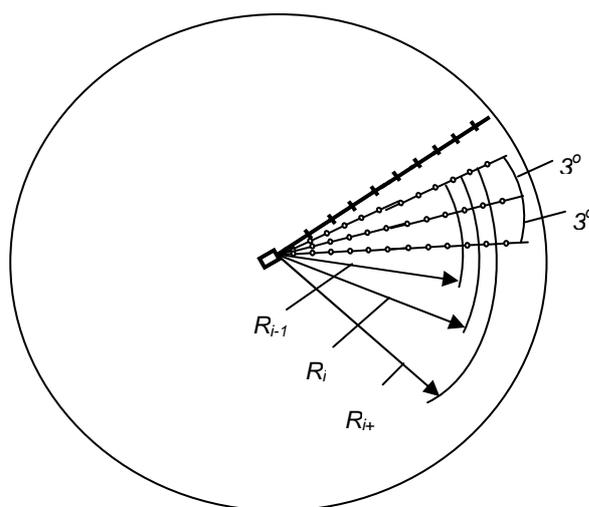


Рисунок 3.7. Схема расстановки дождемеров для оценки равномерности полива ДМ «Фрегат» и радиусы определения коэффициента площади под  $i$ -ым дождемером

Отношение площади  $i$ -го кольца к площади первого кольца обозначили коэффициентом площади дождемера  $K_i$ :

$$K_i = \frac{S_i}{S_1}. \quad (3.12)$$

Значения коэффициентов площади подчиняются арифметической прогрессии и для дождемеров 1, 2, 3, 4, 5... принимают целые значения  $K_i = 1, 3, 5, 7, 9...$

Для оценки равномерности полива расчет частотного графика выполняли в следующей последовательности:

1. На участке поля определяли распределение слоя дождя:

$$h = \frac{10 \cdot V}{F}, \quad (3.13)$$

где  $h$  – слой дождя, мм;

$V$  – объем воды в дождемере, мл;

$F$  – приемная площадь дождемера, см<sup>2</sup>.

2. По выбранным минимальным  $h_{\min}$  и максимальным  $h_{\max}$  значениям слоя дождя определяли величину интервала по формуле:

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

где 10...12 – принимаемое число интервалов.

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

4. Проводили расчет вспомогательной таблицы, где в специальные графы и заносили расчетные значения суммы коэффициентов площади ( $K_i$ ) и объем воды по каждому интервалу.

5. По данным таблицы строили частотный график (рисунок 3.8) распределения слоя дождя. На частотном графике определяли средний слой дождя и отклонение от него в пределах  $0,75 h_c$  и  $1,25 h_c$  (допуск  $\pm 25\%$ ) – это площадь эффективного полива  $F_{\text{эф}}$ . Слева от нее – площадь недостаточного полива  $F_{\text{нед}}$ , справа – площадь избыточного полива  $F_{\text{из}}$ . Численные значения этих площадей определяли планметрированием частотного графика. Отношение указанных площадей к общей площади, равной  $F_{\text{об}} = F_{\text{эф}} + F_{\text{нед}} + F_{\text{из}}$ , дает соответствующие значения коэффициентов распределения дождя [60].

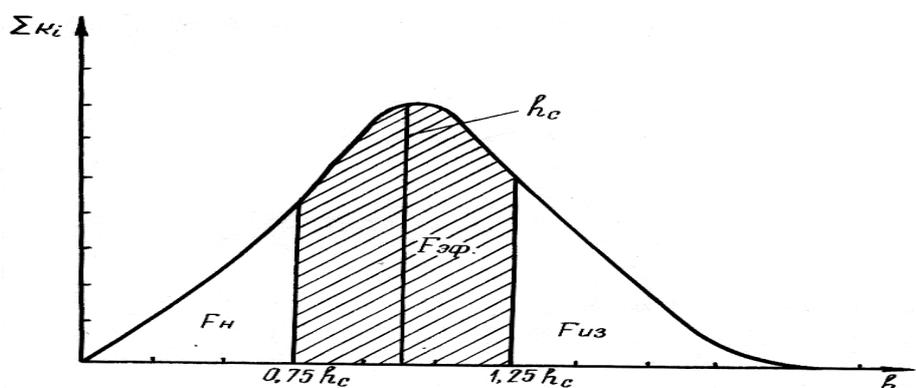


Рисунок 3.8 – Частотный график распределения слоя дождя вдоль дождевальная машины «Фрегат»

Равномерность полива на отдельных пролетах машины, где число замеров составляет 30–40 единиц (небольшие участки) оценивалась коэффициентом вариации [29]:

$$KB = \left( \frac{\sigma}{h_c} \right) 100\% \quad (3.15)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение, 
$$\sigma = \left[ \frac{(h_i - h_{cp})^2}{n - 1} \right]^{0.5};$$

$h_i, h_{cp}$  – слой дождя в  $i$ -ом дождемере и средний на участке полива, мм;

$n$  – число измерений слоя дождя.



Рисунок 3.9 – Расстановка дождемеров вдоль водопроводящего трубопровода дождевальной машины «Фрегат»

По манометру определяли давление на входе в машину и записывали на самописце МТ-10 ГОСТ 1067–70. В течение опыта также замерялась скорость ветра ручным анемометром ГОСТ 6376–52, который устанавливался на расстоянии 100–200 м от машины на высоте 2 м.

Теоретическую норму полива ДМ «Фрегат» определяли по формуле [62]:

$$m_T = 5,5 \cdot \frac{m_{\min}}{n}, \quad (3.16)$$

где  $m_{\min}$  – норма полива данной модификации машины при цикличности гидроцилиндра последней тележки 5,5 хода в минуту, мм;

$n$  – число ходов гидроцилиндра последней тележки, ход/мин.

Потери дождя и сноса ветром определяли по формуле [7, 62,71,]:

$$E_{ис} = \frac{m_p - m_{\phi}}{m_{\phi}} \cdot 100\%, \quad (3.17)$$

где  $m_p, m_{\phi}$  – расчетная и фактическая поливная норма, мм.

При помощи дождемеров и мерной мензурки сразу после полива машиной определяли фактическую поливную норму, а расчетная поливная норма определялась как средняя в зоне полива дождевальной насадки по формуле:

$$m_p = \frac{6qR_r}{l \cdot n \cdot R_a}, \quad (3.18)$$

где  $q$  – расход воды аппарата (УПД с дефлекторной насадкой) л/с;

$n$  – количество ходов гидроцилиндра последней тележки, ход/мин;

$R_m, R_a$  – расстояние от неподвижной опоры до последней тележки и до устройств приповерхностного дождевания с дефлекторной насадкой, м;

$l$  – путь передвижения тележки за 1 ход гидроцилиндра,  $l = 0,164$  м.

Норма полива до стока в зоне полива различных аппаратов и дефлекторных насадок определялась по моменту образования устойчивых луж на поверхности поля. При проведении опыта определялись: средняя и мгновенная интенсивность дождя; средний диаметр капель дождя; слой дождя за один оборот аппарата; коэффициент неравномерности полива; тип почв; механический состав в слое 0–50 см; объемная масса почвы по слоям и в слое 0–50 см; уклон поверхности почвы; предполивная влажность почвы в слое 0–50 см; наличие почвенной корки; доза внесенного навоза; вид сельскохозяйственной культуры; вид основной и дополнительной обработки почвы; степень эродированности почвы.

Средняя интенсивность дождя с перекрытием струй при установке дефлекторных насадок на ДМ «Фрегат» определялось по формуле:

$$\rho_c = \frac{60 \cdot q}{2R \cdot \ell} = \frac{30 \cdot q}{R \cdot \ell}. \quad (3.19)$$

Частота засорения насадки ( $\text{Ч}_3$ ) дождевального аппарата или дефлекторной насадки в полевых условиях в полевых условиях определялась по формуле

$$\text{Ч}_3 = (\text{Н}_3 / \text{Н}) 100 \%, \quad (3.20)$$

где  $\text{Н}_3$ ,  $\text{Н}$  – число засоренных и общее число насадок данного диаметра на обследуемых машинах после определенного времени работы, шт.

Набором сит ГОСТ 25584 – 83 определялся фракционный состав наноса в трубопроводе машины.

Влажность почвы определяли термо-весовым способом [86] до и после поливов в слое 0–100 см через 10 см в трехкратной повторности. Расчет влажности почвы проводился по формуле

$$B = \frac{100 \cdot a}{b}, \quad (3.21)$$

где  $B$  – полевая влажность, %;

$a$  – масса испарившейся влаги, г;

$b$  – масса сухой почвы, г.

Для оценки эффективности работы и соблюдения принципа единственного различия дождевальные машины «Фрегат» в ОПХ ФГНУ «ВолжНИИГиМ» и АО «Энгельское» оборудовались дождевателями различных типов: дождевальными аппаратами и устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками. Схема заложения опытов на ДМ «Фрегат» в ОПХ ФГНУ «ВолжНИИГиМ» приведена на рисунке 3.10. Для того чтобы полив проводился одновременно по вариантам, опытные участки располагались по радиусу (рисунок 3.11). Площадь опытной делянки - 500 м<sup>2</sup> (25 x 20 м).

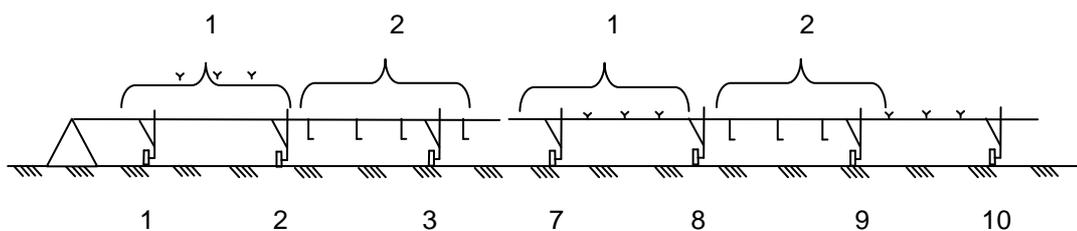


Рисунок 3.10 – Схема расположения серийных дождевальных аппаратов (1) и устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками (2) на ДМ «Фрегат»

При выборе местоположения опытных площадок учитывалась однородность почвенного покрова, рельефа и технология возделывания сельскохозяйственных культур. Урожай по каждому варианту опыта определялась методом учетных площадок размером  $0,25\text{ м}^2$  (четырёхкратная повторность на каждой делянке, всего - шестнадцатикратная повторность по варианту). Учетные площадки размещались по таблице случайных чисел.

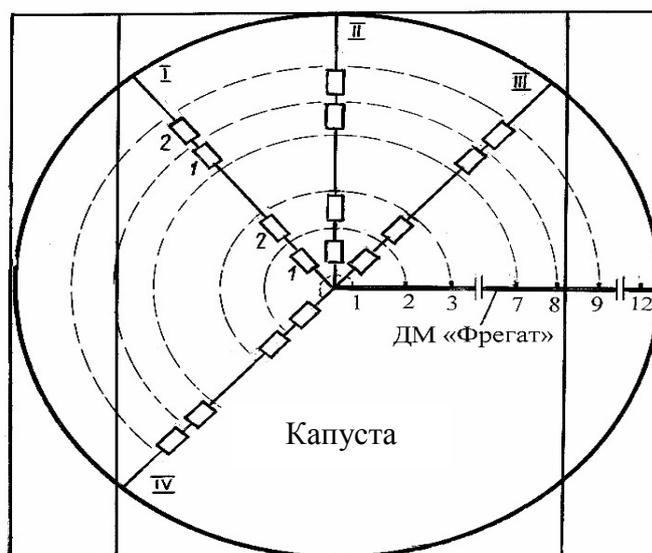


Рисунок 3.11 – Схема размещения опытных делянок под дождевальной машиной «Фрегат» хоз. № 2 при поливе серийными дождевальными аппаратами (1) и устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками (2): I...IV – номер створа; 1...12 – номер тележки.

В АО «Энгельское» урожайность капусты определялась на площадках размером  $1\text{ м}^2$  под каждым видом дождевателей. На каждой делянке повторность была десятикратная.

При изучении технико-экономических показателей работы машин «Фрегат» определялись:

Часовая производительность машины [25, 26, 84]:

$$P_{\text{ч}} = \frac{3,6Q_{\text{м}} K_{\text{и}}}{m(1+0,01E_{\text{ис}})}, \quad (3.22)$$

где  $P_{\text{ч}}$  – часовая производительность машины, га/ч;

$Q_{\text{м}}$  – расход воды машины, л/с;  $m$  – норма полива, м<sup>3</sup>/га;

$K_{\text{и}}$  – коэффициент использования машины;

$E_{\text{ис}}$  – потери воды на испарение и унос ветром, %.

Подаваемый машиной расход воды, определялся как сумма расходов дождеобразующего устройства  $Q_{\text{а}}$  и расхода воды через гидроцилиндры тележек  $Q_{\text{г}}$ :

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{а}} + Q_{\text{г}}, \quad (3.23)$$

Экономические показатели использования машин «Фрегат» определялись в соответствии с ОСТ 70.2.19–73 и включали следующие характеристики:

1. Затраты труда на единицу выполняемого объема работ [84]:

$$З = \frac{n}{P_{\text{ч}} \cdot K_{\text{и}}}, \quad (3.24)$$

где  $n$  – количество человек, занятых на обслуживании 1 машины, чел.

2. Эксплуатационные издержки [114]:

$$И = З + А + Р + С + Х, \quad (3.25)$$

где  $З$  – затраты труда на дождевальную машину, руб./га;

$А$  – амортизационные отчисления, руб./га;

$Р$  – отчисления на ремонт, руб./га;

$С$  – стоимость горюче-смазочных материалов, руб./га;

$Х$  – затраты на хранение машины, руб./га.

### 3.4 Обработка результатов экспериментальных исследований

Для оценки достоверности экспериментальных данных применены методы математической статистики [29, 35] и теории случайных ошибок [55]. Все экспериментальные значения параметров обрабатывались методами математической статистики. Параметры характеризовались:

– средней величиной распределения:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (3.26)$$

где  $X_i$  – результат отдельного измерения;  $n$  – число измерений;

– дисперсией распределения:

$$D = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}; \quad (3.27)$$

– среднеквадратичным отклонением:

$$\sigma = D^{0.5}; \quad (3.28)$$

– коэффициентом вариации:

$$KB = \frac{100 \cdot \sigma}{\bar{X}}; \quad (3.29)$$

– точностью опыта:

$$P = \frac{100 \cdot \sigma}{\bar{X} \cdot n^{0.5}}. \quad (3.30)$$

Для определения корреляционной и статистической зависимости между переменными  $X$  и  $Y$  проводили  $n$ -е число парных наблюдений и вычисляли коэффициент парной корреляции. Коэффициенты регрессии определялись методом наименьших квадратов:

$$(Y_i - Y_p)^2 = \min, \quad (3.31)$$

где  $Y_i$  - фактическое значение зависимого показателя;

$Y_p$  - расчетные значения, найденные из уравнения регрессии.

Для определения коэффициентов линейного уравнения вида:

$$Y = \bar{Y} - B_{XY}(X - \bar{X}),$$

где  $X$ ,  $Y$  – средние арифметические для ряда замеров  $X$ ,  $Y$  используем формулу [74]:

$$B_{xy} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})} \quad (3.32)$$

Данное уравнение было использовано для определения математической зависимости между коэффициентом совершенства конструкции аппарата и коэффициентом расхода воды.

Для описания эпюр распределения интенсивности дождя вдоль радиуса полива использовали бета-распределение [162]:

$$f(R) = \begin{cases} \frac{F(\gamma + \eta)}{F(\gamma) \cdot F(\eta)} \cdot R^{\gamma-1} \cdot (1-R)^{\eta-1}; & 0 \leq R \leq 1; \eta > 0; \gamma > 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (3.33)$$

Параметры  $\gamma$  и  $\eta$  связаны со средней величиной  $X$  и среднеквадратичной величиной распределения  $\sigma$  следующими зависимостями:

$$\eta = \frac{(1-X)}{\sigma^2} [X(1-X) - \sigma^2] \quad (3.34)$$

$$\gamma = \frac{X\eta}{1-X} \quad (3.35)$$

Относительная величина радиуса полива, которому соответствует максимальная величина эпюры распределения дождя, определяется по формуле:

$$\left( \frac{X_i}{R} \right)_{\max} = \frac{\gamma-1}{(\gamma+\eta+2)} \quad (3.36)$$

Средняя относительная ошибка аппроксимации определялась по формуле:

$$e = 1 / N \cdot \left( \sum_{i=1}^N \left| Y_{\phi i} - Y_{p i} \right| / Y_{p i} \right) \cdot 100\% \quad (3.37)$$

Остаточная дисперсия:

$$D_{\text{ост}}^2 = \sum (Y_{\phi} - Y_p)^2 / (N - V - 1), \quad (3.38)$$

где  $V$  - количество факторов.

Оценка адекватности уравнения регрессии осуществлялась по критерию Фишера [74]:

$$F = D^2 / D_{\text{ост}}^2, \quad (3.39)$$

где  $D^2 = \sum (Y_i - Y)^2 / (N - 1)$  – общая дисперсия.

Коэффициент множественной корреляции [77]:

$$R_m = (1 - D_{\text{ост}}^2 / D^2)^{0.5}. \quad (3.40)$$

где  $D_{\text{ост}}^2$  – остаточная дисперсия;  $D^2$  – общая дисперсия.

## **4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК И ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН «ФРЕГАТ», ОБОРУДОВАННЫХ УСТРОЙСТВАМИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДОЖДЕВАНИЯ**

### **4.1 Расход воды дефлекторной насадкой**

Значения коэффициента и величина расхода воды дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок приведены в работах С.П. Казакова [56], И.Д. Федоренко [65, 66], Б.М. Лебедева [70], П.М. Степанова [140].

По данным Б.М. Лебедева [70], коэффициент расхода дефлекторной насадки можно принять равным:  $\mu = 0,8$ , если кромка отверстия имеет фаску и  $\mu = 0,9$ , если кромка отверстия закруглена.

По данным П.М. Степанова [140], коэффициент расхода дефлекторной насадки в среднем составляет  $\mu = 0,80...0,94$  и зависит от угла конуса  $\alpha$  дефлектора. Для тепличных дефлекторных насадок при  $\alpha = 60...150^\circ$ ,  $\mu = 0,894...0,80$ .

Коэффициент расхода среднеструйных дождевальных аппаратов «Фрегат» находится в пределах  $0,94...0,97$  [114]. Использование на дождевальных машинах дефлекторных насадок позволит при аналогичном расходе воды увеличить диаметр сопла и уменьшить вероятность засорения насадок.

В устройствах приповерхностного дождевания вода к дефлекторной насадке подается по трубам, которые могут иметь несколько поворотов. Поэтому для обеспечения требуемого расхода воды необходимо учитывать потери напора по длине УПД, а при выборе диаметра регулировочной дюзы следует уточнить формулу расчета, так как изменяется способ подвода воды [130]. У серийных ДМ «Фрегат» дождеватели устанавливаются перпендикулярно к оси трубопровода машины и к направлению скорости движения воды, подвод воды боковой. В устройствах приповерхностного дождевания направление скорости потока воды совпадает с осью дождевателя, а радиальная составляющая скорости движения жидкости отсутствует.

Расход воды является одной из наиболее важных характеристик насадок и определяет технологические показатели дождевателей.

Исследованиями установлено (приложение В, таблица 1), что при увеличении диаметра насадки с 4 до 16 мм и напора с 0,1 до 0,3 МПа расход воды увеличивается с 0,1 до 4,1 л/с и соответствует расходу воды серийных дождевальных аппаратов «Фрегат» № 1, 2, 3 и 4.

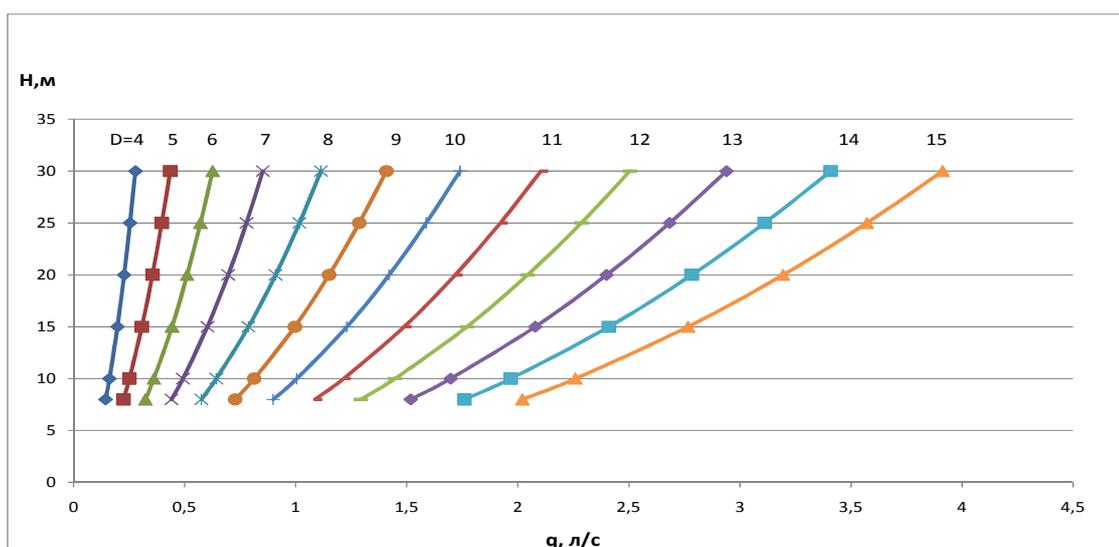
Среднее значение коэффициента расхода воды для всех дефлекторных насадок принимаем 0,913. Формула для расчета расхода воды дефлекторными насадками с учетом установки на УПД принимает вид:

$$q = \frac{\mu \cdot D^2 (H)^{0.5}}{287 \cdot 595} = \frac{D^2 \cdot H^{0.5}}{315}, \quad (4.1)$$

где  $q$  – расход воды, л/с;  $\mu$  – коэффициент расхода;

$D$  – диаметр насадки, мм;  $H$  – напор воды струи, МПа.

Расходно-напорная характеристика дефлекторной насадки представлена на рисунке 4.1. Исследованиями установлено, что при установке дефлекторных насадок на устройствах приповерхностного дождевания коэффициент расхода воды увеличивается на 4,9 % в сравнении с монтажом на трубопроводе машины. Это связано с изменением направления подвода воды к насадке с бокового в трубопровод на прямой по трубам устройств приповерхностного дождевания и изменением высоты водовыпуска с 2,15 до 0,6 м.



Очевидно, что с изменением диаметра истечения изменение напора более ощутимо сказывается на расходе, это в первую очередь объясняется значительным удалением дождеобразующего устройства от основного водовода на трубе меньшего диаметра. Следовательно, падение давления на расходах насадок с меньшим диаметром будет менее выражено.

Полученные данные легли в основу назначения необходимых диаметров для конкретных номеров насадок.

#### **4.2 Потери напора по длине устройства приповерхностного дождевания**

При определении потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания (УПД) с дефлекторной насадкой, имеющей регулировочную дюзу, фиксировались следующие характеристики: диаметр насадки и регулировочной дюзы; напор на трубопроводе и на выходе струи. Исследования потерь напора проводились на четырех типах УПД. Первый тип УПД включает трубу  $D_y$  15 мм и напорный рукав диаметром 18 мм, второй тип включает трубу  $D_y$  20 мм и напорный рукав диаметром 18 мм, третий тип включает трубу  $D_y$  25 мм и напорный рукав диаметром 18 мм, четвертый тип УПД включает напорный рукав и стальную трубу диаметром 25 мм.

Данные напоров в трубопроводе машины, перед дефлекторной насадкой и на выходе струи приведены в приложении В, таблица 2.

На рисунке 4.2 показано изменение потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания в зависимости от подаваемого расхода воды и условного диаметра труб (типа УПД).

При увеличении расхода воды, проходящего через УПД первого типа (I), до 1 л/с потери напора по его длине увеличиваются до 7 м. Для УПД второго (II) и третьего(III) типа при таком же расходе воды потери напора ниже и составляют соответственно 6 и 4 м.

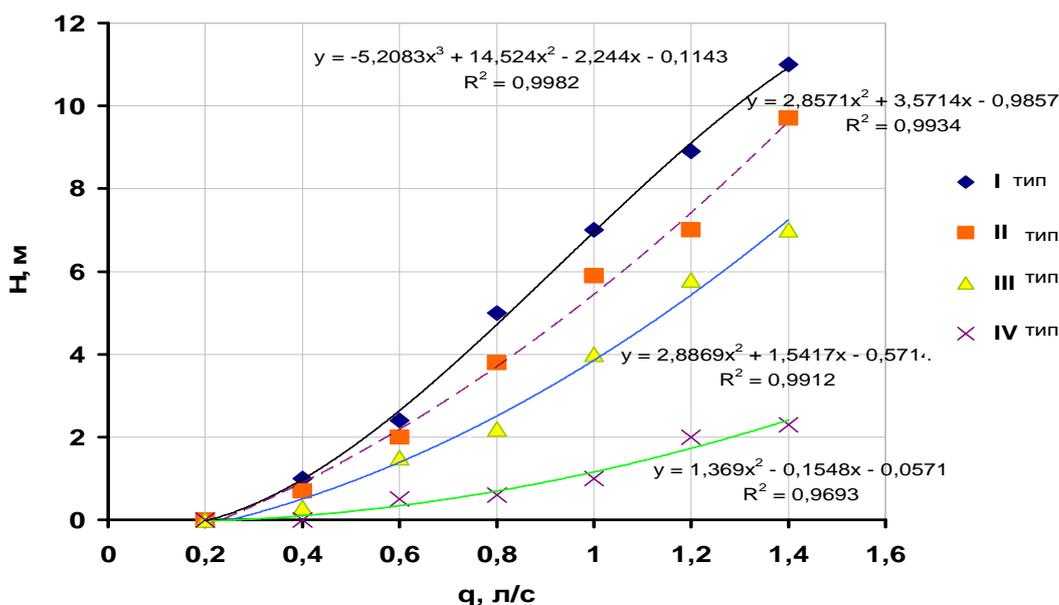


Рисунок 4. 2 – Экспериментальные значения потерь напора по длине устройства при поверхностного дождевания типа I, II, III и IV в зависимости от расхода воды

Минимальные потери напора по длине имеют УПД четвертого типа (IV), где использовались напорный рукав и стальная труба диаметром 25 мм. В этом случае рабочий расход воды увеличивается до 1,5...2 л/с, а потери напора находятся в пределах 3...5 м.

С увеличением расхода воды и при уменьшении диаметра труб потери напора по длине устройства при поверхностного дождевания увеличиваются. Определим потери напора по длине УПД:

$$\Delta h = a \cdot q^b, \quad (4.2)$$

где  $q$  – расход воды насадкой, л/с;  $a = 7$ ;  $b = 2,058$  – для УПД I типа;  
 $a = 5,8$ ;  $b = 1,97$  – для УПД II типа;  $a = 4$ ;  $b = 1,72$  – для УПД III типа;  
 $a = 1,45$ ,  $b = 1,469$  – для УПД IV типа (приложение В, таблицы 3–6).

