

На правах рукописи

Рыжко Сергей Николаевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ
ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И КАЧЕСТВЕННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИВА**

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов - 2022

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: **Рязанцев Анатолий Иванович**,
доктор технических наук, профессор
кафедры технических систем, теории и
методики образовательных процессов
ГОУ ВО МО «Государственный
социально-гуманитарный университет»

Чураев Александр Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент
зам директора по науке ФГБНУ
«Российский НИИ проблем мелиорации»

Ведущая организация ФГБНУ Всероссийский научно-
исследовательский институт систем
орошения и сельхозводоснабжения
«Радуга»

Защита диссертации состоится 6 сентября 2022 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.08 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 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

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл. 1. E-mail: dissovet01@sgau.ru.

Автореферат разослан «__»_____ 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета.

Панкова Татьяна Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации большое значение имеет ведомственная программа развития мелиорации до 2025 г. В Саратовской области и России постоянно проводятся работы по реконструкции, техническому перевооружению и строительству новых орошаемых участков, что требует постоянной модернизации существующей и разработке более совершенных дождевальных машин (ДМ).

В настоящее время в Российской Федерации все больше внедряются многоопорные дождевальные машины ферменной конструкции «Кубань-С», «Каскад», «Казанка» и др., которые являются наиболее передовыми разработками в области мелиорации, так как отличаются высокой надёжностью и производительностью и обеспечивают круглосуточный полив в автоматическом режиме.

Однако, данные машины отличают большая металлоёмкость и, соответственно, повышение глубины колеи и высокая стоимость. При внесении удобрений и хим. веществ с поливной водой наблюдается коррозия трубопровода и конструктивных элементов, а качественные показатели полива (интенсивность дождя, потери воды на испарение и др.) не в полной мере удовлетворяют современным требованиям сельскохозяйственного производства.

Таким образом, разработка модернизированной многоопорной дождевальной машины ферменной конструкции с целью улучшения технических характеристик и повышения качества полива является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы. Вопросами совершенствования дождевальных машин и повышения качества полива занимались многие ученые: Б. М. Лебедев, С. Х. Гусейн-Заде, А. И. Рязанцев, В. Ф. Носенко, К. В. Губер, Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, Д. А. Соловьев, С. М. Васильев, Б. П. Фокин, Ф. К. Абдразаков, Л. А. Журавлева, Н. Ф. Рыжко, И. А. Малько, А. А. Чураев, Д. А. Калганов, А. О. Антипов, П. И. Кузнецов и др. Анализ опубликованных материалов показал, что необходима разработка технических решений для

снижения металлоёмкости, массы и стоимости машин, повышения надёжности работы и срока службы, а также улучшения качественных показателей полива при снижении интенсивности и мощности дождя.

Цель исследования – разработка многоопорной дождевальной машины «Волга-ФК1» с полиэтиленовым трубопроводом более низкой массы и стоимости при повышенных показателях качества полива, посредством совершенствования дождевальных насадок и устройств приземного орошения.

Задачи исследований:

- обосновать: модернизацию многоопорной дождевальной машины ферменной конструкции с использованием полиэтиленовых труб с целью снижения металлоёмкости и стоимости; конструктивные и технические параметры фермы в зависимости от модификации машины и расхода воды, а также для подачи удобрительных растворов через антикоррозийные трубы;

- провести обоснование конструктивных параметров усовершенствованных дождевальных насадок и устройств приземного орошения с целью повышения качества полива;

- провести исследования и дать оценку технических параметров и качественных показателей полива модернизированной многоопорной дождевальной машины с усовершенствованными дождевальными насадками;

- дать оценку преимуществ и экономической эффективности модернизированной многоопорной дождевальной машины.

Научная новизна заключается в том, что:

- теоретически обоснованы и разработаны: усовершенствованная конструкция двухтрубной фермы (со стальной и полиэтиленовой трубой), гидравлические расчёты фермы с двойным трубопроводом, а также дождевальная насадка со съёмным дефлектором для повышения качества полива;

- обоснована конструкция многоопорной дождевальной машины и технологический процесс внесения удобрений только через полиэтиленовые трубы;

- уточнены математические зависимости технологического процесса полива усовершенствованной дождевальной машины и дождевателей в зависимости от технических параметров и метеорологических факторов.

Практическая ценность выполненных исследований заключается в сохранении и сбережении ресурсов при разработке дождевальной машины «Волга-ФК1» на основе новых технических и конструктивных решений.

Предложены для практического применения дождевальные насадки усовершенствованной конструкции и технология приземного орошения. Дождевальная машина «Волга-ФК1» прошла сертификационные испытания с участием Поволжской МИС (Протокол испытаний № 08-78С-2020) и получен сертификат соответствия на её серийное производство (№ 0180578).

Методика исследований. В работе использовались теоретические методы исследований: математическое моделирование, системный анализ, описание технологических процессов на основе известных законов и методов классической механики и математического анализа. Экспериментальные методы включали полевые исследования по изучению агротехнических, энергетических и технических характеристик полива ДМ «Волга-ФК1».

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические основы: совершенствования ферменных пролётов; гидравлических расчётов ферм с двойным трубопроводом и повышения качества полива дождевателей;

- конструкции ферменных пролётов с полиэтиленовым трубопроводом и параметры дождевателей;

- математические зависимости, определяющие качественные показатели полива усовершенствованных дождевателей и машин в зависимости от конструктивно-технологических параметров;

- результаты лабораторных и полевых исследований ДМ «Волга-ФК1» с измененной конструкцией ферменных пролётов и дождевателей;

- результаты оценки экономической эффективности усовершенствованной ДМ «Волга-ФК1» с полиэтиленовым трубопроводом.

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 (2015-2021), на Международной научно-технической конференции ФГБНУ ВНИИМЗ, г. Тверь (2016, 2017), на Международной научно-технической конференции ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск (2016), на Международной научно-практической конференции ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», г. Энгельс (2016), на Международной научно-технической конференции ВНИИ «Радуга», г. Коломна (2016), на Международных научно-практических конференциях во ВНИИОЗ, г. Волгоград (2017) и ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва (2018).

Реализация результатов исследований. Дождевальная машина «Волга-ФК1» внедрена в ОПХ «ВолжНИИГиМ» Саратовской области. Элементы и технические решения данной работы были внедрены в ООО «Лидер» с. Ленинское Волгоградской области, в ООО «Березовское» Энгельсского района и в ООО «Наше дело» г. Маркса Саратовской области.

