

*На правах рукописи*

Колганов Дмитрий Александрович

**ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА «ФРЕГАТ»  
С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ВОДОПОДАЧИ ДЛЯ  
ПОЛИВА В НИЗКОНАПОРНОМ РЕЖИМЕ**

Специальность: 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 имени 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», ведущий  
научный сотрудник.

**Малько Игорь Валерьевич**,  
кандидат технических наук, доцент, ГОУ ВО  
«Государственный социально – гуманитарный  
университет», кафедра машиноведение,  
заведующий.

**Ведущая организация** - ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»

Защита диссертации состоится 21 декабря 2017 г. в 15.00 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 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Маштаков Д.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Орошение сельскохозяйственных культур является наиболее распространенным и перспективным видом гидротехнической мелиорации, который позволяет обеспечивать растения необходимым объемом влаги и питательными элементами, а также способствует оптимизации теплового режима приземного слоя воздуха. Полив сельскохозяйственных культур в России и, в частности Саратовской области осуществляется главным образом дождеванием. При этом основной машиной для полива является дождевальная машина «Фрегат», которая хорошо себя зарекомендовала за 40 лет применения. Машина обеспечивает хорошее качество дождя, автоматизацию полива, высокую надежность, а также позволяет использовать один вид энергии для обеспечения полива и передвижения машины.

Однако, практика эксплуатации показала, что дождевальная машина «Фрегат» не в полном объеме способна реализовать свои преимущества на орошении сельскохозяйственных культур в связи с высокой степенью энергоемкости. Так, расход электроэнергии ДМ «Фрегат» на подачу  $1000 \text{ м}^3$  воды составляет 350...600 кВт·ч., что приводит к повышенным расходам на энергоресурсы и как следствие повышению цен на производимую продукцию.

Таким образом, проблема энергоемкости широкозахватной ДМ «Фрегат» является актуальной и требует проведения научных исследований, теоретических и конструктивных проработок.

**Степень разработанности темы.** В работе особое внимание уделено вопросам снижения рабочего давления и энергоемкости ДМ «Фрегат». Данные вопросы подробно рассмотрены в работах таких ученых, как: Н.М. Кошкин, А.И. Ким, В.Ф. Носенко, Г.В. Ольгаренко, Н.Ф. Рыжко, Ю.Ф. Снопич, Б.П. Фокин, однако способы снижения энергоемкости ДМ «Фрегат» предложенные авторами являются недостаточно эффективными, так как при их использовании нарушается работа машины и режимы водообеспеченности орошаемых сельскохозяйственных культур.

Поэтому для эффективной эксплуатации ДМ «Фрегат», необходимо совершенствование конструкции машины, путем разработки новых узлов и деталей, обеспечивающих работу при следующих режимах:

- режим проведения полива при пониженных давлениях;
- режим работы осуществляющий движение без полива.

**Цель исследований** - повышение энергетической эффективности ДМ «Фрегат» путем перевода машины в низконапорные режимы работы, за счет применения дополнительного трубопровода на привод ходового оборудования.

**Задачи исследований:**

1) Провести анализ технических решений направленных на снижение рабочего давления ДМ «Фрегат» и определить наиболее эффективное решение, позволяющее перевести машину в низконапорные режимы работ;

2) Разработать и определить конструктивные параметры и технические требования дополнительного трубопровода, обеспечивающего режимы работы при пониженных давлениях и движения без проведения полива;

3) Разработать гидравлическую модель, алгоритм и прикладную программу расчета норм и сроков полива ДМ «Фрегат» при работе в низконапорных режимах;

4) Установить полевыми исследованиями технологические параметры полива серийной машины при различных величинах давления, провести лабораторные и производственные исследования усовершенствованной конструкции ДМ «Фрегат», работающей при низком давлении с требуемыми сроками и нормами полива;

5) Провести сравнение экспериментальных и полевых исследований и оценить экономическую эффективность от внедрения усовершенствованной ДМ «Фрегат», работающей в режимах пониженного давления.

**Научная новизна.** Разработаны и обоснованы математические зависимости, описывающие процессы расчета норм и сроков полива ДМ «Фрегат» при снижении давления ниже паспортной величины. Разработана и обоснована усовершенствованная конструкция дополнительного трубопровода, обеспечивающего требуемые нормы и продолжительность поливов при пониженных давлениях. Результаты исследований усовершенствованной ДМ «Фрегат» в лабораторных и производственных условиях. Новизна конструкции подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2016104855 от 07.06.17.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании математических зависимостей, описывающих процессы расчета норм и продолжительности полива ДМ «Фрегат» при снижении давления ниже паспортной величины. Разработана и обоснована новая

конструкция дополнительного трубопровода, обеспечивающая требуемые нормы и продолжительность полива при пониженных давлениях. Практическая значимость работы заключается в том, что проведение исследований завершено внедрением в орошаемое хозяйство усовершенствованной ДМ «Фрегат», что обеспечит экономию затрат электроэнергии на 16-36%.

