

Смирнов Евгений Станиславович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МНОГООПОРНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ
МАШИНЫ КРУГОВОГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ВАНТОВОЙ
КОНСТРУКЦИИ С ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМ ТРУБОПРОВОДОМ**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Саратов 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»

Научный руководитель

Рыжко Николай Федорович,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник
ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»

Официальные оппоненты:

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

Шепелев Александр Евгеньевич,
кандидат технических наук, и.о. начальника
отдела эксплуатации мелиоративных систем,
ведущий научный сотрудник ФГБНУ
«Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Защита состоится 2024 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.035.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Советская, д. 60, ауд. 325 им. А. В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Вавиловский университет и на сайте: <https://www.vavilovsar.ru/>

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, пр-т им. П. Столыпина, зд. 4, стр. 3.

Автореферат разослан «__» ____ 2024 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.т.н.

Панкова Татьяна Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Применение орошения в сельскохозяйственном производстве является одним из важных факторов роста урожайности культур, стабильности получения продукции растениеводства и благополучия товаропроизводителей.

Во многих регионах РФ для орошения посевных площадей применяются многоопорные дождевальные машины кругового действия, одним из основных видов данного типа продолжает широко использоваться «Фрегат».

По данным Министерства сельского хозяйства Саратовской области к началу 2022 г. на долю данных машин приходилось более 20 % оросительной техники. Преимуществом данных машин является: простота конструкции, отсутствие источников электроэнергии, так как на полив и передвижение её по полю используется только энергия оросительной воды, а также возможность работы круглосуточно в автоматическом режиме и обслуживание оператором одновременно 3-4 и более дождевальных машины.

Анализ состава и процесс функционирования многоопорных дождевальных машин вантовой конструкции (типа «Фрегат») показал, что их недостатками являются: высокая металлоёмкость и масса (до 15 т), для работы требуется большое давление на входе в машину (0,47-0,7 МПа). При передвижении тележек ДМ в зоне дождя к концу поливного сезона на поле образуются глубокие (150-200 мм) и широкие (250-300 мм) колеи, что ухудшает локальное плодородие почв. В тоже время, большинство машин эксплуатируются уже несколько десятков лет и имеют предельный износ, а трубопровод – значительную коррозию.

В конце прошлого века в нашей стране парк дождевальных машин «Фрегат» насчитывал порядка 19 тысяч машин. Однако к настоящему времени он значительно сократился, в связи с истекшим нормативным сроком эксплуатации большинства машин, а также приходом на отечественный рынок зарубежных компаний, предлагающих дождевальную технику своего производства.

Поэтому, в рамках импортозамещения и обновления парка более надёжной дождевальной техники в России с улучшенными качественными показате-

лями полива, со снижением массы и стоимости машины, с уменьшением энергоёмкости полива и повышением срока их службы, исследования по разработке и совершенствованию на базе ДМ «Фрегат» новой отечественной многоопорной дождевальная машины вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы.

Исследованиями в области совершенствования дождевальных машин и технологий орошения занимались многие ученые: Б. М. Лебедев, С. Х. Гусейн-Заде, А. П. Исаев, А. И. Рязанцев, В. Ф. Носенко, К. В. Губер, Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, Д. А. Соловьев, Л. А. Журавлева, Ф. И. Колесников, Б. П. Фокин, Ф. К. Абдразаков, Н. Ф. Рыжко, Ю. Ф. Снопич, С. М. Васильев, М. Ю. Храбров, С. М. Бакиров, И. В. Малько, А. Е. Шепелев, А. А. Чураев, Д. А. Калганов и др.

Анализ опубликованных материалов показал, что необходима разработка технических решений для снижения металлоёмкости, массы и стоимости машин, повышения их проходимости, а также улучшения качества полива дождевальных машин.

Цель исследования – повышение эффективности работы многоопорных дождевальных машин вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом на основе конструктивно-технологических решений для снижения металлоёмкости и энергоёмкости полива, повышения качества орошения и уменьшения колееобразования.

Объект исследования – многоопорная дождевальная машина кругового действия с полиэтиленовым трубопроводом «Волга-СМ», разработанной на базе ДМ «Фрегат».

Предмет исследования – технологический процесс полива многоопорной дождевальной машиной кругового действия с полиэтиленовым трубопроводом «Волга-СМ».

Задачи исследований:

1. На основании анализа конструкции и технологии полива дождевальной машины «Волга-СМ», обосновать ее усовершенствование, обеспечивающее повышение ее конструктивных и технологических параметров с использованием

двухтрубного водопроводящего трубопровода (основного полиэтиленового и дополнительного стального), провести гидравлический расчет его конструктивно-технологических параметров;

2. Теоретически обосновать и разработать комплекс технических решений для повышения проходимости дождевальной машины и уменьшения ее колееобразования;

3. Экспериментально оценить качественные и технические показатели многоопорной дождевальной машины кругового действия с полиэтиленовым трубопроводом;

4. Дать оценку преимуществ и определить экономическую эффективность усовершенствованной дождевальной машины с полиэтиленовым трубопроводом.

Научная новизна заключается в улучшении технических и технологических показателей полива дождевальных машин, в результате которых:

- обоснована и разработана усовершенствованная конструкция дождевальной машины с двумя водопроводящими трубопроводами: основным полиэтиленовым и дополнительным стальным, имеющую низкую металлоемкость и обеспечивающую ее работу в низконапорном режиме.

- получена математическая модель расчёта диаметров полиэтиленового и стального трубопроводов в зависимости от модификации и длины дождевальной машины с гидроприводом;

- предложены технические решения, направленные на повышение проходимости машины и уменьшение колееобразования;

- разработана конструкция дождевальной насадки с заданным углом полива, позволяющая повысить качественные показатели полива дождевальной машины и снижающая попадание оросительной воды под колеса тележки.

Теоретическая и практическая значимость выполненных исследований заключается в разработке технических решений по совершенствованию конструкции дождевальной машины «Волга-СМ» вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом с целью ресурсосбережения. Кроме того, доказана возможность применения дождевальных машин из стальных и полиэтиленовых труб для серийного производства.

Модернизированная конструкция дождевальная машины «Волга-СМ» и её ресурсосберегающие технологии полива внедрены в ОПХ «ВолжНИИГиМ» Саратовской области, что позволило получить годовой экономический эффект 60 тыс.руб. на машину. Дождевальная машина «Волга-СМ» прошла приёмочные испытания Поволжской МИС и получен сертификат на её серийное производство. Результаты исследований усовершенствованных ДМ «Волга-СМ» использованы в ООО «АгроТехСервис» г. Маркс, ООО «ПоТехИн и К°», ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» и др.