Публикации. По теме работы опубликовано 27 научных трудов, 9 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 7 патентов на полезную модель.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и рекомендаций производству, списка литературы и приложений. Общий объём составляет 161 страницу компьютерного текста. Основной текст изложен на 132 страницах, содержит 37 таблиц и 49 рисунков. Список используемой литературы включает 153 наименования, в том числе 18 на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В **первой главе «Современные многоопорные дождевальные машины и направления совершенствования»** нами проанализировано состояние орошаемого земледелия и техники полива в Саратовской области и Российской Федерации. Проведён анализ технических и научных изданий по определению материалов труб, используемых при изготовлении ферменных пролётов многоопорных дождевальных машин (ДМ). На однострубных фермах наиболее широко используются стальные оцинкованные трубы, в иностранных машинах по запросу они могут изготавливаться из алюминиевых и нержавеющей труб, а при внесении химических средств – из стальных труб с полимерным покрытием. В последние годы разработаны машины вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом (ДМ «Волга-СМ», «ВолжНИИГиМ») и стеклобазальтовыми трубами (РосНИИПМ, ПоТехИн и К^о). Нами проведён анализ агротехнических характеристик полива и конструкции дождевальных насадок, определены направления их дальнейшего совершенствования для формирования мелкокапельного дождя, повышения равномерности полива и снижения интенсивности дождя.

Показано, что многоопорные дождевальные машины кругового действия ферменной конструкции занимают ведущее место в мелиоративном комплексе страны, однако требуют дальнейшего совершенствования для снижения металлоёмкости, массы и стоимости, повышения срока службы и улучшения качественных показателей полива при снижении интенсивности и мощности дождя.

Во **второй главе «Теоретические предпосылки совершенствования дождевальной машины ферменной конструкции»** проведено обоснование конструкции дождевальной машины ферменной конструкции с полиэтиленовым трубопроводом (патент № 160893). Дождевальная машина «Волга-ФК1» (рисунок 1) состоит из неподвижной опоры 1, ферменных пролётов 2, включающих стальной трубопровод 3, раскосы 4 и растяжки 5. К стальному трубопроводу 3 диаметром 102-114 мм при помощи хомутов монтируется полиэтиленовый трубопровода 6, выполненного из труб диаметром 160-63 мм с

устройствами приземного орошения 7. Ферменные пролёты 2 опираются на тележки 8 с пневматическими колесами 9. Общий расход воды машины будет равен сумме расходов воды, подающей через стальной и полиэтиленовый трубопроводы: $Q_{\text{дм}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{пэ}}$. Максимальный расход воды машины в зависимости от её длины (71-473 м), площади полива (3-70 га) изменяется от 7 до 70 л/с.

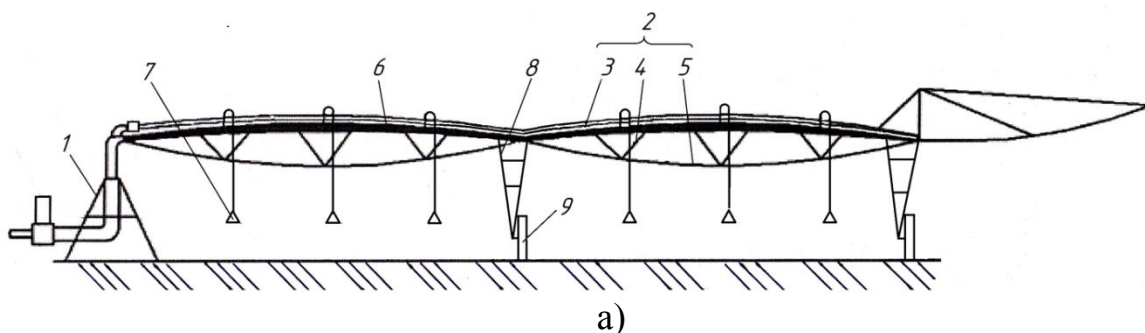


Рисунок 1 – Схема (а) и фото (б) дождевальная машина ферменной конструкции «Волга-ФК1» с полиэтиленовым трубопроводом

Расчёты и анализ работы ДМ «Мини-Кубань» показывает, что для ферменных пролётов длиной 50-60 м можно использовать трубы диаметром 102 мм, а также трубы диаметром 108 и 114 мм. Расход воды, подающей через стальной трубопровод, будет равен 7-20 л/с. Расход воды, подающей через полиэтиленовый трубопровод, чтобы обеспечить общий расход воды машины $Q_{\text{дм}}=7-70$ л/с должен быть равен: $Q_{\text{пэ}} = 7-50$ л/с.

Напор на входе машины ($H_{вх}$) определяется напором концевой дождевальной насадки, величиной потерь напора по длине трубопровода ($h_{п}$) и величиной геодезического перепада последней насадки ($H_{геод}$)

$$H_{вх} = H_k + h_{п} + H_{геод}, \quad (1)$$

где H_k – напор перед концевой дождевальной насадок -10-15 м вод. ст.

Для стального трубопровода потери напора на длине l_i участка согласно Шевелёву Ф. А. равны:

$$h_i = 0,00107 \cdot l_i \frac{V^2}{d_{вн}^{1,3}}. \quad (2)$$

Для полиэтиленового трубопровода потери напора по длине равны:

$$h_i = 0,000685 \cdot l_i \frac{V^{1,774}}{d_{вн}^{1,226}} \quad (3)$$

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

$$V = \frac{10 \cdot q}{0,785 \cdot (d_{вн})^2}. \quad (4)$$

С учётом приведённых формул (1-4) были проведены расчёты значений оптимального диаметра стального и полиэтиленового трубопроводов (таблица 1) и напора на входе в машину ($H_{вх}$) в зависимости от расхода воды ($Q_{дм}$) и длины ($L_{дм}$) машины или числа опорных тележек (таблица 2).

Таблица 1 – Значения диаметров стального и полиэтиленового трубопровода в зависимости от модификации машины, длины трубопровода и расхода воды машины

Число тележек, шт.	Площадь полива, га	Длина машины, м	Расход воды машины, л/с	Диаметр трубы, мм	
				полиэтиленовой	стальной
9	73,2	473	70	160 – до Т5, 140 – между Т5-7 110, 90, 63 - далее	114-102
8	62,0	426,4	65	140 – до Т4 90, 63 – далее	114-102
7	51,8	375,2	55	125 – далее 110,63	114-102
6	32,1	319,8	30	90 и 63, 32	114-102
5	22,9	264,5	25	90 и 63, 32	114-102
4	15,4	213,2	20	63 и 32	102
3	10,5	170,0	18	63 и 32	102
2	5,7	122,0	10	63 и 32	102
1	2,9	71,3	7	63 и 32	102

В результате расчётов подобраны требуемые диаметры стального (102-114 мм) и полиэтиленового трубопровода (32-160 мм), которые обеспечивают расход

воды в пределах от 7 до 70 л/с и низконапорный рабочий напор на входе в машину в пределах 18-35 м вод. ст. (таблица 2).

