

*На правах рукописи*

Карпова Ольга Валериевна

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ УСТРОЙСТВА  
ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДОЖДЕВАНИЯ  
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «ФРЕГАТ»**

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов – 2017

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова».

Научный руководитель:

**Соловьев Дмитрий Александрович,**  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

**Снипич Юрий Федорович,**  
доктор технических наук, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации», ведущий научный сотрудник

**Антипов Алексей Олегович,**  
кандидат технических наук, ГОУ ВО Московской области «Государственный социально – гуманитарный университет», кафедра «Общетеchnических дисциплин теории и методики профессионального образования», доцент

**Ведущая организация** - ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова»

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_ 2017 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» и на сайте: [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., д.1., E-mail: [dissovet01@sgau.ru](mailto:dissovet01@sgau.ru).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_ 2017 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Маштаков Д.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации большое значение имеет Федеральная целевая программа развития мелиорации до 2020 г. В Саратовской области реализуется ряд проектов, которые позволят восстановить и значительно увеличить орошаемые площади. Введение в оборот орошаемых земель влечет за собой усовершенствование имеющихся и создание новых дождевальных машин. В Саратовской области широко используются ДМ «Фрегат», она имеет ряд преимуществ: возможность проводить полив круглосуточно в автоматическом режиме; высокую производительность за счет обслуживания одним оператором 3–4 машин.

Однако серийные дождевальные аппараты и дефлекторные насадки, устанавливаемые на трубопровод ДМ «Фрегат», создают дождевое облако высотой подъема до 4...7 м от поверхности почвы, что приводит к значительным потерям воды на испарение и унос ветром и снижению равномерности полива при усилении ветра.

Известные устройства приповерхностного дождевания (УПД) имеют высокую стоимость, низкую надежность в работе, сложную регулировку, значительную трудоемкость при изготовлении, а также при проведении монтажных и демонтажных работ. Таким образом, усовершенствование технологического процесса и технических узлов ДМ «Фрегат» для повышения качества полива и равномерного распределения дождя, снижения потерь воды на испарение и унос ветром является актуальной научной задачей.

**Степень ее разработанности темы.** Вопросами совершенствования дождевальных машин, дождеобразующих устройств и технологий орошения занимались многие ученые: Ф.К. Абдразаков, Н.П. Бредихин, Д.П. Гостищев, Ю.И. Гринь, К.В. Губер, С.Х. Гусейн-Заде, Н.С. Ерхов, А.П. Исаев, Б.М. Лебедев, Г.П. Лямперт, В.Ф. Носенко, Г.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, Н.Ф. Рыжко, А.И. Рязанцев, В.В. Слюсаренко, Ю.Ф. Снопич, Б.П. Фокин и др. Анализ опубликованных материалов показал, что необходима разработка новых дождевальных насадок и устройств приповерхностного дождевания, которые обеспечат повышение показателей качества полива при низкой стоимости их изготовления.

**Цель исследований** – повышение эффективности полива дождевальной машины «Фрегат» на основе совершенствования конструктивно-

технологических параметров дождевальной насадки и устройств приповерхностного дождевания.

**Задачи исследований:**

– провести исследования технологического процесса приповерхностного полива и определить конструктивно-технологические параметры дождевальной насадки и устройств приповерхностного дождевания;

– определить математические зависимости показателей качества полива ДМ «Фрегат» с усовершенствованными устройствами приповерхностного дождевания и уточнить методику расчета эпюр распределения слоя дождя дождевальной насадкой;

– экспериментально исследовать ДМ «Фрегат» с усовершенствованными устройствами приповерхностного дождевания с насадками.

– дать оценку экономической эффективности работы ДМ «Фрегат», оборудованной устройствами приповерхностного дождевания.

**Научная новизна заключается в том, что:**

– разработаны и обоснованы усовершенствованные конструкции устройств приповерхностного дождевания и дождевальная насадка с обратным конусом, улучшающие качества полива;

– уточнены математические зависимости технологического процесса полива ДМ «Фрегат» от ее технических параметров и метеорологических факторов;

– усовершенствована методика расчета эпюры распределения дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадкой.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Обоснован технологический процесс полива усовершенствованными устройствами приповерхностного дождевания, установленными на дождевальную машину «Фрегат», уточнены закономерности дождеобразования и определены агротехнические показатели полива в зависимости от конструктивно-технологических характеристик дождевальной насадки.

Модернизированные конструкции ДМ «Фрегат» и ресурсосберегающие технологии полива внедрены на орошаемых участках Саратовской области. Результаты исследований использованы в ООО «АгроТехСервис» (г. Маркс), ОПХ ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» и др.

**Методология и методы исследования.** В работе были использованы теоретические методы исследований – математическое моделирование, системный анализ качественных и агротехнических параметров дождевания, обоснование закономерностей технологического процесса полива на основе известных законов физики, классической механики и математиче-

ского анализа. Экспериментальные методы содержали полевые исследования агротехнических и энергетических характеристик полива различными дождевателями и усовершенствованными ДМ «Фрегат» по СТО АИСТ 11.1–2010. Водно-физические свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур при поливе среднеструйными дождевальными аппаратами, серийными дефлекторными насадками и устройствами приповерхностного дождевания определяли по общепринятой методике полевого опыта Б.А. Доспехова (1985). Экономическую оценку сельскохозяйственной техники проводили по ГОСТ Р 53056–2008.