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, физики и математического анализа. Экспериментальные методы включали полевые исследования по изучению агротехнических, энергетических и технических характеристик полива ДМ «Волга-СМ» по СТО АИСТ 11.1–2010. Экономическую оценку ДМ «Волга-СМ» проводили по ГОСТ Р 53056–2008.

Положения, выносимые на защиту:

1. Технологические и технические решения для усовершенствования ДМ «Волга-СМ», обеспечивающие повышение ее конструктивных и технологических параметров с использованием двухтрубного водопроводящего трубопровода. Методика и показатели гидравлического расчета при выборе конструкции данной многоопорной дождевальной машины в зависимости от ее модификации;
2. Технические решения, направленные на повышение проходимости дождевальной машины «Волга-СМ» и уменьшение колееобразования;
3. Результаты полевых исследований качественных и технических параметров дождевальной машины «Волга-СМ»;
4. Экономическая оценка внедрения усовершенствованной многоопорной дождевальной машины кругового действия с полиэтиленовым трубопроводом и ее преимуществ.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положитель-

ную оценку на научных конференциях профессорско-преподавательского состава в Саратовском ГАУ им. Н.И. Вавилова (2017-2023), на научных конференциях в Мичуринском ГАУ (2017), ВНИИМЗ г. Тверь (2017), РосНИИПМ г. Новочеркасск (2018, 2023).

Личный вклад автора заключается в определении путей совершенствования многоопорных вантовых дождевальных машин; обосновании конструкции двухтрубной дождевальной машины с основным полиэтиленовым и дополнительным стальным трубопроводами малого диаметра; разработке методики гидравлического расчета двухтрубных машин с гидроприводом; разработке программы и методики полевых исследований; участии в полевых исследованиях ДМ «Волга-СМ» и обработке полученных результатов; оценке эффективности усовершенствованной дождевальной машины «Волга-СМ».

Публикации. По материалам диссертационных исследований были опубликованы 22 научные работы, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК России и 3 патента на полезную модель. Общий объем публикаций – 6,18 печ. л., в том числе лично автора – 3,11 печ. л.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Работа изложена на 156 страницах машинописного текста, содержит 54 рисунка и 40 таблиц. Список исследуемой литературы включает 182 источника, из них 18 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В **первой главе** «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» проанализированы состояние орошаемого земледелия и техники полива в Саратовской области и Российской Федерации. Проведён анализ технических и научных изданий по совершенствованию многоопорных дождевальных машин. Показано, что многоопорные дождевальные машины кругового действия вантовой конструкции занимают одно из ведущих мест в мелиоративном комплексе страны, однако требуют дальнейшего совершенствования для снижения металлоёмкости, массы и стоимости, повышения срока службы и снижения требуемого давления на

ПОЛИВ.

Проанализированы работы по повышению проходимости машин и обоснована необходимость продолжения работ для снижения глубины колеи и повышению ее производительности.

На основании положений по модернизации дождевальной техники были определены основные направления совершенствования многоопорных дождевальных машин вантовой конструкции (рисунок 1).



Рисунок 1 – Основные направления совершенствования многоопорных дождевальных машин

Во второй главе «Теоретические предпосылки совершенствования дождевальной машины вантовой конструкции» проведено обоснование конструкции дождевальной машины вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом (патент № 178776). Дождевальная машина «Волга-СМ» (рисунок 2) состоит из неподвижной опоры 1, основного полиэтиленового трубопровода 2, дополнительного стального оцинкованного трубопровода 3 малого диаметра (102-114 мм), который смонтирован на самоходных тележках 4 с гидроприводами.

На поворотном колене неподвижной опоры смонтированы два фланца для присоединения полиэтиленового и стального трубопроводов. Стальной трубопровод предназначен для подачи воды в гидроприводы тележек 4 и небольшая часть для полива. Поливная вода подается по полиэтиленовой трубе и поступает на поле через дождевальные насадки 5.

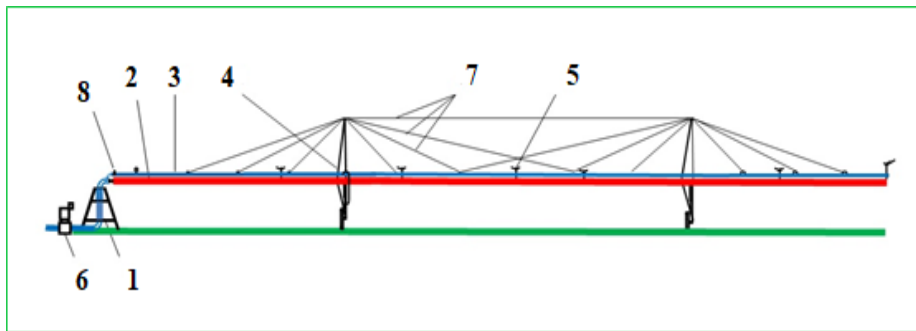


Рисунок 2 – Схема дождевальной машины «Волга-СМ» вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом:
 1 – центральная опора; 2 – полиэтиленовый трубопровод;
 3 – дополнительный стальной трубопровод; 4 – подвижная опора с гидроцилиндром; 5 – дождевальные насадки; 6 – гидравлическая задвижка;
 7 – поддерживающие тросы; 8 – поворотный затвор

Для обеспечения достаточной жесткости пролетов необходимо учитывать жесткость стальных и полиэтиленовых труб, а также горизонтальных тросов.

Момент сопротивления изгиба стальной трубы ДМ определяется по формуле:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \quad (1)$$

где d , D – внутренний и наружный диаметр трубы, мм.

Расчеты показывают, что стандартные стальные трубы диаметром 108 мм и толщиной стенки 3,5 мм обладают достаточной жесткостью, как и труба ДМ «Фрегат» диаметром 152x1,8 мм.

Близкие значения по жесткости имеет труба диаметром 102 мм с толщиной стенки 3,5 мм и труба 114 x 2,5 мм, которую можно использовать для производства пролетов машины, что подтверждается результатами полевых испытаний. На ДМ «Волга-СМ» используются горизонтальные тросы и полиэтиленовый трубопровод, которые также значительно повышают жесткость трубопровода машины.

Нами разработана методика гидравлического расчета конструктивно-технологических параметров двухтрубного водопроводящего трубопровода (рисунок 3).