Для дождевальных машин с длиной трубопровода 473 м и расходом воды 70 л/с необходимо использовать стальной трубопровод диаметром 114 мм и набор полиэтиленовых труб диаметром: до тележки № 4 – 160 мм; между тележками № 5-8 – 140 мм и далее – 110-63 мм. Для машин с трубопроводом длиной 396 м и расходом воды 55 л/с можно использовать стальные трубы диаметром 114 мм и набор полиэтиленовых труб диаметром: до тележки № 4 – 125 мм, далее – 90 мм. Для машин с трубопроводом меньшей длины 71-173 м и расходом воды 7-18 л/с можно использовать только стальные трубы диаметром 108 или 102 мм и полиэтиленовые трубы малого диаметра – 32-63 мм.

Проведённые расчёты показывают, что применение фермы со стальным трубопроводом малого диаметра и с полиэтиленовым трубопроводом позволит снизить массу водопроводящего трубопровода в среднем на 18-87 % (в зависимости от модификации машины) и стоимость трубопровода машины на 16-32 %.

Таблица 2 – Требуемый напор на входе в машину ($H_{вх}$) в зависимости от расхода воды ($Q_{дм}$) и длины ($L_{дм}$) машины

Показатели машины	Число опорных тележек машины, шт.									
	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9
$L_{дм}$, М	71	122	170	211	261	319	365	376	426	473
$Q_{дм}$, л/с	7	10	18	20	25	30	45	55	65	70
$Q_{ст}$, л/с	0	8,5	10,5	11,5	15	15	15	15	20	20
$Q_{пэ}$, л/с	1,5+5	1,5+ 8,5	7,5- 10,5	8,5+ 11,5	10+ 15	15+ 15	30+ 15	40+ 15	45+ 20	50+ 20
$h_{ст}$, м	0	2,8	6,0	7,8	11,2	13,1	14,0	14,4	15,2	16,4
$h_{пэ}$, м	7,8	6,0	8,8	10	11	13	14	15	17	18
$H_{дм}$, м	18	18	19	20	25	26	28	30	33	35

Нами обоснована конструкция дождевальной насадки со съёмным дефлектором (рисунок 2, патент № 184629), которая обеспечивает мелкокапельный полив, формирует дождь однородной структуры (без усов) и минимизирует реактивный момент при выходе струи из сопла, что обеспечивает вертикальное положение на устройствах приземного орошения с небольшим грузом и повышает равномерность полива.

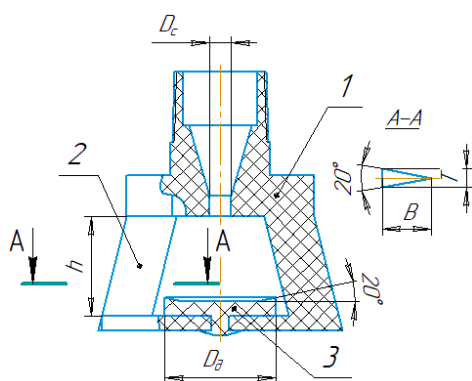


Рисунок 2 - Дождевальная насадка со съёмным дефлектором (пат. № 184629)

Такие насадки широко внедряются на устройствах приземного орошения машин ферменной (Кубан-ЛК1) и вантовой («Бамбук», «Фрегат») конструкции и на полосовых дождевателях (Харвест).

Нами проведены обоснования и конструктивные разработки по совершенствованию устройств приземного орошения (УПО). Разработано три варианта УПО для дождевальной машины ферменной конструкции, которые увеличивают ширину захвата дождем для снижения средней интенсивности дождя путем:

- монтажа дождевальных насадок со съёмным дефлектором с использованием рукавов на шпренгели ферм (вариант 1) на высоте 2,7 м от поверхности почвы (рисунок 3);

- монтажа дождевальных насадок на высоте 1-2,7 м на шпренгелях ферм и открылках с использованием рукавов (вариант 2; рисунок 3); с использованием кронштейнов и рукавов (вариант 3, патент № 184629).

Преимущество устройства приземного орошения (вариант 2) в том, что благодаря гибкому напорному рукаву обеспечивается легкое регулирование высоты установки (от 1 до 2,7 м) дождевальных насадок по мере роста высокостебельных сельскохозяйственных культур. При монтаже УПО на шпренгелях ферм и открылках расстояние между дождевальными насадками (B_n) по линии перпендикулярной трубопроводу возрастает до 2,5 м.

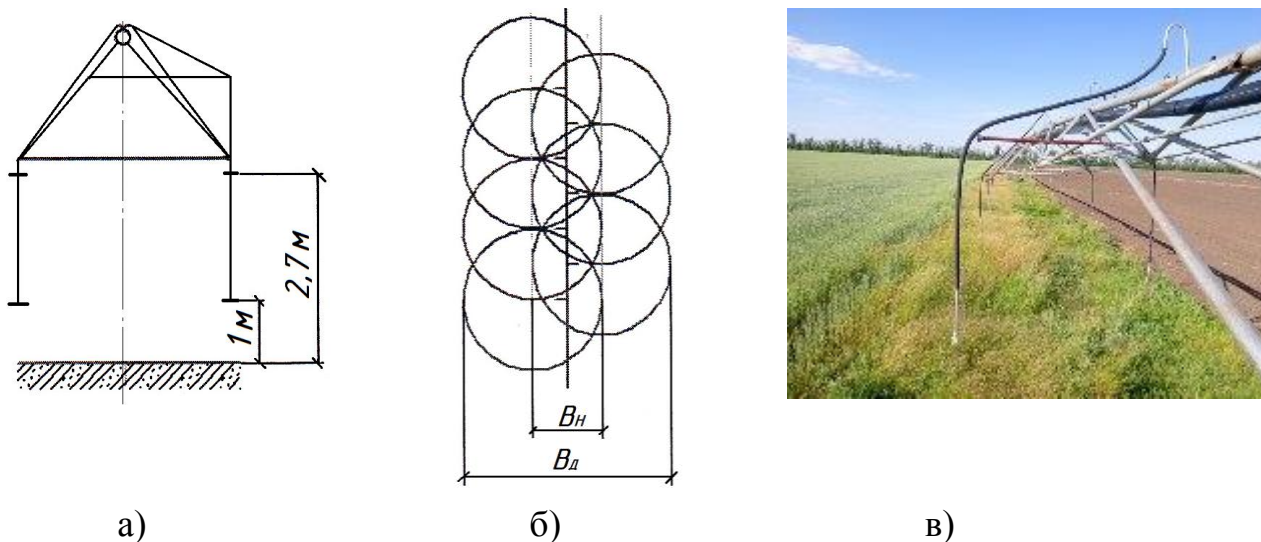


Рисунок 3 – Схема монтажа рукава УПО на шпренгели и открылки по второму варианту (а). Зона полива дождевальными насадками на УПО (б). Фото УПО при установке на шпренгеле и открылки (в)

Ширина захвата дождем машины с УПО ($B_{ди}$) определяем по формуле:

$$B_{ди} = 2(R_i + L_i) \quad (5)$$

где L_i - расстояния от i -ой насадки до трубопровода машины, м; R_i - радиус полива i -ой насадки, м.