**Положения, выносимые на защиту:**

- конструктивно-технологические параметры дождевальной насадки с обратным конусом и устройств приповерхностного дождевания;
- теоретическое обоснование совершенствования технологического процесса приповерхностного полива и математические зависимости показателей качества полива дождевальной насадки с обратным конусом от ее конструктивно-технологических параметров;
- результаты экспериментальных исследований показателей качества полива ДМ «Фрегат» с усовершенствованными устройствами приповерхностного дождевания и дождевальными насадками.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Подтверждается достаточным объёмом опытных данных, полученных с соблюдением необходимого числа повторений, использованием методов статистического анализа и обработки опытных данных.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава в Саратовском ГАУ (2014–2017), на Международной научно-технической конференции ФГБНУ ВНИИЗМ, г. Тверь (2016), на Международной научно-технической конференции ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск (2016–2017), на Международной научно-практической конференции ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», г. Энгельс (2016), на Международной научно-технической конференции ВНИИ «Радуга», г. Коломна (2016).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, 2 патента на полезную модель и патент на изобретение РФ. Общий объём публикаций – 3,66 п. л., из них 2,44 п. л. принадлежит лично автору.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 197 страницах, включает 40 таблиц, 54 рисунка и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Список литературы включает 184 источников, в том числе 16 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во «Введении»** обоснованы актуальность темы, практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Анализ показателей полива ДМ «Фрегат» проанализированы многочисленные исследования показателей качества полива дождевальной машиной «Фрегат». Проведен обзор конструкций устройств приповерхностного дождевания и выявлены их основные недостатки и преимущества. На основании этого определены основные направления совершенствования конструктивно-технологических параметров дождевальных насадок и устройств приповерхностного дождевания для повышения равномерности полива при ветровой нагрузке и снижения потерь воды на испарение и унос ветром.

Установлено, что актуальной задачей исследований является усовершенствование дождевальной насадки и устройств приповерхностного дождевания ДМ «Фрегат».

**Во второй главе** «Теоретические предпосылки и экспериментальное обоснование улучшения показателей качества полива ДМ «Фрегат» обосновано применение приповерхностного полива сельскохозяйственных культур.

Многочисленными исследованиями установлено, что большие потери воды на испарение и унос ветром обусловлены высотой подъема дождевого облака, крупностью капель дождя и метеорологическими факторами.

На основе математической обработки экспериментальных данных уточнены потери воды на испарение и унос ветром  $E_{и,у}$  %, при поливе одиночным дождевальным аппаратом, дождевальной насадкой, дождевальной машиной или устройством.

Основными направлениями сокращения потерь воды на испарение и унос ветром являются: снижение высоты подъема дождевого облака над поверхностью почвы и оптимизация степени распыления дождя. В

связи с этим необходимо усовершенствовать дождевальные насадки и устройства приповерхностного дождевания.

Дождевальные насадки формируют мелкокапельный дождь. При снижении высоты установки их на УПД и высоты подъёма дождевого облака уменьшается скорость падения капель и энергетическое воздействие дождя на почву, и сельскохозяйственные растения.

При обосновании конструкции дождевальной насадки исходили из того, что она должна отвечать следующим условиям:

- обеспечивать расход воды 0,048...2,5 л/с при установке на ДМ «Фрегат» любой модификации;
- изменять режим потока струи путём применения регулировочного переходника, который позволит формировать дождевое облако с оптимальными параметрами распыления;
- создавать ветровую устойчивость струи (угол её вылета из насадки  $\alpha$  должен быть 15–20 град.);
- обеспечивать слив воды из УПД после поливов;
- минимизировать реактивный момент при выходе струи из сопла.

С учётом данных положений разработана дождевальная насадка с дефлектором «обратный конус» (рисунок 1), которая состоит из корпуса 1 с коническим дефлектором 2, выполненным в виде обратного конуса. Дефлектор 2 установлен на двух ножках 3. Для настройки дождевальной насадки на требуемый расход воды и качественное распыление в корпус 1 под натягом вставляют переходник 4 с калиброванным отверстием 5.

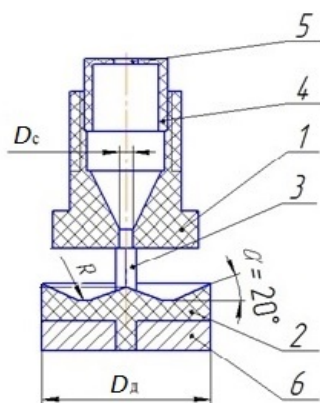


Рисунок 1 – Дождевальная насадка с дефлектором «обратный конус»:

1 – корпус; 2 – конический дефлектор; 3 – ножка; 4 – переходник; 5 – калиброванное отверстие; 6 – груз

В нижней части корпуса выполнена коническая резьба, которая позволяет устанавливать насадку в муфту устройства приповерхностного дождевания.

Применение таких насадок в свою очередь позволило усовершенствовать устройства приповерхностного дождевания.