Общий расход воды машины будет равен сумме расходов воды, подающейся через стальной и полиэтиленовый трубопроводы:

$$Q_{\text{ДМ}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ПЭ}} \quad (2)$$

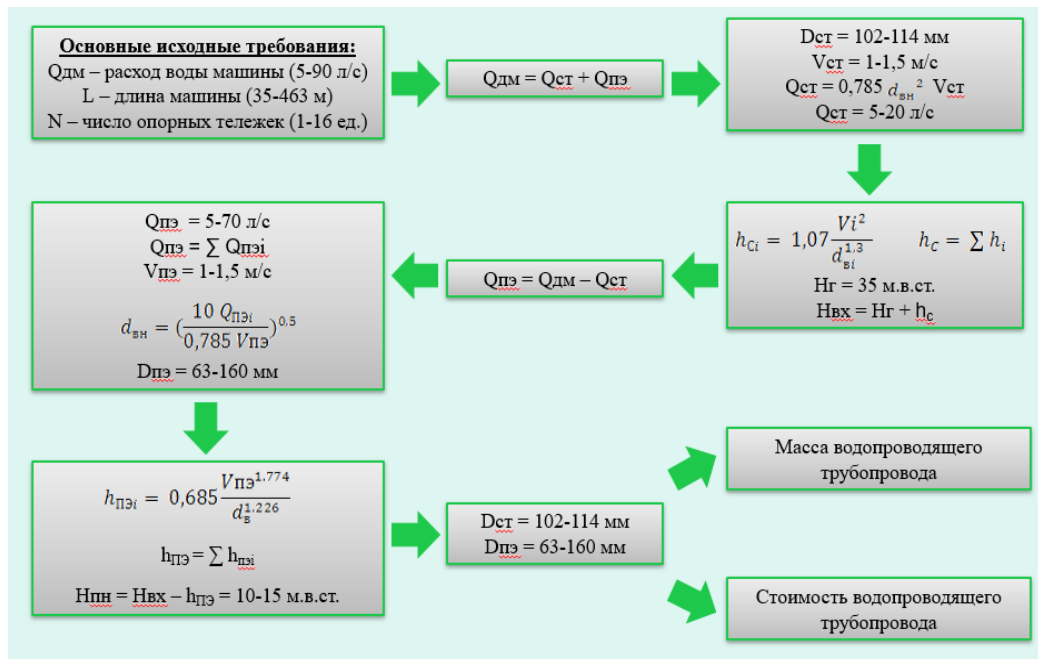


Рисунок 3 – Схема гидравлического расчета конструктивно-технологических параметров двухтрубного водопроводящего трубопровода

Максимальный расход воды машины в зависимости от её длины (35-463 м) и площади полива (1-75 га) изменяется от 5 до 90 л/с. Общие потери напора по длине стального и полиэтиленового трубопроводов равны сумме потерь напора на каждом участке трубопровода. Требуемый напор на входе ($H_{ВХ}$) в полиэтиленовый трубопровод при нулевом геодезическом уклоне определяем исходя из потерь напора ($h_{ПЭ}$) по длине полиэтиленового трубопровода и напора перед концевой насадкой ($H_{К}$):

$$H_{ВХ} = h_{ПЭ} + H_{К} \quad (3)$$

Требуемый напор на входе в стальной трубопровод определяем потерями напора по длине стального трубопровода ($h_{СТ}$) и напором перед гидроцилиндром последней тележки ($H_{Г}$):

$$H_{ВХ} = h_{СТ} + H_{Г} \quad (4)$$

Напор в полиэтиленовом трубопроводе последней дождевальная насадки должен быть в пределах 10-15 м вод. ст., а в стальном трубопроводе перед последней тележкой и концевым дождевальным аппаратом – 33-35 м вод. ст. Требуемый напор на входе в машину равен максимальному, полученному при расчёте напора для стального или полиэтиленового трубопровода по формулам 3 и 4 и приведены в таблице 1.

Таблица 1– Диаметры стального и полиэтиленового трубопровода ДМ «Волга-СМ» и напор на входе в машину в зависимости от длины машины и её расхода воды

Число тележек, шт.	Длина машины, м	Расход воды, л/с	Напор на входе в машину м. в. ст.	Диаметр трубы, мм	
				полиэтиленовой	стальной
16	463	90	45	Ø 160-140- 110-63	Ø 114-108-102
15	434	90	45	Ø 160-140- 110-63	Ø 114-108-102
14	409	80	43	Ø 160-140- 110-63	Ø 114-108-102
13	379	75	43	Ø 160-140- 110-63	Ø 114-108-102
15	417	55	42	Ø 110-90-63	Ø 102
14	392	50	40	Ø 110-90-63	Ø 102
13	362	50	40	Ø 110-90-63	Ø 102
12	337	65	43	Ø 140-110-90-63	Ø 102
11	308	55	42	Ø 110-90-63	Ø 102
10	283	45	40	Ø 110- 90-63	Ø 102
9	253	38	45	Ø 90-63	Ø 102
8	229	32	42	Ø 90-63	Ø 102
7	199	28	40	Ø 90-63	Ø 102
6	175	22	40	Ø 90- 63	Ø 102
5	145	18	40	Ø 63	Ø 102
4	120	14	39	Ø 63	Ø 102
3	90	11	37	нет	Ø 102
2	65	8	36	нет	Ø 102
1	35	5	35	нет	Ø 102

Для стального и полиэтиленового трубопровода потери напора по длине l_i участка согласно таблицам А.Ф. Шевелева:

$$h_{\text{ист}} = 0,00107 \cdot l_i \frac{V^2}{d_{\text{вн}}^{1,3}} \quad (5)$$

$$h_{\text{пэ}} = 0,000685 \cdot l_i \frac{V^{1,774}}{d_{\text{вн}}^{1,226}} \quad (6)$$

где V – скорость воды в трубе, м/с; $d_{\text{вн}}$ – внутреннего диаметра трубы, мм; l_i – длина участка трубопровода, м.

С учётом приведённых формул (3-6) были проведены расчёты оптимальных значений диаметра стального и полиэтиленового трубопроводов (таблицы 1 и 2) и напора на входе в машину ($H_{\text{вх}}$) в зависимости от расхода воды ($Q_{\text{дм}}$) и длины ($L_{\text{дм}}$) машины или числа опорных тележек.

Зависимость напора на входе в машину от расхода воды различных модификаций ДМ «Волга-СМ» и серийной ДМ «Фрегат» представлены на рисунке 4.