Результаты исследований показывают, что для снижения потерь напора по длине трубопровода с расходом воды дефлекторной насадкой в пределах 0,1...0,7 л/с наиболее целесообразно использовать трубу диаметром 25 мм.

Для расчета карт настройки дефлекторных насадок при установке на УПД необходимо использовать уравнение для определения диаметра калибровочного отверстия дюзы по ранее проведенным исследованиям [38, 176].

### 4.3 Радиус захвата дождем при поливе дефлекторной насадкой

Максимальный радиус действия неподвижной струи дождевальными аппаратами в зависимости от диаметра насадки, напора на выходе струи и угла наклона струи к горизонту исследовали Ф.И. Пиколов, А.И. Дидебулидзе, Б.М. Лебедев, А.П. Исаев, В.М. Марквандзе, И. Гавырин, Цункер, Имре Надь, Кох, А.И. Козлов и др. [5]. Для расчета дальности полета струи имеется ряд формул. Наиболее удобной для расчета является формула Б.М. Лебедева [67], Ф.И. Пикалова [113], В.М. Марквардзе [83]. Для дождевальных дефлекторных насадок типа КДУ и ДДА-100МА радиус захвата дождем при  $0,2 < H/d < 2,0$  можно определить по формуле Б.М. Лебедева [70]:

$$R = H(0,43 + 0,14 H/d), \quad (4.3)$$

где  $R$  – радиус захвата дождем, м;

$H$  – напор на выходе насадки, м вод. ст.;

$d$  – диаметр насадки, мм.

Радиус захвата дождем дефлекторных насадок конструкции ВолжНИИГиМ [130] имеет вид:

$$R = H(0,728 + 0,942 \cdot H/d), \quad (4.4)$$

Приведенные выше зависимости для определения радиуса полива насадок с УПД не подходят, так как не учитывают изменения расходно-напорных характеристик и изменения влияния ветра.

Зависимость радиуса захвата дождем полученная А.Г. Васильевым [19] для малорасходных дефлекторных насадок, используемых в теплицах, не может быть применена для высокорасходных насадок, которые применяются на дождевальных машинах. Исследования С.П. Ильина [52], Б.М. Лебедева [67] показывают, что значения расхода воды и радиуса захвата дождем зависят от напора, диаметра сопла, формы, размеров и угла дефлектора, а также от геометрических размеров подводящего ствола. Так как конструктивные размеры дефлекторных насадок, разработанных в ВолжНИИГиМ, отличаются от насадок ДДА-100МА, ранее

разработанных и испытанных, то необходимы исследования для уточнения данных значений.

В результате исследований установлено, что для дефлекторных насадок радиус захвата дождем зависит от диаметра сопла, напора перед насадкой и высоты установки над поверхностью поля (приложение В, таблица 7).

Максимальный радиус захвата дождем дефлекторной насадки при изменении диаметра сопла от 6 до 16 мм при напоре 0,3 МПа составляет 6,0...11,5м. Радиус захвата дождем  $R$  дефлекторной насадки определяется следующей формулой:

$$R = \frac{(0,92 + 0,02h)100H}{(0,695 + 94H/D)} \quad (4.5)$$

где  $R$  – радиус полива, м;

$H$  – напор на выходе струи, МПа;

$D$  – диаметр насадки, мм;

$h$  – высота установки дефлекторной насадки, м.

Для достаточного перекрытия струй и хорошей равномерности полива УПД на пролетах ДМ «Фрегат» должны быть установлены по учащенной схеме, через 5- 6м для 25 и 30-метровых пролетов.

#### **4.4 Средняя и мгновенная интенсивность дождя при поливе дефлекторной насадкой**

Мгновенная интенсивность дождя, так же как и средняя интенсивность, оказывает большое влияние на величину нормы полива до стока. Средняя мгновенная интенсивность дождя определялась отношением расхода воды и мгновенной площади полива струи  $\Pi_n$  по формуле (3.4).

Вдоль машины «Фрегат» радиус захвата дождем дефлекторной насадки изменяется в пределах от 3,0 до 10,9 м и поэтому средняя интенсивность дождя

изменяется от 0,30 до 1,1 мм/мин (рисунок 4.4). Средняя мгновенная интенсивность дождя УПД в 3–4 раза меньше, чем у насадок.

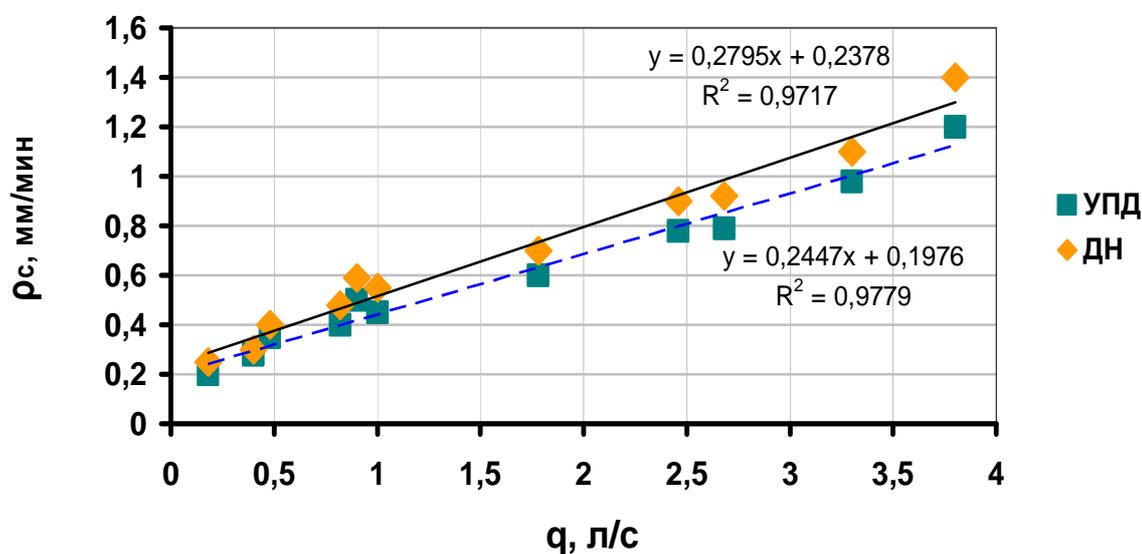


Рисунок 4.3 – Изменение средней интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками и УПД

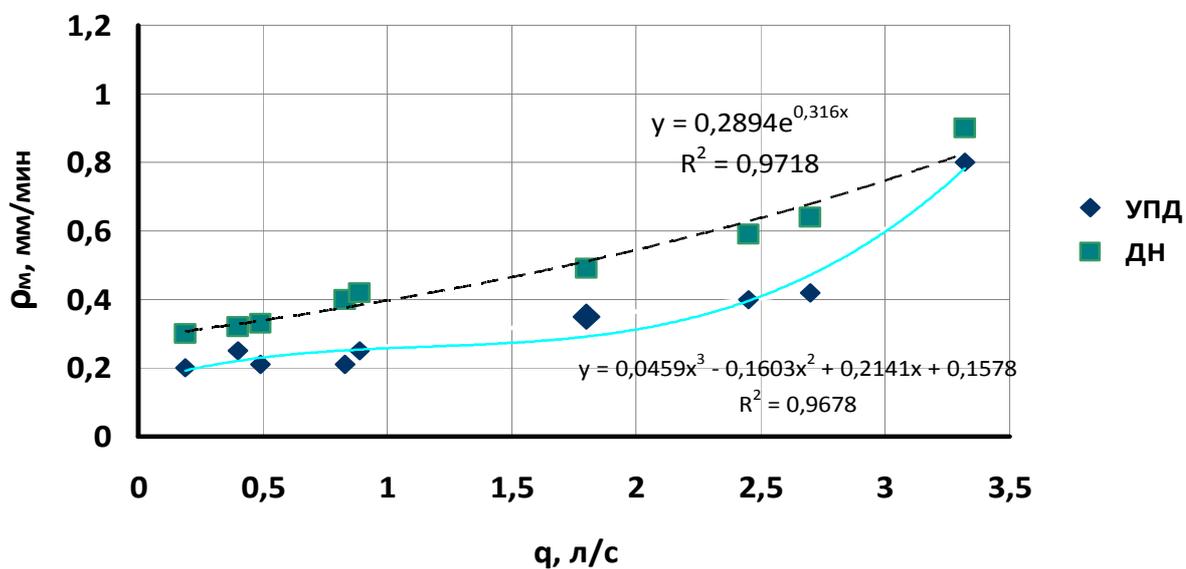


Рисунок 4.5 – Изменение мгновенной интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-463-90 с УПД и дефлекторными насадками

Мгновенная интенсивность дождя аппаратов вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» изменяется от 1,5 до 2,6 мм/мин, а дефлекторных насадок – от 0,294 до 0,618 мм/мин, то есть она в 3–4 раза меньше (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Средняя  $\rho_{\text{ср}}$  и мгновенная  $\rho_{\text{мг}}$  интенсивность дождя при поливе дефлекторными насадками, установленными в стандартные штуцера на ДМ «Фрегат»

Номер насадки	Расход Насадки $q$ , л/с	Диаметр насадки $D_{\text{н}}$ , мм	Напор на выходе струи $H$ , МПа	Радиус действия струи $R$ , м	$\rho_{\text{ср}}$ , мм/ми н	$\rho_{\text{мг}}$ , мм/ми н
1	0,139	4	0,080	3,0	0,294	0,294
7	0,337	5	0,197	4,57	0,308	0,308
12	0,484	6	0,197	5,16	0,300	0,397
17	0,628	6	0,331	5,60	0,448	0,382
22	0,775	8	0,160	6,12	0,506	0,395
27	0,924	8	0,227	6,69	0,552	0,394
32	1,190	8	0,376	7,29	0,652	0,427
37	1,385	10	0,208	7,76	0,713	0,439
42	1,580	10	0,271	8,28	0,763	0,440
47	1,755	10	0,350	8,69	0,826	0,454
52	1,967	12	0,203	8,75	0,892	0,490
57	2,160	12	0,245	9,24	0,935	0,483
62	2,350	12	0,290	9,57	0,982	0,490
67	2,540	12	0,338	10,0	1,016	0,485
72	2,730	12	0,392	10,1	1,075	0,505
77	3,850	16	0,242	10,5	1,110	0,618

Таким образом, проведенные исследования дефлекторных насадок на УПД позволили найти способ увеличения радиуса полива и степени перекрытия струй при ветре (уменьшение ветровой нагрузки на струи) путем снижения высоты установки дождевальных насадок и учащенного их размещения на пролетах машины. Это очень важно для повышения равномерности полива малорасходных дождевателей в первой половине трубопровода машины. Во второй половине трубопровода применение дефлекторных насадок на устройствах приповерхностного дождевания показывает снижение мгновенной интенсивности дождя.

#### 4.5 Крупность капель дождя при поливе дефлекторной насадкой

Существует несколько точек зрения на причины, вызывающие распыление жидкости. Все они сходны в одном: дробление струй на капли вызвано силами, возникающими в жидкости – капиллярными и инерционными (внешними и внутренними), которые в свою очередь зависят от параметров течения жидкости и технических устройств, из которых она истекает.

Результаты исследования процесса распыла струи дождевальными аппаратами и дефлекторных насадок и определения крупности капель дождя приведены в работах Б.М. Лебедева [67], А.П. Исаева [54], Ф.И. Пикалева [113], А.Б. Миловича [89], Н.И. Назарова [94, 95], А.И. Штангай [155], С.П. Ильина [52], И.Д. Федоренко [145, 146], Б.А. Васильева [20], Ю.А. Москвичева [91], Г.М. Гаджиева [27], П.И. Кузнецова [74], Ю.П. Полякова [157] и др. Диаметр капель в конце струи аппарата можно рассчитать по формуле П.М. Степанова [140]:

$$d = 5,76 \cdot D^{0,5} H^{-0,5}. \quad (4.8)$$

В результате обработки экспериментальных данных при поливе дождевальными аппаратами «Фрегат» установлена зависимость для расчета диаметра капель дождя в любой точке радиуса захвата струи.

В этих исследованиях, к сожалению, приводятся данные частного характера для конкретных типов дефлекторными насадок и режимов их работы. Поэтому математические зависимости, описывающие характер распыла струи на капли при поливе дефлекторными насадками, нуждаются в уточнении. Полученная зависимость, описывающая характер распыла струи для теплиц, не подходит для дефлекторных насадок ввиду различия в конструкции и режимах истечения жидкости. Крупность капель дождя дефлекторных насадок, в том числе и при их установке на устройстве приповерхностного дождевания, требует уточнения.

Значения среднего диаметра капель дождя дефлекторных насадок вдоль радиуса захвата дождем в зависимости от диаметра сопла и напора приведены в таблице 4.2.

Средний диаметр капель дождя дефлекторных насадок увеличивается с увеличением относительного радиуса полета капель  $R_i/R$ , диаметра сопла и с уменьшением напора перед насадкой.

Таблица 4.2 – Средний диаметр капель дождя  $d_{cp.}$  вдоль радиуса полива дефлекторной насадкой кругового действия в зависимости от диаметра сопла  $D$  и напора  $H$

D, м м	H, МПа	$R_i/R$	$d_{cp.}$ , мм	D, м м	H, МПа	$R_i/R$	$d_{cp.}$ , мм	D, мм	H, МПа	$R_i/R$	$d_{cp.}$ , мм
6	0,08	0,180	0,130	8	0,195	0,10	0,20	12	0,280	0,823	1,560
6	0,08	0,440	0,450	8	0,195	0,476	0,360	12	0,580	0,118	0,230
6	0,08	0,890	1,720	8	0,195	0,761	1,150	12	0,580	0,823	0,90
6	0,14	0,180	0,150	8	0,285	0,367	0,340	14	0,15	0,410	0,480
6	0,14	0,450	0,440	8	0,285	0,880	1,280	14	0,15	0,823	1,640
6	0,14	0,810	1,20	10	0,180	0,40	0,420	14	0,30	0,105	0,150
6	0,326	0,50	0,340	10	0,180	0,80	1,890	14	0,30	0,470	0,30
6	0,326	0,830	1,10	12	0,130	0,130	0,120	14	0,30	0,840	1,380
8	0,075	0,450	0,690	12	0,130	0,530	0,510	16	0,160	0,392	0,560
8	0,075	0,830	1,40	12	0,130	0,933	2,140	16	0,016	0,784	1,860
–	–	–	–	12	0,280	0,470	0,420	16	0,245	0,740	1,630

Установлено, что минимальный диаметр капель в начале радиуса захвата дождем дефлекторной насадки (рисунок 4.5, а) зависит от диаметра сопла  $D$  и напора  $H$  и описывается формулой (приложение Г, таблица 1):

$$d_{\min} = 0,274 \cdot H^{0,5397} \cdot D^{-1,07}. \quad (4.7)$$

В конце радиуса захвата дождем дефлекторной насадки максимальный диаметр капель (приложение Д, таблица 1) также зависит от напора  $H$  и диаметра сопла  $D$  (рисунок 4.5, б) и описывается формулой:

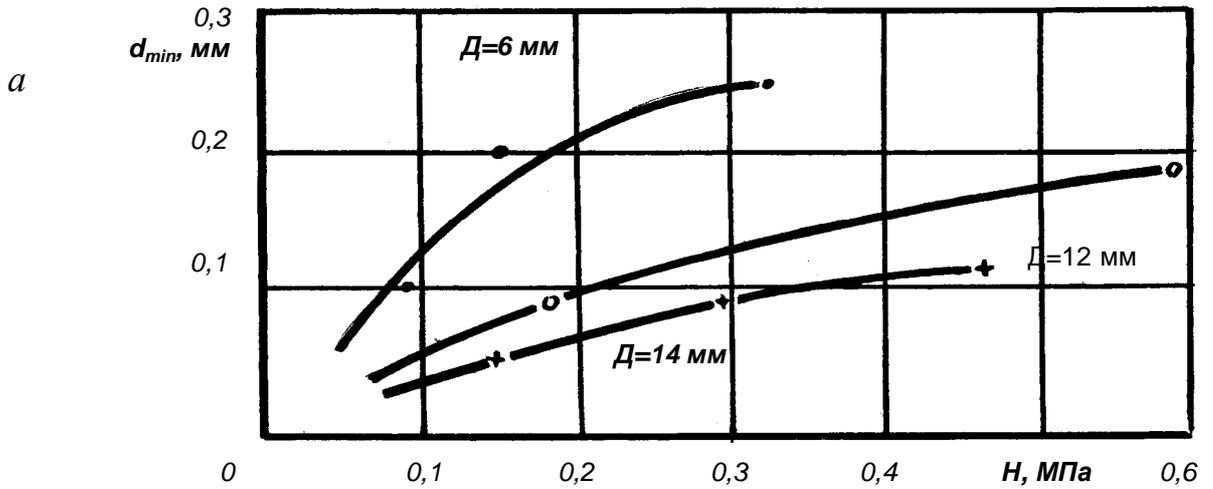
$$d_{\max} = 1,558 \cdot H^{-0,358} \cdot D^{0,490} \quad (4.8)$$

Установлено, что распределение диаметров капель дождя вдоль радиуса действия струи дефлекторной насадки описывается формулой:

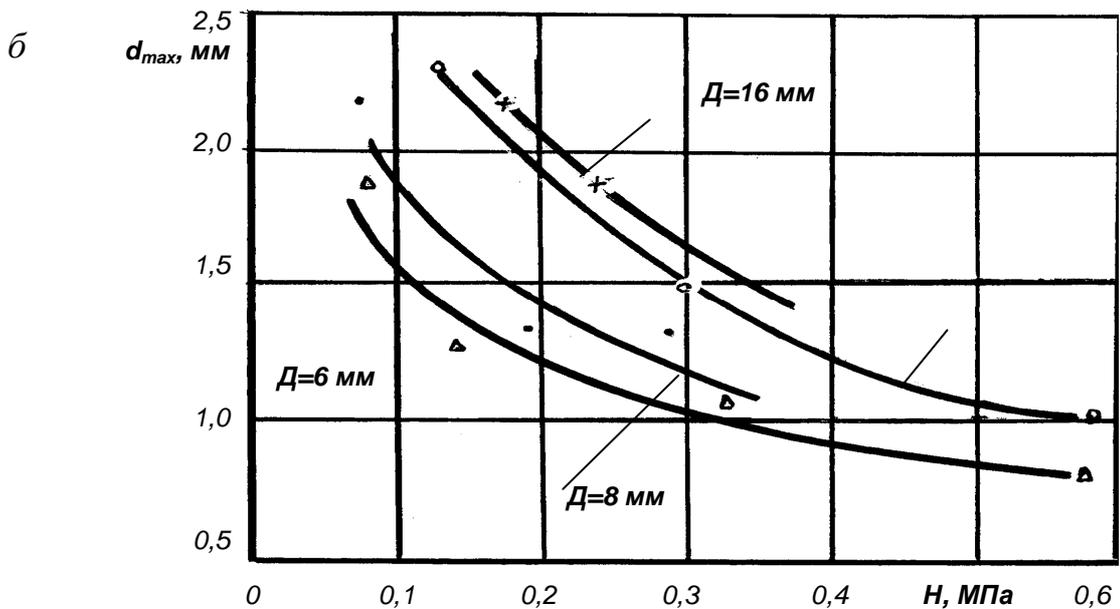
$$d_i = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min}) X_i / R \cdot e^{-0,75(1 - X_i/R)}, \quad (4.9)$$

где  $X_i/R$  – относительная величина радиуса захвата дождем,  $0 \leq X_i/R \leq 1$ .

$d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  – минимальный и максимальный диаметры капель вдоль радиуса захвата дождем, мм.



$$d_{\min} = 0,274 H^{0,5397} D^{-1,07}; \quad r = 0,779$$



$$d_{\max} = 1,558 \cdot H^{-0,358} \cdot D^{0,49}; \quad r = 0,676$$

Рисунок 4.5. Минимальный (а) и максимальный (б) диаметр капель дождя дефлекторных насадок

Расчетные значения медианного диаметра капель для дефлекторной насадки и струйных аппаратов приведены в приложении Д, таблица 2. Очевидно, что медианный диаметр капель дефлекторных насадок при одном и том же расходе воды в 1,8–2,0 раза меньше медианного диаметра капель струйных насадок (приложение Д, таблица 3, рисунок 4.6).

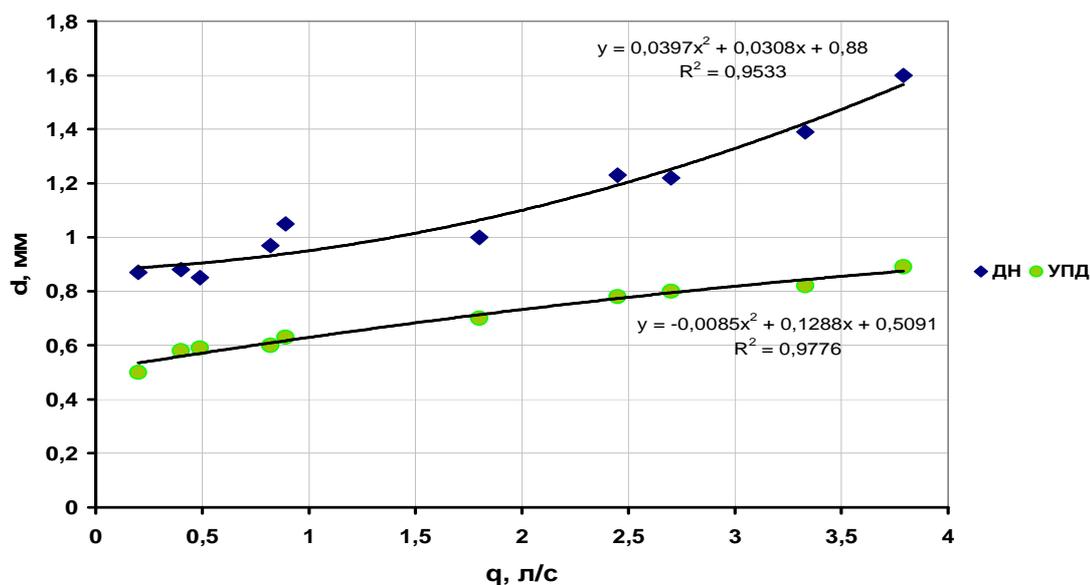


Рисунок 4.6 – Изменение диаметра капель вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» при поливе дефлекторными насадками (ДН) и устройствами приповерхностного дождя с дефлекторными насадками (УПД-ДН)

Для обеспечения наиболее равномерного распределения дождя вдоль радиуса полива дефлекторной насадки рабочий напор  $H$  определяется диаметром сопла  $D$ , а оптимальное отношение  $H/D$  должно быть в пределах  $0,16 \dots 0,2$  МПа/мм [138].

#### 4.6 Карты настройки дефлекторных насадок

В реальных условиях распределение плотности орошения никогда не бывает равномерным. Однако этот показатель в большей мере определяет подачу равномерности количества воды к каждому растению, находящемуся на орошаемой площади, следовательно, при всех прочих равных условиях он является определяющим для количества и качества урожая.

Таким образом, когда равномерность распределения влаги по площади орошения является неоднозначной, это обстоятельство необходимо учитывать.

Распределение влаги по площади орошения находят экспериментально [125].

При одновременной работе нескольких дождеобразующих устройств необходимо учитывать перекрытие между соседними дождевыми облаками. Так, при достаточно большом перекрытии соседних облаков неравномерность вдоль машины увеличивается, равно как и при недостижении одного облака другим.

Для обеспечения хорошего качества распыла и для уменьшения энергетического воздействия дождя на почву необходимо уменьшить среднюю интенсивность дождя. Это достигается путем разноса УПД с дождевателями относительно трубопровода и расстановки их на трубопроводе дождевальной машины в шахматном порядке (рисунок 4.7). Формула для расчета средней интенсивности дождя на пролете имеет вид:

$$\rho_{cp} = 60q_{np} / L_{np} (2R + 2L_y), \quad (4.10)$$

где  $q_{np}$  – расход воды на пролете, л/с;

$L_{np}$  – длина пролета, м;

$R$  – радиус полива дождевателем, м;

$L_y$  – вынос дождевальных насадок устройствами приповерхностного дождевания от оси трубопровода.

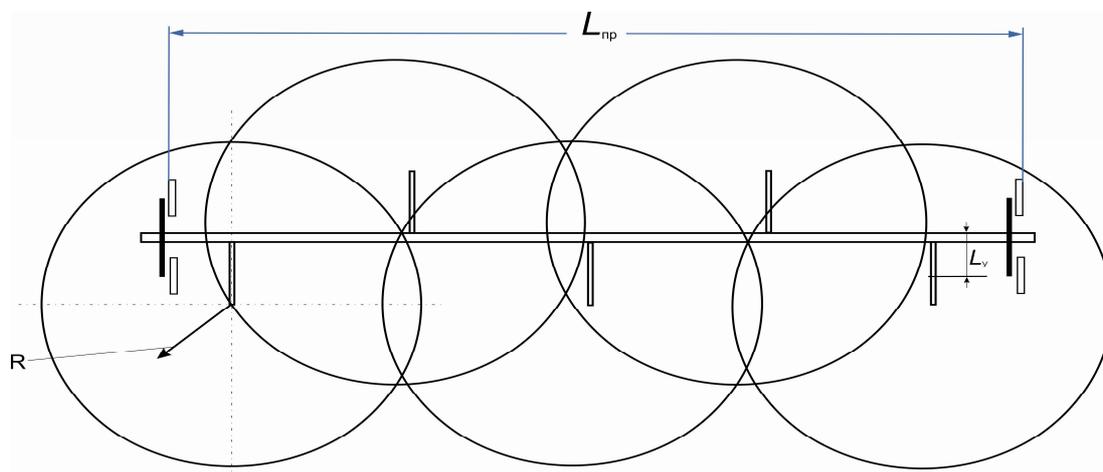


Рисунок 4.7– Схема размещения устройств приповерхностного дождевания на пролетах ДМ «Фрегат».

Уменьшению интенсивности дождя способствует расширение зоны полива за счет разноса поворотных рычагов на величину  $2L_y$ .

С использованием приведенных выше результатов исследований по определению расхода воды (4.1), радиуса захвата дождем дождевальных дефлекторных насадок (4.3), а также значений средней и мгновенной интенсивности дождя, крупности капель дождя, эпюры распределения интенсивности дождя (4.7– 4.8) и коэффициентов равномерности полива были рассчитаны карты настройки дефлекторных насадок для ДМ «Фрегат». При выборе режима работы дефлекторных насадок учитывались положения методики подбора при монтаже их на трубопроводе ДМ «Фрегат» по учащенной схеме через 5...6 м.

На основании результатов исследований устройств приповерхностного дождевания (УПД) с дефлекторными насадками был проведен расчет карт настройки расхода для дождевальной машины «Фрегат» основных модификаций, работающих в ОПХ «ВолжНИИГиМ», ООО «ВИТ» Энгельсского района, ЗАО «АФ «Волга» Марксовского района и других хозяйствах. В таблицах 4.3–4.6 приведены карты настройки 16-опорной ДМ «Фрегат», работающей в ООО «ВИТ».