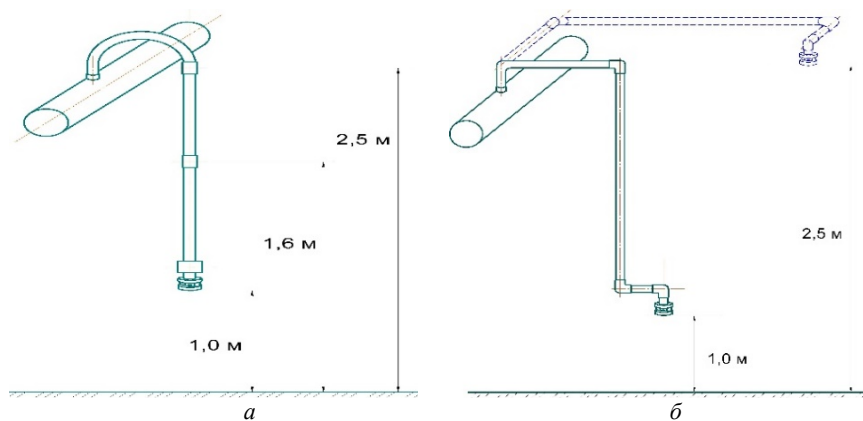


Рисунок 2 – Схемы устройств приповерхностного дождевания:  
*а* – типа «сборная штанга» или «сборный рукав»; *б* – типа «поворотная штанга»

Устройства приповерхностного дождевания типа «сборная штанга» и «сборный рукав» приведены на рисунке 2, *а*. Их можно изготавливать из доступных материалов, не подверженных коррозии: напорного рукава, полихлорвиниловых, полиэтиленовых и полипропиленовых труб и др. Устройства этих типов монтируют возле трубопровода машины или с установкой вперед и назад относительно трубопровода на горизонтальных тросах. Они легко регулируют высоту установки дождевальной насадки, просты в изготовлении, а также обеспечивают слив воды после прекращения полива. Для обеспечения вертикального положения дождевальной насадки на устройстве типа «сборный рукав» ее комплектуют грузом *б*.

Устройство типа «поворотная штанга» приведено на рисунке 2, *б*. Его изготавливают из металлических труб. Оно также обеспечивает слив воды после прекращения полива, установку насадки вперед и назад относительно трубопровода, не трудоемко в изготовлении и просто в регулировке. Высота установки дождевальной насадки на разработанные виды УПД изменяется от 1,0 до 2,5 м.



Для обеспечения высокой равномерности полива ДМ «Фрегат» необходимо достаточное перекрытие струй, а также равномерное распределение дождя по полю или вдоль радиуса полива дождевальной насадкой. Известная методика «ВолжНИИГиМ» (2012 г.) не обеспечивает достаточную точность расчёта распределения дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадкой.

Стандартная эпора распределения дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадкой приведена на рисунке 3.

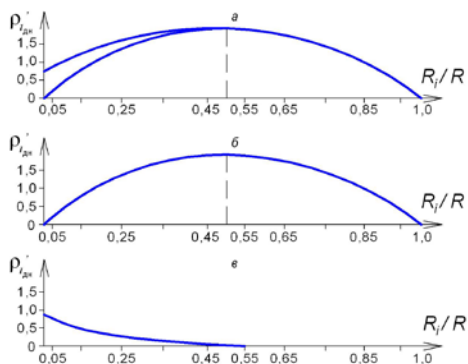


Рисунок 3 – Эпоры распределения интенсивности дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадкой:  
 а – суммарная;  
 б – основная;  
 в – дополнительная.

Для более точного определения эпоры распределения дождя дождевальной насадкой  $\rho'_{дн}$  в любой точке радиуса и площади полива предлагается рассчитать ее как суммарную (рисунок 3, а), состоящую из эпоры от основной части струи (рисунок 3, б)  $\rho'_{осн}$  имеющей нулевые значения в конце и начале радиуса полива и дополнительной ее части (рисунок 3, в)  $\rho'_{доп}$  имеющей максимальные значения в начале радиуса полива:

$$\rho'_{дн} = \rho'_{осн} + \rho'_{доп} \quad (1)$$

Для более точного математического расчета интенсивности дождя, определяем ее как нормированную:

$$\rho' = \frac{\rho_i}{\rho_{ср}}, \quad (2)$$

где  $\rho_i$  –  $i$  значений интенсивности дождя;

$\rho_{ср}$  – средние значения интенсивности дождя.

Для нормированных данных интенсивности дождя  $\rho_i'_{дн}$  сумма  $i$  значений равна:  $\frac{\sum \rho_i}{n} = 1$ ,

где  $n$  – число точек расчета, величин интенсивности дождя.

Исследования эпюр распределения дождя дождевальными насадками показывают, что при изменении диаметра сопла от 6 до 16 мм и  $P/D$  от 0,01 до 0,054 МПа/мм нормированная интенсивность дождя в нулевой точке начала радиуса полива  $\rho_{0' доп}$  изменяется от 0,2 до 0,8 (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость нормированной интенсивности дождя в нулевой точке начала радиуса полива  $\rho_{0' доп}$  дождевальной насадкой от диаметра сопла  $D$  и давления  $P$

Диаметр сопла $D$ , мм	Давление $P$ , МПа	Отношение $P/D$ , МПа/мм	Нормированная интенсивность дождя $\rho'_{0дн}$	$D$ , мм	$P$ , МПа	$P/D$ , МПа/мм	$\rho'_{0 доп}$
6	0,08	0,0133	0,45	8	0,075	0,00937	0,40
	0,14	0,0233	0,60		0,190	0,0237	0,60
	0,32	0,0543	0,80		0,285	0,0356	0,70
10	0,06	0,0060	0,30	12	0,130	0,0108	0,25
	0,12	0,0120	0,35		0,280	0,0233	0,35
	0,18	0,0180	0,45		0,580	0,0483	0,45
14	0,15	0,0107	0,22	16	0,160	0,010	0,20
	0,30	0,0214	0,30		0,250	0,015	0,25