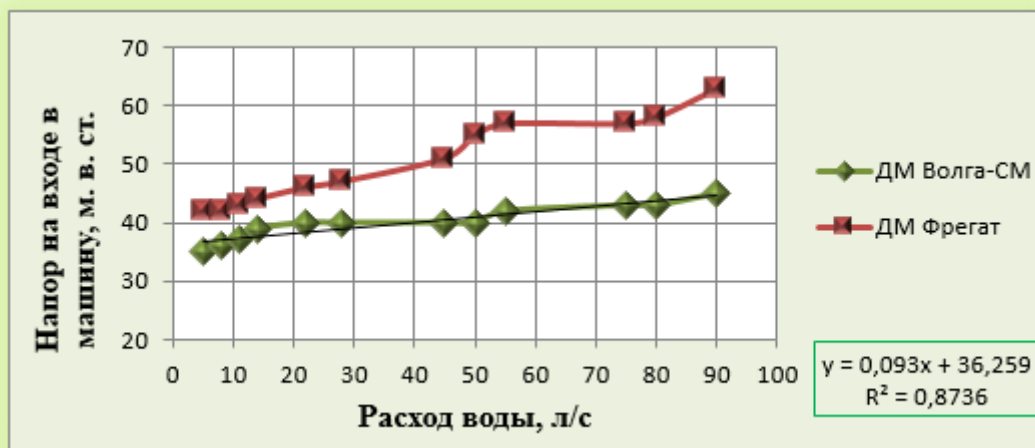


Рисунок 4 – Зависимость расхода воды от напора на входе в машину различных модификаций ДМ «Волга-СМ» и «Фрегат»

Таблица 2 – Масса труб на пролётах дождевальных машин «Волга-СМ» и «Фрегат» в зависимости от модификации и расхода воды

ДМ «Фрегат» (базовая)		ДМ «Волга-СМ»		Масса трубы с водой длиной 10 м, кг	
Марка машины (характеристики)	Диаметр стальной трубы, мм	Диаметры труб трубопровода, мм		Фрегат	Волга-СМ
		полиэтиленового	стального		
ДМУ-Б (16 опор, 463 м, 90 л/с)	до Т11-178 далее -152	160 – до Т 10	114	328,7	341 (+3,7%)
		140 – до Т 11	114	328,7	317 (-3,7%)
		140 – до Т 12	102	245,7	279(+13,5%)
		110 – до Т 16	102	245,7	220 (-10,5%)
		63 – далее	89	245,7	154 (-37,4%)
Снижение общей массы трубопровода на 3 %					
ДМУ-Б (13 опор, 379 м, 75 л/с)	До Т11-178 Далее – 152	160 – до Т 3	114	328,7	341 (+3,7%)
		140 – до Т 7	114	328,7	317 (-3,7%)
		110 – до Т 12	102	245,7	220 (-10,5%)
		63 – далее	89	245,7	154 (-37,4%)
Снижение общей массы трубопровода на 9 %					
ДМУ-А (10 опор, 283 м, 45 л/с)	152	110 – до Т 3	108	245,7	235(-4,4%)
		110 – до Т 7	108	245,7	235(-4,4%)
		90 – до Т 10	102	245,7	194 (-21,1%)
		63 – далее	89	245,7	154 (-37,4%)
Снижение общей массы трубопровода на 12 %					
ДМУ-А (6 опор, 175 м, 22 л/с)	152	90 – до Т 4	102	245,7	194 (-21,1%)
		63 – до Т 6	102	245,7	156 (-36,5%)
		63 – далее	89	245,7	154 (-37,4%)
Снижение общей массы трубопровода на 41,7 %					
ДМУ-А (3 опор, 90 м, 11 л/с)	152	Нет	102	245,7	156 (-36,5%)
			89	245,7	122 (-50,4%)
Снижение общей массы трубопровода на 61,7 %					
ДМУ-А (1 опор, 35 м, 5 л/с)	152	нет	102	245,7	156 (-36,5%)
			89	245,7	122 (-50,4%)
Снижение общей массы трубопровода на 73 %					

В результате расчётов подобраны требуемые диаметры стального трубопровода 102-114 мм и диаметры полиэтиленового трубопровода от 63 до 160 мм, которые обеспечивают расход воды в пределах от 5 до 90 л/с и низконапорный рабочий напор на входе в машину в пределах 35-45 м вод. ст., что меньше чем у серийной ДМ «Фрегат» – 42-63 м вод. ст. в 1,2-1,4 раза (таблицы 1 и 2).

Проведенные расчеты показывают, что использование на ДМ «Волга-СМ» полиэтиленовых труб обеспечивает снижение массы пролётов. Для машин небольшой и средней длины (35-175 м), имеющих расход воды в пределах 5-22 л/с, снижение массы пролётов может достигать 41,7-73 % (таблица 2). Для 10-опорной машины длиной 283 м с расходом воды 45 л/с снижение массы пролётов машины составило 12 %. Для 13- и 16-опорных машин с расходом воды 75 и 90 л/с снижение массы пролётов машины составило соответственно 9 и 3 %.

Для уменьшения количества воды, которая попадает под колеса тележки, и глубину образующейся колеи, а также для повышения проходимости, в районе тележек на открылках длиной 2,2 м монтируются дождевальные насадки с углом полива 280° (патент № 220289, рисунок 5), сливные системы гидропривода снабжены специальной разбрызгивающей насадкой (рисунок 6), а на рамах тележек монтируются подтележечные щитки. Схема полива таких насадок, расположенных на отдельном пролете ДМ «Волга-СМ», показана на рисунке 7.



Рисунок 5 – Дождевальная насадка с углом полива 280°



Рисунок 6 – Сливная насадка гидроцилиндра

Дождевальные насадки с заданным углом полива можно использовать на устройствах приземного орошения машин ферменной и вантовой конструкции и на полосовых дождевателях.