Средняя интенсивность дождя i -ой насадки определяем по формуле:

$$\rho_i = 60q_i / (L_i \cdot B_i) \quad (6)$$

где q_i - расход воды i -ой насадки, л/с; L_n – расстояние между дождевальными насадками, м.

Применение усовершенствованных УПО (вариант 2) увеличивает ширину расстановки насадок (B_n) до 2,5 м, обеспечивает увеличение ширины захвата дождем (B_d) и уменьшает среднюю интенсивность дождя на машине на 23-65 %.

Для повышения надёжности работы ДМ при внесении удобрений и химических веществ с поливной водой, нами обоснована схема их подачи (патент № 208408). Проведенные расчёты показывают, что для равномерного внесения удобрительных растворов диаметр полиэтиленового трубопровода должен изменяться от 32 до 160 мм в зависимости от модификации машины, длины трубопровода и расхода воды машины. Значения диаметров полиэтиленового трубопровода определяются расходом воды на пролётах и приведены в таблице 3.

На 1...3-опорных машинах с небольшим расходом воды вдоль стального трубопровода прокладывается полиэтиленовый трубопровод малого диаметра (32-75 мм). Подача воды из стального в полиэтиленовый трубопровод осуществляется через переходники на каждом пролёте. В переходники через дюзу поступает маточный раствор минеральных удобрений из удобрительной трубки диаметром 6-10 мм с более высоким давлением (0,5-0,6 МПа). Из полиэтиленового трубопровода раствор удобрений поступает в дождевальные насадки УПО.

Таблица 3 - Схема подачи химических веществ через полиэтиленовый трубопровод и его размеры в зависимости от длины машины и числа пролётов

Число тележек, шт. – расход воды, л/с	Номер пролёта						
	1	2	3	7	8	9	
1-5	C=0 (0) П ₆₃ +К ₅₀ =5						
2-10	C=1 (9) П ₃₂ =1	C=0 П ₇₅ +К ₅₀ =9					
3-18	C=1,5 (16,5) П ₃₂ =1,5	C=4,5 (12) П ₃₂ =4,5	C=0 П ₇₅ +К ₅₀ =7,3+4,6				
4-20	C=1,1 (18,8) П ₃₂ =1,17	C=3,5 (15,3) П ₆₃ =3,53	C=5,89 (9,41) П ₆₃ =5,89				
7-45	C=0 (15) П ₁₂₅ =0,5 (29,48)	C=0 (15) П ₁₂₅ =3,5	C=0 (15) П ₁₂₅ =3,5		C=0 П ₇₅ +К ₅₀ =9		
9-70	C=20 П ₁₆₀ =0,78 (49,22)	C=20 П ₁₆₀ =2,36 (46,86)	C=20 П ₁₆₀ =3,93 (42,93)		C=0 П ₇₅ =10,2 П ₁₄₀ =(30,35)	C=0 П ₁₁₀ =11,8 (18,55)	C=0 П ₉₀ =13,37 К _{6,3} (6,33)

Примечание. П₁₂₅ = 0,95 (29,48): П – трубопровод полиэтиленовый; 125 – диаметр трубопровода, мм; 0,95 – расход воды, выдаваемый на данном пролёте, л/с; (29,48) – транзитный расход воды на данном пролёте, л/с. C = 1,5 (16,5): C – трубопровод стальной; 1,5 – расход воды, выдаваемый на данном пролёте в полиэтиленовый трубопровод, л/с; (16,5) – транзитный расход воды на данном пролёте, л/с.

На 4...9-опорных машинах чистая вода поступает по стальному и по полиэтиленовому трубопроводу, в который через дюзу в начале машины из удобрительной трубки поступает концентрированный раствор. Чистая вода при помощи переходников поступает в полиэтиленовые трубопроводы малых диаметров 32-63 мм на 4-7 пролётах в зависимости от длины машины (таблица 3). В переходники через дюзу поступает концентрированный раствор минеральных удобрений из удобрительной трубки с более высоким давлением.

Из полиэтиленовых труб при помощи УПО с дождевальными насадками удобрения с водой поступают на поле (патенты № 176478, 180447, 208408).

Подача удобрительных растворов через полиэтиленовые трубопроводы и устройства приземного орошения исключает попадание коррозионных растворов в стальной трубопровод и конструкционные узлы машины и будет способствовать повышению надёжности её работы.

В третьей главе «Программа и методика исследований» представлены типовые и разработанные методики проведения испытаний в производственных условиях. В основу методик положены указания СТО АИСТ 11.1-2010 Программа и методика испытаний дождевальных машин. Равномерность полива и интенсивность дождя определялись при помощи осадкомеров. Расход воды дождевальных насадок и всей машины в целом определялся объёмным способом с использованием мерного бака. Диаметр капель дождя - при помощи обеззоленных бумажных фильтров натертых чернильным порошком. Потери воды на испарение и снос ветром определялись по разнице объёма воды в осадкомерах между расчётными значениями и фактическим объёмом воды в осадкомере. Влажность почвы определялась термовесовым способом с использованием бура и бюкс.

Экономическую эффективность оценивали согласно ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов (Доспехов Б. А., 1985), а компьютерная обработка проводилась при помощи программ для ПЭВМ: Statistica, Excel.

В четвертой главе «Результаты исследований усовершенствованной дождевальной насадки со съёмным дефлектором» исследования показали, что расход воды дождевальными насадками со съёмным дефлектором зависит от диаметра сопла (D), давления (P) и коэффициента расхода (μ), который в среднем равен $\mu = 0,9$:

$$q = \frac{\mu \cdot D^2 \cdot (100P)^{0,5}}{287} = \frac{D^2 \cdot (100P)^{0,5}}{320}. \quad (7)$$

где q – расход воды, л/с; D – диаметр сопла, мм;

P – давление перед насадкой, МПа.