#### **4.7 Расход воды ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания**

Расход воды 16-опорной ДМ «Фрегат» с УПД при напоре 0,6 МПа равен 90 л/с (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Расход воды дефлекторных насадок 16-опорной ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания (марка ДМУ-Б-463-90, ООО «ВИТ»,  $H_{вх} = 0,6$  МПа)

Порядковый номер насадки на пролете	Диаметр насадки, м	Диаметр дюзы, мм	Напор на выходе струи, МПа	Расход воды на пролете, л/с
1	2	3	4	5
1	4,0	4,0	0,213	0,139
2, 3, 4, 5, 6	4,0	4,0	0,190	0,146
7, 8, 9, 10, 11	4,0	5,0	0,180	0,272
12, 13, 14, 15, 16	5,0	5,0	0,245	0,3976

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5
17, 18, 19, 20, 21	6,0	6,0	0,210	0,5232
21, 22, 23, 24, 25	7,0	6,0	0,220	0,6488
26, 27, 28, 29, 30	7,0	8,0	0,318	0,7744
31, 32, 33, 34, 35	8,0	8,0	0,316	0,90
35, 36, 37, 38, 39	8,0	9,0	0,296	1,025
40, 41, 42, 43, 44	8,0	10,0	0,326	1,151
45, 46, 47, 48, 49	10,0	8,5	0,245	1,276
50, 51, 52, 53, 54	10,0	9,0	0,300	1,402
55, 56, 57, 58, 59	10,0	10,0	0,315	1,528
60, 61, 62, 63, 64	10,0	11,0	0,245	1,653
65, 66, 67, 68, 69	10,0	12,0	0,245	1,779
70, 71, 72, 73, 74	12,0	13,0	0,245	1,904
75, 76, 77	14,0 10,0 7,0	13,0 4,0 8,0	0,24 0,22 0,11	3,313 1,68 6,678
КДА			0,42	8,74
Общий расход воды ДМ «Фрегат», л/с				90 л/с

Примечание: КДА – концевой дождевальная аппарат.

ДМ «Фрегат», работающие с устройствами приповерхностного дождевания обеспечивают требуемый расход воды в соответствии с требованиями агротехники, предъявляемым к данным модификациям ДМ.

#### 4.8 Норма полива и потери воды на испарение и снос ветром

В результате экспериментальных исследований на низконапорных ДМ «Фрегат» УПД с дефлекторными насадками в ЗАО «АФ «Волга» установлено, что норма полива и расход воды дождевальных машин соответствуют нормативным значениям. На 12-опорной ДМ «Фрегат» марки ДМУ-А-337-65 (таблица 4.4) обеспечена достаточно точная настройка машины на норму полива, которая при цикличности гидропривода последней тележки 3,0 ход/мин составила  $385 \text{ м}^3/\text{га}$ , что на 1,2 % меньше необходимой ( $390 \text{ м}^3/\text{га}$ ).

Частичная корректировка (уменьшение) диаметра сопла дефлекторных насадок на 13-опорной дождевальной машине «Фрегат» марки ДМ-368-68 позволила на всех пролетах обеспечить близкие к стандартным расход воды и норму полива (таблица 4.6).

При цикличности гидропривода 3,7 ход/мин норма полива составила 325 м<sup>3</sup>/га вместо 312 м<sup>3</sup>/га, превышение – 1,8 %.

Данные исследований нормы полива и величины потерь воды на испарение и снос дождя для ДМ «Фрегат» УПД с дефлекторными насадками при различных погодных условиях работы приведены в таблицах 4.4–4.6. Опыты проводились на орошаемых участках ОПХ ФГНУ «ВолжНИИГиМ», АО «Энгельское», ЗАО «АФ «Волга» и др.

Замеры фактической нормы полива и расхода воды на пролетах позволили рассчитать теоретическую норму полива (формула 3.15) и определить потери воды на испарение и снос при ветре  $E_{ис}$ .

Исследования показали, что при поливе ДМ «Фрегат» № 5 в ЗАО «Волга» среднее значение  $E_{ис}$  составило 11,5 % (таблица 4.4). Метеорологические условия при проведении опытов: температура воздуха – 20,8 °С, относительная влажность воздуха – 59 %, скорость ветра – 1 м/с, коэффициент метеорологической напряженности  $\Phi$  по В.С. Хабарову, равен 29. Максимальные значения  $E_{ис}$  на отдельных пролетах достигали 15,7...20,2 %.

В опыте, проведенном в АО «Энгельское» на ДМ «Фрегат» марки ДМ-454-100 (таблица 4.5), при коэффициенте метеорологической напряженности  $\Phi = 27$ , температуре воздуха 18,5 °С, относительной влажности воздуха 68 % и скорости ветра 0,5 м/с и при угле между трубопроводом машины и направлением ветра,  $\alpha = 70^\circ$   $E_{ис}$  составили 11,3 %.

Среднее значение  $E_{ис}$  при поливе ДМ «Фрегат» хоз. № 1 в ЗАО «Волга» составило 7,0 % (таблица 4.6). Коэффициент метеорологической напряженности во время проведения опытов имел значение  $\Phi = 25$  при температуре воздуха 17,5 °С, относительной влажности воздуха 62 % и скорости ветра 1,4 м/с.

Среднее значение  $E_{ис}$  при поливе ДМ «Фрегат» в АО «Энгельское» в первой половине трубопровода составило 14,2 % (приложение Е, таблица 1). В данном опыте направления ветра и трубопровода машины совпадали, поэтому мелкокапельный дождь с первых пролетов сносился во вторую половину машины. Потери воды на испарение и снос ветром на первых трех пролетах были максимальные и находились в пределах от 18,8 до 25,2 %. Коэффициент метеорологической напряженности во время проведения

опытов составлял  $\Phi = 23$  при температуре воздуха  $16,0$  °С, относительной влажности воздуха  $64$  % и скорости ветра  $0,6$  м/с. Во второй половине трубопровода, где крупность капель дождя и его интенсивность возрастают, наблюдалось превышение нормы полива за счет приноса осадков ветром с соседних пролетов и за счет протечек трубопровода. В среднем по этой машине при направлении ветра вдоль трубопровода (угол между трубопроводом машины и направлением ветра  $\alpha = 0 \dots 5^\circ$ ),  $E_{ис}$  составили  $4,9$  %.

Сравнительные исследования потерь воды на испарение и снос ветром дождя при поливе малорасходными ( $0,415$  л/с) среднеструйными дождевальными аппаратами показали, что с увеличением коэффициента метеорологической напряженности с  $8$  до  $35$  значение  $E_{ис}$  увеличивается с  $8$  до  $34$  %. При поливе УПД с дефлекторными насадками при аналогичных погодных условиях его значение меньше и увеличивается с  $6$  до  $24$  %. (таблица 4.6) значение  $E_{ис}$  уменьшается за счет снижения высоты подъема дождевого облака, большей его насыщенности каплями дождя при непрерывном поливе и увеличения средней интенсивности.

Таблица 4.4 – Карта расстановки дефлекторных насадок и дюз, норма полива, расход воды на пролетах и потери воды на испарение и снос на ДМ «Фрегат» (марка ДМУ-А-337-65,  $n = 3,0$  ход/мин,  $m_{ср} = 38,5$  мм)

№ тележки	$D_n$ , мм	$D_d$ , мм	$M_f$ , мм $M_p$ , мм	$q_{пр}$ , л/с	$E_{ис}$ , %	№ тележки	$D_n$ , мм	$D_d$ , мм	$M_f$ , мм $M_p$ , мм	$q_{пр}$ , л/с	$E_{ис}$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	6	5				7	10	8			
	6	5					8	6			
	6	5	40,1	2,8	20,2		8	6	36,1	5,24	15,73
	6	5	50,2				8	8	42,83		
	8	6					10	8			
4	6	5				8	10	8			
	6	5					8	10			
	6	5	35,0	2,75	7,31		12	8	42,5	6,7	11,6
	6	5	37,7				8	8	48,1		
	8	6					10	8			





Примечание:  $D_n, D_d$  – диаметр насадки и дюзы, мм;  $M_f, M_p$  – норма полива фактическая и расчетная, мм;  $E_{ис}$  – потери воды на испарение и снос ветром;  $q_{пр}$  – фактический расход воды дефлекторных насадок на пролете, л/с, 5,08\* – дефлекторная насадка частично засорена мусором

Таблица 4.7 – Величина испарения и сноса дождя при поливе серийными аппаратами (СДА) и УПД с дефлекторными насадками (УПД-ДН) ДМ «Фрегат» в зависимости от конструктивных параметров дождевателей и коэффициента метеорологической напряженности погоды  $\Phi$

Расход воды дождевателем, л/с	Тип дождевателя	D-d, мм	H, мм	d <sub>ср</sub> , мм	Коэффициент метеорологической напряженности $\Phi$			
					9	22	28	34,5
0,415	ДА	3,6–2,4	0,432	0,70	8,0	22,0	27,5	34,0
	УПД-ДН	6,0	0,144	0,67	6,0	15,0	19,5	24,0
1,790	ДА	5,6–7,1	0,483	1,0	3,0	9,0	12,5	15,0
	УПД-ДН	12,0	0,168	0,86	2,0	5,5	7,5	10,0

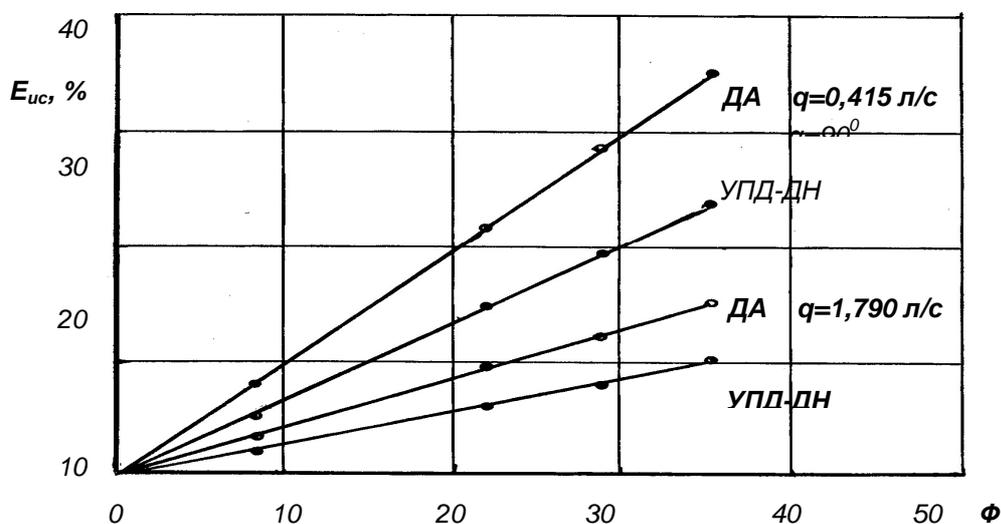


Рисунок 4.8 – Зависимость величины испарения и сноса дождя  $E_{ис}$  от коэффициента метеорологической напряженности  $\Phi$  для серийных аппаратов и УПД с дефлекторными насадками.

Значения  $E_{ис}$  вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с дождевальными аппаратами и УПД с дефлекторными насадками при значении коэффициента метеорологической напряженности  $\Phi = 34,5$  (близком к среднему значению по Саратовской области) приведены в приложении Е, таблица 3, и показаны на рисунке 4.9.

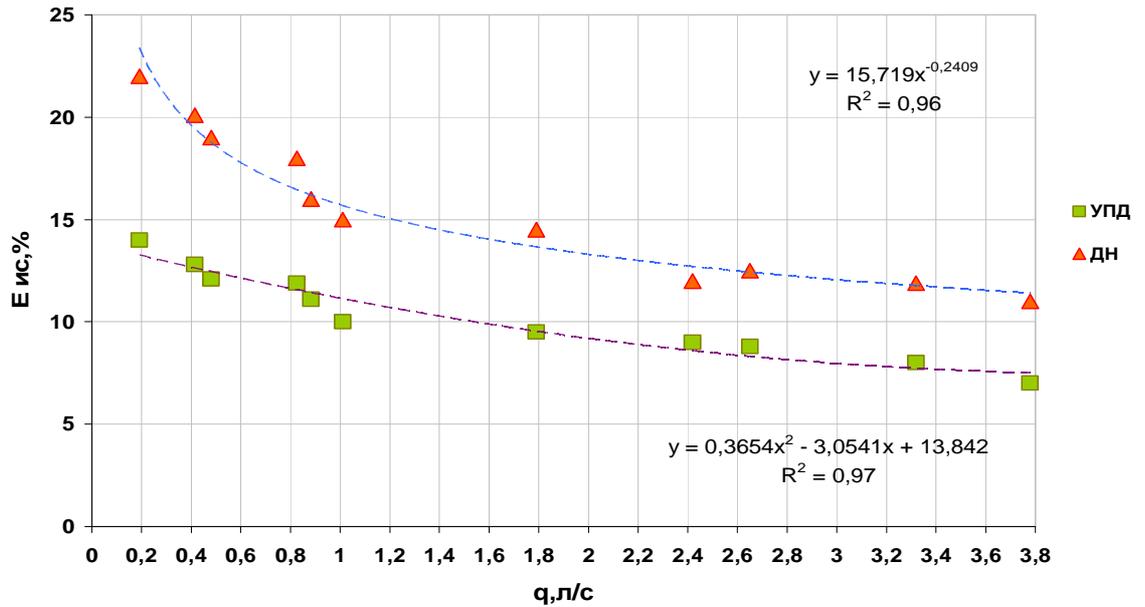


Рисунок 4.9. Изменение потерь воды на испарение и снос дождя  $E_{ис}$  вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» при поливе дождевальными насадками (ДН) и устройствами приповерхностного дождевания (УПД-ДН).

Исследования показали, что при поливе ДМ «Фрегат» с дождевальными аппаратами величина  $E_{ис}$  в начале, середине и конце трубопровода составляет соответственно 21,4; 15,1 и 10,4 %, а при поливе ДМ «Фрегат», оборудованной УПД с дефлекторными насадками при аналогичных погодных условиях – 14,3; 9,7 и 6,2 %. Таким образом, применение на ДМ «Фрегат» УПД с дефлекторными насадками сокращает абсолютную величину потерь воды на испарение и снос ветром на 4,2–7,1 % или на относительную величину 40,8–50,6 %.

#### 4.9 Равномерность полива ДМ «Фрегат» оборудованных устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками

Равномерность распределения слоя дождя по полю при поливе машиной «Фрегат» зависит от многих факторов. Основными являются: направление, скорость ветра, его изменчивость и отношение радиуса захвата струи к расстоянию между аппаратами или дефлекторными насадками ( $R/\ell$ ), которое характеризует степень перекрытия струй. К другим факторам относятся также: степень распыла струй,

которая характеризуется средним диаметром капель и отношением напора к диаметру струи; равномерность полива аппаратами и дефлекторными насадками; норма полива машины; высота подъема струй над поверхностью поля и угол наклона ее к горизонту; величина ввода рассекателя в струю; соответствие расхода воды каждым аппаратом или дефлекторной насадкой теоретическому значению; отказы аппаратов или насадок и их засоряемость; потеря аппарата или насадки, порыв трубопровода; отсутствие сливной системы гидропривода; протечки в кранах; колебание давления в трубопроводе машины; характер рельефа поля и его уклоны; вид сельскохозяйственной культуры и др.

Для оценки равномерности полива ДМ «Фрегат», оборудованными УПД с дефлекторными насадками, устанавливаемыми по учащенной схеме, были проведены полевые опыты при различной скорости и направлении ветра (приложение Ж, таблицы 1–2; рисунок 4.10, таблица 4.8), определялись коэффициенты эффективного полива, которые сравнивались с данными исследований при поливе машин с серийными дождевальными аппаратами и с дефлекторными насадками, устанавливаемыми в стандартные штуцера трубопровода.

Для оценки равномерности полива на отдельных участках (пролетах) ДМ «Фрегат» производились расчет и сравнение коэффициентов вариации (КВ).

Распределение объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» показано в приложении Ж, таблица 1. С учетом этих данных определены значения интервалов объемов воды в дождемерах и суммарная площадь полива в каждом интервале (приложение Ж, таблица 1). Определен средний объем воды – 754 мл. По данным таблицы 4.18 построен частотный график (рисунок 5.4) и показана зона эффективного полива в пределах  $\pm 0,25 h_{\text{ср}}$ .

Расчетные значения коэффициента эффективного полива –  $K_{\text{эф.п}} = 0,73$ .

Расчетные значения коэффициента недостаточного полива –  $K_{\text{н.п}} = 0,12$ .

Расчетные значения коэффициента избыточного полива –  $K_{\text{из.п}} = 0,14$ .

Такое значение коэффициента эффективности полива при скорости ветра 3,2 м/с (порывы до 5 м/с) и при перпендикулярном направлении к трубопроводу машины

можно считать приемлемым, т.к. при поливе машины с серийными дождевальными аппаратами  $K_{\text{эф.п.}}$  обычно ниже и находится на уровне 0,45...0,50 (рисунок 4.11).

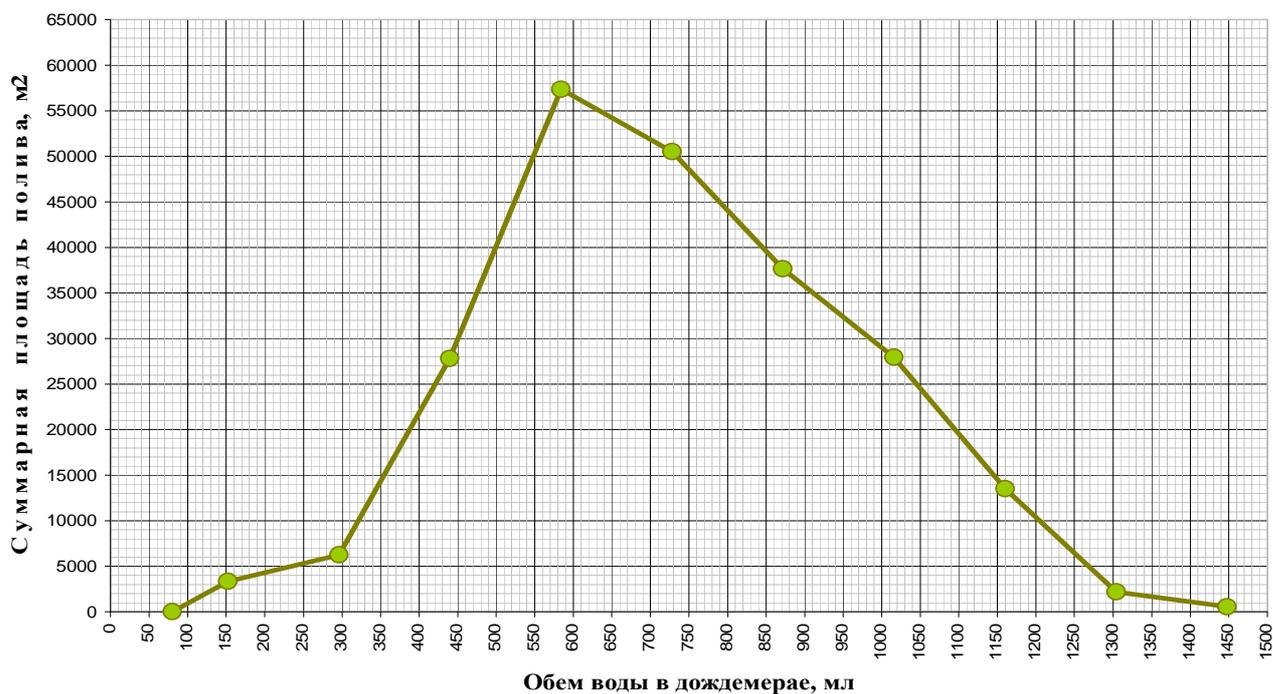


Рисунок 4.10 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с оборудованием для приповерхностного дождевания (опыт 1)

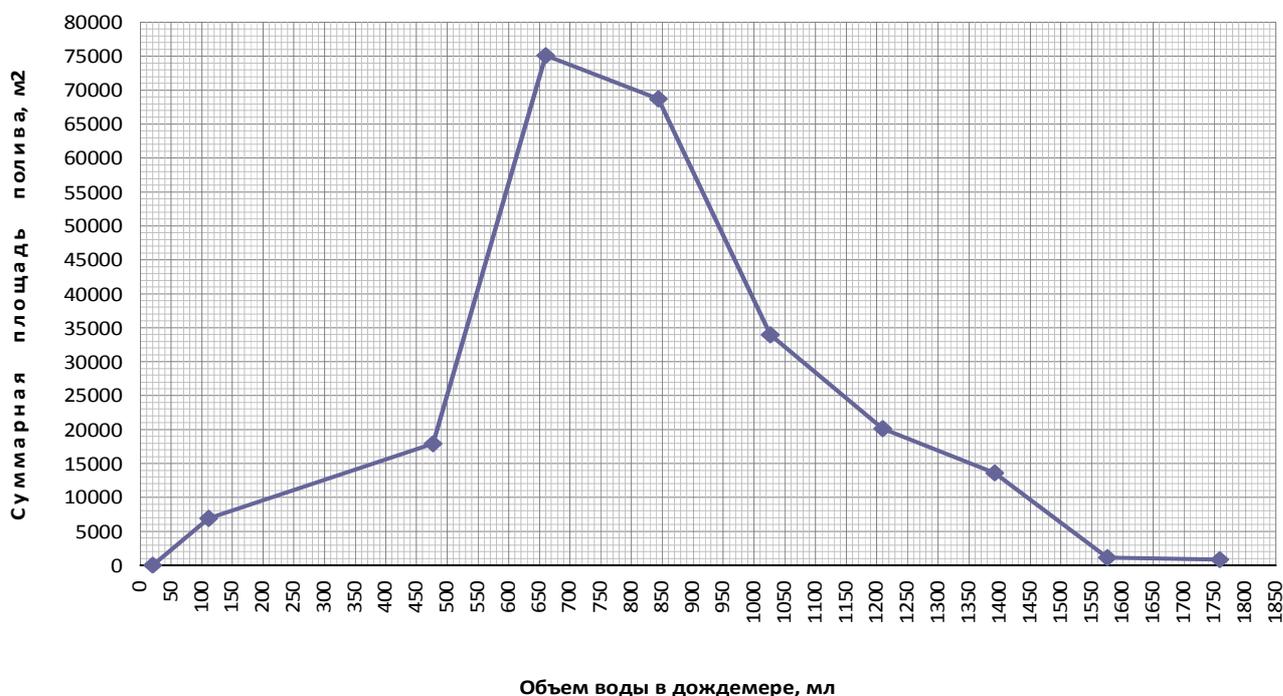


Рисунок 4.11 – Частотный график распределения объема воды в дождемерах вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с оборудованием приповерхностного дождевания (опыт 2)

Расчетные значения коэффициента эффективного полива –  $K_{\text{эф.п.}}=0,74$ .

Расчетные значения коэффициента недостаточного полива –  $K_{\text{н.п.}}=0,17$ .

Расчетные значения коэффициента избыточного полива –  $K_{\text{из.п.}}=0,09$ .

Результаты исследований УПД с дефлекторными насадками в ЗАО «АФ «Волга» приведены в приложении 3, таблица 1 и таблица 2, и показаны на рисунке 4.12.

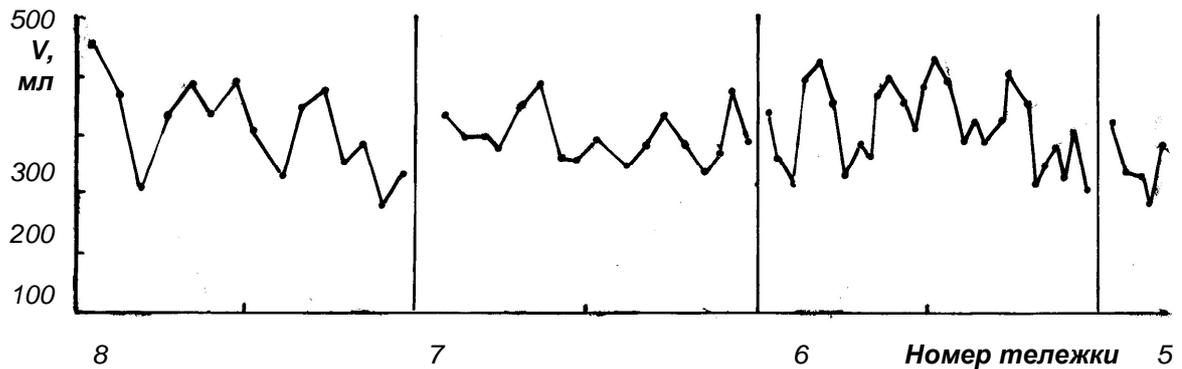


Рисунок 4.12 – Распределение объема воды в дождемерах вдоль водопроводящего трубопровода ДМ «Фрегат» № 5 (учащенная схема расстановки УПД с дефлекторными насадками)

Высота подъема дождевого облака снижается при установке УПД с дефлекторными насадками на 0,6 м от поверхности почвы. Исследования в ОПХ «ВолжНИИГиМ» на ДМ «Фрегат» хоз. № 2 (2002–2004 гг.) и хоз. № 1 (2009) показали, что устойчивость струй к ветру и равномерность полива этими машинами повышается по сравнению с машинами, оборудованными серийными дождевальными аппаратами. Коэффициент вариации слоя дождя на пролетах, где установлены УПД с дефлекторными насадками, снижается до 10...16 % (таблица 4.9).

Коэффициент вариации слоя дождя вдоль всего трубопровода при изменении скорости ветра с 3,8 до 6,0 м/с при поливе ДМ «Фрегат» с серийными аппаратами изменяется от 15,7 до 26,0 %, а с УПД с дефлекторными насадками – с 10,6 до 21,4 %, что меньше на 20...45 % (рисунке 4.14).