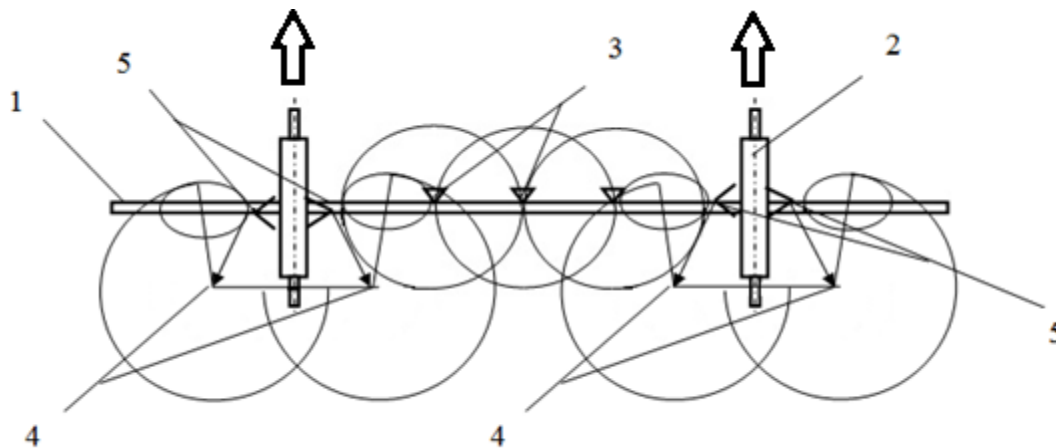


Рисунок 7 – Схема полива на пролете ДМ «Волга-СМ»:

1. Трубопровод ДМ, 2. Тележка, 3. Дождевальная насадка кругового полива,
4. Дождевальная насадка с углом полива 280° , 5. Сливная насадка гидроцилиндра

Разбрызгивающая насадка сливной системы гидропривода (сливная насадка гидроцилиндра) опорных тележек дождевальной машины «Волга-СМ» представляет собой дождевальную насадку секторного действия с плоским отражателем, выполненную из полиамида ПА-6 210/310.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных 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 дождемеров. Расход воды дождевальных насадок и всей машины в целом определялся объёмным способом с использованием мерного бака. Крупность капель дождя при помощи обезоленных бумажных фильтров, натертых чернильным порошком. Потери воды на испарение и снос ветром определялись по разнице объёма воды в дождемерах между расчётными значениями и фактическим объёмом воды в дождемере.

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., 2012), а компьютерная обработка проводилась при помощи программ для ПЭВМ: Statistica, Mathcad, Excel.

В четвертой главе представлены «Результаты исследований характеристик дождевальных и сливных насадок. Качественные показатели полива ДМ «Волга-СМ». Модернизированная дождевальная насадка с более широкой ножкой в виде клина обеспечивает угол полива порядка 280° (рисунок 5). Исследования показывают, что радиус полива модернизированных дождевальных насадок при увеличении диаметра сопла на 12 опорной ДМ «Волга-СМ» с 3 до 9 мм и давлении 0,19-0,25 МПа увеличивается с 3 до 7,5 м и находится на уровне стандартных дефлекторных насадок. Отношение радиуса полива (R) к расстоянию между насадками (ℓ) изменяется вдоль трубопровода машины (R/ℓ) от 0,5 до 1,25 это выше, чем при расстановке в стандартные штуцера 0,37-0,87, что обеспечит хорошую равномерность полива машины.

Радиус полива разбрызгивающей насадки сливной системы гидропривода с углом отражательной пластины 30° (рисунок 6) определяется давлением под гидроцилиндром 0,1-0,2 МПа и находится в пределах 3-4,5 м. Это исключает попадание воды из гидроцилиндра в колею и будет способствовать снижению глубины колеи и повышению проходимости машины. Исследования показали, что при учащенной расстановке дождевальных насадок вдоль трубопровода ДМ «Волга-СМ» средняя мгновенная интенсивность дождя ниже (до 24,5 %), чем у ДМ «Фрегат» при установке насадок в стандартные штуцера (рисунок 8) и в 4-4,5 раз меньше по сравнению со струйными аппаратами «Фрегат».



Рисунок 8 – Изменение средней мгновенной интенсивности дождя вдоль трубопровода ДМ «Волга-СМ» и «Фрегат»

Установка дождевальных насадок на ДМ «Волга-СМ» в районе тележек на открьлках длиной 2,2 м обеспечивает среднюю интенсивность дождя вдоль

трубопровода в пределах 0,3-0,73 мм/мин, и соответствует уровню серийной ДМ «Фрегат».

Изменение среднего диаметра капель вдоль трубопровода ДМ «Волга-СМ» показано на рисунке 9. Применение на ДМ «Волга-СМ» дождевальных насадок при учащенной расстановке снижает средний диаметр капель до 0,37-0,69 мм, при этом в концевой части трубопровода меньше в 1,26-1,34 раза, чем у стандартных насадок ДМ «Фрегат» (0,37-0,87 мм).



Рисунок 9 – Изменение среднего диаметра капель дождя вдоль трубопровода ДМ «Волга-СМ» и «Фрегат»

На рисунках 4,8,9 приведенные математические зависимости и значения коэффициентов детерминации говорят о значительной взаимосвязи сопоставляемых параметров в различных модификациях ДМ «Волга-СМ».

В пятой главе приведены «Результаты исследований многоопорной дождевальной машины «Волга-СМ» с полиэтиленовым трубопроводом». В ОПХ «ВолжНИИГиМ» проведены исследования 12-опорной ДМ «Волга-СМ» с дождевальными насадками, которые показали, что расход воды составляет 50 л/с ($H = 40$ м вод. ст.) и соответствует расчётной величине по разработанным картам настройки (рисунок 10).

Напор на входе ДМ «Волга-СМ» в 1,32 раза меньше, чем у серийной ДМ «Фрегат». Изменяя напор на входе машины «Волга-СМ» в пределах от 35 до 43 м вод. ст., можно регулировать расход воды от 46 до 53 л/с, это можно использовать для экономии электроэнергии на насосной станции за счёт оптимизации

режима работы насосных агрегатов. Уравнение расчёта расхода воды (Q) для 12-опорной ДМ в зависимости от напора на входе в машину (H) имеет вид:

$$Q = 9,1 \times H^{0.46} \quad (7)$$

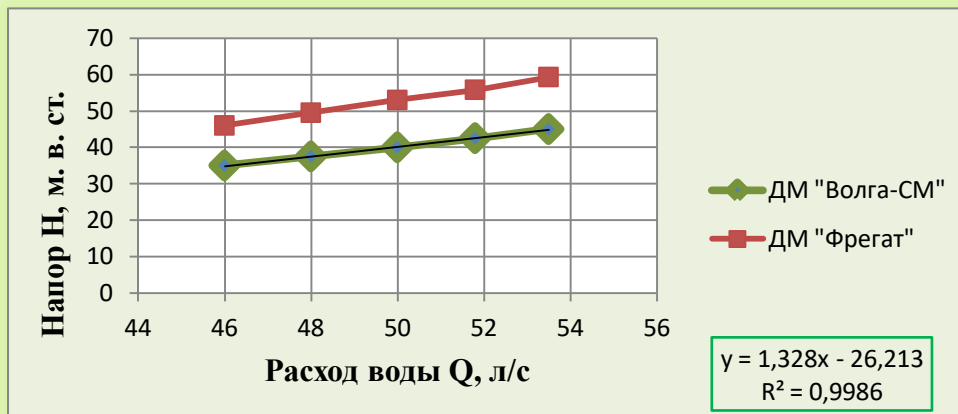


Рисунок 10 – Изменение расхода ДМ «Волга-СМ» и «Фрегат» в зависимости от напора на входе в машину

Исследования показали, что цикличность гидропривода последней тележки ДМ «Волга-СМ» зависит от давления в трубопроводе перед последней тележкой и соответствует серийной ДМ «Фрегат» аналогичной длины (рис. 11).