**Методология и методы исследований.** Задачи, поставленные в диссертации, решались проведением теоретических и производственных исследований. Теоретические исследования выполнялись на основе существующих положений, законов и методов математики и математической статистики. Экспериментальные исследования выполнялись с учетом общепринятой методики проведения экспериментов (СТО АИСТ 11.1-2010), действующих стандартов (ГОСТ Р 53056-2008), нормативных документов и включали лабораторные и производственные исследования параметров и показателей полива ДМ «Фрегат», как при стандартных так и при низконапорных режимах работы. Расчет и обработка результатов исследования выполнялись при помощи компьютерных средств, методами математической статистики с использованием пакетов прикладных программ STATISTICA 12.7, Microsoft Excel 2010.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- гидравлическая модель расчета норм и продолжительности полива ДМ «Фрегат» при снижении давления ниже паспортной величины;

- параметры и режимы работы усовершенствованной конструкции ДМ «Фрегат», обеспечивающей требуемые нормы и продолжительность полива при низких давлениях;

- результаты производственных исследований, подтверждающие эффективность использования усовершенствованной низконапорной ДМ «Фрегат», с дополнительным трубопроводом. Экономические показатели работы усовершенствованной ДМ «Фрегат».

**Апробация результатов исследований.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях: «Математические методы в технике и технологиях» ФГБОУ ВО Саратовский ГТУ им. Ю.А. Гагарина (2015 г.); «Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (2015 г.); «Техногенная и природная безопасность» IV ТПБ-2017 ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (2017 г.); конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (2015-2016 г.);

конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (2015-2017 гг.).

На выставках и конкурсах: Всероссийская агропромышленная выставка «Золотая Осень» г. Москва, (2015 г.), Всероссийский конкурс на лучшую научно-инновационную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых «Грант ректора СГАУ» (2016), Научный конкурс «Научный StundUp» Саратовский ГАУ (2017 г.), Всероссийский конкурс на лучшую научно-инновационную работу» среди студентов, аспирантов и молодых ученых «Грант ректора СГАУ» (2017).

Усовершенствованная ДМ «Фрегат» внедрена в ООО «Наше Дело» Марковского района Саратовской области в 2016 г. на участке № 15 для орошения кукурузы. Годовой экономический эффект от внедрения на одной ДМ «Фрегат» составил 83970 руб.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 8 работах, в т.ч. 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 патент РФ на изобретение, 1 патент на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 2,4 печ.л., из них лично соискателя – 1,72.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 125 наименований и приложения. Работа изложена на 126 страницах текста содержит 20 таблиц, 39 рисунка и 14 приложений. Список использованной литературы включает 125 источников, в том числе 10 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, научная новизна, сформулированы цели и задачи исследований. Представлена практическая значимость работы и научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об использовании результатов исследований и апробации работы.

**В первой главе** «Состояние вопроса» проведен анализ состояния механизированного орошения в России и мире, а так же обзор технических средств орошения, применяемых в России и, в частности, Саратовской области, который показал, что полив сельскохозяйственных культур осуществляется главным образом дождеванием. Одним из главных технических средств, которое используется при дождевании, является широкозахватная дождевальная машина «Фрегат». Однако машина не в полной мере способна реализовать свои преимущества на поливе в связи с высокой

степенью энергоемкости. В связи с этим проведен анализ технологических мероприятий, методов и способов снижения энергоемкости ДМ «Фрегат» отечественных и зарубежных ученых, таких как: С.Х. Гусейн-заде, Н.М. Кошкин, Г.Е. Листопад, Н.Ф. Рыжко, Б.П. Фокин, R.T.Santana. Все изученные методы и способы направлены на обеспечение движения и проведения полива ДМ «Фрегат», при пониженных давлениях.

Проведенный литературный и патентный анализ показал, что изученные методы и способы снижения энергоемкости ДМ «Фрегат» являются недостаточно эффективными, так как при их использовании нарушается работа машины и режимы водообеспеченности орошаемых культур, что приводит к снижению урожайности. Поэтому необходимо совершенствование ДМ «Фрегат», позволяющее осуществлять работу машины в низконапорных режимах. Для этого разработаны направления совершенствования эксплуатационных показателей ДМ «Фрегат» (рис 1).