Нормированную интенсивность дождя в нулевой точке начала радиуса полива  $\rho_{0' доп}$  рассчитывают по зависимости:

$$\rho_{0' доп} = 1,545 \frac{P^{0,4}}{D^{1,1}}, \quad (3)$$

где  $P$  – давление воды перед насадкой, МПа;

$D$  – диаметр сопла, мм, в  $i$ -й точке радиуса полива – по формуле:

$$\rho_i'_{доп} = \rho_{0' доп} - (\rho_{0' доп} / 0,55) \cdot (R_i/R). \quad (4)$$

Нормированный объём воды от дополнительной части струи  $K_{доп}$  изменяется от 0,22 до 0,55 и рассчитывается по формуле:

$$K_{доп} = \rho_{0' доп} \left( \frac{0,55}{2} \right) = 0,275 \rho_{0' доп}. \quad (5)$$

Нормированный объём воды от основной части струи равен:

$$K_{\text{осн}} = 1 - K_{\text{доп.}} \quad (6)$$

Использование этих формул позволило рассчитать на ПК эпюры распределения дождя дождевальной насадкой с минимальными значениями отклонений между фактическими и расчетными значениями (таблица 2).

Таблица 2 – Фактические и расчётные значения нормированной интенсивности дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадкой (диаметр сопла 6 мм, давление 0,32 МПа)

Нормированная интенсивность дождя	Относительный радиус полива дождевальной насадкой, $R_i/R$											
	0	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,0
Фактическая вдоль радиуса полива, мм /мин	0,8	0,9	1,05	1,54	1,81	1,76	1,6	1,36	1,1	0,6	0,1	0
Расчетная от основной части струи ( $\gamma = 2,35$ ; $\eta = 2,45$ ) дополнительной части струи	0	0,187	0,703	1,169	1,496	1,648	1,616	1,406	1,047	0,59	0,14	0
	0,8	0,73	0,58	0,43	0,3	0,14	0	–	–	–	–	–
Суммарная вдоль радиуса полива дождевальной насадкой (сумма отклонений 0,516) по известной методике [132] ( $\gamma = 2,02$ ; $\eta = 2,37$ ; сумма отклонений 2,64)	0,8	0,917	0,283	1,599	1,796	1,788	1,616	1,406	1,047	0,59	0,14	0
	0	0,357	0,94	1,33	1,545	1,588	1,48	1,244	0,908	0,512	0,127	0

Расчеты показывают, что суммарная эпюра, состоящая из эпюр распределения дождя от основной и дополнительной частей струи, имеет незначительную сумму отклонений фактических значений от расчетных 0,516 (вариант 1). При расчёте по известной методике ВолжНИИ-ГиМ (2012) сумма отклонений в 5 раз больше и составляет 2,64 (вариант 2).

Согласно данной методике, рассчитаны карты настройки дождевальных насадок, устанавливаемых через 5 и 6 м друг от друга на трубопроводе ДМ «Фрегат» и устройствах приповерхностного дождевания, которые обеспечили высокую равномерность полива на площади орошения.

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены типовые и разработанные методики проведения испытаний в лабораторных и производственных условиях устройств приповерхностного дождевания с новыми дождевальными насадками, установленных на ДМ «Фрегат». Изучали их расходные характеристики: расход воды при различных значениях напора, дальность полета струи и площадь полива, среднюю и мгновенную интенсивность дождя; крупность капель дождя; потери воды на испарение и унос ветром; равномерность полива; влажность почвы; урожайность сельскохозяйственных культур и др. Исследования выполняли в соответствии с требованиями СТО АИСТ 11.1–2010. «Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей». Давление воды измеряли манометром; радиус действия струи – металлической рулеткой с ценой деления 1 см; скорость ветра на высоте 2 м – при помощи анемометра. Интенсивность и слой дождя, норму полива определяли с использованием мерных емкостей, средний диаметр капель – с помощью бумажных фильтров, влажность почвы – термостатно-весовым методом, расход воды машиной – объемным методом как сумму отдельных расходов каждой дождевальной насадкой.

Урожайность сельскохозяйственных культур определяли по методике Б. А. Доспехова: площадь учетной делянки на посевах сои – 50м<sup>2</sup>, повторность опытов – 8-кратный, метод размещения вариантов опыта – систематический.

Экономическую эффективность оценивали согласно ГОСТ Р 53056–2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.

Схема опыта по изучению влияния показателей качества полива различными дождевальными устройствами на урожайность сельскохозяйственных культур включала следующие варианты:

1. Контроль – серийные дефлекторные насадки, установленные на трубопроводе машины, или среднеструйные дождевальные аппараты (СДА) «Фрегат» № 1–4.

2. Устройства приповерхностного дождевания с дождевальными насадками (УПД-ДН).

Серийные насадки и разработанные УПД-ДН устанавливали на одной дождевальной машине группами по 7–10 шт. Учетные площадки размещали в середине группы дождевателей, чтобы исключить влияние ближайших дождевателей. Обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов (Доспехов Б.А., 1985).