Таблица 4.8 – Коэффициент эффективного полива машины «Фрегат» в зависимости от скорости ветра при поливе серийными (СА) и УПД с дефлекторными насадками, установленными по учащенной схеме (УПД-ДН)

Тип дождевателя	Скорость ветра, м/с / Коэффициент эффективного полива				
	СА	0,0 / 0,87 2,0 / 0,83	1,0 / 0,81 2,50 / 0,78	1,30 / 0,80 2,90 / 0,73	1,70 / 0,78 3,80 / 0,59
УПД-ДН	1,20 / 0,87	1,80 / 0,85	2,70 / 0,82	3,90 / 0,74	4,90 / 0,70

Таблица 4.9 – Коэффициент вариации слоя дождя в зависимости от скорости ветра в зоне полива серийными (СА) и УПД с дефлекторными насадками, установленными по учащенной схеме (УПД-ДН)

Тип дождевателя	Скорость ветра, м/с				
	2,0	3,8	4,0	5,6	6,0
СА	14,1	15,7	18,5	26,4	26,0
ВД-МДА	7,2	9,0	10,1	12,0	14,5

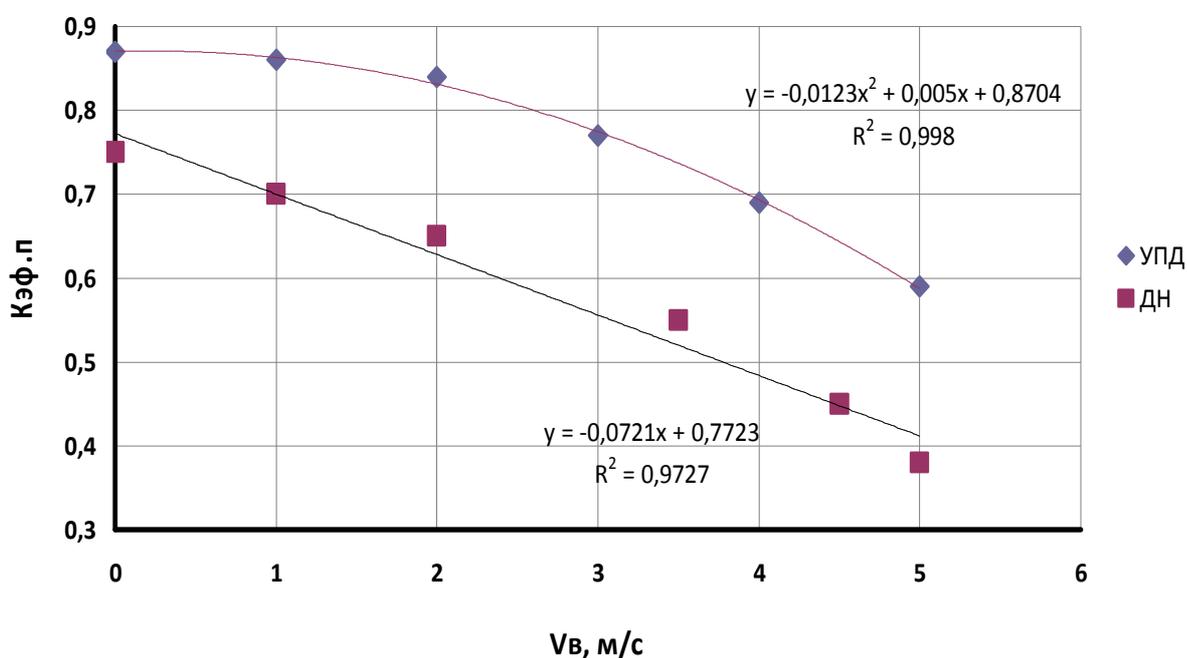


Рисунок 4.13 – Экспериментальное значение коэффициента эффективного полива ДМ «Фрегат» в зависимости от скорости ветра при поливе дефлекторными насадками, установленными в стандартные штуцера (ДН-С), и устройствами приповерхностного дождя (УПД-ДН)

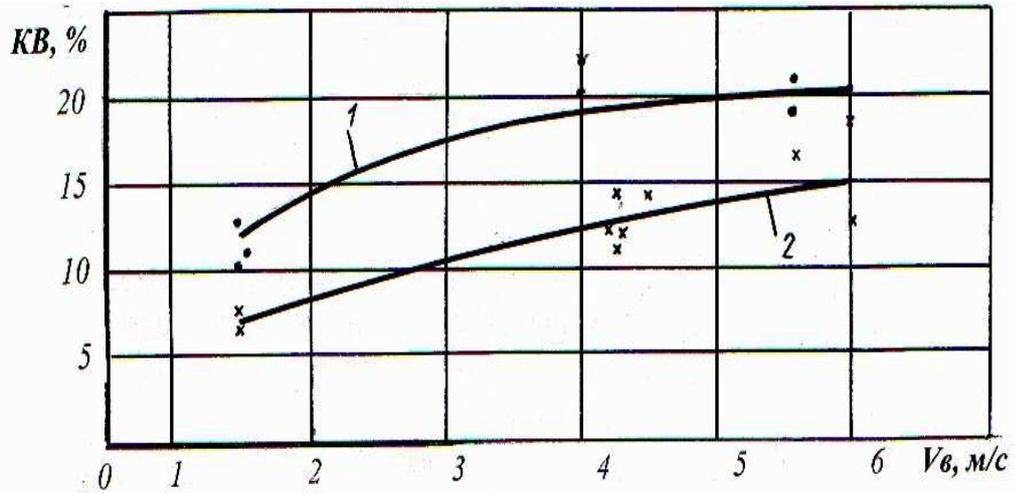


Рисунок 4.14 – Изменение коэффициента вариации (КВ) слоя дождя ДМ «Фрегат» с серийными аппаратами (1) и УПД с дефлекторными насадками, установленными по учащенной схеме (2), в зависимости от скорости ветра  $V_{\text{в}}$

Исследования ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками, установленными в стандартные штуцера, показали низкую равномерность полива. Коэффициент эффективного полива таких машин с увеличением скорости ветра до 4 м/с уменьшался с 0,735 до 0,543. При встречном или попутном ветре, дующем почти перпендикулярно к трубопроводу машины,  $K_{\text{эф}}$  снижался до 0,45. Коэффициент вариации при той же скорости ветра достигал 20,5–37,4 % (рисунок 4.14).

Согласно исследованиям показали, ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками, установленными на трубопроводе по учащенной схеме (через одинаковое расстояние), имеет более высокую равномерность полива, и  $K_{\text{эф.п}}$  изменяется в пределах 0,87...0,80 (при небольшом ветре) и от 0,70 до 0,73 (при средней скорости ветра для Саратовской области 3,5...4,0 м/с) (рисунок 4.13).  $K_{\text{В}}$  при этой же скорости ветра ниже и изменяется в пределах 13,0–22,3 %, что меньше на 20–45 % (рисунок 4.14).

Таким образом, ДМ «Фрегат» с оборудованием приповерхностного дождевания обеспечивает достаточно высокую равномерность полива при ветре (рисунки 4.13 и 4.14), и коэффициент эффективного полива выше, чем у машины «Фрегат» со среднеструйными дождевальными аппаратами.

#### 4.10 Мощность дождя и норма полива до стока

При определении нормы полива до стока фиксировались конструктивные и технологические параметры серийных и модернизированных дождевателей ДМ «Фрегат», а также учитывались тип и механический состав почвы, вид сельскохозяйственных культур, степень покрытия почвы растениями и др. (таблицы 4.10, 4.11). Норма полива до стока  $M_{дс}$  уменьшалась с увеличением уклона поля, предполивной влажности и уплотнения (объемной массы) верхнего слоя почвы (по мере увеличения кратности поливов). Увеличению нормы полива до стока способствует увеличение степени покрытия почвы растениями.

Величина  $M_{дс}$  серийных аппаратов «Фрегат» № 1 и 2 имеет высокие значения и не является лимитирующей для ДМ «Фрегат». Исследования показывают, что экспериментальные аппараты № 3 и 4 в результате увеличения степени распыла струй (уменьшения мгновенной интенсивности дождя и среднего диаметра капель) обеспечивают повышение нормы полива до стока на 20–49 % (таблица 4.9, рисунок 4.13).

Результаты исследований среднего диаметра капель, средней и мгновенной интенсивности дождя, а также расчетные значения скорости падения капель, средней и действительной мощности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-463-90 со среднеструйными аппаратами и с УПД с дефлекторными насадками, установленными по учащенной схеме, приведены в таблицах 4.10, 4.12 и показаны на рисунках 4.13-4.17.

Крупность капель дождя среднеструйных аппаратов изменяется вдоль трубопровода машины в пределах 0,8...1,8 мм, у дефлекторных насадок – 0,67...0,87 мм, то есть примерно в 2 раза меньше (таблица 4.12, рисунок 4.13). Высота подъема дождевого облака дефлекторных насадок составляет в среднем 1,5 м от поверхности поля.

Высота подъема дождевого облака серийных аппаратов «Фрегат» составляет 5...8 м. Скорость падения капель дождя дождевальными аппаратами

вдоль трубопровода машины «Фрегат» изменяется в пределах 6...12 м/с, у дефлекторных насадок она гораздо меньше и изменяется в пределах 3...6 м/с.

Таблица 4.10. – Норма полива до стока при поливе машиной «Фрегат» с серийными и модернизированными дождевальными аппаратами

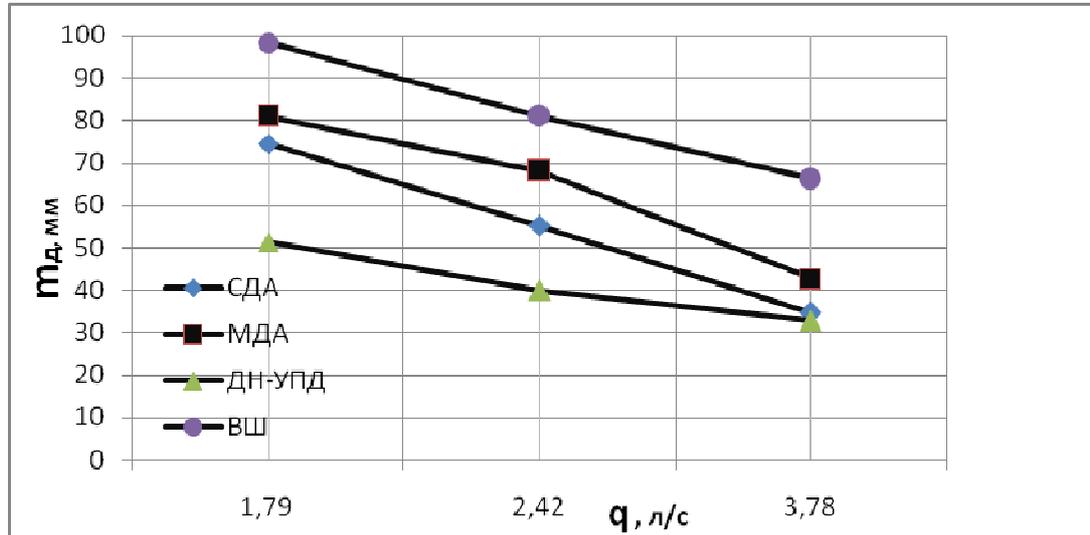
Расход воды, л/с	Тип аппарата, его особенности	Диаметр насадки, мм	Напор на выходе струи, МПа	Угол подъема струи, град.	Частота вращения аппарата об/мин	Интенсивность дождя, мм/мин		Слой дождя за 1 оборот аппарата, мм
						средняя	мгновенная	
0,415	2, с.	3,6–2,4	0,432	27–27	0,5	0,126	1,525	0,163
	2, э.	4,8–Х	0,285	27–Х	0,5	0,110	1,995	0,124
	2, э.	3,9–2,8	0,285	27–27	0,5	0,125	1,930	0,158
	2, э. п.	3,9–2,8	0,285	27–15	0,5	0,125	1,940	0,158
1,016	3, с.	4,3–5,6	0,360	27–27	0,5	0,243	1,808	0,248
	3, э. п.	5,6–4,3	0,360	27–15	0,5	0,243	1,808	0,248
2,420	3, с.	5,6–9,5	0,448	27–27	1,0	0,438	2,050	0,168
	3, э.пр.	9,5–5,6	0,448	27–15	1,0	0,438	1,570	0,168
	3, э.	8,7–6,7	0,448	27–27	1,0	0,460	2,060	0,186
	3, э,пр.	8,7–6,7	0,448	27–27	1,0	0,460	1,060	0,186
3,780	4, с.	11,9–5,6	0,420	27–27	0,66	0,524	2,60	0,234
	4, э,рп.	11,9–5,6	0,420	27–15	0,7	0,525	1,80	0,221
	4, э.	9,5–9,0	0,420	27–27	1,0	0,626	2,460	0,220
	4, э.пр.	9,5–9,0	0,420	27–27	1,0	0,626	1,750	0,220
	4, э. м.	9,5–5,6	0,420	27–27	1,0	0,626	2,190	0,220
		5,1–5,1		15–15				

Расчеты показывают, что действительная мощность дождя дождевальных аппаратов, имеющих значительный средний диаметр капель, большую скорость падения и действительную интенсивность, изменяется вдоль трубопровода в пределах 0,186...0,573 Вт/м<sup>2</sup>.

Действительная мощность дождя дефлекторных насадок гораздо меньше и находится в пределах 0,011...0,070 Вт/м<sup>2</sup> (таблица 4.12, рисунок 4.15).

Средняя мощность дождя дефлекторных насадок, наоборот, больше, и она изменяется вдоль трубопровода машины «Фрегат» в пределах  $0,05...0,145 \text{ Вт/м}^2$ , тогда как у дождевальных аппаратов этот параметр изменяется в пределах  $0,011...0,095 \text{ Вт/м}^2$  (таблица 4.12, рисунок 4.15).

*а*



*б*

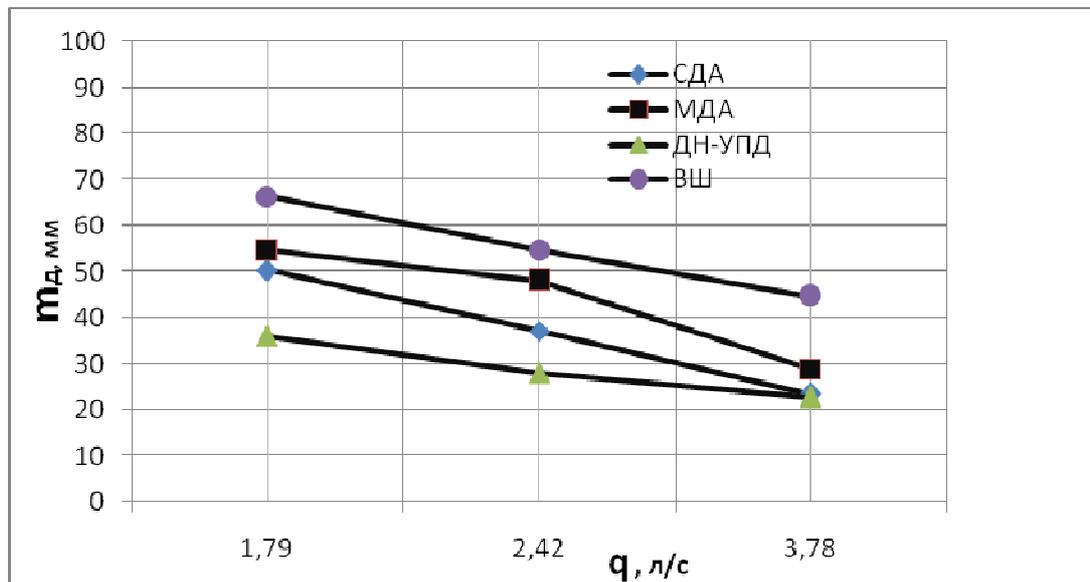


Рисунок 4.15 – Норма полива до стока при поливе пашни (*а*) и яровой пшеницы (*б*) на темно-каштановых почвах Саратовской области ДМ «Фрегат», оборудованными серийными аппаратами (СДА) и УПД с дефлекторными насадками (ДН)

Таким образом, применение дефлекторных насадок на ДМ «Фрегат» значительно снижает энергетическое воздействие дождя на почву и растения.

Исследования показывают, что во второй половине трубопровода ДМ «Фрегат» дефлекторные насадки в результате увеличения степени распыла струй (уменьшения мгновенной интенсивности дождя и среднего диаметра капель) обеспечивают комплексную энергетическую характеристику дождя и норму полива до стока на уровне серийных аппаратов, несмотря на увеличение средней интенсивности дождя.

Таблица 4.11 – Норма полива до стока  $M_{дс}$  в конце машины «Фрегат» в зоне полива серийного аппарата № 4 ( $D-d = 11,9-5,6$  мм,  $H = 0,42$  МПа) в зависимости от почвенных, агротехнических и рельефных условий

Тип почвы	W, %	У	$\alpha$ , г/см <sup>3</sup>	Г, %	Наличие корки	Агрофон	$M_{дс}$ , мм
Темно-каштановая среднесуглинистая	70	0,0	1,0	0	нет	пашня	34,7
	60	0,01	1,0	0	нет	пашня	35,7
Чернозем обыкновенный глинистый	80	0,01	1,0	0	нет	пашня	25,5
	70	0,0	1,40	100	да	Яр. пшен.	32,7
Чернозем южный тяжелосуглинистый	80	0,02	1,20	25	да	Яр. пшен.	18,0
	60	0,01	1,20	25	да	Яр. пшен.	27,3
$C = 30,3$ $a = 2,0$	80	0,01	1,10	30	да	люцерна	27,3
	60	0,02	1,15	90	да	2г. жизни	35,0
Темно-каштановая тяжелосуглинистая	70	0,0	1,05	0	нет	пашня	26,8
	80	0,01	1,05	0	нет	пашня	20,6
Чернозем обыкновенный легкоглинистый	60	0,02	1,05	0	нет	пашня	24,6
	70	0,0	1,45	100	да	Яр. пшен.	25,3
Светло-каштановая среднесуглинистая	60	0,02	1,35	50	да	Яр. пшен.	21,9
	80	0,01	1,25	25	да	Яр. пшен.	15,7
$C = 23,4$ $a = 2,25$	70	0,0	1,15	30	да	люцерна	21,1
	80	0,01	1,15	30	да	2 г. жизни	16,2
	60	0,02	1,20	90	да		27,2

Примечания: W – влажность почвы перед поливом в слое 0–40 см; У – уклон поля;  $\alpha$  – объемная масса почвы в слое 0–10 см; Г – процент покрытия почвы растениями; C – постоянная впитывания открытого перекопанного участка по классификации Ф.И. Колесникова; a – показатель степени кривой впитывания при поливе каплями диаметром 1,5 мм

Таблица 4.12 – Изменение крупности капель дождя, средней и действительной мощности дождя, средней и мгновенной интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-463-90 со среднеструйными дождевальными аппаратами и УПД с дефлекторными насадками (учащенная расстановка)

№ прол эта	Тип дожде - вател я	q, л/с	H, МПа	R, м	$\rho_{\text{ср}}$ , мм/мин	$\rho_{\text{мг}}$ , мм/мин	$d_{\text{к}}$ , мм	$V_{\text{п}}$ , м/с	$N_{\text{ср}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$N_{\text{д}}$ , Вт/м <sup>2</sup>
1–2	ДА	0,192	0,307	6,33	0,091	1,545	0,86	3,82	0,011	0,186
	ДН	0,152	0,10	3,85	0,197	0,195	0,50	2,91	0,013	0,013
2–3	ДА	0,415	0,432	1,1	0,112	1,525	0,70	3,44	0,011	0,150
	ДН	0,250	0,265	4,7	0,266	0,247	0,55	3,05	0,020	0,019
3–4	ДА	0,480	0,344	12,3	0,117	1,618	0,92	3,95	0,015	0,208
	ДН	0,291	0,150	5,1	0,342	0,216	0,58	3,13	0,028	0,017
4–5	ДА	0,825	0,455	4,9	0,166	1,948	0,85	3,80	0,020	0,231
	ДН	0,500	0,210	6,3	0,397	0,240	0,60	3,19	0,033	0,020
5–6	ДА	0,883	0,392	15,5	0,171	2,091	0,98	4,08	0,023	0,286
	ДН	0,536	0,240	6,5	0,494	0,243	0,66	3,34	0,045	0,022
6–7	ДА	1,016	0,360	15,1	0,202	1,808	1,07	4,26	0,030	0,270
	ДН	0,612	0,170	6,7	0,456	0,260	0,67	3,37	0,042	0,024
8–9	ДА	1,790	0,483	19,4	0,276	1,921	1,0	4,12	0,038	0,269
	ДН	1,000	0,278	8,4	0,595	0,271	0,70	3,44	0,058	0,026
11– 12	ДА	2,420	0,448	23,3	0,311	2,050	1,24	4,58	0,054	0,355
	ДН	1,402	0,213	9,2	0,761	0,316	0,75	3,56	0,080	0,033
12– 13	ДА	2,650	0,437	23,1	0,344	2,175	1,25	4,60	0,060	0,380
	ДН	1,536	0,256	9,7	0,768	0,312	0,80	3,68	0,086	0,035
13– 14	ДА	2,870	0,429	10,1	0,834	0,318	0,82	3,73	0,096	0,036
	ДН	1,668	0,302							
14– 15	ДА	3,090	0,423	10,2	0,883	0,344	0,84	3,77	0,104	0,040
	ДН	1,802	0,240							
15– 16	ДА	3,320	0,421	10,1	0,956	0,369	0,86	3,82	0,115	0,044
	ДН	1,932	0,197							
КДА	ДА	3,780	0,420	26,2	0,433	2,600	1,57	5,16	0,095	0,573
	ДН	3,78	0,237	12,9	1,200	0,430	0,86	3,82	0,145	0,070

П р и м е ч а н и е:  $q$  – расход воды дождевального аппарата или дефлекторной насадки; ДА, ДН – дождевальный аппарат или дефлекторная насадка;  $\rho_{\text{ср}}$ ,  $\rho_{\text{мг}}$  – средняя и мгновенная интенсивность дождя;  $H$  – напор;  $R$  – радиус захвата дождем;  $d_{\text{к}}$ ,  $V_{\text{п}}$  – средний диаметр капли дождя и скорость ее падения;  $N_{\text{ср}}$ ,  $N_{\text{д}}$  – средняя и действительная мощность дождя

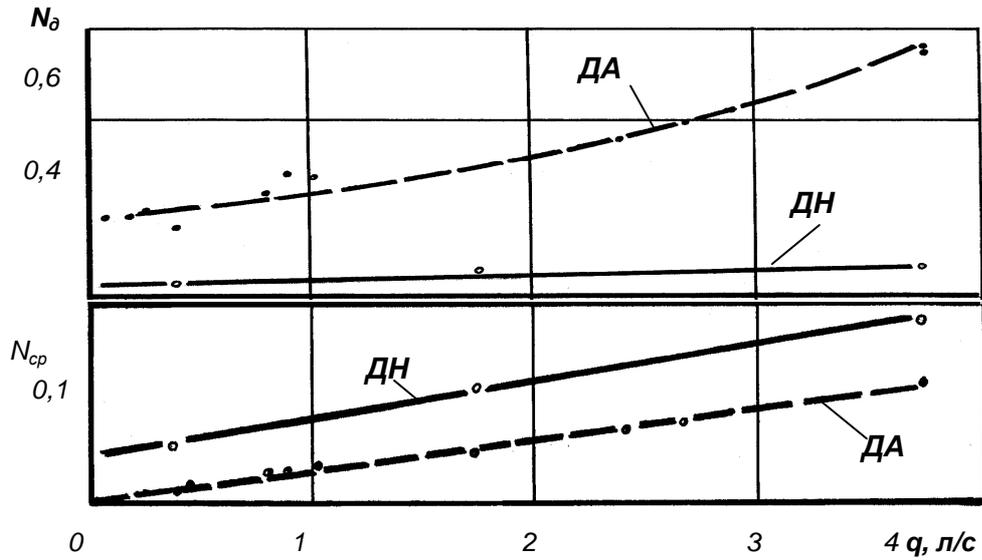


Рисунок 4.16 – Изменение действительной и средней мощности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» марки ДМ-454-100 со среднеструйными дождевальными аппаратами и УПД с дефлекторными насадками, установленными по учащенной схеме

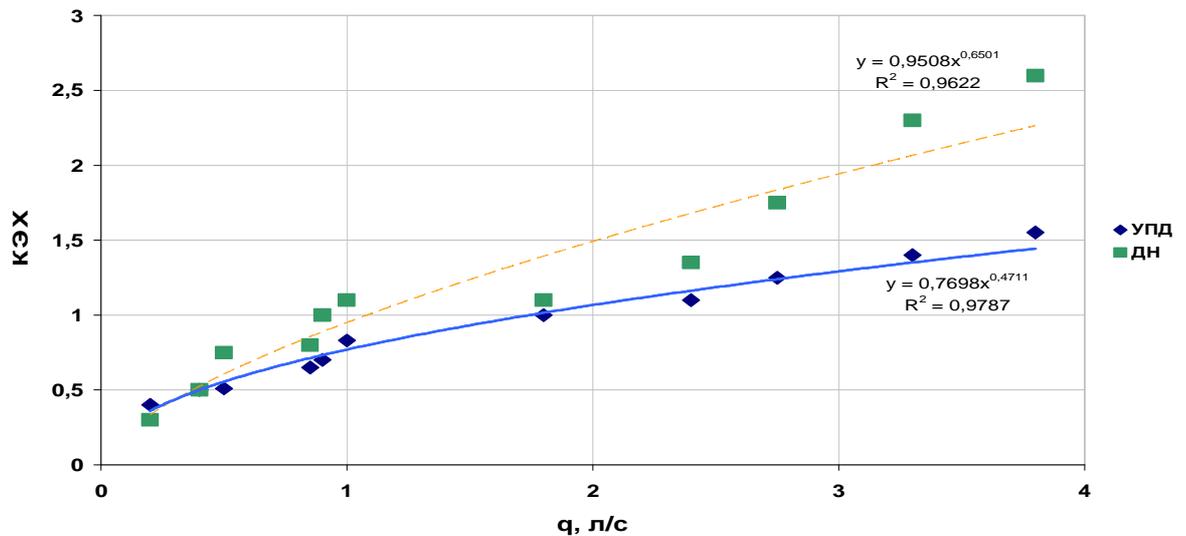


Рисунок 4.17 – Изменение комплексной энергетической характеристики дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с различными типами дождевателей

Лучшие результаты нормы полива до стока имеет ДМ «Фрегат» с УПД, которая формирует дождь с хорошими агротехническими параметрами ( $d_k=1,2$  мм,  $\rho_{ср} = 0,5$  мм/мин,  $\rho_{мг} = 1,5$  мм/мин). Это обеспечивает снижение комплексной энергетической характеристики дождя  $KЭХ = \rho_{мг}^{((6-1/6)-0,1)} \rho_c^{((1/6)-0,2)} h^{0,25} k^{0,3} (d^{1,5} + 1)$  и повышает норму полива до стока с 230...280 до 350...390 м<sup>3</sup>/га.

#### 4.11 Масса разбрызгиваемой почвы при поливе машиной «Фрегат» с различными типами дождевателей

Значения объёмной массы верхнего слоя почвы (0–5 см) после полива машиной «Фрегат» в зависимости от мощности дождя и элементов микрорельефа приведены в таблице 4.13.

Исследования показывают, что при поливе УПД с дефлекторными насадками мелкокапельный дождь малой мощности не уплотняет верхний слой почвы, а объёмная масса даже после 4 поливов находится на уровне объёмной массы богарного участка.