Радиус полива дождевальной насадки зависит от диаметра сопла, давления и высоты установки насадки над поверхностью поля ($h = 1 \dots 2$ м):

$$R = 100 \cdot P \cdot (0,96 + 0,02h)/(1,1 + 90 \cdot P/D), \quad (8)$$

Исследования показывают, что радиус полива дождевальных насадок со съёмным дефлектором при увеличении диаметра сопла с 2,2 до 10 мм повышается с 2,3 до 6,4 м и соответствует стандартным дефлекторным насадкам, что при расстоянии между насадками 2,6 м будет обеспечивать хорошее перекрытие струй ($R/\ell = 0,94-2,35$) и высокую равномерность полива.

Уравнение для определения диаметра капель в i -ой точке радиуса ДН имеет вид:

$$d_i = d_{min} + (d_{max} - d_{min}) X_i/R \cdot e^{-0,75(1-X_i/R)}, \quad (9)$$

где X_i/R – относительный радиус полёта струи, $0 \leq X_i/R \leq 1$.

d_{min} , d_{max} – минимальный и максимальный средний диаметр капель, мм.

$$d_{min} = 0,011 \cdot (100P)^{-0,22} \cdot D^{0,71}; \quad (10)$$

$$d_{max} = 1,75 \cdot (100P)^{-0,35} \cdot D^{0,47} \quad (11)$$

Исследования показывают, что средний диаметр капель дождевальных насадок со съёмным дефлектором соответствует стандартным дефлекторным насадкам. Изменение среднего диаметра капель вдоль трубопровода ДМ «Волга-ФК1» показано на рисунке 4. Применение на ДМ «Волга-ФК1» дождевальных насадок со съёмным дефлектором снижает средний диаметр капель до 0,5-0,7 мм, что в 1,3 раза меньше, чем у секторных насадок (СН) «Кубань-ЛК1» (0,7-0,8 мм) и 1,5 раза меньше по сравнению с насадками *i-wob* ДМ Zimmatic.

Дождевальная насадка со съёмным дефлектором формирует однородный дождь по всему контуру полива, при этом снижается реактивный момент при выходе струи из сопла. Устойчивое вертикальное положение насадки при поливе в первой половине трубопровода с расходом воды 0,1-0,5 л/с обеспечивает стальной переходник, труба Ду-15 длиной 0,3 м, массой 0,3 кг, а во второй половине трубопровода с расходом воды 0,6-2 л/с, труба Ду-15 длиной 0,3 м с грузом массой 0,5 кг.

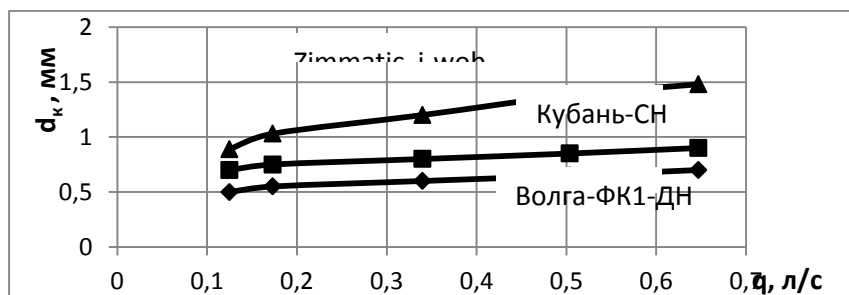


Рисунок 4 - Изменение среднего диаметра капель дождя вдоль трубопровода ДМ «Волга-ФК1», «Кубань-ЛК1» и Zimmatic

Исследования средней интенсивности дождя вдоль трубопровода показывают, что увеличение ширины расстановки дождевальных насадок на ДМ «Волга-ФК1» до 2,5 м при монтаже на шпренгелях и открьлках приводит к уменьшению средней интенсивности дождя в 1,25 раза, чем у насадок ДМ «Фрегат», установленных на трубопроводе, что соответствует ДМ Zimmatic (рисунок 5).

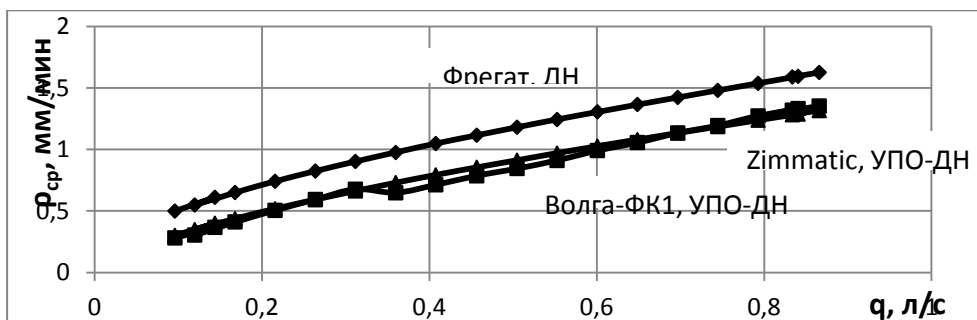


Рисунок 5 - Изменение средней интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Волга-ФК1», «Фрегат» и Zimmatic

Мгновенная интенсивность дождя ДМ «Волга-ФК1» с дождевальными насадками изменяется в пределах 0,34-0,40 мм/мин, что в 4-4,5 раза меньше, чем у среднеструйных аппаратов ДМ «Фрегат» и в 1,35 раза меньше, чем у секторных насадок ДМ «Кубань-ЛК1».

Увеличение ширины расстановки дождевальных насадок, снижение среднего диаметра капель и интенсивности дождя на ДМ «Волга-ФК1» приводит к уменьшению средней мощность дождя ($N_c = 0,14 \rho d$) в 1,5-2 раза по сравнению с насадками *i-wob* Zimmatic (рисунок 6).