**В четвертой главе** «Результаты лабораторных и полевых исследований модернизированной дождевальной насадки» приведены результаты лабораторных испытаний устройств приповерхностного дождевания, на которых установлены дождевальные насадки с дефлектором «обратный конус».

Лабораторными и полевыми исследованиями установлено, что расход воды дождевальными насадками с обратным конусом при одном и том же диаметре сопла, и давлении увеличивается на 3,8 % по сравнению с серийными насадками, смонтированными на трубопроводе ДМ «Фрегат». Среднее значение коэффициента расхода воды  $\mu$  дождевальной насадкой составляет 0,904.

Формула для расчета расхода воды принимает вид:

$$q = \frac{D^2 \sqrt{P}}{31,8}, \quad (7)$$

где  $q$  – расход воды насадкой, л/с;

$D$  – диаметр сопла, мм;

$P$  – давление воды перед насадкой, МПа.

При увеличении диаметра сопла и давления возрастает расход воды дождевальной насадкой и повышается дальность полета струи. При снижении высоты установки дождевальной насадки радиус полива  $R$ , м, уменьшается. Дальность полета струи в зависимости от диаметра сопла, рабочего давления и высоты установки дождевальной насадки рассчитывали по формуле:

$$R = \frac{100PD(0,96 + 0,02h)}{1,073D + 74,6P} \quad (8)$$

где  $h$  – высота монтажа дождевальной насадки (изменяется от 1,0 до 2,5 м).

На основе экспериментальных данных установлена зависимость радиуса полива дождевальной насадкой с дефлектором «обратный конус» при изменении диаметра сопла от 2 до 12 мм и давлении 0,1- 0,3 МПа увеличивается от 2,3 до 10,8 м, (рисунок 4).

Для обеспечения хорошей равномерности полива дождевальными насадками с УПД на пролетах устанавливают по учащенной схеме (через 5 и 6 м).

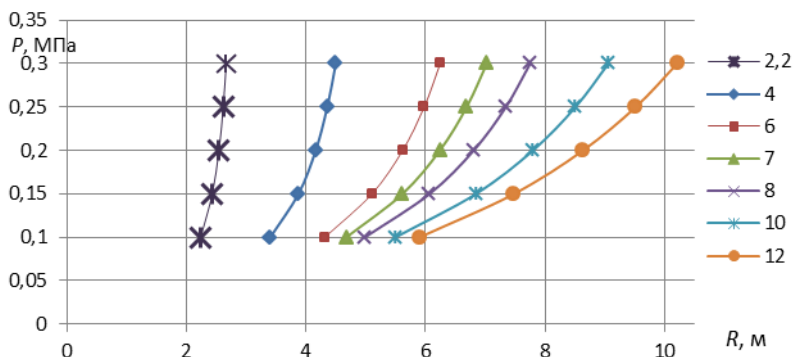


Рисунок 4 – Экспериментальные значения радиуса полива  $R$  дождевальной насадкой от диаметра сопла  $D$  и давления струи  $P$  перед насадкой при высоте ее установки 2,0 м от поверхности земли

Установка дождевальных насадок на открылках УПД «сборный рукав» или УПД «поворотная штанга» длиной 2 м способствует снижению средней интенсивности дождя по сравнению с серийными дефлекторными насадками, устанавливаемыми на трубопроводе дождевальной машины (рисунок 5).

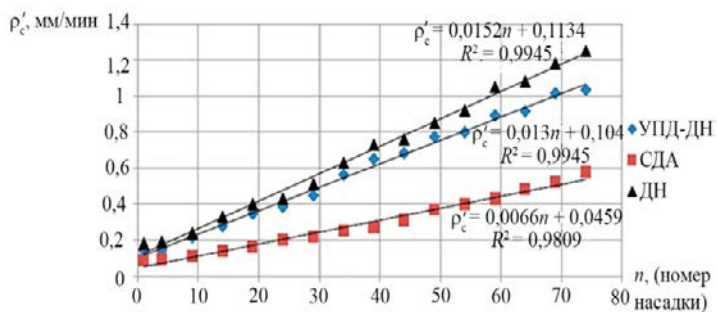


Рисунок 5 – Экспериментальные значения средней интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-463-90 со среднеструйными дождевальными аппаратами, серийными дефлекторными насадками и УПД с дождевальными насадками

Мгновенная интенсивность дождя вдоль машины «Фрегат» при поливе СДА изменяется от 1,54 до 2,6 мм/мин, а УПД с насадками – от 0,237 до 0,509 мм/мин, что в 4–6 раз меньше (рисунок 6).

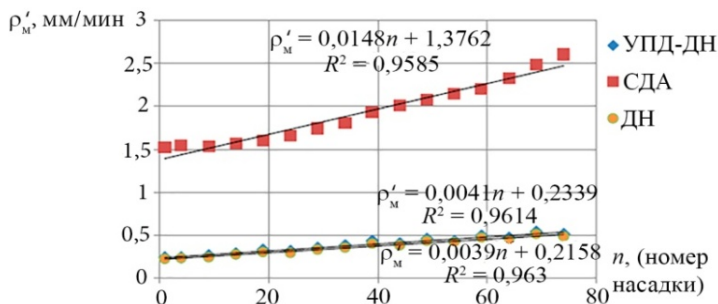


Рисунок 6 – Экспериментальные значения мгновенной интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-463-90 со среднеструйными дождевальными аппаратами, серийными дефлекторными насадками и УПД с дождевальными насадками

Исследованиями установлено, что дождевальные насадки формируют мелкокапельный дождь. Изменение среднего диаметра капель вдоль радиуса полива дождевальными насадками приведено на рисунке 7, из которого видно, что в начале радиуса полива  $d_c = 0,1 \dots 0,3$  мм, в середине –  $d_c = 0,5 \dots 0,6$  мм; в конце –  $d_c = 1,0 \dots 1,6$  мм.