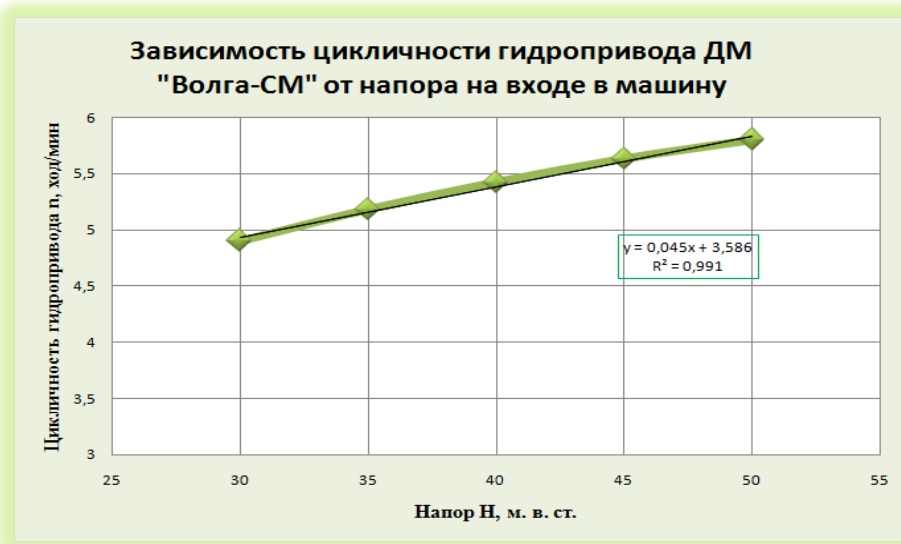


Рисунок 11 – Изменение цикличности гидропривода последней тележки ДМ «Волга-СМ» в зависимости от напора на входе в машину

При напоре перед последней тележкой 35 м вод. ст. цикличность гидропривода ДМ «Волга-СМ» соответствует 5,3 ход/мин, что в 1,6 раза больше, чем у серийной низконапорной ДМ «Фрегат» – 3,3 ход/мин.

Радиус полива концевой дождевальной аппаратуры ДМ «Волга-СМ» с расходом воды 2,59 л/с и диаметром сопла 11,9 мм составил 25 м, что на 13 м больше, чем у серийной низконапорной ДМ «Фрегат». Площадь полива ДМ «Волга-СМ» больше, чем серийной дождевальной машиной на 1,8-4 га.

Исследованиями установлено, что дождевальные насадки, смонтированные на ДМ «Волга-СМ» по учащенной схеме через 5 и 6 м, обеспечивают хороший равномерный полив при средней скорости ветра для Саратовской области 2-4 м/с ($K_{эф} = 0,72-0,62$), что на 17-35 % выше, чем у ДМ «Фрегат» при обычной расстановке стандартных штуцеров (рисунок 12).

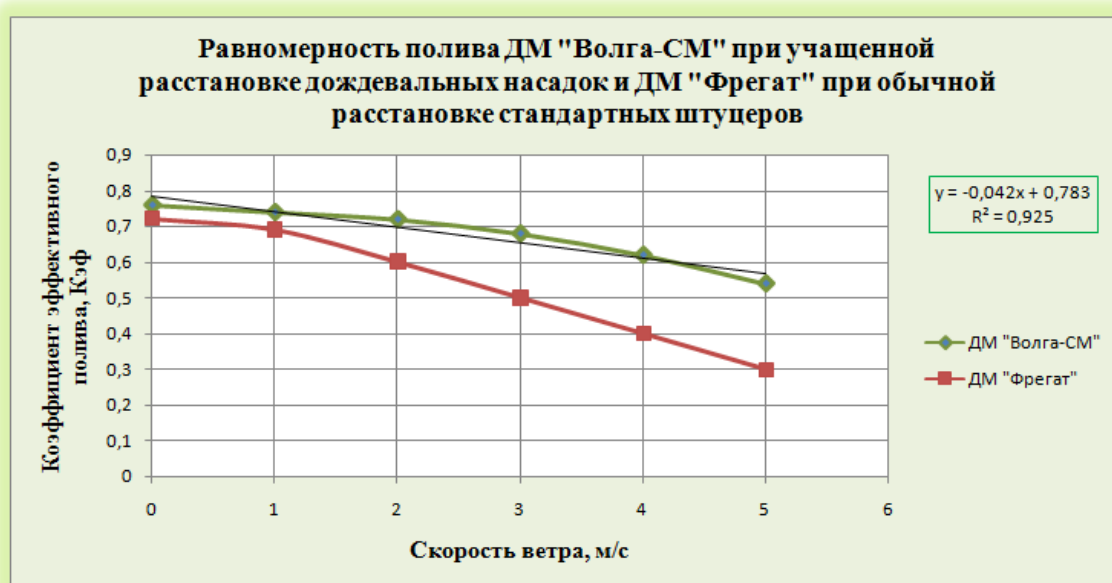


Рисунок 12 – Изменение равномерности полива ($K_{эф.п}$) в зависимости от скорости ветра ДМ «Волга-СМ» с учащенной расстановкой насадок и ДМ «Фрегат» с расстановкой в стандартные штуцера

Использование учащенной расстановки дождевальных насадок на трубопроводе ДМ «Волга-СМ» снижает потери воды на испарение и снос с 10-23% для среднеструйных аппаратов до 8-14% в основном за счёт снижения высоты подъёма дождевого облака.

Математические уравнения, приведенные на рисунках 10, 11, 12, позволяют с высокой точностью (R^2 близко к 1,0) определять качественные показатели полива от оснащения, модификации ДМ «Волга-СМ» и погодных условий.