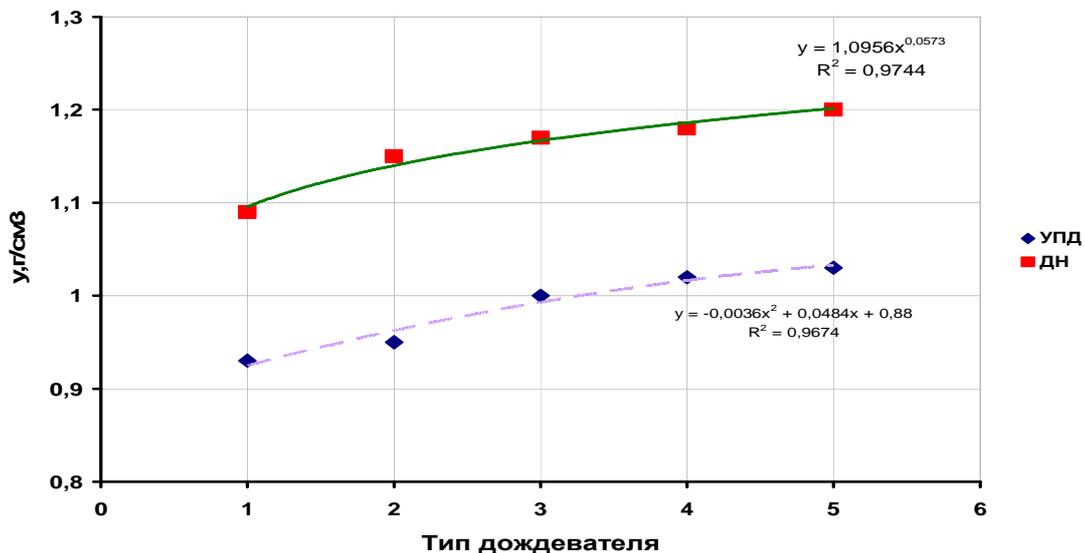


Рисунок 4.18 – Изменение объёмной массы почвы в верхнем слое (0–5 см) в зависимости от типа дождевателя (мощности дождя), вида сельскохозяйственной культуры и числа поливов ДМ «Фрегат»

Под действием капель дождя, изменяется макро и микроструктура почвы в верхнем ее слое и изменяется ее водопрочность (таблица 4.16). С увеличением мощности дождя снижается процент агрономически ценной фракции, коэффициент структурности, повышается процент глыбистой и пылевой фракций, также снижается водопрочность агрегатов.

Таблица 4.13. Изменение макро – и микроструктуры почвы в слое 0–5 см, коэффициента структуры, процента агрономически ценных агрегатов после полива ДМ «Фрегат» в зависимости от номера тележки, типа дождевального аппарата (мощности дождя)

Хозяйство, культура, число поливов	№ тележки	Тип аппа рата	Процент агрономически ценной фракции, мм				Кoeffи- циент структур ы	Глыб. фракц ия, 10	Пылев ая фракци я 0,25	Процент водопрочных агрегатов размером, мм		
			3–1	5–1	5–0,25	10–0,25				1	1–0,25	0,25
АО «Волга» Оз. пшеница 2 полива	1–2	1–2	19,12	27,9	41,8	54,4	1,19	39,71	5,88	2,66	45,3	52,04
	6–7	3	28,9	40,9	56,65	72,29	2,61	16,87	10,84	4,2	16,6	79,16
	12–13	4	24,7	35,9	51,28	67,52	2,08	23,9	8,55	3,4	27,4	69,16
	КДА	5	15,09	20,7	32,08	43,4	0,77	47,17	9,43	2,7	29,0	68,70
	Слив гидроцили ндра	–	17,24	25,8	43,11	56,9	1,32	31,03	12,07	1,76	29,0	69,0
богара	–	–	22,6	33,3	44,05	61,90	1,62	32,14	5,96	10,1	25,0	64,80
АО «Раскатовское» 5 поливов	2–3	2	36,36	47,27	67,26	79,90	3,99	14,50	5,48	5,8	45,3	48,40
	7–8	3	13,61	22,70	39,00	53,60	1,47	30,80	5,48	8,47	14,9	47,60
	12–13	4	34,7	44,90	62,30	76,80	3,31	17,39	5,81	7,0	45,4	46,72
	КДА	5	20,0	29,20	41,50	55,38	1,24	40,0	4,62	7,8	35,9	56,22
богара	–	–	24,1	33,20	48,40	62,07	1,64	31,80	6,05	4,28	22,1	73,60
АО «Ленинское», Кукуруза 4 полива	2–3	2-3	26,8	37,79	51,2	65,8	1,92	29,2	4,88	4,34	23,8	72,3
	8–9	3	28,8	31,89	45,41	74,3	2,89	22,9	2,7	2,60	27,8	69,6
	15–16	4	19,78	28,50	45,0	60,49	1,53	32,9	6,50	1,40	14,3	84,2
	КДА	5	20,6	30,1	47,6	61,9	1,60	28,5	9,50	2,86	15,5	81,6
	богара	–	24,1	36,1	46,9	62,6	1,67	31,3	6,0	2,32	26,8	70,8

С увеличением мощности дождя и энергетического показателя дождя увеличивается масса разбрызгиваемой почвы (таблица 4.14). Энергетический показатель дождя определяется по формуле:

$$\text{ЭПД} = \rho_{\text{ср}} \rho_{\text{мг}} d_{\text{к}},$$

где  $\rho_{\text{ср}}$ ,  $\rho_{\text{мг}}$  – средняя и мгновенная интенсивность дождя;

$d_{\text{к}}$ , – средний диаметр капли дождя, мм

Таблица 4.14 – Масса разбрызгиваемой почвы в зависимости от энергетического показателя дождя (ЭПД) дождевателей различных типов

№ тележки	Тип дождевателя	Диаметр сопла, мм	ЭПД	m, мм	M, г	P, кг/га	M <sub>y</sub> , кг/м <sup>3</sup>
Ячмень, 1 полив, опыт 3							
15-к	4	11,9–5,6	2,0	22,5	0,8	4076	15,98
15-14	4	11,9–5,6	2,1	21,5	0,88	4484	20,85
15-14	4	11,9–5,6	1,9	21,5	0,58	2955	13,74
15-14	4	11,9–5,6	1,82	23,7	0,29	1477	6,23
10-11	3	9,5–5,6	2,2	20,0	0,99	5049	25,24
10-11	3	8,7–5,6	0,8	20,7	0,46	2499	12,07
10-11	3	9,5–5,6	2,15	16,2	0,74	3774	23,29
9-10	3	9,5–5,6	0,8	21	0,52	2652	12,62
9-10	3	8,7–5,6	0,75	22	0,46	2346	10,66
Ячмень, 1 полив, опыт 5							
15-к	4	11,9–5,6	1,8	36,0	0,6	3060	8,5
10-11	3	8,7–5,6	0,64	21,5	0,075	382,5	1,77
10-11	3	8,7–5,6	0,62	15,5	0,05	255	1,64
Ячмень, 1 полив, опыт 4							
15	4	11,9–5,6	1,8	15,8	0,58	2958	18,72
11	3	9,5–5,6	0,9	23,5	0,27	1377	5,85
6	2	5,6–5,6	0,6	37,0	0,12	612	1,65
3	1	5,6	0,35	30,0	0,09	459	1,53
Капуста, 4 полива							
14-15	4	10,3–5,6	1,1	26,5	0,27	1377	5,19
14-15	4	10,3–5,6	1,1	25,2	0,16	816	3,23
11	3	8,7–5,6	0,75	32	0,20	1020	3,18
2	ДН	4	0,04	25,7	0,02	102	0,08
7	ДН	6	0,25	25,9	0,03	158	0,32
15-16	ДН	10	0,44	25,3	0,04	204	0,71

Примечание: m – норма полива, мм; M, г; P, кг/га – масса разбрызгиваемой почвы; M<sub>y</sub> – удельная масса разбрызгиваемой почвы, кг/м<sup>3</sup>

Минимальные значения ЭПД имеют дефлекторные насадки. Его значения изменяются вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» в пределах 0,04...0,44. Для

дождевальных аппаратов № 1 и 2 ЭПД находится в диапазоне 0,2..0,6. Большие значения ЭПД (0,8...2,2) имеют аппараты № 3, 4 и 5. Исследования показывают уменьшение массы разбрызгиваемой почвы в зоне полива аппаратов № 1 и 2, а также дефлекторных насадок по сравнению с аппаратами «Фрегат» № 3, 4 и 5 (рисунок 4.19).

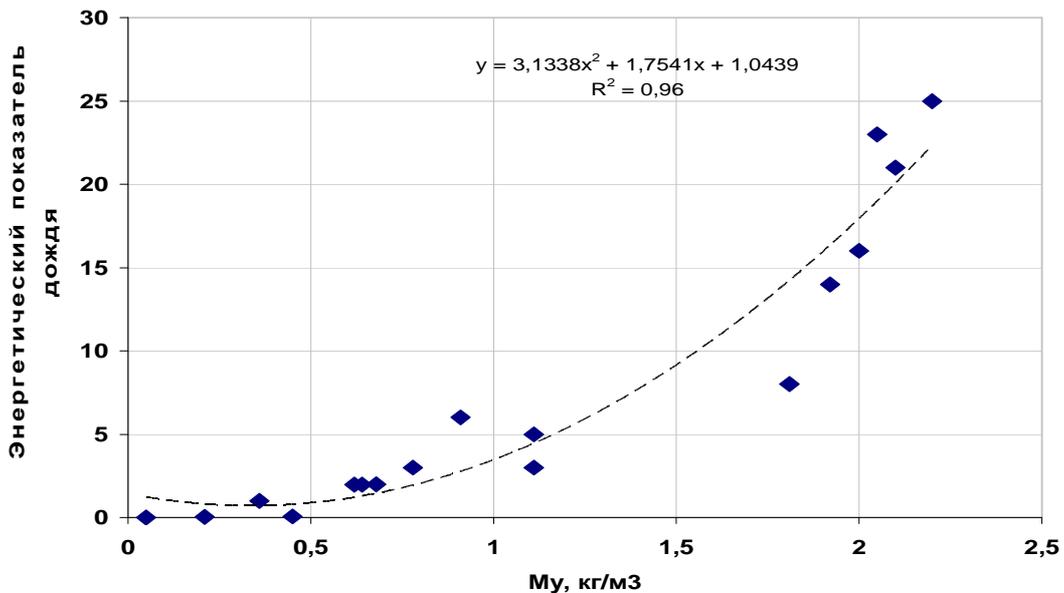


Рисунок 4.19 – Изменение удельной массы разбрызгиваемой почвы в зависимости от энергетического показателя дождя при поливе ДМ «Фрегат»

Таким образом, исследования показывают, что УПД с дефлекторными насадками, формирующими мелкокапельный дождь малой мощности и имеющими невысокий ЭПД, обеспечивают минимальные значения массы разбрызгиваемой почвы.

#### 4.12 Выводы

Установлено, что ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания обеспечивают требуемый расход воды 38, 45 и 90 л/с при напоре на входе в низконапорную машину 0,34; 0,36 и 0,48 МПа (вар. 1) и серийную машину

0,44: 0,46 и 0,60 МПа, соответственно для 9, 12 и 16-опорных машин марки ДМУ-Б-260-38 , ДМУ-Б-337-45 и ДМУ-Б-463-90. ДМ «Фрегат» должны комплектоваться устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками, установленными по учащенной схеме, по рассчитанным картам настройки.

Высота подъема дождевого облака ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания и дефлекторными насадками снижается до 1,1...1,7 м над поверхностью поля. Это обеспечивает снижение потерь воды на испарение и снос, которые уменьшаются вдоль трубопровода машины (при средних погодных условиях Саратовской области) с 10,4–22,5% до 4–10 % (примерно в два раза).

Исследования показывают, что УПД с дефлекторные насадки обеспечивают мелкокапельный дождь, средний диаметр капель которого в начале машины составляет 0,4...0,5 мм, в конце машины – 0,9...1,0 мм. Скорость падения капель дождя дождевальных аппаратов вдоль трубопровода машины «Фрегат» изменяется в пределах 6...12 м/с. Для дефлекторных насадок она гораздо меньше – 3...6 м/с. При таком дожде снижается энергетическое воздействие на почву и сельскохозяйственные растения, уменьшается объемная масса верхнего слоя почвы и масса разбрызгиваемой почвы. Несмотря на увеличение средней интенсивности дождя УПД, обеспечивает поливные нормы до стока на уровне серийных аппаратов.

Коэффициент вариации слоя дождя в зоне полива аппарата после прохода машины зависит от отношения  $R/\ell$ , частоты вращения аппарата, среднего отношения напора к диаметру  $H/D$ , скорости ветра и угла наклона струи к горизонту. Устройства приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками в результате снижения угла вылета струи к горизонту, оптимизации отношения  $H/D$  обеспечивают снижение коэффициента вариации с 15,7–26,0 % до 10,8–21,4 % (в среднем на 30 %). Исследования показали, что внедрение на ДМ «Фрегат» устройств приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками, устанавливаемых по учащенной схеме, повышает равномерность полива. Коэффициент эффективного полива, при средней скорости ветра 3...4 м/с для Саратовской области, находится в пределах 0,70...0,75 (повышается на 20...25 %).

## 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ДМ «ФРЕГАТ»

### 5.1 Влажность почвы и урожайность сельскохозяйственных культур при поливе дефлекторными насадками и серийными аппаратами

Изменение влажности почвы до и после полива дождевальнoй машиной «Фрегат» оснащенной серийными аппаратами и УПД с дефлекторными насадками, приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Запас влаги в слое почвы 0–50 сантиметром и урожайность на площадках, политых ДМ «Фрегат» с серийными аппаратами и дефлекторными насадками

Тип дождевателя	Норма полива, мм 15.07	Норма полива, мм 15.08	Запас влаги, мм 4.09	Суммарное испарение, мм 6.05–21.06	Урожайность капусты, т/га	Коэффициент водопотребления т/м <sup>3</sup>
СА	60	60	76,5	121,7	850	53,5
УПД-ДН	55	55	87,7	122,2	895	50,0

Исходный запас влаги перед поливом ДМ «Фрегат» в 0–50 см слое почвы составил 103,5 мм. Перед поливом запас влаги на площадке серийных аппаратов был 95,8 мм, а дефлекторных насадок – 69,8мм. После полива запас влаги увеличился до 102,1 и 95,8 мм. Прибавка влаги составила 11,3 и 21,1 мм при средней норме полива 30 мм и после двух суток испарения влаги с почвы и потребления ее травосмесью.

Перед вторым поливом запас влаги составил 54 и 58,9 мм. После второго полива нормой 30 мм влажность определялась только через 6 дней, поэтому значительная часть влаги ушла на потребление капустой и испарение с почвы. Запас влаги составил соответственно 62,4 и 65,5 мм.

К концу вегетации после проведения еще 13 поливов нормой по 30 мм и прошедших дождей запас влаги на 4.09 составил на площадках серийных аппаратов и дефлекторных насадок соответственно 76,5 и 87,7 мм. Общий запас влаги в слое почвы 0–50см в зоне полива модернизированными аппаратами и вращающимися дождевателями увеличился на 3 и 14,6 %.

Данные средней урожайности капусты травосмеси после двух поливов ДМ «Фрегат» приведены в таблице 5.1.

После поливов нормой 30 мм урожайность капусты составила: при поливе серийными аппаратами – 850 ц/га, УПД с ДН – 895 ц/га. Прибавка – 45 ц/га. Это объясняется более равномерным поливом (снижается КВ), уменьшением потерь воды на испарение и снос, улучшением структуры дождя, повышением влажности почвы в зоне полива модернизированными аппаратами и вращающимися дождевателями и снижением воздействия дождя на почву и растения.

## **5.2 Экономическое обоснование применения дефлекторных насадок на дождевальной машине**

Дождевальные машины «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания, обеспечивающими ресурсосберегающие процессы полива, прошли приемочные испытания на ФГУ «Поволжская машиноиспытательная станция» (Протокол № 08-95-2009). Дождевальные машины «Фрегат» с устройством приповерхностного дождевания внедрены в Энгельском районе (ОПХ «ВолжНИИГиМ», ООО «Березовское», ООО «ВИТ»), в ЗАО «АФ «Волга» Марковского района, в ОНО «Крутое» Балаковского района и др. Результаты исследований устройства приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» используются в производственной организации ООО «Мелиоснаб» (г. Маркс), ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» и др.

Экономическая эффективность внедрения дефлекторных насадок устанавливаемых на трубопроводе машины «Фрегат» по учащенной схеме через равные расстояния на пролетах обеспечивается за счет:

- вследствие повышения урожайности, сохранности рассады из-за щадящего режима дождевания, качества выращенной продукции;

– повышения равномерности полива при средней скорости ветра 3–4м/с на 20–25 % и увеличения коэффициента эффективного полива до 0,72;

– стабильной работы в течение длительного срока службы при низкой вероятности засорения и отсутствии отказов;

– создания мелкокапельного дождя, диаметром 0,5–0,9 мм, с незначительной долей «водяной пыли», обладающего небольшой скоростью падения и мощностью дождя, при котором снижается энергетическое воздействие на почву и сельскохозяйственные растения и уменьшается разрушение и уплотнение почвы;

– снижения высоты подъема дождевого облака до 1,1–1,7м над поверхностью почвы и уменьшения потерь воды на испарение и снос дождя в среднем на 10,4– 22,5 % .

Перечисленные выше показатели способствуют увеличению урожайности сельхозкультур на 5,5–18 %.

Расчет экономической эффективности ведется на основании «Инструкции по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в орошении и осушении земель, обводнении пастбищ в мелиоративном строительстве» и «Руководства по определению экономической эффективности новой поливной техники», а также в соответствии с другими изданиями [15, 36, 38, 41, 45, 55, 56, 76, 79]. Данные расчета представлены в таблице 5.2.

Годовой приведенный экономический эффект от эксплуатации новой машины ( $\mathcal{E}_z$ ) в рублях определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_z = A (P_{\delta} - P_n + \mathcal{E}), \quad (5.1)$$

где  $P_{\delta}$  и  $P_n$  – приведенные затраты на объем сельскохозяйственной продукции при поливе базовой и новой дождевальными машинами, руб./га;

Э – экономический эффект от снижения потерь воды на испарение и снос в расчете на 1 га; руб./га;

А – годовой объем внедрения, га.

Таблица 5.2 – Данные расчета

Наименование показателей	Принятые обозначения	Ед. изм.	Сравниваемые варианты	
			базовый	новый
1 Объем внедрения	А	га	–	140
2 Количество внедренных устройств	<i>n</i>	шт.	–	2
3 Количество поливов	–	–	13	13
4 Норма полива за сезон	–	м <sup>3</sup> /га	3900	3900
5 Коэффициент эффективности полива при скорости ветра 3,8 м/с	–	–	0,53	0,72
6 Потери воды на испарение и снос	–	%	16	9
7 Урожайность капусты	У	ц/га	850	895
8 Стоимость валовой продукции с 1 га	Ц	руб./га	425000	447500
9 Закупочная цена на капусту	Ц <sub>з</sub>	руб./т	500	500
10 Приведенные затраты на 1 га орошаемой площади	З	руб./га	408000	408248
11 Себестоимость 1 т капусты	С	руб./т	4800	4560
12 Экономия оросительной воды	ΔW	м <sup>3</sup> /га	–	429
13 Стоимостная оценка оросительной воды	С <sub>в</sub>	руб./м <sup>3</sup>	1,5036	1,5036
14 Нормативный коэффициент эффективности	Е <sub>н</sub>	–	0,15	0,15
15 Стоимость одного устройства	Ц <sub>у</sub>	руб.	–	60000
16 Экономическая эффективность на машину	Э	руб.	–	347277
17 Прирост прибыли в хозяйстве на 1 га орошаемой площади	ΔП	руб./га	–	22897

Рассчитываем стоимость валовой продукции с 1 га орошаемой площади при поливе базовой и новой дождевальными машинами:

$$Ц_1 = Ц_3 \cdot У_1; \quad (5.2)$$

$$Ц_2 = Ц_3 \cdot У_2, \quad (5.3)$$

где  $Y_1$  и  $Y_2$  – урожайность сои при поливе базовой и новой дождевальными машинами, т/га.

Приведенные затраты на 1 га орошаемой площади определяются:

$$P_1 = C \cdot Y_1, \quad (5.4)$$

$$P_2 = C \cdot Y_2 + K_{ин}. \quad (5.5)$$

Тогда с учетом вышеизложенного годовой приведенный экономический эффект от эксплуатации ДМ «Фрегат» оборудованных устройствами приповерхностного полива составляет 125000 руб.

Прирост прибыли в хозяйстве на 1 га орошаемой площади составит 22897 руб. определяется:

$$\Delta П = [(Ц_2 - (P_2 - K_{ин})) - (Ц_1 - P_1) + \Delta W \cdot C_e]. \quad (5.6)$$

Экономический эффект от использования за срок службы новой машины ( $\mathcal{E}_{с.с}$ ) в рублях определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{с.с} = \mathcal{E}_2 / (a_n + E); \quad (5.7)$$

где:  $\square_n$ - коэффициент отчислений на реновацию по новой машине.

Полная экономия затрат на стадиях производства и эксплуатации ДМ «Фрегат» за весь срок службы составил 347277 руб./год.

### 5.3 Выводы

Исследованиями подтверждается, что урожайность сельскохозяйственных культур при поливе ДМ «Фрегат» в основном определяется количеством оросительной воды, поступившей за вегетационный период, качеством полива (равномерностью полива, интенсивностью и крупностью капель, мощностью дождя, нормой полива до стока и др.). Некачественная регулировка аппаратов на требуемый расход воды приводит к потере до 20 % урожая.

В зоне полива устройствами приповерхностного дождевания с дефлекторными насадками наблюдается увеличение запаса влаги в почве после четырех поливов в среднем на 7,7 %. Внедрение устройств приповерхностного

дождевания с дефлекторными насадками за счет более равномерной подачи оросительной воды, снижения потерь воды на испарение и снос, уменьшения среднего диаметра капель и мощности дождя в конце машины обеспечивает повышение урожайности сельхозкультур на 5,0–18,0 %. Экономическая эффективность от повышения урожайности сельскохозяйственных культур составляет 347 тыс. руб. на машину. При стоимости одного комплекта УПД с дефлекторными насадками 60 000 руб. оборудование окупается в первый год эксплуатации.

За последние годы изготовлено 10 комплектов УПД с дефлекторными насадками (учащенная схема расстановки), которые внедрены на 3 машинах «Фрегат» в ОПХ «ВолжНИИГиМ» и ООО «ВИТ» Энгельсского района, на 2 машинах в ОНО ОПХ «Крутое» Балаковского района, на 3 машинах в ЗАО АФ «Волга» Марковского района и др.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. На основании анализа и оценки эффективности использования ДМ «Фрегат» теоретически определены потери воды на испарение при поливе с учетом распределения крупности капель и интенсивности дождя на площади полива, высоты установки дождевателя, времени полета отдельных капель дождя и метеорологических условий. Определена зависимость для расчета потерь воды на испарение и снос при поливе различными типами дождевателей с учетом их конструктивно-технологических параметров и метеорологических условий. Доказано, что для снижения потерь воды на испарение и снос необходимо уменьшать высоту подъема дождевого облака и оптимизировать параметры распыла дождевателей.

2. Уточнены математические зависимости для расчета расхода воды дефлекторной насадкой установленной на УПД, и радиуса полива в зависимости

от диаметра сопла, напора и высоты ее установки. С учетом величины потерь напора по длине УПД при расходе воды дефлекторной насадки 0,1...0,7 л/с, диаметр труб должен быть 15 мм; при 0,7...1,3 л/с, 20 мм; 1,3...2,0 л/с, 25 мм.

Разработан алгоритм для расчета полета капель дождя в зависимости от скорости и направления ветра, а также крупности капель. Обоснована конструкция устройства приповерхностного дождевания (Пат. 74033) и дефлекторной насадки. Размещение УПД с дождевальными насадками на трубопроводе ДМ «Фрегат» в шахматном порядке по учащенной схеме обеспечит снижение средней интенсивности дождя на пролетах машины на 15–24 %.

3. На основании исследований установлено, что ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания, расположенными по учащенной схеме, обеспечивает требуемый расход воды как при стандартном, так и при низком напоре.

Высота подъема дождевого облака снижается до 1,1...1,7 м над поверхностью поля, что обеспечивает уменьшение потерь воды на испарение и снос вдоль трубопровода машины (при средних погодных условиях Саратовской области) с 10,4–22,5 до 4–10 %. При этом коэффициент эффективного полива, при средней скорости ветра 3...4 м/с для Саратовской области, находится в пределах 0,70...0,75 (повышается на 20–25 %).

4. УПД с дефлекторными насадками обеспечивают мелкокапельный дождь, средний диаметр капель которого в начале машины составляет 0,4...0,5 мм, в конце машины – 0,9..1,0 мм, скорость падения капель дождя от дождевальных аппаратов вдоль трубопровода машины «Фрегат» изменяется в пределах 6...12 м/с, от дефлекторных насадок она гораздо меньше – 3...6 м/с. При таком дожде снижается энергетическое воздействие на почву и сельскохозяйственные растения, уменьшается объемная масса в верхнем слое почвы и масса разбрызгиваемой почвы, что приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 5,0-18,0 %

5. Экономическая эффективность от повышения урожайности сельскохозяйственных культур составляет 347 тыс. руб. Дождевальные машины

«Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания внедрены в 2 орошаемых хозяйствах Саратовской области. При стоимости одного комплекта УПД с дефлекторными насадками 60 тыс. руб. оборудование окупается в первый год эксплуатации.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абрамов, А. М. Определение параметров впитывания воды в почву с учетом энергетических характеристик дождя / А. М. Абрамов // Почвоведение. – 1985. – № 6. – С. 137–143.
2. Абрамов, А. М. Методы определения эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Абрамов Анатолий Михайлович – М., 1987. – 18 с.
3. Абрамов, Г. Ф. Исследование структуры дождя при орошении дождеванием: автореф. дис. канд. техн. наук / Абрамов Г. Ф. – М., 1952. – 20 с.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М. Наука, 1969. – 315 с.
5. Айдаров, Н. П. Оросительные мелиорации / Н. П. Айдаров, А. И. Голованов. – М. : Колос, 1982. – 176 с.
6. Алферов, Ю. В. Технология орошения дождеванием на уплотненных южных черноземах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Алферов Юрий Вадимович. – М., 1989. – 23 с.
7. Анисимов, В. А. Потери воды при испарении / В. А. Анисимов, М. С. Мансуров // Гидротехника и мелиорация. – 1969. – № 8. – С. 37–44.
8. Багров, М. Н. Оросительные системы и их эксплуатация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. — М. : Колос, 1978. – 208 с.
9. Бальбеков, Р. А. О рациональной конструкции и практике использования короткоструйных дождевальных насадок / Р. А. Бальбеков, Н. А. Безроднов, П. И. Попов // Агротехническая и технико-эксплуатационная оценка способов полива сельскохозяйственных культур в Поволжье : материалы НПК. – Волгоград, 1974. – С. 58–65.
10. Безуевский, И. Л. Технико-экономическая оценка орошения хлопчатника дождевальной машиной «Фрегат» / И. Л. Безуевский // Новая техника в эксплуатации оросительных систем Средней Азии и Казахстана : сб. науч. тр. / САНИИРИ. – Ташкент, 1974. – Вып. 141. – С. 3–9.