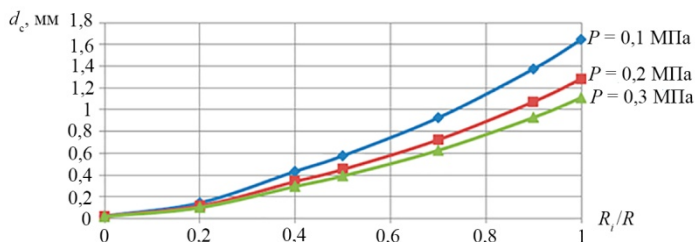


Рисунок 7 – Изменение среднего диаметра капель вдоль радиуса полива дождевальной насадкой с диаметром сопла 6 мм (по данным эксперимента)

Обработка экспериментальных данных позволила установить, что минимальная крупность капель в начале радиуса полива дождевальной насадкой зависит от диаметра сопла  $D$  и давления  $P$ :

$$d_{\min} = 0,01(100P)^{-0,21}D^{0,70}; \quad (9)$$

максимальный размер капель в конце радиуса полива дождевальной насадкой также зависит от диаметра сопла и давления:

$$d_{\max} = 1,38(100P)^{-0,27}D^{0,44}; \quad (10)$$

формула для определения крупности капель дождя вдоль радиуса полива дождевальной насадкой:

$$d = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min})(X_i/R)e^{-0,75(1 - X_i/R)}, \quad (11)$$

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

$d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  – минимальная и максимальная крупность капель дождя дождевальной насадкой, мм.

Изменение среднего диаметра капель среднеструйных дождевальных аппаратов, серийных дефлекторных насадок и УПД с дождевальными насадками вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» показана на рисунке 8.

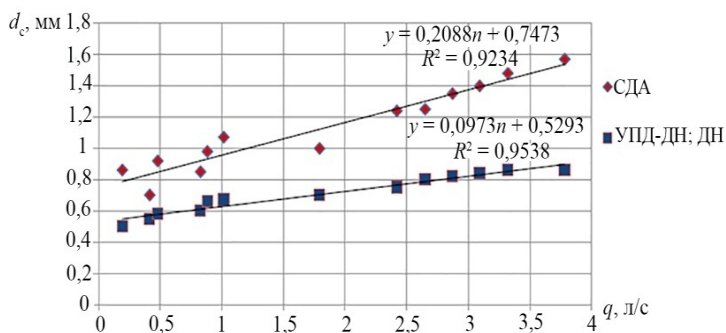


Рисунок 8 – Изменение среднего диаметра капель серийных дефлекторных насадок, среднеструйных дождевальных аппаратов и УПД с дождевальными насадками вдоль трубопровода машины «Фрегат» (по данным эксперимента)

Дождевальные насадки формируют мелкокапельный дождь диаметром от 0,5...0,8 мм, что в 1,5–2 раза меньше, чем среднеструйные дождевальные аппараты.

**В пятой главе** «Результаты испытаний ДМ «Фрегат», оборудованных УПД с дождевальными насадками, были рассчитаны карты настройки 12, 13 и 16-опорных ДМ «Фрегат» различных модификаций. Испытания, проведенные в ОПХ «ВолжНИИГиМ», ЗАО «АФ «Волга», ООО «Березовское», показали, что расход воды ДМ «Фрегат» соответствует паспортным данным, как при серийном, так и при низком давлении, мгновенная интенсивность дождя меньше, чем при поливе среднеструйными дождевальными аппаратами.



Один из важных показателей дождя – комплексный энергетический показатель (КЭП), который учитывает крупность капель, среднюю и мгновенную интенсивность дождя.

Замеры данных параметров показывают, что при использовании устройств приповерхностного дождевания с дождевальными насадками комплексный энергетический показатель дождя в 1,2–1,7 раза меньше, чем у среднеструйных дождевальных аппаратов.

Снижение КЭП приводит к уменьшению энергетического воздействия дождя на почву, при этом снижается плотность верхнего слоя (0–50 см) и масса разбрызгиваемой почвы.

Исследования ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания, оборудованными дождевальными насадками, показывают, что равномерность полива при ветре 3...4 м/с и составляет 0,68...0,75, что выше на 6–14,2 %, чем при поливе среднеструйными дождевальными аппаратами, и выше на 20–34 %, чем при поливе дефлекторными насадками, устанавливаемыми в стандартные штуцера.

Равномерность полива обеспечивается снижением потерь воды на испарение и унос ветром, надежностью работы дождевальных насадок по сравнению со среднеструйными дождевальными аппаратами и серийными дефлекторными насадками.

При поливе ДМ «Фрегат» с УПД и дождевальными насадками потери воды на испарение и унос ветром в зависимости от коэффициента напряженности метеорологических факторов  $\Phi$  в 1,5–1,8 раза меньше, чем у среднеструйных дождевальных аппаратов (рисунок 9).