Исследования показали, что применение модернизированных дождевальных насадок с углом полива 280° на открылках в районе тележек, сливных насадок системы гидропривода, а также подтележечных щитков исключает или зна-

чительно снижает попадание оросительной воды под колеса тележек, обеспечивает снижение глубины колеи в конце поливного сезона с 200-300 мм до 50-90 мм (рисунок 13). Это обеспечивает повышение проходимости тележек, уменьшается их буксование, также уменьшается давление в трубопроводе необходимое для их передвижения и повышает производительность дождевальных машин.

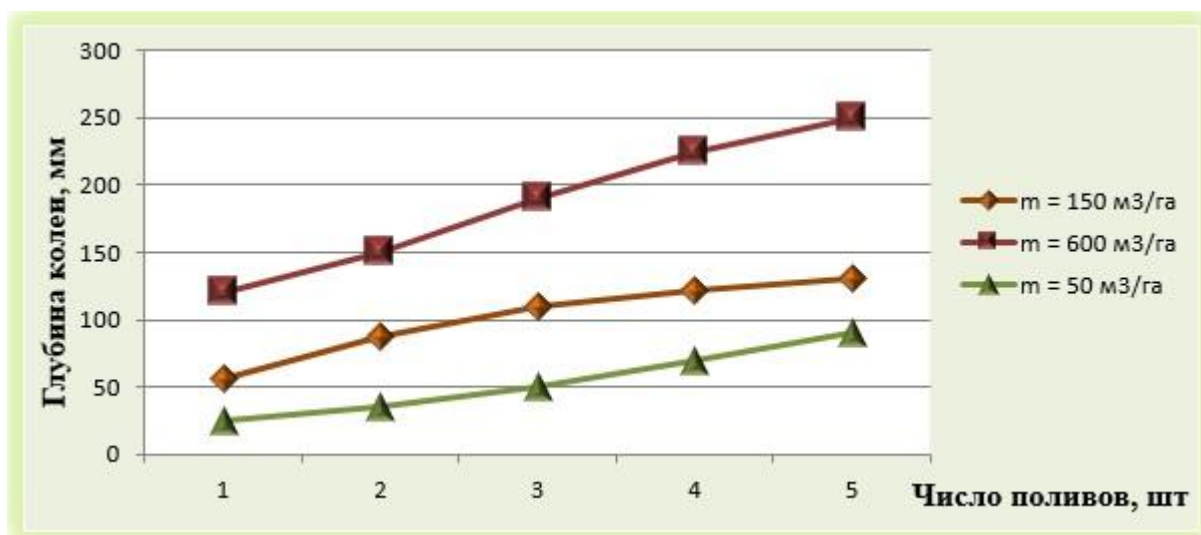


Рисунок 13 – Изменение глубины колеи в зависимости от нормы полива под колесами тележки ДМ «Волга-СМ» и «Фрегат»

Уменьшение глубины колеи после поливов дождевальными машинами способствует сохранению почвенного плодородия и повышению производительности машинно-тракторных агрегатов и уборочной техники.

Внедрение 12-опорной ДМ «Волга-СМ» позволит обеспечить:

- снижение массы водопроводящего трубопровода на 12 % и его стоимости;
- уменьшение напора на входе с 53 до 40 м вод. ст. (в 1,32 раза);
- снижение энергоемкости полива с 317 до 281 кВт·ч / 1000 м³ (на 11,4 %);
- улучшение качества и повышение равномерности полива на 15-37 %;
- уменьшение образование колеи (с 200-300 мм до 50-90 мм).

Годовой экономический эффект составит 60 тыс. руб. на одну дождевальную машину.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих дождевальных машин вантовой конструкции показывает, что они имеют значительную массу и металлоёмкостью, что вызывает образование глубоких колеи и высокую стоимость машин. Срок службы, применяемых в них, оцинкованных тонкостенных труб незначительный и не превышает 10-15 лет. Напор на входе в машину «Фрегат» довольно значительный (47-70 м вод. ст.), что вызывает повышенное потребление электроэнергии на полив.

2. Обоснованы преимущества многоопорной дождевальной машина «Волга-СМ» с вантовыми пролётами, состоящими из стального и полиэтиленового трубопровода в плане снижение массы пролётов. Гидравлическими расчётами установлено, что при увеличении расхода воды машины от 5 до 90 л/с диаметр стальной трубы должен составлять 102-114 мм, а полиэтиленовых труб – 63-160 мм. Для машин различных модификаций с длиной от 35 до 463 метров (1-16 опор) снижение массы пролётов машины составило в среднем на 38%. Общая стоимость трубопровода ДМ при этом снизится в среднем на 45 %.

3. При поливе разработанной конструкцией дождевальной насадки с углом полива 280° , устанавливаемых на открьлках длиной 2,2 м в месте расположения тележек, с монтажом сливной насадки системы гидропривода и подтележечного щитка, существенно уменьшает попадание оросительной воды под колеса тележек и обеспечивает значительное снижение глубины колеи с 200-300 мм до 50-90 мм.

4. Установлено, что средний диаметр капель дождя дождевальных насадок ДМ «Волга-СМ» составляет 0,37-0,69 мм, это меньше в 1,26-1,34 раза в концевой части трубопровода, чем у стандартных насадок ДМ «Фрегат» (0,37-0,87 мм).

Средняя мгновенная интенсивность дождя ДМ «Волга–СМ» с дефлекторными насадками при учащенной расстановке ниже на 24,5 %, чем у ДМ «Фрегат» при установке насадок в стандартные штуцера и в 4-4,5 раза меньше, чем у среднеструйных аппаратов. Напор на входе ДМ «Волга–СМ» ($H = 40$ м) ниже в 1,32 раза, чем у ДМ «Фрегат» ($H = 53$ м).

Дождевальные машины «Волга-СМ» при учащенной установке (через 5 и 6 м) дождевальных насадок на трубопроводе обеспечивают повышение равно-

мерности полива при ветре до 0,62-0,72, при этом уменьшаются потери воды на испарение и снос с 10-23 % до 8-14 % (при коэффициенте метеорологической напряженности $\Phi = 34$ ед.).

5. Экономическая эффективность внедрения 12-опорной ДМ «Волга-СМ» в ОПХ «ВолжНИИГиМ» от снижения стоимости водопроводящего трубопровода, снижения потребления электроэнергии на полив и повышения производительности при повышении проходимости составляет 60 тыс. рублей на машину.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Производителям дождевальных машин вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом рекомендуется использовать разработанные конструктивно-технологические решения при выборе стальных и полиэтиленовых труб разного диаметра в зависимости от модификации машины, ее длины и расхода воды.