11. Беляев, В. В. Дождевальные машины / В. В. Беляев, Б. М. Лебедев. – М. : Машгиз, 1957. – 295 с.
12. Бондарев, А. А. Моделирование оптимальных процессов дождевания сельскохозяйственных культур среднеструйными дождевальными аппаратами для повышения равномерности полива : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Бондарев А. А. – зерноград, 1999. – 20 с.
13. Бончковский, Н. Ф. Исследование равномерности распределения искусственного дождя на математических моделях : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Бончковский Н. Ф. – М., 1970. – 21 с.
14. Бородин, В. А. Распыливание жидкостей / В. А. Бородин. – М. : Машиностроение, 1967. – 262 с.
15. Бредихин, Н. П. Улучшение качества работы одиночных дальнеструйных аппаратов при ветре / Н. П. Бредихин // Вопросы механизации орошения сельхозкультур : материалы НТС ВИСХОМ. – М., 1966. – Вып. 21. – С. 319–330.
16. Бредихин, Н. П. Влияние ветра на работу дальнеструйных дождевателей и пути повышения качества полива : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Бредихин Николай Петрович. – М., 1969. – 19 с.
17. Бубенчиков, М. А. О снижении энергоемкости полива короткоструйных дефлекторных насадок / М. А. Бубенчиков, А. Н. Данильченко, Н. П. Пацер // Экологическое и экономическое обоснование технологии и технических средств полива : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – М., 1989. – С. 42–47.
18. Булиенко, Л. М. Характеристика полива сельхозкультур ДМ «Фрегат» в условиях юга Украины / Л. М. Булиенко // Вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных систем : сб. науч. тр. / УкрНИИГиМ. – Киев, 1978. – С. 38–49.
19. Васильев, А. Г. Исследования стационарной дождевальной системы с дефлекторными насадками в теплицах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Васильев Анистрад Григорьевич. – М., 1978. – 21 с.
20. 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.

21. Водный режим почвогрунтов при орошении ДМ «Фрегат» / В. А. Емельянов [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 1. – С. 46–51.
22. Волков, В. А. Приближенный расчет движения тел в сопротивляющейся среде / В. А. Волков // Труды ВИСХОМ. – М. : ЦБТИ, 1959. – Вып. 24. – 17 с.
23. Гаврилица, О. А. Эрозионная деградация черноземов при поливе дождеванием и пути ее предупреждения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гаврилица О. А. – Кишинев, 1991. – 48 с.
24. Гаврилица, О. А. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / О. А. Гаврилица // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С. 77–84.
25. Гавырин, И. В. К вопросу об исследовании гидромониторных струй / Гавырин И. В. // Сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М. : ВАСХНИЛ, 1938. – С. 131–142.
26. Гаджиев, Г. М. К вопросу использования дождевальных машин «Фрегат» при орошении приоазисных песчаных земель / Г. М. Гаджиев // Тракторы и сельхозмашины. – 1976. – № 11. – С. 20–21.
27. Гаджиев, Г. М. Скорость падения капель дождя, создаваемого дождевальной машиной «Фрегат» / Г. М. Гаджиев // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 7. – С. 26–27.
28. Гаджиев, Г. М. Исследования и обоснование оптимальных параметров дождя «Фрегат» для орошения приоазисных песков : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гаджиев Г. М. – М., 1979. – 18 с.
29. Гаджиев, Г. М. Особенности орошения приоазисных песков дождеванием / Г. М. Гаджиев, Ю. С. Пунинский // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 5. – С. 38–41.
30. Гарюгин, Г. А. Режим орошения сельскохозяйственных культур / Г. А. Гарюгин. – М. : Колос, 1979. – 269 с.
31. Голы, М. Оросительные мелиорации / М. Голы. – М. : Колос, 1988. – 189 с.
32. Гомберг, С. В. Совершенствование технико-технологических показателей полива дождевальной машиной «Фрегат» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гомберг Сергей Владимирович. – Саратов, 2007. – 19 с.

33. Гордон, С. М. Орошение дождеванием и ветровой режим Поволжья / С. М. Гордон, В. Н. Бережнова // Дождевание сельскохозяйственных культур : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Коломна, 1973. – Т. 4. – С. 17–25.
34. Городничев, В. И. Оценка крупности капель / В. И. Городничев // Основные направления технического прогресса механизации и техники полива : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – М., 1983. – С. 102–110.
35. Городничев, В. И. К оценке дождевальной техники / В. И. Городничев // Экологически и экономически обоснованные технологии и технические средства полива: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1999. – С. 121–127.
36. Григорьев, В. А. Прогноз и предупреждение эрозии почв при орошении / В. А. Григорьев, С. Ф. Краснов. – М. : МГУ, 1992. – 206 с.
37. Григоров, К. С. Моделирование сложных производственных процессов в гидромелиорации / К. С. Григоров // Земледелие. – 2002. – № 6. – С. 15–16.
38. Гринь, Ю. И. Совершенствование оросительных систем на основе ресурсосберегающих технологий и средств орошения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гринь Юрий Иванович. – Киев, 2000. – 50 с.
39. Губер, К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Губер Кирилл Вадимович. – М., 2000. – 48 с.
40. Гусев, С. Н. Методы номографии для определения оптимальных параметров элементов оросительных систем при поливе дождеванием / С. Н. Гусев, С. Н. Никулин. – Саратов, 1978. – 119 с.
41. Гусейн-Заде, С. Х. Многоопорные дождевальные машины / С. Х. Гусейн-Заде, Л. А. Перевезенцев, В. И. Коваленко. – М. : Колос, 1984. – 191 с.
42. Дементьев, В. Г. О движении и разрушении дождевальных струй: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Дементьев В. Г. – Л., 1952. – 16 с.
43. Дождевальная машина ДМУ. Руководство по эксплуатации ДМУ-00.000 РЭ. – М., 1976. – 32 с.
44. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1973. – 336 с.

45. Дулов, И. Потери воды при дождевании / И. Дулов // Мелиорация : реферативный журнал. – 1975. – № 8. – С.16–18.
46. Дунский, В. Ф. Пестицидные аэрозоли / В. Ф. Дунский, В. Н. Никитин, М. С. Соколов. – М. : Наука, 1982. – 287 с.
47. Ермаков, Б. С. Мелкодисперсный распылитель воды для зеленого черенкования / Б. С. Ермаков, С. П. Ильин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1977. - № 6. - С. 46-47.
48. Ерхов, Н. С. Поливной режим как элемент технологии полива / Н. С. Ерхов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 4. – С. 16–19.
49. Ерхов, Н. С. Экспериментальное изучение безнапорного впитывания воды в почву при поливе дождеванием в условиях Центрального района Нечерноземной зоны СССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ерхов Николай Сергеевич. – М., 1966. – 18 с.
50. Иванов, В. А. Учет потерь воды при поливе дождеванием / В. А. Иванов // Труды Волгоградского СХИ. – Волгоград, 1978. – Т. 76. – С. 21–26.
51. Ивоботенко, Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. А. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский. – М. : Энергия, 1975. – 156 с.
52. Ильин, С. П. Сравнительная характеристика гидравлических параметров дождевальных насадок, применяемых для дорощивания укороченных зеленых черенков / С. П. Ильин // Доклад ТСХА. – 1972. – Вып. 173. – С. 78–81.
53. Ильясов, Ш. И. Исследование и обоснование параметров и режимов работы рабочих органов дальнеструйной дождевальной машины с целью улучшения качества полива : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ильясов Шмидт Ильясович. – Баку, 1980. – 25 с.
54. Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М. : Машиностроение, 1973. – 215 с.
55. Исследования режима орошения и техники полива сельскохозяйственных культур в Сыртовой части массива Куйбышевской обводнительно-оросительной системы : отчет о НИР / ВолжНИИГиМ ; рук. Клепальский А. П. – Энгельс, 1976. – 172 с.

56. Казаков, С. П. Рациональная расстановка дождевальными насадок / С. П. Казаков // Гидротехника и мелиорация. – 1953. – № 4. – С. 37–44.
57. Калашников, А. А. Определение качества дождя при работе дождевальных аппаратов, установок и машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Калашников А. А. – Ставрополь, 1973. – 20 с.
58. Кальянов, Г. С. О потерях оросительной воды при поливе дождеванием / Г. С. Кальянов // Гидротехника и мелиорация. – 1954. – № 11. – С. 11–13.
59. Каштанов, В. В. Технология и дождевальная установка для орошения приусадебных и садово-огородных участков : автореф. ... дис. канд. техн. наук / Каштанов Василий Васильевич. – Рязань, 2005. – 26 с.
60. Кван, Р. А. Установление потерь оросительной воды в процессе полива дождеванием / Р. А. Кван, В. В. Немченко, А. Н. Аяббертепов // Обводнение и сельхозводоснабжение : сб. науч. тр. / САНИИРИ. – Ташкент, 1978.– Вып. 155.– С. 50–57.
61. Кервашвили, Д. М. Дождевальные установки и вопросы их применения : автореф. дис. канд. техн. наук / Кервашвили Д. М. – М., 1970. – 18 с.
62. Клепальский, А. П. Влияние интенсивности дождя на поливные нормы в зоне Сыртов Заволжья. / А. П. Клепальский, В. Н. Корочков, А. Я. Божкова.// Орошение земель в Поволжье – Саратов, 1973. – С. 108–117.
63. Колганов, А. В. Научные основы развития орошения и техническое совершенствование оросительных систем в засушливой зоне Российской Федерации : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Колганов Александр Васильевич. – М., 2000. – 52 с.
64. Колесников, Ф. И. Новая дождевальная техника и оценка ее эффективности: обзорная информация ЦНИИТЭИ. / Ф. И. Колесников. - М.: В/О «Сельхозтехника», 1973. – 59 с.
65. Колесников, Ф. И. Методика оценки эффективности дождевальных машин / Ф. И. Колесников. – М., 1975. – 157 с.

66. Колесников, Ф. И. Оценка существующей техники и перспективы ее развития / Ф. И. Колесников // Вестник сельскохозяйственных наук. – 1986. – № 12. – С. 71–73.

67. Костин, И. С. Итоги работ по обоснованиям способов и техники полива в зоне Саратовского Заволжья / И. С. Костин, А. П. Клепальский, В. Н. Корочков // Технология полива сельскохозяйственных культур : сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. – М., 1972. – С. 59–67.

68. Корягин, А. Н. Техника орошения культурных пастбищ / А. Н. Корягин, В. Н. Данильченко. – М.: Колос, 1978. – 150 с.

69. Краковец, В. М. Справочник оператора «Фрегата» и «Волжанки» / В. М. Краковец, С. Н. Никулин. – М. : Колос, 1976. – 240 с.

70. Краснощеков В. С. Влияние равномерности полива на урожай сельхозкультур / В. С. Краснощеков // Новое в технике и технологии полива : сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1976. – Вып. 9. – С. 88–97.

71. Краснощеков, В.С. Энергетическая оценка качества дождя машин «Фрегат» и «Волжанка» / В. С. Краснощеков // Новое в технике и технологии полива: сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1979. – Вып. 12. – С. 88–97.

72. Кружилин, И. П. Улучшение качества полива машиной «Фрегат» в Волгоградском Заволжье / И. П. Кружилин, П. И. Кузнецов // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 12. – С. 29–35.

73. Кузнецов, М. С. Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием / М. С. Кузнецов, В. Я. Григорьев, К. Ф. Хан. – М. : Наука, 1990. – 120 с.

74. Кузнецов, П. И. Исследования параметров структуры дождя и качества полива машин кругового действия в Волгоградском Заволжье : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кузнецов Петр Иванович. – Новочеркасск, 1983. – 20 с.

75. Ландес, Г. А. Эксплуатация широкозахватных дождевальными машин и результаты исследований их работы в производственных условиях / Г. А. Ландес, В. Г. Луцкий, С. М. Давшан // Широкозахватные дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка» : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Коломна, 1974. – Т. 5. – С. 198–297.

76. Ларионова, А. М. Впитывающая способность почв при поливе дождеванием: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ларионова Антонина Михайловна. – М., 2004. – 39 с.
77. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины: теория и конструкции/ Б. М. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1977. – 246 с.
78. Листопад, Г. Е. Определение дальности полета струи дождевального аппарата / Г. Е. Листопад, Н. А. Безроднов // Орошаемое земледелие Поволжья : сб. науч. тр. – Волгоград, 1972. – Вып. 1. – С. 23–27.
79. Литвиненко, А. Ф. К вопросу определения расчетной энергетической характеристики дождя для стационарных оросительных систем / А. Ф. Литвиненко // Оптимизация технических средств и технологии полива : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП - М., 1985. – С. 172–179.
80. Лямперт, Г. П. Дождевание при ветре ДДН-70 при изменении угла наклона ствола аппарата / Г. П. Лямперт // Новое в технике и технологии полива : сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1980. – С. 54–58.
81. Машины и установки дождевальные. Программа и методы испытаний. РД 10.11.1– 89. – Издание официальное. – 172 с.
82. Мансуров, М. С. Расчет потерь воды на испарение при поливе дождеванием / М. С. Мансуров // Использование пресных и минеральных вод при орошении и промывке земель : сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1971. – С. 29–44.
83. Марквартде, В. М. Метод расчета основных параметров дождевальных аппаратов / В. М. Марквартде // Вопросы механизации орошения сельскохозяйственных культур: материалы НТС. – М., 1966. – Вып. 21. – С. 54–63.
84. Математическая статистика. – М. : Высшая школа, 1975. – 398 с.
85. Махмурян, В. П. Исследование дождевальных аппаратов с регулируемыми параметрами дождя и к вопросу их применения : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Махмурян В. П. – М., 1974. – 20 с.
86. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник ; под ред. Б. Б. Шумакова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 415 с.

87. Миленин, Б. О. Исследование интенсивности искусственного дождя и выбор ее значения при проектировании дождевальных машин / Б. О. Миленин // Вопросы механизации орошения сельскохозяйственных культур в СССР : материалы НТС. – М., 1966. – Вып. 21. – С. 180–196.

88. Милович, А. Б. Гидравлика / А. Б. Милович. – М. : ОНТИ, 1938. – 138 с.

89. Михалев, Н. В. Обоснование технологических и технических решений по распределению стоков дождевальных машин кругового действия : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Михалев Николай Владимирович. – М., 2000. – 21 с.

90. Модернизация дождевого пояса дождевальной машины «Фрегат» / А. И. Рязанцев [и др.] // Проблемы и перспективы совершенствования технологии совершенствования и водоснабжения: сб. науч. тр. / ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2001. – С. 71–76.

91. Москвичев, Ю. А. Агрономическая оценка полива широкозахватными дождевальными машинами / Ю. А. Москвичев // Широкозахватные дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка» : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Коломна, 1974. – Т. 5. – С. 60–104.

92. Мустафаева, М. К. Исследование среднеструйных разбрызгивателей в условиях Азербайджанской ССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Мустафаева М. К. – Баку, 1962. – 19 с.

93. 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.

94. Назаров, М. И. Дождевание сельскохозяйственных культур и перспективы его применения в Киргизии / М. И. Назаров. – Фрунзе, 1966. – 98 с.

95. Назаров, М. И. Потери воды на испарение в воздухе и снос ветром при дождевании / М. И. Назаров // Вопросы водного хозяйства. – Фрунзе: Кыргызстан, 1973. – Вып. 31. – С. 34–42.

96. Незнаенко, С. Н. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на стадии производственного освоения / С.Н. Незнаенко // Агротехническая и технико-

эксплуатационная оценка способов полива сельскохозяйственных культур в Поволжье : материалы обл. науч.-техн. конф. – Волгоград, 1974. – С. 75–82.

97. Низконапорные короткоструйные насадки широкозахватной техники / А. В. Угрюмов [и др.]// Мелиорация и водное хозяйство. Орошение и оросительные системы: экспресс-информация : ЦБНТИ: Серия 1. – М., 1981. – Вып. 10. – С. 4–15.

98. Никулин, С. Н. Ресурсосберегающие технологии орошения / С. Н. Никулин // Гидротехника и мелиорация. – 1991. – № 4. – С. 27–31.

99. 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. / ВНИИ «Радуга». – Коломна, 1998. – С. 3–13.

100. Носенко, В. Ф. Оптимизация технологического процесса полива / В. Ф. Носенко // Экологически и экономически обоснованные технологии и технологические средства полива : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – М., 1989. – С. 3–12.

101. Нуриддинов, Т. Н. Исследование и изыскание рациональных параметров коромыслового привода среднеструйных дождевальных аппаратов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Нуриддинов Ташнияз Нуриддинович. – М., 1975. – 22 с.

102. Овчаров, В. А. Потери воды на испарение при дождевании широкозахватными машинами в Поволжье / В. А. Овчаров, В. И. Шигаев // Вопросы орошения в Поволжье: сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – М., 1980. – С. 88–92.

103. Ожередов, Н. И. Потери воды на испарение при поливе ДМ «Кубань» /Н. И. Ожередов // Экономия энергозатрат и повышение экологической безопасности полива : сб. науч. тр. / СтавНИИГиМ. – Ставрополь, 1994. – С. 33–37.

104. Ольгаренко, Г. В. Нормирование, информационное обеспечение и реализации водосберегающих процессов орошения : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Ольгаренко Геннадий Владимирович. – Новочеркасск, 1998. – 52 с.

105. Ольгаренко, Г. В. Концепция повышения экологической безопасности оросительных систем / Г. В. Ольгаренко // Ресурсосберегающие экологически

безопасные системы орошения и сельхозводоснабжения : сб. науч. тр. / ФГНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2002. – С. 3–6.

106. Орлова, О. К. Зависимость качества дождя от мезо – и микрорельефа поля и климатических факторов / О. К. Орлова // Орошение сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье : сб. науч. тр. / Волгоградский СХИ.– Волгоград, 1978. – С. 132 –137.

107. Павловский, Д. С. Исследование и совершенствование методов испытаний дождевальных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Павловский Д. С. – М., 1971. – 19 с.

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

109. Пат. 74 033 Российская Федерация, А О1 G 25/09. Дождевальная машина / Слюсаренко В. В., Рыжко Н. Ф., Гуркин Е.И., Надежкина Г. П., Рыжко С. Н., Марьин М. П.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратов. ГАУ». - № 2008105594/12; заявл. 13.02.08; опубл. 20.06.08, Изобретения. Полезные модели № 30. – 5 с.: ил.

110. Пат. 2006113914 Российская Федерация, А О1 G 25/09. Дождевальная машина / Слюсаренко В. В., Рыжко Н. Ф., Гомберг С. В., Костов Н. В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратов. ГАУ». – № 2006113914/12; заявл. 24.04.06; опубл. 20.11.07, Изобретения. Полезные модели № 30. – 5 с.: ил.

111. Петренко, Л. В. Исследование дождевания многолетних пастбищных трав с использованием низкотемпературных подземных вод : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Петренко Леонид Васильевич. – М., 1983. – 23 с.

112. Петров, Е. Г. Опыт по дождеванию хлопчатника в 1933 г. / Е. Г. Петров, П. К. Дорошенко // Дождевание. – М., 1936. – Т. 11. – С. 35–41.

113. Пикалов, Ф. И. Гидравлика дальнеструйного дождевального аппарата / Ф. И. Пикалов // Дождевание. – М., 1937. – Т. 2. – С. 42–48.

114. Полонский, А. М. Исследование гидравлических параметров широкозахватной дождевальной техники / А. М. Полонский // Широкозахватные

дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка» : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Коломна, 1974. – Т. 5. – С. 29–59.

115. Поляков, Ю. П. Прогноз эрозии почв и обоснование ресурсосберегающей технологии при поливе : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Поляков Юрий Павлович. – М., 1990. – 40 с.

116. Пономарев, А. Г. Рабочий орган дождевальных машин для близпочвенного внесения животноводческих стоков / А. Г. Пономарев // Экологически и экономически обоснованные технологии и технические средства полива : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – М., 1989. – С. 48–52.

117. Попов, В. Г. Ирригационная эрозия и ее предупреждение при орошении дождеванием на темно-каштановых почвах Заволжья : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Попов В. Г. – Саратов, 1990. – 17 с.

118. Пospelов, А. М. Дождевание / А. М. Пospelов. – М. : Сельхозиздат. – 1962. – 61 с.

119. Просветов, Ю. С. Влияние характеристик дождя, создаваемого широкозахватными дождевальными машинами, на условия произрастания сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Просветов Юрий Сергеевич. – Новочеркасск, 1982. – 22 с.

120. Пунинский, Ю. С. Результаты испытаний дождевальных машин «Фрегат» в условиях лесостепной черноземной зоны / Ю. С. Пунинский, В. К. Губер // Совершенствование способов и техники полива сельскохозяйственных культур в Поволжье : сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – М., 1973. – С. 51–58.

121. Расчет на ЭВМ линейных размеров и энергетических характеристик дождя / В. И. Городничев [и др.] // Новое в технике и технологии полива : сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1979. – Вып. 12. – С. 104–113.

122. Распыливание жидкости / Ю. П. Детяткин [и др.]. – М. : Машиностроение. 1976, – 168 с.

123. Разработка рекомендаций по способам и технике полива сельскохозяйственных культур для условий Сыртового Заволжья Куйбышевской

области (дождевание) : отчет о НИР/ ВолжНИИГиМ. – Энгельс, 1972. – 150 с. – Исполн. Клепальский А.П. [и др.].

124. Рачинский, А. А. Потери воды в воздухе при поливе дождеванием / А. А. Рачинский, В. К. Севрюгин // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 11. – С. 42–45.

125. РД 70.11.1–89 Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний. – 68 с.

126. Рекомендации по повышению эффективности использования ДМ «Фрегат» в условиях УССР. – Киев, 1974. – 37 с.

127. Руководство по определению экономической эффективности новой поливной техники ВТР-0 – 4 – 81. – Коломна, 1981. – 267 с.

128. Рыжко, Н. Ф. Повышение качества работы «Фрегата» / Н. Ф. Рыжко // Техническое совершенствование оросительных систем Поволжья : сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – М. : ВНИИГиМ, 1984. – С. 72–76.

129. Рыжко, Н. Ф. Влияние равномерности полива дождевальными машинами «Фрегат» на урожайность сельскохозяйственных культур / Н. Ф. Рыжко // Научно-технический прогресс в мелиорации земель Поволжья : сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ – М.: ВНИИГиМ, 1990. – С. 160–167.

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

131. Рыжко, Н. Ф. Рекомендации по настройке дождевальных аппаратов машин «Фрегат» / Н. Ф. Рыжко, Т. Н. Озерская, Н. В. Рыжко. – Саратов : Главсредволговодстрой, 1989. – 46 с.

132. Рычков, Н. И. Дождевальные машины и их использование / Н. И. Рычков. – М.: Колос, 1965. – 217 с.

133. Рязанцев, А. И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях / А. И. Рязанцев. – Рязань, 1991. – 131 с.

134. Сапунков, А. П. Механизация полива дождеванием / А. П. Сапунков. – М. : Колос, 1984. – 271 с.
135. Сидоренко, А. М. Методические рекомендации по расчету оптимальных параметров ДМ «Фрегат» / А. М. Сидоренко, Э. В. Фишер. – Киев, 1977. – 18 с.
136. Соломин, И. А. Поправка на поливную норму при орошении дождеванием / И. А. Соломин, А. М. Абрамов // Рациональное использование водных ресурсов : методические вопросы и инженерные мероприятия при использовании поверхностных и подземных вод. – М., 1985.- Вып. 2. – С.
137. Соломон, К. Х. Лазерно-оптическое измерение размеров капель при дождевании / К. Х. Соломон // Мелиорация и водное хозяйство. – 1992. – № 5, 6. – С. 45–48.
138. Сорочкин, В. М. Впитывание воды в почву в Саратовском Заволжье / В. М. Сорочкин // Труды ВНИИМиТП. – Коломна, 1972. – Т. 3. – С. 94–107.
139. Справочник по механизации орошения / Б. Г. Штепа [и др.]. – М. : Колос, 1979. – 303 с.
140. Степанов, П. М. Справочник по гидравлике для мелиораторов / П. М. Степанов, И. Х. Овчаренко, Ю. А. Скобельцын. – М. : Колос, 1984. – 207 с.
141. Стрельников, В. И. Номограмма для определения потерь воды на испарение при дождевании / В. И. Стрельников, В. А. Добрянский // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 8. – С. 83–84.
142. Строгий, В. М. Обоснование параметров и исследование элементов фронтальных многоопорных дождевальных машин с электроприводом : автореф. дис. канд. ... техн. наук / Строгий В. М. – Ставрополь, 1982. – 20 с.
143. Техника и технология безопасного применения средств защиты растений / Ж. Р. Дидно [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 186 с.
144. Техника полива сельскохозяйственных культур / В. Я. Чичасов [и др.]. – М. : Колос, 1970. – 267 с.

145. Федоренко, И. Д. О структуре искусственного дождя / И. Д. Федоренко // Труды института гидротехники и мелиорации. – М., 1936. – Т. 18. – С. 107–123.
146. Федоренко, И. Д. Об испарении воды при дождевании и зависимость его от диаметра капель дождя // Труды ВНИИГиМ. – М., 1938. – Т. 22. – С. 68–78.
147. Фокин, Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Фокин Борис Павлович. – Ставрополь, 2002. – 52 с.
148. Хабаров, В. Е. Потери воды на испарение и снос ветром при дождевании / В. Е. Хабаров // Рациональное использование и охрана природных ресурсов : сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1980. – С. 28–36.
149. Хабаров, В. Е. Исследования влияния метеорологических факторов на зону формирования искусственного дождя при орошении : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Хабаров Василий Евгеньевич. – Новочеркасск, 1982. – 20 с.
150. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапира. – М. : Мир, 1969. – 178 с.
151. Ханзафаров, В. В. Особенности элементов техники полива дальнеструйной машиной фронтального действия ДДФ-100 : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ханзафаров Владимир Валерьевич. – Новочеркасск, 1985. – 21 с.
152. Циприс Д. Б. Исследование параметров дождевальных струй и искусственного дождя/ Д. Б. Циприс, С. М. Белинский, В. В. Пелентиков// Доклады ВАСХНИЛ. – 1980. – № 7. – С. 25–31.
153. Чижиков, Г. И. Исследование процесса непрерывного и прерывистого дождевания : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Чижиков Геннадий Иванович. – Волгоград, 1970. – 26 с.
154. Чичасов, В. Я. К вопросу о потерях воды на испарение при дождевании / В. Я. Чичасов, В. Н. Черноморцева // Современные оросительные системы и пути их совершенствования : сб. науч. тр. – М., 1975. – Вып. 1. – С. 78–84.
155. Швебс, Г. И. Формирование водной эрозии, стока, наносов и их оценка / Г. И. Швебс. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – 184 с.

156. Шевцов, Н. М. Изменение водно-физических свойств некоторых почв Заволжья при орошении дождеванием : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Шевцов Николай Михайлович. – М., 1972. – 20 с.

157. Шигаев, В. И. Равномерность распределения дождя и надежность работы «Фрегатов» / В. И. Шигаев, Н. Ф. Рыжко // Развитие мелиорации Поволжья : сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – М., 1983. – С. 97–103.

158. Шумаков, Б. Б. Мелиорация земель в агропромышленном комплексе / Б. Б. Шумаков. – М., Агропромиздат, 1989. – 150 с.

159. Штангей, А. И. Испарение воды с дождевального облака при поливе машиной «Фрегат» / А. И. Штангей // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 10. – С. 72–76.

160. Штангей, А. И. Исследование потерь и распределения воды в процессе дождевания: автореф. дис. канд. техн. наук / Штангей Анатолий Иванович – Киев, 1977. – 20 с.

161. Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин. – М.: Росиформагротех, 2005. – 388 с.

162. Эйлер, Т. Распределение дождя дождевального аппарата / Т. Эйлер // Дождевание. - 1934. – Т. 1. – С. 121-136.

163. Hummel, H.G. Niederschlagsverteilung von Regnet mit geradliniger oder kreisförmiger kontinuierlicher Vorwärtsbewegungen. – Agrartechnik. – 1975. – № 10. Анализ распределения дождя при поливах аппаратов с прямолинейным и круговым движением.