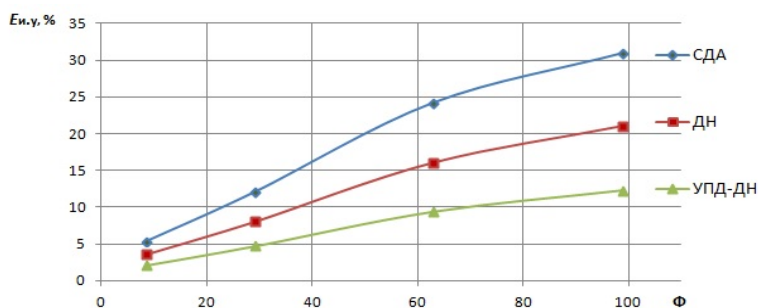


Рисунок 9 – Экспериментальные значения испарения и уноса ветром  $E_{и,у}$  при поливе ДМ «Фрегат» со среднеструйными аппаратами, серийными дефлекторными насадками и УПД с дождевальными насадками от коэффициента напряженности метеорологических факторов  $\Phi$

Уменьшение потерь воды при поливе ДМ «Фрегат» с УПД обусловлено снижением уноса дождевого облака и оптимизацией факела распыления дождя.

Замеры влажности почвы в течение поливного сезона в ООО «Берёзовское» при поливе ДМ «Фрегат» с УПД-ДН показали, что после каждого полива и в конце вегетационного сезона наблюдался прирост запасов влаги в почве по сравнению с участками полива серийными дефлекторными насадками, смонтированными на трубопроводе машины. Что приводит к улучшению качества полива ДМ «Фрегат» и повышению урожайности сои в среднем на 0,35 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Экономическая оценка внедрения устройств приповерхностного дождевания на ДМ «Фрегат»

Показатели работы	ДМ «Фрегат» с ДН	Модернизированная ДМ «Фрегат», УПД-ДН
Сельскохозяйственная культура	СОЯ	
Коэффициент эффективного полива при скорости ветра 3,7 м/с	0,59	0,74
Потери воды на испарение и снос %	16	8,3
Крупность капель дождя, мм	0,8	0,8
Скорость падения капель дождя м/сек	3,7(2.5м)	2,3(1м)
Мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup>	0,39	0,28
Урожайность сои, т/га за 3 года	2,07	2,42
Прибавка урожая, т/га	-	0,35
Годовой экономический эффект, тыс. руб./маш.	-	508,2

Годовой экономический эффект от внедрения УПД на ДМ «Фрегат» составил 508,2 тыс. руб. на машину.

Внедрение усовершенствованных УПД с дождевальными насадками на ДМ «Фрегат» обеспечивает повышение надежности ее работы, снижает стоимость и трудовые затраты на монтажные и регулировочные работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ проведенных исследований качества полива ДМ «Фрегат» показал недостаточную равномерность полива при ветре и значительные потери воды на испарение, и унос ветром. Существующие устройства приповерхностного дождевания имеют значительную металлоемкость в

работе, высокую стоимость. Они сложны в регулировке, а также трудоемки в изготовлении, при монтаже и демонтаже.

На основе теоретических исследований технологического процесса приповерхностного полива разработана дождевальная насадка с дефлектором «обратный конус» (патент № 170892), которая обеспечивает слив воды из устройства приповерхностного дождевания и минимизирует реактивный момент при выходе струи из сопла. Применение таких дождевальных насадок позволило упростить конструкцию УПД (патент №169912), повысить надежность конструкции, увеличить ширину и площадь полива дождем, уменьшив среднюю интенсивность дождя.

2. Исследованиями дождевальной насадки с дефлектором «обратный конус» установлены математические зависимости расхода воды и дальности полета струй дождя от диаметра сопла, давления на выходе струи из сопла и высоты установки насадки относительно поверхности почвы. Получены формулы для расчета крупности капель дождя в любой точке радиуса полива УПД с дождевальной насадкой.

3. Усовершенствована методика расчета эпюры распределения дождя дождевальной насадкой, состоящей из эпюр от основной и дополнительной частей струи, которая позволила повысить точность расчета распределения дождя вдоль радиуса полива. Получена зависимость интенсивности дождя в месте установки дождевальной насадки от диаметра сопла и рабочего давления.

4. Дождевальная машина «Фрегат» с УПД и дождевальными насадками формируют мелкокапельный дождь, что обеспечивает повышение равномерности полива при скорости ветра 3...4 м/с от 0,70...0,75, или на 6,6–14,2 %, в сравнении со среднеструйными аппаратами и на 20...35% с дефлекторными насадками. Дождевальные насадки при меньшей крупности капель снижают скорость их падения с 3,8...5,2 м/с до 2,9...3,8 м/с. Средняя крупность капель дождя дождевальных насадок составляет 0,5...0,86 мм, что в 1,5–2,0 раза меньше, чем у среднеструйных дождевальных аппаратов.

5. Испытания ДМ «Фрегат» различных модификаций с дождевальными насадками, установленными на УПД согласно рассчитанным картам настройки, подтверждает, что расход воды, как при низком, так и высоком давлении соответствует стандартным значениям.

Потери воды на испарение и унос ветром при поливе ДМ «Фрегат» с УПД уменьшаются до 6–12 % за счет снижения высоты подъёма дождевого

облака с 4...7 до 1,1...3,5 м над поверхностью почвы и до 1,0...1,5 м над растениями.