2. При орошении сельскохозяйственных культур эксплуатирующим организациям для повышения проходимости дождевальных машин «Волга-СМ» и «Фрегат» и снижения негативного воздействия на почву рекомендуется в места расположения тележек устанавливать дефлекторные насадки с заданным углом полива 280° , сливные насадки гидропривода, а также подтележечные щитки;

3. Проектным организациям и научно-исследовательским институтам при проектировании и совершенствовании широкозахватных дождевальных машин вантовой конструкции рекомендуется использовать разработанные математические зависимости и методики гидравлического расчета двухтрубных дождевальных машин с гидроприводом.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Разработать автоматизированную систему управления и контроля дождевальной машины «Волга-СМ», а также технические и технологические решения для дальнейшего снижения энергоемкости полива и давления на входе в машину, увеличения длины пролетов, повышения надежности работы и качества работы дождевальных машин вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Рыжко, Н. Ф. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, С. А. Хорин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 25-30.
2. Рыжко, Н. Ф. Ресурсосбережение – как основа совершенствования многоопорных дождевальных машин / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, С.А. Хорин // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 12-19.
3. Рыжко, Н. Ф. Повышение эффективности многоопорной дождевальной машины «Волга-СМ» с полиэтиленовым трубопроводом / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, С. А. Хорин // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 4. – С. 92-95.

Патенты

4. Пат. № 178776 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Н. Ф. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». № 2017135034; заявл. 04.10.2017; опубл. 19.04.2018, Бюл. № 11.
5. Пат. № 220261 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Н. Ф. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». № 2023100426; заявл. 10.01.2023; опубл. 05.09.2023, Бюл. № 25.
6. Пат. № 220289 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Н. Ф. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». № 2023100482; заявл. 10.01.2023; опубл. 06.09.2023, Бюл. № 25.

Статьи в научных сборниках и журналах

7. Рыжко, Н. Ф. Технические решения для повышения проходимости дождевальных машин "Фрегат" и "Bauer" / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Н. В. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, С. В. Ботов // Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа эффективного использования мелиорированных земель : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Тверь : ФГБНУ ВНИИМЗ, 2017. – С. 249-252.
8. Рыжко, Н. Ф. Резервы повышения производительности оросительных систем при переводе дождевальных машин на низконапорный режим работы / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Н. В. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, А. И. Чихачев, С. В. Ботов // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград : ФГБНУ ВНИИОЗ, 2017. – С. 427-431.
9. Рыжко, Н. Ф. Дождевальная машина вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом / Н. Ф. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, И. А. Шушпанов // Новости науки в АПК. – 2018. – № 2-2 (11) – С. 47-50.
10. Рыжко, Н. Ф. Технические разработки для улучшения эксплуатационных показателей и качества полива многоопорных дождевальных машин / Н. Ф. Рыжко, И. А. Шушпанов, Н. В. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Мелиорация и водное хозяйство : материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) с междунар. участием. – Новочеркасск : ООО «Лик», 2018. – С. 114-120.
11. Рыжко, Н. Ф. Способы снижения потребления энергетических и водных ресурсов при поливе широкозахватными дождевальными машинами / Н. Ф. Рыжко, Н. В. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : материалы VIII Национальной конференции с междунар. участием. Под редакцией Ф.К. Абдразакова. – Саратов : ФГБОУ

ВО Саратовский ГАУ, 2018. – С. 286-291.

12. Рыжко, Н. В. Перспективы развития орошаемых земель на основе совершенствования дождевальных машин вантовой конструкции / Н. В. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий : сб. статей VII Международной науч.-практ. конф. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. – С. 130-134.

13. Рыжко, Н. Ф. Технические решения по модернизации дождевальных машин кругового действия и результаты их внедрения / Н. Ф. Рыжко, Н. В. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Орошаемое земледелие. – 2019. – № 2 – С. 21-24.

14. Рыжко, Н. Ф. Регулирование расхода воды дождевальных машин для снижения потребления электроэнергии на полив / Н. Ф. Рыжко, Н. В. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, Е. А. Шишенин // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды : материалы I Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Саратов : ООО «КУБиК», 2019. – С. 105-109.

15. Рыжко, С. Н. Совершенствование технологии полива многоопорными дождевальными машинами кругового действия / С. Н. Рыжко, Е. А. Шишенин, Н. Ф. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 3 (79) – С. 16-20.

16. Рыжко, Н. Ф. Технические решения для модернизации дождевальных машин вантовой конструкции / Н. Ф. Рыжко, Н. В. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, Е. А. Шишенин // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : материалы VII Международной науч.-практ. конф. – Саратов : ООО «Амирит», 2020. – С. 64-68.

17. Рыжко, Н. Ф. Энергосбережение при поливе дождевальной машиной «Волга-СМ» с полиэтиленовым трубопроводом / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, Е. А. Шишенин // Основы рационального природопользования : материалы VII национальной конференции с междунар. участием. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. – С. 58-62.

18. Рыжко, Н. Ф. Снижение ресурсов при переводе дождевальных машин на низконапорный режим работы / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, Е. А. Шишенин // Основы рационального природопользования : материалы VII национальной конференции с междунар. участием. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. – С. 62-66.

19. Рыжко, С. Н. Технология и технические средства для внесения удобрений через полиэтиленовый трубопровод на дождевальных машинах типа «Волга» / С. Н. Рыжко, Н. Ф. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Концептуальные аспекты современного состояния и развития мелиорации и эффективного использования водных ресурсов : сб. науч. трудов по материалам науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Саратов : ООО «Орион», 2021. – С. 107-112.

20. **Смирнов, Е. С.** Технические решения для повышения проходимости многоопорной дождевальной машины «Волга-СМ» / Вавиловские чтения – 2022 : сб. статей международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова. – Саратов : ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2022. – С. 779-782.

21. Соловьев, Д. А. Повышение проходимости многоопорных дождевальных машин / Д. А. Соловьев, Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов** // Научная жизнь. – 2022. – Т. 17. № 6 (126). – С. 864-872.

22. Рыжко, Н. Ф. Энергосбережение при поливе многоопорной дождевальной машиной «Волга-СМ» / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, **Е. С. Смирнов**, Д. Г. Горюнов // Научная жизнь. – 2023. – Т. 18. № 1 (127). – С. 20-29.