164. Куюмджиев Х., Васильева М. Определяне на равномерността на разпределениета на дъжда при работа на дъждовални апарати с помощта на цифрова електронноизчислителна машина. – «Селскостопанска техника». – 1973. – № 3, София (болгар.) Определение равномерности распределения дождя при работе дождевальных аппаратов.

165. Masek, V. Optimalne parametry zraszaczy z punkty widrienia hydraulicznej konstrukcji. – Maszyny i cieżniki. POLNICZE 1977, № 2. Оптимизация параметров дождевальных аппаратов с точки зрения гидравлики и конструкции.

166. Чехларов Ан. Схеми на расположение и равномерност на дъжда в тихо время при струйни дъждевани апарати. Научни трудове на ИХ и М. т.Х., 1968.

167. Soiomon K., Berdek S. Применение алгоритма для описания схем распределения дождя. Trans ASAE 11980. 23. 4.146941 B Charakterizing Sprinkler Distribution patterns with a clastering Algoritm.

168. Райков, Р. Определение поперечного распределения дождя при дождевании в сочетании с прямолинейным равномерным движением. – «Сельскостопанская техника». – 1972., № 5.

169. Furui, J. Оценка равномерности распределения поливной воды при дождевании. – Irrigat Sc. – 1980. – № 2, Япония (англ.).

170. Alexandresen O. Методика расчета конструктивных параметров дождевальных установок. Hidrotechika 1983.18.3. 128-135. П. 30413. //Реф. Журнал «Мелиорация». – 1973. – № 12.

171. Lateska, M., Окерка, J. Использование ЭВМ для оценки равномерности полива дождеванием. 1975.21.9. Polnohospodarstvo, ЧССР.

172. Okamura, S. Teoreticka studie o vodnim paprskuz postřikavače v podminkačh bezvětri. – Vodni hospadaritvi. – 1970 – № 7.

173. Okamura, S. Teoreticka studie o pohybu vadniho paprsku z postřikavače pri pusobeni větri. – Vodni hospadaritvi. – 1970. – № 8.

174. Okamura, S. Pozdeleni valikosti vodnich kapek v paprsku z postřikavače. –Vodni hospadaritvi. – 1970. – № 8.

175. Mirschel, W. Model zur Bestimmung, des mittleren Tropfendurchmess entlang dem Wurfradius bei Drehstabregnen. – Arch, Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkul. Berlin 28 (1984) Б.С. 313–321.

176. Frast, K. P., Schwalen, H. G. Sprinkler evaporation losges Agricultural Engineering, 1955, № 36.

177. Etudes sur L'irrigation par aspersion en rigion sahclienne (Tillabery – Republique du Niger) – Argon trop. 1973, 28, 9; 901–915 Орошение дождеванием в Нигерии.

178. Schafer, W., Koitzsch K. Wasserverluste durch Verdampfung w□hrend der Beregnung. – Arch. Aker- u. Pflannenbau und Bodenkultur. 1974, 18, 12: 881–886.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

*Приложение А.*

Расчет величины испарения при поливе отдельным дождевальным аппаратом и дефлекторной насадкой при установке на трубопроводе машины и на устройстве приповерхностного дождевания.

Исходные данные: среднеструйные дождевальным аппарат «Фрегат»,  
 $q = 0,415$  л/с;  $D = 3,6-2,4$ мм;  $H = 43,2$  м;  $h_{yc} = 2,5$  м.

Дефлекторные насадки

$$q = 0,415 \text{ л/с}; D = 6 \text{ мм}; H = 14,4 \text{ м}; h_y = 2,5 \text{ м}; h_{yнд} = 0,6 \text{ м}$$

Значения диаметра капель дождя вдоль радиуса полива дождевального аппарата  $d_{\min} = 0,3 + 0,0625 / N = 0,32$ мм

$$\text{где } N = (10 (H/D) - 4) / 96$$

$$d_{\max} = 5,76 (D/H)^{0,5} = 5,76 (3,6/43,2)^{0,5} = 1,66 \text{ мм}$$

Значения диаметра капель вдоль радиуса полива струи:

$$d_i = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min}) \cdot (X_i/R) \cdot e^{-1,033(1 - X_i/R)};$$

При  $X_i / R = 0,17; 0,5$  и  $0,83$  значения диаметра капель равны  $0,32; 0,6$  и  $1,2$  мм.

Максимальная высота подъема дождевых капель в пределах  $X_i / R = 0,66...1$ ;  $h = 5,5$  м; в середине струи  $0,33 < X_i / R < 0,66$ ;  $h = 5$  м; в начале струи при  $0 < X_i / R < 0,33$   $h = 4$  м

Скорость падения капель дождя определяем по формуле Шмидта (табл. 1.), а время полета капель на данном участке равно  $t_n = h / V_{\Pi}$

где:  $h$  – высота падения капель дождя, м

$V$  – скорость падения капель дождя, м/с

Время падения капель приведены в таблице

Участок полива радиуса	Начало струи	Середина струи	Конец струи
Значения относительн. радиус	$0 < X_i / R < 0,33$	$0,33 < X_i / R < 0,66$	$0,66 < X_i / R < 1$
Средние значение $X_i / R$	0,17	0,5	0,83
Средний диаметр капель, мм	0,3	0,6	1,2
Высота подъема капель, м	4	5	5,5
Скорость падения капель, м/с	1,5	2,1	4,1
Время полета капель дождя, с	2,66	2,27	1,34

Распределение относительной интенсивности дождя вдоль радиуса полива дождевального аппарата

$X_i/R$	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
$\rho$ , мм/мин	0,616	0,9046	1,233	1,506	1,474	1,568	1,528	0,672	0,40	0,10
Относит. площадь полива	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19

Объем подачи воды на каждом участке струи определяется:

$$V = \sum(\rho_i \cdot S_i)$$

Относительный объем подачи воды в начале, середине и в конце струи составляет соответственно 0,133; 0,557 и 0,3089.

Величина испарения определяется по формуле Мансурова:

$$E = 100 \cdot D \cdot (1 + 1,92 \cdot V_B) \cdot t / 10584 \cdot d^2$$

где:  $D$  – дефицит влажности воздуха, мм

$V_B$  – скорость ветра, мм

$t$  – время падения капли, с

$d$  – диаметр капли, мм

В начале струи при исходных данных

$D = 8$  мм;  $V_B = 2$  м/с;  $d = 0,3$  мм;  $t = 2,66$  сек

$$E = 100 \cdot 8 \cdot (1 + 1,92 \cdot 2) \cdot 2,66 / 10584 \cdot (0,3)^2 = 15,07 \%$$

В середине струи

$$E = 100 \cdot 8 \cdot (1 + 1,92 \cdot 2) \cdot 2,27 / 10584 \cdot (0,6)^2 = 3,215 \%$$

В конце струи

$$E = 100 \cdot 8 \cdot (1 + 1,92 \cdot 2) \cdot 1,34 / 10584 \cdot (1,2)^2 = 0,474 \%$$

С учетом объема поданной воды в каждую зону потери воды в целом по дождевальным аппаратам составляет:

$$E_{да} = (15,07 \cdot 0,133 + 3,215 \cdot 0,557 + 0,474 \cdot 0,3089) = 3,93\%$$

При  $D = 14$  мм;  $V_B = 3$  м/с;  $d = 0,3$  мм;  $E = 9,7 \%$ .

При  $D = 24$  мм;  $V_B = 4$  м/с;  $d = 0,3$  мм;  $E = 15,1 \%$ .

При расчете  $E_n$  дефлекторной насадки определяем значения диаметра капель:  $d_{\min} = 0,274 \cdot H^{0,5307} \cdot D^{-1,07} = 0,274 \cdot (14,4)^{0,53} \cdot 6^{-1,07} = 0,165$  мм

$d_{\max} = 1,558$  мм.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

*Приложение Б, таблица 1*  
 Величина испарения и сноса дождя при поливе дождевальными аппаратами

№	Д-Д <sub>д</sub> , мм	Н, МПа	q, л/с	ρ, мм/мин	Н/Д	t, град	φ, %	V <sub>в</sub> , м/с	E <sub>ис</sub> , %
По данным П.К. Дороженко									
1	20-9	0,350	9,30	0,184	2,11	25,6	64,3	2,70	23,8
2	20-9	0,400	9,98	0,165	2,41	29,6	69,1	0,30	16,6
3	20-9	0,350	9,30	0,151	2,11	27,4	56,6	1,50	18,3
4	20-9	0,335	9,03	0,164	1,98	28,4	60,7	3,00	21,6
5	20-9	0,350	9,03	0,174	2,11	24,8	61,0	2,40	25,2
6	20-9	0,400	9,90	0,157	2,41	19,7	51,4	1,00	16,7
7	20-9	0,400	9,90	0,149	2,41	21,9	56,1	0,15	15,4
8	20-9	0,400	9,90	0,166	2,41	28,6	65,4	0,50	16,9
9	20-9	0,400	9,90	0,159	2,41	24,3	48,8	0,10	14,7
10	20-9	0,350	9,30	0,157	2,41	31,2	70,6	1,90	21,3
11	20-9	0,450	10,50	0,138	2,71	19,8	48,3	0	14,1
По данным К.М. Мустафеевой									
12	12-7					19,0	94,4	1,06	4,0
13	12-7					22,0	75,5	1,10	14,0
14	12-7					29,4	50,2	2,70	19,0
15	12-7					29,3	49,7	3,18	17,0
16	12-7					23,0	74,7	1,95	12,0

*Приложение Б, таблица 2*

Величина испарения и сноса дождя при поливе дождевальными насадками и аппаратами  
(по данным А.П. Клепальского)

D-d, мм	H, МПа	q, л/с	n+1, об/мин	h <sub>п</sub> , м	h <sub>п</sub> , м	R, м	d <sub>к</sub> , мм	ρ <sub>с</sub> мм/мин	ρ <sub>м</sub> , мм/мин	α, град	t, град	φ, %	V <sub>в</sub> , м/с	Φ	E <sub>ис</sub> , %
<b>Дождевальные насадки установки АДП-350</b>															
7,0	0,2	0,65	1	3	3,5	6	0,7	0,65	0,38	90	28,8	76	5,7	46,3	49,2
										45	23,1	55	6,0	72,7	38,4
										20	17,4	72	2,3	20,9	29,8
										45	28,8	76	2,6	31,7	25,8
										0	22,6	66	0	7,6	19,0
										0	20,3	78	0	4,4	6,4
<b>Дождевальные аппараты установки ДКШ-64</b>															
7,1	0,39	0,95	4,2	1,2	5,5	18	1,22	6,09	1,43	20	28,5	49	5,65	96,6	29,7
										70	15,5	74	5,70	27,6	26,2
										10	21,7	48	3,20	47,3	37,7
										10	18,8	72	6,65	8,6	10,2
										20	18,5	77	3,0	17,6	14,7
										70	20,3	78	0,5	6,7	7,8

## Приложение Б, таблица 3.

Величина испарения и сноса дождя при поливе дефлекторными насадками,  
среднеструйными и дальнеструйными дождевальными аппаратами

(по данным В.А. Анисимова и С.М. Мансурова)

Тип дождевателя	$t^{\circ}$ , град	$V_{в}$ , м/с	$\varphi$ , %	$\Phi$	$E_{ис}$ , %
Короткоструйные насадки (типа КДУ)	29,3	1,9	39	51,8	15,5
	29,6	1,9	49	43,7	15,3
	30,2	2,0	52	43,5	15,5
	26,9	1,6	56	30,7	15,2
Среднеструйные аппараты (ХКЗ-4) Д-Дд = 12-7 мм	30,1	1,3	35	50,8	17,5
	30,9	1,5	37	48,8	18,1
	35,7	3,8	27	125,0	23,0
	23,5	1,7	55	35,8	18,0
	30,8	2,2	47	52,2	20,0
Дальнеструйные аппараты (ДН-1) Д = 32 мм Н = 50 м	30,3	1,4	45	40,0	17,2
	29,2	1,3	57	28,8	13,2
	29,3	1,9	54	39,0	18,7
	32,8	3,2	25	101,7	24,1
	29,5	2,7	54	50,2	21,3
	29,0	2,5	41	59,8	20,4
	26,8	2,1	56	36,5	17,3
	28,1	2,2	48	46,7	19,4
	26,4	1,8	54	34,0	16,9
Дальнеструйные аппараты (ДН-1)	27,2	1,1	44	31,98	14,5
	26,4	1,4	50	31,68	15,8
	29,2	1,8	57	35,15	18,2
	28,3	2,9	48	57,39	21,6
	26,0	3,0	45	57,20	23,3
Короткоструйные насадки	30,6	1,1	40	40,32	13,7
	28,8	1,3	50	33,12	13,9
	29,5	1,4	46	38,23	14,2
	28,5	1,5	45	39,18	14,4
	27,4	1,6	45	39,18	15,9
	27,4	1,9	50	39,74	15,1
	26,7	1,9	48	40,26	17,1
	27,6	2,1	60	34,22	16,7
	25,1	2,3	45	45,55	16,7
	28,5	3,1	47	61,93	20,7

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

## Приложение В, таблица 1.

Расход воды дефлекторными насадками ДМ «Фрегат» с устройствами  
приповерхностного дождевания  
(хоз. № 1, напор на входе в машину – 0,36 МПа)

Номер тележки	номер опыта	Диаметр, мм		Напор на выходе струи, МПа	Объем воды в баке, л	Время заполнения бака, с	Расход воды насадки $Q_n$ , л/с	Коэффициент расхода, $\mu$
		насадки	дюзы					
1	1	4	-	0,360	50	164	0,304	0,910
	2	4	6,5	0,295	50	172	0,290	0,959
	3	4	6,5	0,350	50	109	0,458	0,960
	4	4	6,5	0,300	50	173	0,289	0,948
	5	4	6,5	0,360	49	149	0,322	0,980
2	1	5	0	0,340	49	98	0,500	0,986
	2	5	6,0	0,260	50	90	0,556	0,870
	3	5	6,0	0,100	50	157	0,318	0,803
	4	5	6,0	0,200	50	109	0,458	0,818
		5	6,0	0,212	50	137	0,369	0,810
3	1	6	7,3	0,250	50	125	0,400	0,920
		6	7,3	0,270	50	94	0,532	0,817
		6	7,3	0,215	50	87	0,574	0,980
		6	7,3	0,200	48	81	0,617	0,920
		6	7,3	0,250	50	91	0,545	0,870
4		7	8,0	0,190	50	80	0,625	0,841
		7	8,0	0,195	50	70	0,714	0,949
		7	8,0	0,185	50	69	0,724	0,987
		7	8,0	0,200	50	79	0,633	0,830
		7	8,0	0,185	49	69	0,724	0,968
5		8	8,0	0,170	50	58	0,862	0,939
		8	8,0	0,140	49	63	0,777	0,920
		8	8,0	0,170	50	62	0,806	0,878
		8	8,0	0,180	50	61	0,823	0,871
		8	8,0	0,140	50	66	0,757	0,909
6		8	9,0	0,310	50	60	0,833	0,878
		8	9,0	0,150	50	65	0,769	0,892
		8	9,0	0,190	50	59	0,845	0,871
		8	9,0	0,140	50	66	0,757	0,909
		8	9,0	0,180	50	60	0,833	0,882
7		10	9,0	0,110	50	46	1,087	0,942
		10	9,0	0,110	50	45	1,111	0,963
		10	9,0	0,120	50	44	1,136	0,962
		10	9,0	0,100	50	47	1,063	0,966
		10	9,0	0,130	50	50	1,000	0,797
8		10	-	0,170	50	36	1,388	0,968
		10	-	0,140	50	44	1,136	0,870
		10	-	0,180	50	38	1,315	0,891
		10	-	0,190	50	36	1,388	0,945
							среднее	0,913

## Приложение В, таблица 2.

Потери напора по длине устройства приповерхностного дождевания и расход воды дефлекторными насадками ДМ «Фрегат»

Тип УПД, мм	Диаметр, мм		Напор в трубопроводе, МПа	Напор перед насадкой, МПа	Напор на выходе струи, МПа	Потери напора по длине УПД, м	Расход воды $q_n$ , л/с
	насадки	дюзы					
3	4	-	0,360	0,360	0,360	0	0,304
1	4	6,5	0,359	0,359	0,295	0,1	0,290
1	4	6,5	0,357	0,348	0,300	0,9	0,289
1	4	6,5	0,355	0,325	0,320	3,0	0,282
1	5	0	0,350	0,340	0,340	1,0	0,500
2	6	6,0	0,350	0,345	0,200	0,5	0,458
2	6	7,3	0,340	0,32	0,270	2	0,532
2	6	7,3	0,340	0,34	0,215	0	0,574
3	6	7,3	0,340	0,34	0,200	0	0,617
1	6	7,3	0,340	0,33	0,250	1	0,545
1	7	8,0	0,33	0,32	0,195	1,0	0,714
1	7	8,0	0,33	0,32	0,185	1,0	0,724
1	7	8,0	0,33	0,32	0,185	1,0	0,724
2	8	8,0	0,32	0,31	0,170	1,0	0,862
2	8	8,0	0,32	0,27	0,140	5,0	0,777
2	8	8,0	0,32	0,285	0,170	3,5	0,806
1	8	8,0	0,32	0,30	0,180	2,0	0,823
1	7	-	0,32	0,31	0,310	1,0	0,833
1	8	9,0	0,32	0,28	0,150	4,0	0,769
2	8	9,0	0,32	0,26	0,190	6,0	0,845
3	8	9,0	0,32	0,31	0,180	1,0	0,833
1	10	9,0	0,31	0,24	0,110	7,0	1,087
2	10	9,0	0,31	0,24	0,110	7,0	1,111
3	10	9,0	0,31	0,245	0,120	6,5	1,136
1	10	-	0,30		0,170	10,0	1,388
1	10	-	0,30		0,180	12,0	1,315
1	10	-	0,30		0,190	11,0	1,388
4	8	-	0,31	0,30	0,30	1,0	1,06
4	10	-	0,28	0,25	0,25	3,0	1,51
4	10	-	0,335	0,30	0,30	3,5	1,65
4	12	-	0,245	0,20	0,20	4,5	1,95

*Приложение В, таблица 3.*

Расчет управления потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания ( I типа)

Исходные данные

Ln q	-1,60	-0,91	-0,69	-0,51	-0,35	-0,22	0	0,09	0,182	0,336
Ln h	-1,60	0	0,693	1,098	1,386	1,609	1,945	2,079	2,197	2,397

Таблица расчета на ЭВМ

2,058	1,9406
0,10011	0,0678
0,9810	0,1791
414,34	8
13,300	0,2568

Уравнение регрессии  $\text{Ln } h = 1,94 + 2,058 \text{ Ln } q$ ;  $h = 7 q^{2,058}$

*Приложение В, таблица 4.*

Расчет уравнения потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания (II типа)

Исходные данные

Ln q	-1,609	-	-0,69	-0,51	-	0	0,09	0,182	0,336
		0,91			0,223				
Ln h	-1,60	0	0,693	1,098	1,609	1,945	2,079	2,197	2,397

Таблица расчета на ЭВМ

1,9739	1,6854
0,0651	0,0485
0,9945	0,1092
919,12	5
10,964	0,0596

Уравнение регрессии  $\text{Ln } h = 1,685 + 1,937 \text{ Ln } q$ ;  $h = 5,8 q^{1,973}$

*Приложение В, таблица 5.*

Расчет управления потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания ( III типа)

Исходные данные

Ln q	-1,60	-0,91	-0,51	-0,221	0	0,182	0,336	0,405	0,641
Ln h	-1,60	0	-0,405	1,916	1,386	1,757	1,945	2,079	2,251

Таблица расчета на ЭВМ

1,727	1,339
0,0708	0,0498
0,9883	0,1442
594,57	7
12,371	0,1456

Уравнение регрессии  $\text{Ln } h = 1,339 + 1,727 \text{ Ln } q$ ;  $h = 4 q^{1,727}$

*Приложение В, таблица 6.*

Расчет уравнения потерь напора по длине устройства приповерхностного дождевания (IV типа)

Исходные данные

Ln q	-1,60	-0,91	-0,51	-0,22	0,182	0,336	0,470	0,587	0,693
Ln h	-1,60	1,20	-0,51	-0,22	0,693	0,916	1,098	1,386	1,609

Таблица расчета на ЭВМ

1,469	0,3659
0,1102	0,077
0,9569	0,2423
171,63	8
10,43	0,4699

Уравнение регрессии  $\text{Ln } h = 1,685 + 1,937 \text{ Ln } q$ ;  $h = 5,8 q^{1,973}$

## Приложение В, таблица 7

Радиус захвата дождем дефлекторной насадки ( $R$ ) в зависимости от диаметра сопла ( $D$ ) и напора перед насадкой ( $H$ ) при высоте установки 2,0 м

D, мм	H, м вод.ст.	R, м	x = H/D	y = H/R	x · y	x <sup>2</sup>
6	5,5	3,8	0,916	1,447	1,325	0,840
6	8,0	4,5	1,333	1,777	2,369	1,777
6	14,0	5,5	2,333	2,545	5,938	5,444
6	19,5	6,0	3,250	3,250	10,502	10,562
6	30,0	6,5	5,0	4,615	23,075	25,0
8	7,5	4,8	0,937	1,562	1,464	0,878
8	19,5	6,3	2,437	3,095	7,543	5,941
8	28,5	6,8	3,562	4,191	14,940	12,690
10	4,0	3,2	0,40	1,250	0,50	0,160
10	7,2	5,0	0,720	1,440	1,037	0,518
10	9,1	6,0	0,910	1,516	1,380	0,828
10	14,0	7,0	1,40	2,00	2,80	1,960
10	16,3	7,4	1,630	2,202	3,590	2,656
10	18,0	7,5	1,80	2,400	4,320	3,240
10	18,3	7,8	1,830	2,346	4,293	3,348
14	3,5	3,5	0,250	1,0	0,250	0,063
14	5,0	4,5	0,357	1,111	0,397	0,128
12	13,0	7,5	1,083	1,733	1,877	1,174
12	28,0	8,5	2,330	3,294	7,675	5,440
12	58,0	8,5	4,833	6,823	32,97	23,361
14	5,8	5,2	0,414	1,115	0,461	0,172
14	15,0	8,5	1,071	1,764	1,890	1,148
14	30,0	9,5	2,142	3,157	6,764	4,592
6	32,6	6,0	5,433	5,433	29,520	29,520
14	2,7	2,7	0,193	1,0	0,193	0,037
16	16,0	10,2	1,0	1,568	1,568	1,0
16	24,5	10,8	1,531	2,268	3,470	2,344
Сумма			49,095	65,902	172,160	144,824

Расчет параметров  $a$  и  $b$  уравнения регрессии:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X \cdot Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{65,902 \cdot 144,824 - 49,095 \cdot 172,160}{27 \cdot 144,824 - 49,095^2} = \frac{1092022}{14999398} = 0,728;$$

$$b = \frac{n \cdot \sum X \cdot Y - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{27 \cdot 172,160 - 49,095 \cdot 65,902}{27 \cdot 144,824 - 49,095^2} = \frac{14128613}{14999398} = 0,942$$

$$R = \frac{H}{(0,728 + 0,942 \cdot H/D)}$$

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

## Приложение Г

Расчет уравнения минимального диаметра капель дождя в начале радиуса захвата дефлекторной насадки

По данным, приведенным в таблице приложения Е вычисляем коэффициенты регрессии. Значения парной корреляции определяем по формулам:

$$r_{12} = 1/N \cdot \Sigma t_1 \cdot t_2 = 2,1952/8 = 0,27440;$$

$$r_{01} = 1/N \cdot \Sigma t_0 \cdot t_1 = -4,4388/8 = -0,55485;$$

$$r_{02} = 1/N \cdot \Sigma t_0 \cdot t_2 = 3,088/8 = 0,38588.$$

Составляем систему нормального уравнения:

$$\beta_1 + 0,2744 \cdot \beta_2 = -0,55485; \quad 0,2744 \cdot \beta_1 + \beta_2 = 0,38588.$$

Вычисляем определители  $\Delta$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0,2744 \\ 0,2744 & 1 \end{vmatrix} = 1 - 0,07529 = 0,9247$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -0,55485 & 0,2744 \\ 0,38588 & 1 \end{vmatrix} = -0,55485 - 0,10588 = -0,66073$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & -0,5549 \\ 0,2744 & 0,3859 \end{vmatrix} = 0,38588 + 0,1522 = 0,5381$$

Таким образом:  $\beta_1 = \Delta_1/\Delta = -0,66073/0,9247 = -0,7145$ ;

$$\beta_2 = \Delta_2/\Delta = 0,5381/0,9247 = 0,58918;$$

Переходя к натуральному масштабу, получим:

$$a_1 = \beta_1 \cdot \sigma/\sigma_1 = -0,7145 \cdot 0,2533/0,169 = -1,0709;$$

$$a_2 = \beta_2 \sigma/\sigma_2 = 0,58918 \cdot 0,2533/0,2731 = 0,5397;$$

$$a_0 = Y - a_1 \cdot X_1 - a_2 \cdot X_2 = 1,109 - (-1,0709) \cdot x_1 - (0,5397) \cdot x_2 = 1,109 + 1,0709 \cdot 0,961 - 0,5397 \cdot 1,298 = 1,109 + 1,0281 - 0,70053 = 1,4375;$$

Уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид:

$$\log(100d) = 1,4375 - 1,0709 \cdot \log D + 0,5397 \cdot \log H;$$

$$\log(100d) = \log d \cdot 274 - 1,07 \cdot \log D + 0,5397 \cdot \log H;$$

$$d = 0,274 \cdot D^{-1,07} \cdot H^{0,5397}; \quad d = 0,274 \cdot H^{0,539} / D^{-1,07}.$$

Коэффициент множественной регрессии имеет значение:

$$R_{y,x,x} = \sqrt{(r_{01}^2 + r_{02}^2 - 2r_{01} \cdot r_{02} \cdot r_{12}) / (1 - r_{12}^2)} = \sqrt{(-0,55^2 + 0,385^2 - 2(-0,55) \cdot 0,38 \cdot 0,27) / (1 - 0,274^2)} = 0,779$$

*Приложение Г, таблица 1*

Расчет минимального диаметра капель дождя в начале радиуса захвата дефлектора насадки