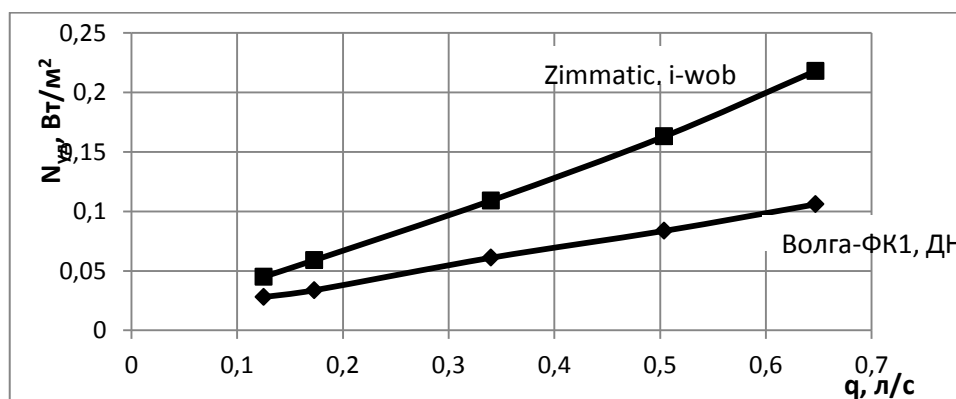


Рисунок 6 - Изменение удельной мощности дождя вдоль трубопровода ДМ «Волга-ФК1» и Zimmatic

В пятой главе «Результаты исследований многоопорной дождевальной машины «Волга-ФК1» с полиэтиленовым трубопроводом. В ОПХ

«ВолжНИИГиМ» проведены исследования 4-опорной ДМ «Волга-ФК1» с устройствами приземного орошения и дождевальными насадками, которые показали, что расход воды составляет 40 л/с ($P=0,35$ МПа) и соответствует расчётной величине по разработанным картам настройки. Изменяя давление на входе машины «Волга-ФК1» в пределах от 0,2 до 0,4 МПа можно регулировать расход воды от 30 до 43 л/с. Это можно использовать для экономии электроэнергии на насосной станции за счёт оптимизации режима работы насосных агрегатов. Уравнение для расчёта расхода воды (Q) в зависимости от давления на входе в машину (P) имеет вид:

$$Q=6,76(100 \cdot P)^{0,49} \quad (12)$$

Исследованиями установлено, что ДМ «Волга-ФК1» с УПО и усовершенствованными дефлекторными насадками обеспечивает при ветре 3-5 м/с повышение равномерности полива до 0,70-0,82, т. е. на 13-20 % больше, чем «Кубань-ЛК1» с секторными насадками (0,6-0,72). Это достигается за счёт уменьшения высоты подъёма дождевого облака (с 4-5 м до 1,5-2,5 м), снижения ветровой нагрузки и сноса, оптимизации распыла струй по сравнению со стандартной ДМ «Кубань-ЛК1» с секторными насадками и ДМ «Фрегат» (рисунок 7).

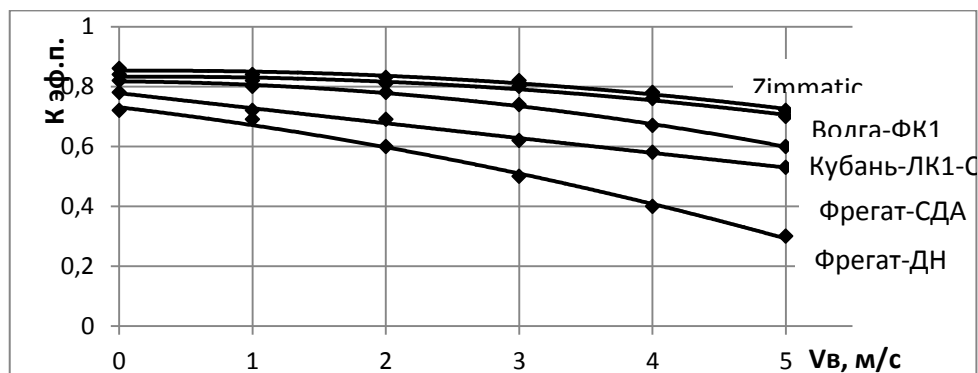


Рисунок 7 - Изменение равномерности полива ($K_{эф.п}$) в зависимости от скорости ветра ДМ «Волга-ФК1», «Фрегат», «Кубань-ЛК1» и Zimmatic

Исследования показали, что ДМ «Волга-ФК1» с дефлекторными насадками, установленными на УПО, обеспечивает в 1,5-2 раза снижение потерь воды на испарение и снос по сравнению с секторными насадками «Кубань-ЛК1» за счёт уменьшения высоты подъёма дождя с 4-5 м до 1,5-2,5 м, ветровой нагрузки и оптимизации распыла дождевателей (рисунок 8). Потери воды на испарение и

снос находятся в пределах 3-10 %, т.е. на уровне иностранных ДМ и машин «Фрегат» с УПО.

Основные преимущества ДМ «Волга-ФК1» заключаются в снижении массы и стоимости водопроводящего трубопровода и возможности внесения удобрений через полиэтиленовый трубопровод неподверженный коррозии. Снижение стоимости трубопровода составит 47,3-117,5 тыс. руб. на машину в зависимости от её модификации.

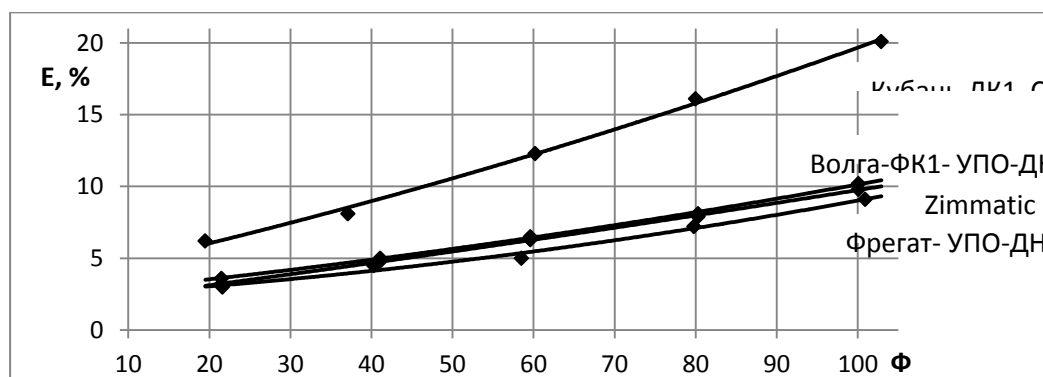


Рисунок 8 - Изменение потерь воды на испарение и снос (E) в зависимости от коэффициента метеорологической напряжённости (Φ) для ДМ «Волга-ФК1», «Фрегат», Zimmatic и Кубань-ЛК1

Применение на ДМ «Волга-ФК1» усовершенствованных дождевальных насадок и УПО повышают качественные показатели полива. При поливе формируется мелкокапельный дождь с меньшей интенсивностью и мощностью дождя (по сравнению с секторными насадками «Кубань-ЛК»), который не уплотняет верхний слой почвы. Это обеспечивает более равномерное увлажнение почвы и способствует повышению урожайности люцерны на 27 % (38 ц/га) с экономическим эффектом 421,8 тыс. руб. на машину.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих дождевальных машин ферменной конструкции показывает, что они отличаются большой массой и металлоёмкостью, это вызывает образование глубокой колеи, также высокой стоимостью машин. Ферменные машины отечественного производства комплектуются дождевальными насадками и аппаратами, устанавливаемые на трубопроводе, или импортными насадками на устройствах приземного орошения, которые не в полной мере удовлетворяют качеству полива работы. При внесении удобрений и химических веществ стальной трубопровод подвержен значительной коррозии.