6. Улучшение показателей качества полива способствует повышению урожайности сои в среднем на 0,35 т/га и обеспечивает годовой экономический эффект от внедрения устройств приповерхностного дождевания на ДМ «Фрегат» 508,2 тыс. руб. на машину.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. Разработанные устройства приповерхностного дождевания с дождевальными насадками типа «обратный конус» рекомендуется устанавливать на трубопровод ДМ «Фрегат» через 5 и 6 м друг от друга. Настройку дождевальных насадок на заданный расход воды следует производить согласно рассчитанным картам для серийных и низконапорных ДМ «Фрегат» различных модификаций.

2. Полученные математические зависимости и программа расчета эпюр распределения дождя вдоль радиуса полива рекомендуется использовать в научно-исследовательских и учебных заведениях, а также в организациях, производящих дождевальные машины.

### **ПЕРСПЕКТИВА ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Совершенствование технологического процесса полива для обеспечения экологически безопасного полива дождеванием и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

### **Список опубликованных работ**

*В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ*

1. Соловьёв, Д. А. Исследование дефлекторного оросителя / Д. А. Соловьёв, О. В. Карпова, М. Г. Загоруйко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1, 2. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/122-21055>.

2. Соловьёв, Д. А. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д. А. Соловьёв, О. В. Карпова, Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2016. – № 3. – С. 65–68.

3. Рыжко, Н. Ф. Методика расчёта эпюр распределения дождя вдоль радиуса полива дефлекторных насадок / Н. Ф. Рыжко, Л. Н. Мазнева, С.

Н. Рыжко, С. В. Ботов, О. В. Карпова, Д. А. Соловьёв // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2016. – № 4. – С. 66–68.

4. *Затинацкий, С.В.* Гидравлическая модель работы модифицированной ДМ "Фрегат" с возможностью движения без полива / Затинацкий С.В., Колганов Д.А., Карпова О.В., Кириченко А.В., Петровичев И.В. // Научное обозрение.- 2017. - № 15. - С. 20-27.

### *Патенты*

5. Пат. 2539513 Российская Федерация А О1G 25/09. Дождевальная насадка / Соловьёв Д. А., Карпова О. В., Колесников Н. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – № 2013133445 ; заявл. 17.07.2013 ; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 2.

6. Пат. 170892 Российская Федерация, А О1G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н. Ф., Карпова О. В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». – № 2016131741/21 ; заявл. 01.08.16 ; опубл. 12.05.2017. Бюл. № 14.

7. Пат. 169912 Российская Федерация, А О1G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н.Ф., Карпова О.В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». – № 2016136589/21; заявл. 12.09.16; опубл. 06.04.2017. Бюл. № 10.

### *В сборниках научных конференций и прочие издания*

8. *Рыжко, Н. Ф.* Методика оценки равномерности полива дефлекторных насадок / Н. Ф. Рыжко, А. В. Аверичев, О. В. Карпова // Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях : материалы науч.-практ. конф. с международным участием, 25–27 мая 2016 г. [посвящ. 50-летию образ. ВолжНИИГиМа : материалы] / редкол. : В. А. Шадский [и др.]. – Энгельс, 2016. – С. 95–101.

9. *Рыжко, С. Н.* Качественные показатели полива дефлекторных насадок / С. Н. Рыжко, А. В. Аверичев, О. В. Карпова // Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях : материалы науч.- практ. конф. с международным участием, 25–27 мая 2016 г. [посвящ. 50-летию образ. ВолжНИИГиМа : материалы] / редкол. В. А. Шадский [и др.]. – Энгельс, 2016. – С. 101–106.

10. *Рыжко, Н. Ф.* Модернизация устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, О. В. Карпова // Инновационные агро - и биотехнологии в адаптивно-ландшафтном

земледелии на мелиорированных землях : материалы науч.-практ. конф. – Тверь, 2016. – С. 247–252.

11. *Рыжко, Н. Ф.* Технологические показатели полива дефлекторной насадки с обратным конусом и модернизация устройств приповерхностного дождевания ДМ «Фрегат» / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, О. В. Карпова, С. В. Ботов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1 (61). – С. 120–127.

12. *Рыжко, С. Н.* Усовершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» и их экономическая эффективность / С. Н. Рыжко, О. В. Карпова, С. А. Хорин, Н. Ф. Рыжко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3 (63). – С. 107–111.

13. *Рыжко, Н. Ф.* Модернизация дождевого пояса дождевальной машины «Кубань-ЛК» / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, С. В. Ботов, Н. В. Рыжко, С. А. Хорин, О. В. Карпова // Технологии и технические средства в мелиорации : заочная конф. [посвящ. 50-летию начала реализации широкомасштабной программы мелиорации земель и 50-летию образования ВНИИ "Радуга". – Коломна, 2016. – С. 113–115.

14. *Рыжко, Н. Ф.* Результаты исследований дождевальных насадок и устройств приповерхностного полива / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, С. В. Ботов, Н. В. Рыжко, С. А. Хорин, О. В. Карпова // Технологии и технические средства в мелиорации : заочная конф. [посвящ. 50-летию начала реализации широкомасштабной программы мелиорации земель и 50-летию образования ВНИИ "Радуга". – Коломна, 2016. – С. 116–119.