$d_{\max}$ , мм	$D_n$ , мм	$H$ , м/с	$y=\log$ (100d)	$X_1=$ $\log D$	$X_2=$ $\log H$	$y-y$	$x_1-x_1$	$x_2-x_2$	$(y-y)^2$	$(x_1-x_1)^2$	$(x_2-x_2)^2$	$t_1=(x_1-x_1)/\sigma_1$	$t_2=(x_2-x_2)/\sigma_2$	$t_0=(y-y)/\sigma_0$	$t_1 \cdot t_2$	$t_1 \cdot t_0$	$t_2 \cdot t_0$
0,1	6	8,0	1	0,778	0,903	- 0,109	- 0,183	- 0,395	0,01188	0,03348	0,15602	- 1,082	- 1,44600	- 0,4303	1,5655	0,4656	0,6222
0,20	6	14,0	1,301	0,778	1,146	0,192	- 0,183	- 0,152	0,0368	0,03348	0,02310	- 1,082	- 0,5565	0,758	0,5143	- 0,8201	- 0,4218
0,25	6	32,6	1,398	0,778	1,513	0,289	- 0,183	0,215	0,0835	0,03348	0,04622	- 1,082	0,7872	1,1409	- 0,8518	- 1,2344	0,8981
0,22	8	19,5	1,342	0,903	1,290	0,233	- 0,058	- 0,008	0,0542	0,00336	0,00006	- 0,343	- 0,0292	0,9199	0,0100	- 0,3155	- 0,0268
0,08	12	13,0	0,903	1,079	1,114	- 0,206	0,118	- 0,184	0,0424	0,01392	0,03385	0,698	- 0,6737	- 0,8132	- 0,4704	- 0,5678	0,5478
0,19	12	58,0	1,278	1,079	1,763	0,169	0,118	0,469	0,0285	0,01392	0,21622	0,698	1,7173	0,6672	1,1990	0,4658	1,1457
0,05	14	15,0	0,699	1,146	1,176	- 0,410	0,185	- 0,122	0,1681	0,03422	0,01488	1,095	- 0,4467	- 1,6186	- 0,4891	- 1,7724	0,7236
0,09	14	30,0	0,954	1,146	1,477	- 0,155	0,185	0,179	0,0240	0,03422	0,0320	1,095	0,6554	- 0,6119	0,7177	- 0,6700	- 0,4010
			$\Sigma$	8,875	7,687	10,382		$\Sigma$	0,44938	0,20008	0,52237			$\Sigma$	2,1952	-4,4388	3,0871
			$x$	1,109	0,961	1,298											
			$\sigma$	0,253	0,169	0,273											

Примечание:  $\Sigma$  – сумма значений;  $x$  – среднее значение;  $\sigma$  – среднеквадратичное

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

## Приложение Д

Расчет уравнения максимального диаметра капель дождя в конце радиуса захвата дефлекторной насадки

По данным, приведенным в таблице 1 приложения Д, вычисляем коэффициенты регрессии. Значения парной корреляции определяем по формулам:

$$r_{12} = 1/N \cdot \Sigma t_1 \cdot t_2 = 3,5976/14 = 0,25697;$$

$$r_{01} = 1/N \cdot \Sigma t_o \cdot t_1 = 6,0527/14 = 0,4323;$$

$$r_{02} = 1/N \cdot \Sigma t_o \cdot t_2 = -7,4997/14 = -0,5357.$$

Составляем систему нормального уравнения:

$$\beta_1 + 0,25697 \cdot \beta_2 = 0,4323;$$

$$0,25697 \cdot \beta_1 + \beta_2 = -0,53569.$$

Вычисляем определители  $\Delta$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0,25 \\ 0,25 & 1 \end{vmatrix} = 1 - 0,0625 = 0,9375;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0,43 & 0,25 \\ -0,53 & 1 \end{vmatrix} = 0,4323 + 0,1376 = 0,56995;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0,43 \\ 0,25 & -0,53 \end{vmatrix} = 0,5357 - 0,1111 = -0,6466.$$

Таким образом:  $\beta_1 = \Delta_1/\Delta = 0,56995/0,9375 = 0,60806$ ;

$$\beta_2 = \Delta_2/\Delta = -0,6466/0,9375 = -0,68863.$$

Переходя к натуральному масштабу, получим:

$$a_1 = \beta_1 \cdot \sigma/\sigma_1 = 0,60806 \cdot 0,1264/0,1570 = 0,4813;$$

$$a_2 = \beta_2 \sigma/\sigma_2 = -0,68863 \cdot 0,1264/0,2438 = -0,3590;$$

$$a_0 = Y - a_1 \cdot X_1 - a_2 \cdot X_2 = 0,222 - 0,4813 \cdot x_1 + 0,3590 \cdot x_2 = 0,222 - 0,49 \cdot 1,0 + 0,359 \cdot 1,287 = 0,222 - 0,4913 + 0,46206 = 0,19277.$$

Уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид:

$$\log d = 0,1927 + 0,491 \cdot \log D - 0,359 \cdot \log H;$$

$$\log d = 1,558 \cdot \log d + 0,491 \cdot \log D - 0,359 \cdot \log H;$$

$$d = 1,558 \cdot D^{0,49} \cdot H^{-0,359}.$$

Коэффициент множественной регрессии имеет значение:

$$R_{y,x,x} = \sqrt{(r_{01}^2 + r_{02}^2 - 2r_{01} \cdot r_{02} \cdot r_{12}) / (1 - r_{12}^2)} = \sqrt{(-0,43^2 + 0,53^2 - 2 \cdot 0,43 \cdot 0,53 \cdot 0,26) / (1 - 0,256^2)} = 0,616.$$

Приложение Д, таблица 1. Расчет максимального диаметра капель дождя в конце радиуса захвата дефлектора насадки

$d_{max}$ , мм	$D_n$ , мм	H, м/с	$\log d$	$\log D$	$\log H$	y-y	$x_1-x_1$	$x_2-x_2$	$(y-y)^2$	$(x_1-x_1)^2$	$(x_2-x_2)^2$	$t_1=(x_1-x_1)/\sigma_1$	$t_2=(x_2-x_2)/\sigma_2$	$t_0=(y-y)/\sigma_0$	$t_1 \cdot t_2$	$t_1 \cdot t_0$	$t_2 \cdot t_0$
1,90	6	8,0	0,278	0,778	0,903	0,056	- 0,222	- 0,384	0,0031	0,0492	0,1474	- 1,4140	- 1,5750	0,4430	2,2270	- 0,626	- 0,6977
1,30	6	14,0	0,114	0,778	1,146	- 0,108	- 0,222	- 0,141	0,0117	0,0492	0,0198	- 1,4140	- 0,5780	0,8544	0,8170	1,208	0,4938
1,10	6	32,6	0,040	0,778	1,531	- 0,182	- 0,222	0,244	0,0331	0,0492	0,0595	- 1,4140	1,0008	- 1,4399	- 1,4150	2,036	- 1,4410
2,20	8	7,5	0,342	0,903	0,875	0,120	- 0,097	- 0,412	0,0144	0,0094	0,1697	- 0,6178	- 1,6899	0,9494	1,0440	- 0,586	- 1,6044
1,35	8	19,5	0,130	0,903	1,290	- 0,092	- 0,097	0,003	0,0085	0,0094	0	- 0,6178	0,0123	- 0,7279	- 0,0076	0,449	- 0,0089
1,35	8	28,5	0,130	0,903	1,454	- 0,092	- 0,097	0,167	0,0085	0,0094	0,0279	- 0,6178	0,6849	- 0,7279	- 0,4238	0,449	- 0,4985
2,20	10	18,0	0,342	1,0	1,255	0,120	0	- 0,032	0,0144	0	0,0010	0	- 0,1312	0,9494	0	0	- 0,1245
2,30	12	13,0	0,361	1,079	1,113	0,139	0,079	- 0,174	0,0193	0,0064	0,0302	0,5031	- 0,7137	1,0997	- 0,3591	0,5533	- 0,7848
1,70	12	28,0	0,230	1,079	1,447	0,008	0,079	0,160	0,00006	0,0064	0,0256	0,5031	0,6562	0,0633	0,3302	0,0318	0,0415
1,05	12	58,0	0,021	1,079	1,763	- 0,201	0,079	0,476	0,0404	0,0064	0,2265	0,5031	1,9520	- 1,5902	0,9824	0,8001	- 3,104
2,10	14	15,0	0,322	1,146	1,176	0,10	0,146	- 0,111	0,01	0,0213	0,0123	0,9299	- 0,4552	0,7911	- 0,4233	0,7356	- 0,3601
1,50	14	3,0	0,176	1,146	1,477	- 0,046	0,146	0,190	0,0021	0,0213	0,0361	0,9299	0,7793	- 0,3639	0,7246	0,3384	- 0,2835
2,20	16	16,0	0,342	1,204	1,204	0,120	0,204	- 0,083	0,0144	0,0416	0,0068	1,2990	- 0,3404	- 0,9494	- 0,4422	1,2336	0,3231
1,90	16	24,5	0,278	1,204	1,389	0,166	0,204	0,102	0,0276	0,0176	0,0104	1,2990	0,4183	1,3133	0,5434	1,7064	0,5493
		$\Sigma$	3,106	13,98 0	18,023			$\Sigma$	0,2076	0,3208	0,7732			$\Sigma$	3,5976	6,0527	-7,4997
		y	0,2220	1,0	1,287												
		$\sigma$	0,1264	0,157	0,2438												

Примечание:  $\Sigma$  – сумма значений;  $x$  – среднее значение;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

*Приложение Д, таблица 2.*

Расчетные значения диаметра капель дождя вдоль радиуса захвата  
дефлекторной насадки

Д, мм	Н, МПа	$d_{\min}$ , мм	$d_{\max}$ , мм	$(X_i/R)/d_i$	$(X_i/R)/d_i$	$(X_i/R)/d_i$
6	0,080	0,123	1,781	0,180/0,283	0,440/0,601	0,890/1,481
6	0,140	0,167	1,455	0,180/0,292	0,450/0,550	0,910/1,242
6	0,326	0,264	1,075	0,167/0,336	0,500/0,542	0,833/0,859
8	0,075	0,087	2,098	-	0,400/0,598	0,833/1,564
8	0,195	0,147	1,489	0,130/0,237	0,476/0,577	0,880/1,225
8	0,285	0,180	1,299	-	0,357/0,425	0,880/1,079
10	0,180	0,110	1,709		0,400/0,516	0,800/1,210
12	0,130	0,076	2,101	0,130/0,212	0,530/0,828	0,933/1,872
12	0,280	0,117	1,595	-	0,470/0,582	0,823/1,181
12	0,580	0,171	1,228	0,120/0,236	0,529/0,392	0,823/0,932
14	0,150	0,072	2,153	0,120/0,198	0,410/0,616	0,823/1,568
14	0,300	0,102	1,679	0,100/0,180	0,470/0,598	0,840/1,276
16	0,160	0,063	2,246	-	0,392/0,941	0,784/1,518
16	0,245	0,079	1,927	-	-	0,740/1,202

*Приложение Д, таблица 3.*

Значения среднего и медианного диаметра капель дефлекторной и  
струйной насадки

Тип насадки	Диаметр сопла, мм	Напор перед насад- кой, МПа	Средний диаметр капель вдоль относительного радиуса захвата, мм					Средний диаметр капель, мм	Медиан- ный диаметр капель, мм
			0,1	0,3	0,5	0,7	0,9		
Струйная	9,5	0,43	0,56	0,80	1,16	1,70	2,32	1,4	1,4
Струйная	11,9	0,42	0,59	0,86	1,26	1,81	2,58	1,92	1,70
Дефлекторная	14,0	0,30	0,18	0,138	0,64	0,98	1,42	0,72	0,72

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**

## Приложение Е, таблица 1

Карта расстановки дефлекторных насадок и дюз, норма полива, расход воды на пролетах и потери воды на испарение и снос на ДМ «Фрегат» (марка ДМУ-Б-434-90,  $n = 6,0$  ход/мин,  $m_{cp} = 35,0$  мм)

№ тележек	D <sub>н</sub> , мм	D <sub>д</sub> , мм	M <sub>ф</sub> , мм M <sub>р</sub> , мм	Q <sub>пр</sub> , л/с	E <sub>ис</sub> , %	№ тележек	D <sub>н</sub> , мм	D <sub>д</sub> , мм	M <sub>ф</sub> , мм M <sub>р</sub> , мм	Q <sub>пр</sub> , л/с	E <sub>ис</sub> , %
15						8					
	16	14,75	23,0				12	10	23,8		
	16	14,75	26,0	10,4	11,5		12	10	30,1	5,85	20,9
	16	14,75					12	10			
14						7					
	14	13	26,6				10	9	31,4		
	14	13	24,5	9,08	+8,5		10	9	31,5	4,4	0,3
	14	13					10	9			
13						6					
	14	13	29,2				10	9	30,3		
	14	13	26,7	9,08	+9,36		10	9	31,5	4,45	3,8
	14	13					10	9			
12						5					
	14	13	30,3				8	7,2	29,8		
	14	13	29,2	9,08	+3,7		8	7,2	32,2	3,1	7,4
	14	13					8	7,2			
11						4					
	14	11,5	30,3				8	6,5	22,7		
	14	11,5	31,6	8,91	-4,1		8	6,5	29,6	2,6	23,3
	14	11,5					8	6,5			
10						3					
	12	11	28,7				6	6	29,3		
	12	11	24,8	6,28	+15,7		6	6	36,1	1,85	18,8
	12	11					6	6			
9						2					
	12	11	38,6				6	5	37,2		
	12	11	34,3	6,38	+12,5		6	5	49,7	1,71	-25,2
	12	11					6	5			
8						1					
							5	5			

Примечание: + - дополнительный принос дождя от соседних пролетов.

## Приложение Е, таблица 2

Таблица Б9. Величина испарения и сноса дождя при поливе серийными аппаратами и УПД с дефлекторными насадками ДМ «Фрегат»

q, л/с	D-d, мм	H, МПа	$\theta$ , град.	h <sub>с</sub> , м	d <sub>к</sub> , мм	$\rho_c$ , мм/ми	$\rho_m$ , мм/ми	E <sub>ис</sub> , %	E <sub>ис</sub> , %
0,192	3,2 СА	0,307	27	4,1	0,86	0,091	1,545	37,2	21,4
	4,0 УПД	0,157	20	1,1	1,25	0,072	1,893	21,4	14,3
0,415	3,6-2,4 СА	0,432	27-27	5,6	0,70	0,112	1,525	35,7	21,4
	6 УПД	0,144	20	1,2	0,675	0,216	0,240	23,6	14,1
0,480	4,3-2,4 СА	0,344	27-27	5,5	0,92	0,117	1,618	29,5	17,7
	6,0 УПД	0,193	20	1,2	1,02	0,114	1,897	23,3	12,0
0,825	5,1-3,2 СА	0,455	27-27	6,4	0,85	0,166	1,948	29,8	17,8
	8,0 УПД	0,181	20	1,3	1,05	0,191	1,811	23,2	10,9
0,883	5,6-3,2 СА	0,392	27-27	6,2	0,98	0,171	2,091	26,5	15,9
	8,0 УПД	0,207	20	1,3	1,22	0,204	2,072	19,9	9,0
1,016	4,3-5,6 СА	0,360	27-27	6,2	1,07	0,202	1,808	24,6	14,7
	10,0 УПД	0,112	20	1,3	1,08	0,202	1,809	22,8	8,5
1,790	5,6-7,1 СА	0,483	27-27	7,4	1,0	0,276	1,921	25,3	15,1
	12 УПД	0,168	20	1,4	0,864	0,565	0,378	17,1	8,2
2,42	5,6-9,5 СА	0,448	27-27	7,7	1,24	0,311	2,050	21,8	13,1
	14,0 УПД	0,166	20	1,5	1,05	0,311	1,570	22,0	7,7
2,650	9,6-5,6 СА	0,437	27-27	7,7	1,25	0,344	2,175	21,1	12,6
	14,0 УПД	0,200	20	1,5	1,1	0,344	1,60	22,0	7,5
3,780	11,9-5,6 СА	0,420 0,237	27-27 20	8,0 1,6	1,57 0,866	0,433 0,874	2,60 0,429	17,3 15,6	10,4 6,3
	16,0 УПД								

Примечание: q - расход воды аппаратом или дефлекторной насадкой; D-d - диаметр основного и дополнительного сопла и насадки; H - напор на выходе струи;  $\theta$  - угол наклона струи к горизонту; h<sub>с</sub> - средневзвешенная высота подъема струи; d<sub>к</sub> - средний диаметр капель дождя;  $\rho_c$ ,  $\rho_m$  - средняя и мгновенная интенсивность дождя; E<sub>ис</sub>, E<sub>ис</sub>\* - величина испарения и сноса дождя (температура воздуха - 17,4°C, относительная влажность воздуха - 59 %, скорость ветра - 3,8 м/с, угол между направлением ветра и трубопроводом машины - 90° и 45°).

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

## Приложение Ж, таблица 1.

Распределение объема воды в дождемерах вдоль трубопровода  
низконапорной ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания  
( $V_{п.т.} = 0,369$  м/мин,  $H = 0,36$  МПа, опыт 16.08. 09).

№	№ тел.	Ri, м	V1, мл	V2, мл	V3, мл	Si, м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1		10	160	140	230	84
2		14	1210	1420	540	117
3		18	580	790	490	151
4	1	22	1320	1120	930	184
5		26	1460	1800	2260	218
6		30	940	1210	1080	251
7		34	1140	1240	1100	285
8		38	700	930	960	318
9		42	400	440	3300	352
10		46	930	990	1200	385
11	2	50	2850	2850	3100	419
12		54	1520	1230	660	452
13		58	670	790	1030	486
14		62	630	730	720	519
15		66	1120	1200	1040	553
16		70	480	370	800	586
17		74	950	820	1030	620
18	3	78	770	730	740	653
19		82	500	700	1000	687
20		86	320	320	170	720
21		90	320	300	540	754
22		94	330	560	520	787
23		98	80	120	190	821
24		102	610	570	850	855
25	4	106	950	730	1950	888
26		110	680	900	1160	922
27		114	620	1030	1150	955
28		118	700	730	1100	989
29		122	550	950	820	1022
30		126	710	800	720	1056
31	5	130	960	1200	1030	1089
32		134	760	1000	1090	1123
33		138	550	520	590	1156
34		142	640	700	710	1190
35		146	660	700	685	1223
36		150	550	550	550	1257
37		154	1000	1100	1050	1290
38		158	940	900	790	1324
39	6	162	440	450	620	1357
40		166	870	940	1070	1391
41		170	470	500	610	1424
42		174	570	650	570	1458
43		178	520	740	850	1491
44		182	520	680	740	1525

1	2	3	4	5	6	7
45		186	520	440	470	1558
46	7	190	880	1070	1030	1592
47		194	1090	1030	960	1625
48		198	620	600	865	1659
49		202	830	980	1050	1692
50		206	550	760	850	1726
51		210	380	530	450	1759
52		214	630	770	710	1793
53		218	700	1100	870	1826
54	8	222	550	610	710	1860
55		226	520	580	520	1893
56		230	750	920	880	1927
57		234	530	670	575	1960
58		238	850	920	1000	1994
59		242	940	910	1050	2027
60		246	340	530	475	2061
61	9	250	630	620	760	2094
62		254	420	490	400	2128
63		258	810	930	670	2161
64		262	770	780	770	2195
65		266	510	540	470	2228

*Приложение Ж, таблица 2.*

Распределение дождя вдоль трубопровода низконапорной ДМ «Фрегат» с оборудованием приповерхностного дождевания (V п. т.= 0,36 м/мин, H = 0,36 МПа)

№	№ тел.	R	V1	V2	V3	S <sub>1</sub>
1	2	3	4	5	6	7
1		34	1470	-	-	285
2		38	1800	-	-	318
3		42	510	-	-	352
4		46	1030	-	-	385
5	2	50	800	1000	1300	419
6		54	600	680	1020	452
7		58	1510	1410	1850	486
8		62	1340	1170	1180	519
9		66	940	1000	1260	553
10		70	800	870	910	586
11		74	1200	1220	1060	620
12	3	78	820	880	1220	653
13		82	830	1030	1240	687
14		86	610	710	760	720
15		90	800	1030	1290	754
16		94	690	750	930	787
17		98	640	750	900	821
18		102	1300	1320	1480	855
19	4	106	930	1450	1200	888
20		110	740	800	1020	922

1	2	3	4	5	6	7
21		114	1160	1240	1460	955
22		118	920	970	1230	989
23		122	740	800	950	1022
24		126	670	870	880	1056
25	5	130	600	710	780	1089
26		134	1010	1130	1330	1123
27		138	580	880	750	1156
28		142	560	530	590	1190
29		146	880	1000	1160	1223
30		150	1140	540	730	1257
31		154	590	630	730	1290
32		158	880	850	920	1324
33	6	162	540	640	630	1357
34		166	640	570	680	1391
35		170	870	960	1020	1424
36		174	680	730	800	1458
37		178	600	550	580	1491
38		182	640	660	670	1525
39		186	440	530	630	1558
40	7	190	950	1320	1400	1592
41		194	910	920	950	1625
42		198	620	900	1050	1659
43		202	870	700	620	1692
44		206	910	980	1050	1726
45		210	730	850	850	1759
46		214	580	760	770	1793
47		218	1020	640	1100	1826
48	8	222	560	810	770	1860
49		226	520	680	640	1893
50		230	800	810	800	1927
51		234	720	1050	1050	1960
52		238	540	670	680	1994
53		242	970	950	1050	2027
54		246	570	810	820	2061
55	9	250	820	1150	1160	2094
56		254	610	900	930	2128
57		258	870	900	850	2161
58		262	1350	710	610	2195
59		266	270	430	800	2228
60		270	120	780	1320	2262
61		274	90	620	740	2295
62		278	20	1300	660	2329

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

## Приложение 3, таблица 1.

Объем воды в дождемерах после прохода низконапорной ДМ «Фрегат» хоз. № 5 в ЗАО «АФ «Волга» (учащенная схема расстановки УПД сдефлекторными насадками; число ходов гидроцилиндра – 3,75 ход/мин; норма полива – 438,5 м<sup>3</sup>/га;  $K_{эф.п.} = 0,70$ ;  $K_{н.п.} = 0,16$ ;  $K_{из.п.} = 0,14$ )

№ те- лежки	Объем воды, мм	Средний на полете, мл	№ те- лежки	Объем воды, мм	Средний на пролете, мл	№ те- лежки	Объем воды, мм	Средний на пролете, мл.
12			7			4		
	930	928,0		1160	761,6		1070	900,0
	950			700			1000	
	790			740			950	
	1850			770			580	
	860			400				
	1110			800				
9			6			3		
	1130	886,6		940	876,6		700	775,0
	1170			920			760	
	790			1110			760	
	990			1050			1190	
	440			600			710	
	800			640			530	
8			5			2		
	890	878,3		1240	936,0		1360	950,0
	1020			570			1510	
	1230			920			970	
	1010			660			190	
	520			1290				
	600							

## Приложение 3, таблица 2.

Число случаев распределения объема воды в дождемерах на ДМ «Фрегат»  
хоз. № 5 в ЗАО «АФ «Волга»

Номер интервала	Интервал объема воды в дождемерах, мл	Частота случаев, шт.	Характеристики распределения
1	185-212	4	$V_{\min} = 185$ мл
2	213-240	8	$V_{\max} = 464$ мл
3	241-268	7	$V_{\text{ср.}} = 308$ мл
4	269-296	12	$K_{\text{эф.п}} = 0,701$
5	297-324	6	$K_{\text{н.п}} = 0,136$
6	325-352	8	$K_{\text{из.}} = 0,161$
7	353-380	8	
8	381-408	7	
9	409-436	3	
10	437-464	1	

**ПРИЛОЖЕНИЕ И**

**ПАТЕНТ И**

**АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК**



## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие  
ОПХ ФГНУ «ВолжНИИГиМ» Энгельского района Саратовской области.

2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедрялось  
«Разработка новых дождеобразующих устройств для повышения качества  
полива и технологии групповой эксплуатации ДМ «Фрегат».

3. Наименование научной организации, проводящей научную разработку и  
опытное освоение внедряемого мероприятия ФГНУ «ВолжНИИГиМ».

4. Срок начала внедрения мероприятия 2009г.

5. Краткая характеристика и новизна внедрения мероприятия, взамен чего  
внедряется.

*Внедрение на ДМ «Фрегат» хоз. № 1 и 5 новых устройств приповерхностного дождевания, устанавливаемых на трубопроводе машины по учащенной схеме с дефлекторными насадками кругового полива, и секторного полива в районе тележек и подтележечных щитков обеспечивает:*

*- повышение равномерности полива до 0.72...0.74 за счет увеличения радиуса захвата дождем и степени перекрытия струй, а также за счет увеличения устойчивости дождевого облака к ветру. Потери воды на испарение и снос дождя уменьшаются с 15...20% до 4...10%. К преимуществам насадок относится: высокая надежность работы в результате отсутствия вращающихся деталей; низкая вероятность засорения мусором; создание мелкокапельного дождя (диаметр капель 0,6...1,0 мм); снижение дождевого облака с 5...7 до 1,0...3,5 м;*

*- существенное уменьшение попадания оросительной воды в зону передвижения колес тележек, исключение воды в колее и застревание тележек. Глубина колеи в конце поливного сезона составляет 4...9 см вместо 15...30 см (серийная ДМ «Фрегат»). Это повышает коэффициент использования времени смены ДМ «Фрегат» с 0,79 до 0,81 производительность машин при норме полива 400 м<sup>3</sup>/га повышается с 0,61 до 0,65 га/час.*

6. Основные показатели внедренного мероприятия:

а) фактический объем внедрения в натуральных показателях.

Две ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания, площадью орошения 33 га.

б) эффективность внедрения

Расчетный годовой экономический эффект составляет 87 тыс. руб./маш.



Директор  
 ФГНУ «ВолжНИИГиМ»  
 В.А. Нагорный



Директор ОПХ ФГНУ  
 «ВолжНИИГиМ»  
 Д.Ш. Рамазанов

## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие  
ООО «ВИТ» Энгельсского района Саратовской области.

2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедрялось  
«Провести исследования, разработать и внедрить ресурсосберегающие и экологические безопасные технические средства и технологии полива на основе блочно-модульного принципа для крестьянского-фермерских хозяйств в условиях Саратовской области».

3. Наименование научной организации, проводящей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия ФГНУ «ВолжНИИГиМ».

4. Срок начала внедрения мероприятия 2008г.

5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия, взамен чего внедряется  
Внедрение на ДМ «Фрегат» хоз. № 1 устройств приповерхностного дождевания, устанавливаемых на трубопроводе машины по учащенной схеме с дефлекторными насадками кругового полива и секторного полива в районе тележек и подтележечных щитков обеспечивает:

- повышение равномерности полива дл 0,72....0,74 за счет увеличения радиуса захвата дождем и степени перекрытия струй, а также за счет увеличения устойчивости дождевого облака к ветру. Потери воды на испарение и снос дождя уменьшаются с 15....20% до 4...10%. К преимуществам насадок относится: высокая надежность работы в результате отсутствия вращающихся деталей; низкая вероятность засорения мусором; создание мелкокапельного дождя (диаметр капель 0,6....1,0 мм); снижение дождевого облака с 5....7 до 1,0...3,5 м;

Внедрение ДМ «Фрегат» реверсивного передвижения обеспечивает:

- экономию водных и энергетических ресурсов при выращивании под одной машиной нескольких сельскохозяйственных культур с различными сроками полива, так как исключает дополнительные (ненужные) проходы по отдельным секторам поля. Это в свою очередь улучшает водный режим и приживаемость овощных культур в ранний период их роста.

6. Основные показатели внедренного мероприятия:

а) фактический объем внедрения в натуральных показателях  
Одна ДМ «Фрегат», площадью орошения - 80 га.

б) эффективность внедрения  
Расчетный годовой экономический эффект составляет 173 тыс. рублей на одну 16-опорную машину



В.А. Нагорный



В.В. Касатов