2. На основе теоретических исследований, для улучшения технических показателей дождевальной машины, обоснована конструкция двухтрубной фермы, которая состоит из стального трубопровода малого диаметра и параллельно монтируется полиэтиленовый трубопровод (патент № 160893). Гидравлическими расчётами установлено, что при увеличении расхода воды машины с 7 до 70 л/с диаметр стальной трубы должен составлять 102-114 мм, а полиэтиленовой - 63-160 мм. Гидравлические расчёты показывают, что применение таких диаметров труб обеспечит работу машины при низком давлении на входе - 0,18-0,35 МПа. Использование полиэтиленового трубопровода позволяет: снизить массу трубопровода для 1...4-опорной (неполнокомплектная) машины до 52-87 % и до 18-26 % (5-9-опорная) и его стоимость на 16,8-32,5 % .

3. На основе теоретических исследований обоснована конструкция дождевальной насадки со съёмным дефлектором (патент № 184629) для устройства приземного орошения, которая формирует дождь однородной структуры по всему кругу полива (исключает «усы»), снижает силы отклонения насадки от вертикального положения. Обоснована конструкция устройства приземного орошения, которая позволяет увеличить ширину расстановки дождевальных насадок по линии перпендикулярной трубопроводу до 2,5 м, при монтаже на шпренгелях и открылках. Теоретически обоснована конструкция и определены размеры полиэтиленового трубопровода по длине машины для внесения удобрений и химических веществ (патент № 208408).

4. Исследованиями дождевальной насадки со съёмным дефлектором установлены математические зависимости расхода воды и дальности полёта струй дождя от диаметра сопла, давления на выходе струи из сопла и высоты установки насадки относительно поверхности почвы. Получены формулы для расчёта диаметра капель дождя в любой точке радиуса полива дождевальной насадки. Средний диаметр капель дождя дождевальных насадок составляет 0,5-0,7 мм, что в 1,5-2 раза меньше по сравнению с насадками *i-wob* ДМ Zimmatic и на 30 % меньше, чем у секторных насадок.

Дождевальная насадка формирует однородный дождь по всему контуру полива, при этом снижается сила отклонения насадки от вертикали. Устойчивое вертикальное положение при поливе в первой половине трубопровода с

расходом воды 0,1-0,5 л/с обеспечивает стальной переходник (труба Ду-15 длиной 0,3 м, массой 0,3 кг), а во второй половине трубопровода с расходом воды 0,6-2 л/с (труба Ду-15 длиной 0,3 м, масса трубы и груза – 0,5 кг). Средняя интенсивность дождя ДМ «Волга-ФК1» с УПО-ДН, установленными на шпренгелях и открьлках соответствует ДМ Zimmatic и в 1,23-1,65 раза меньше, чем у ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадами, установленными на трубопроводе.

5. Дождевальная машина «Волга-ФК1» с устройствами приповерхностного полива и дождевальными насадками, настроенными по разработанным картам, обеспечивают расчётный расход воды 40 л/с при низком напоре ($H=35\text{м}$) и позволяет его регулировать в пределах от 30 до 43 л/с.

Дождевальная машина «Волга-ФК1» с устройствами приземного орошения и дождевальными насадками обеспечивает повышение равномерности полива при скорости ветра 3-5 м/с до 0,70-0,82, или на 13-20 % больше, в сравнении ДМ «Кубань-ЛК1» и на 25-30 % – с дождевальными аппаратами ДМ «Фрегат». Потери воды на испарение и снос ветром при поливе ДМ «Волга-ФК1» с УПО уменьшаются до 3–10 % за счёт снижения высоты подъёма дождевого облака с 4-5 м до 1,1-3,5 м над поверхностью почвы и до 1,0-1,5 м – над растениями.

6. Основные преимущества ДМ «Волга-ФК1» в снижение массы и стоимости водопроводящего трубопровода и возможность внесения удобрений через полиэтиленовый трубопровод неподверженный коррозии. Снижение стоимости трубопровода составит 47,3-117,5 тыс. руб. на машину в зависимости от её модификации. Применение на ДМ «Волга-ФК1» усовершенствованных дождевальных насадок и УПО повышают качественные показатели полива и будут способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. На орошаемых участках рекомендуются внедрять многоопорные дождевальные машины ферменной конструкции «Волга-ФК1» с полиэтиленовым трубопроводом, которые обеспечивают снижение металлоёмкости, массы и стоимости, а также позволяют повысить срок службы.

2. На орошаемых участках рекомендуются внедрять усовершенствованные устройства приземного орошения с дождевальными насадками типа «съёмный дефлектор», которые увеличивают ширину захвата дождём и снижают

интенсивность дождя на пролётах тележек, а также при мелкокапельном распыле снижают мощность дождя.

3. Проведение гидроподкормки через полиэтиленовый трубопровод и УПО повышают эффективность орошения и снижают коррозию конструкции дождевальных машин.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Совершенствование многоопорных дождевальных машин путем создания более совершенных дождевателей и устройств приземного орошения, дальнейшего снижения энергоёмкости полива, повышения проходимости машин, более детального учёта рельефа местности и уклонов при определении давления на входе в машину.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Рыжко, Н.Ф. Методика расчёта эпюр распределения дождя вдоль радиуса полива дефлекторных насадок / Н.Ф. Рыжко, Д.А. Соловьёв, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Аграрный научный журнал. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова. - 2016. - № 4. - С. 63-66.

2. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д.А. Соловьёв, О.В. Карпова, Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко** // Аграрный научный журнал. Саратов: Саратовский ГАУ им. Вавилова. - 2016. - № 3. - С. 65-68.

3. Рыжко, Н.Ф. Особенности низконапорных ДМ «Фрегат» в зависимости от условий эксплуатации / Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко**, С.А. Хорин, [и др.] // Научная жизнь. - 2018. - № 11. - С. 6-15.

4. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование технологии приповерхностного дождевания на ДМ «Фрегат» / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Аграрный научный журнал. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова. - 2018. - № 12. - С. 74-78.

5. Рыжко, Н.Ф. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко**, С.А. Хорин, [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. - № 6. - С. 25-30.

6 Рыжко, Н.Ф. Ресурсосбережение – как основа совершенствования многоопорных дождевальных машин / Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Природообустройство, 2022. - № 1. - С. 12-19.

7. Соловьев, Д.А. Результаты исследований технических и качественных показателей полива дождевальными машинами «Волга-ФК1» // Д.А. Соловьев, Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Аграрный научный журнал. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2022. - № 6. - С. 107-111.

В научных изданиях, включенных в базы данных Web of Science и Scopus

8. Abdrazakov, F.K. Electricity consumption decrease at pump stations during watering by multi-support sprinkling units = Снижение энергоемкости полива на насосной станции при поливе многоопорными дождевальными машинами / F.K. Abdrazakov, N.F. Ryzhko, **S.N. Ryzhko**, S.A. Horin, S.V. Botov // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018. - Т. 10. - № 6S. - С. 1464-1481.

9. Ryzhko, N.F. The increase of qualitative indicators during watering with multiple support sprinklers = Повышение качественных показателей при поливе многоопорными дождевальными машинами / N.F. Ryzhko, F.K. Abdrazakov, **S.N. Ryzhko**, S.A. Horin, S.V. Botov // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018. - Т. 10. - № 6S. - С. 1482-1497.

Патенты на изобретения и полезные модели:

10. Пат. на полезную модель № 160893 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н.Ф., Шушпанов И.А., **Рыжко С.Н.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 20155101884; заявл. 21.01.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

11. Пат. на полезную модель № 169912 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н.Ф., Гопкалов Ю.А., **Рыжко С.Н.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 2016136589; заявл. 12.09.2016; опубл. 06.04.2017, Бюл. № 10.

12. Пат. на полезную модель № 170892 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н.Ф., Гопкалов Ю.А., **Рыжко С.Н.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 2016131741; заявл. 01.08.2016; опубл. 12.05.2017, Бюл. № 14.

13. Пат. на полезную модель № 176478 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н.Ф., Шушпанов И.А., Гопкалов Ю.А., **Рыжко С.Н.**, Ботов С.В.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 2017110109; заявл. 27.03.2017; опубл. 22.01.2018, Бюл. № 3.

14. Пат. на полезную модель № 178776 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н. Ф., Шушпанов И.А., **Рыжко С.Н.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 2017135034; заявл. 04.10.2017; опубл. 19.04.2018, Бюл. № 11.

15. Пат. на полезную модель № 180447 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н. Ф., Рыжко Н.В., **Рыжко С.Н.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 2017139807; заявл. 15.11.2017; опубл. 14.06.2018, Бюл. № 17.

16. Пат. на полезную модель № 184629 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Рыжко Н.Ф., Шушпанов И.А., **Рыжко С.Н.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - № 2018124423; заявл. 03.07.2018; опубл. 01.11.2018, Бюл. № 31.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций и других изданиях:

17. **Рыжко, С.Н.** Улучшение качественных показателей полива дождевальных машин «Фрегат» и «Кубань-ЛК» / **С.Н. Рыжко**, С.В. Ботов, Г.А. Холодкова: материалы науч.-практ. конф. с межд. уч., посвящ. 50-летию образов. ВолжНИИГиМ. - Энгельс, 2016. - С. 106-109.

18. **Рыжко, С.Н.** Улучшение качества полива и повышение расхода воды дождевальной машины «Кубань-ЛК»/ **С.Н. Рыжко**, Н.Ф. Рыжко, С.В. Ботов / Пути повышения эффективности орошаемого земледелия // Современные проблемы сельскохозяйственного производства на орошаемых землях: материалы конф. / ФГБНУ «РосНИИПМ». - Выпуск № 3(63). –Новочеркасск, 2016. - С. 23-25.

19. Рыжко, Н.Ф. Модернизация устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко**, О.В. Карпова [и др.] // Инновационные агро- и биотехнологии а адаптивно-ландшафтном земледелии на мелиорированных землях. г. Тверь, 15-16 сент. 2016 г.: материалы Межд. науч.-практ. конф. - Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. - С. 247-251.

20. Рыжко, Н.Ф. Модернизация дождевого пояса дождевальной машины «Кубань-ЛК» / Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко**, С.В. Ботов // Технологии и технические средства в мелиорации: материалы науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию начала реализации широкомасштабной программы мелиорации земель и 50-летию образования ВНИИ «Радуга». - Коломна, 2016. - С. 113-115.

21. Рыжко, Н.Ф. Результаты исследований дождевальных насадок и устройств приповерхностного полива / Н.Ф. Рыжко, **С.Н. Рыжко**, С.В. Ботов [и др.] // Технологии и технические средства в мелиорации: материалы науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию начала реализации широкомасштабной программы мелиорации земель и 50-летию образования ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2016. - С. 116-119.

22. Рыжко, Н.Ф. Модернизация ДМ «Фрегат» на низкий напор и результаты

внедрения / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Межд. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию Всероссийского НИИ орошаемого земледелия. 06-09 сент. 2017 г. - Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. - С. 423-426.

23. Рыжко, Н.Ф. Резервы повышения производительности оросительных систем при переводе дождевальных машин на низконапорный режим работы / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Межд. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию Всероссийского НИИ орошаемого земледелия. г. Волгоград, 06-09 сент. 2017 г. - Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. - С. 427-430.

24. Рыжко, Н.Ф. Способы повышения нормы полива до стока при поливе дождеванием / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Межд. науч.-практ. конф. посвящ. 50-летию Всероссийского НИИ орошаемого земледелия 06-09 сент. 2017 г. - Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. - С. 431-436.

25. Рыжко, Н.Ф. Модернизация дождевальной машины Т-Л для повышения качества полива / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа эффективного использования мелиорированных земель: материал заоч. межд. науч.-практ. конф. ФГБНУ «ВНИИМЗ», 27 сент. 2017 г. - Тверь: ВНИИМЗ, 2017. - С. 246-249.

26. Рыжко, Н.Ф. Эффективность технологии приповерхностного полива на ДМ «Фрегат»/ Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Вестник мелиоративной науки». Коломна: ВНИИ «Радуга», 2018. - Выпуск 1. - С.57-60.

27. Рыжко, Н.Ф. Улучшение качественных показателей полива дождевальных машин ферменной конструкции / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, **С.Н. Рыжко** [и др.] // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации»: материалы межд. науч.-практ. конф. ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 24-25 окт. 2018 г. - Москва: ВНИИГиМ, 2018. - С. 354-358.

Формат 60×84¹/₁₆. Подписано в печать

Бумага офсетная. Гарнитура. Печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