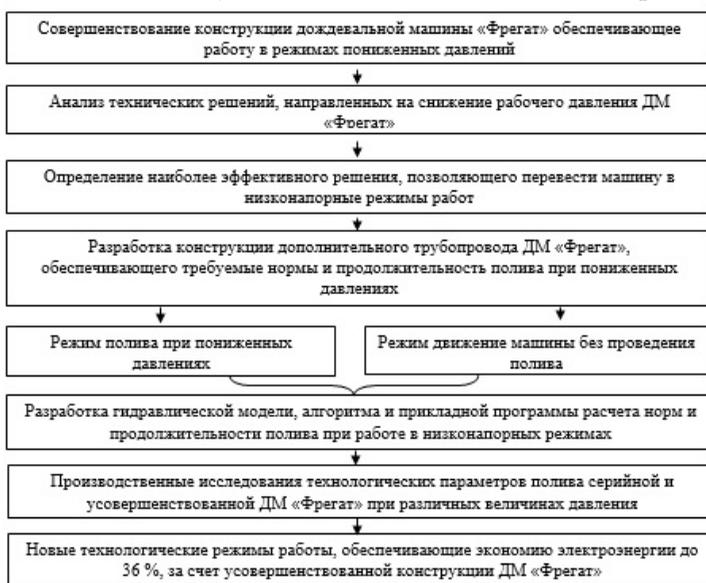


Рисунок 1 - Структурная схема совершенствования ДМ «Фрегат»

**Во второй главе** «Теоретические основы совершенствования ДМ «Фрегат» обеспечивающие работу в режимах пониженного давления» приведено научное обоснование параметров усовершенствованной ДМ «Фрегат» с дополнительным трубопроводом.

Технические требования к эксплуатации ДМ «Фрегат» с дополнительным трубопроводом заключаются в следующем:

При давлении воды 0,30 МПа: минимальная норма полива 200 м<sup>3</sup>/га;  
 При давлении воды 0,35 МПа: минимальная норма полива 300 м<sup>3</sup>/га;  
 При этом ДМ должна проводить работу в следующих режимах:

- при сниженных давлениях, требуемых нормах и сроках полива;
- с перемещением машины без проведения полива.

Разработана методология совершенствования ДМ «Фрегат», работающая при пониженных давлениях:

1) полив и распределение оросительной воды осуществляется из водопроводящего пояса машины;

2) движение гидроприводов опорных тележек производится давлением воды из новой системы подачи посредством напорного трубопровода.

С учетом данных положений разработана конструкция ДМ «Фрегат», работающая в режиме пониженных давлений (рис. 2) на которую получен патент на изобретение № 2016104855 от 07.06.2017 г.

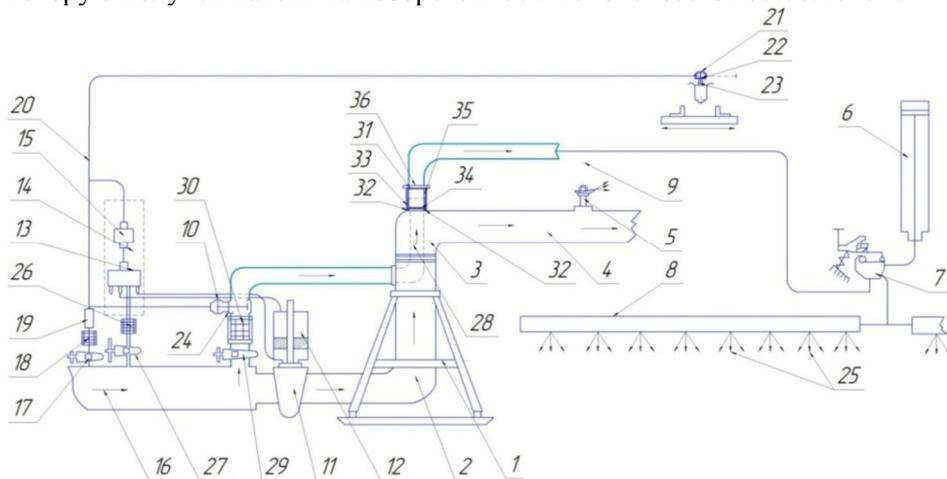


Рисунок 2 - Общая схема ДМ «Фрегат», работающей в режимах пониженного давления

1 – неподвижная опора; 2 – неподвижная труба; 3 – поворотное колено; 4 – трубопровод; 5 – дождеобразующее устройство; 6 – гидропривод; 7 – распределительные клапана; 8 – сливные магистрали; 9 – дополнительный трубопровод; 10 – гидроуправляемый клапан; 11 – запорный орган; 12 – гидропривод; 13 – исполнительный блок; 14 – блок гидрореле; 15 – управляющий блок; 16 – напорный трубопровод; 17, 27, 29 – кран; 18, 26, 30 – фильтр; 19 – сужающее устройство; 20 – внешняя система защиты; 21 – исполнительный клапан; 22, 23 – звено; 24 гидропривод; 25 – насадка; 28 – г-образный патрубок; 31 – стакан; 32 – упорное кольцо; 33 – втулка; 34 – уплотняющий элемент; 35 – грандбукса; 36 – прижимная крышка.

Разработана и теоретически обоснована гидравлическая модель расчета норм и сроков полива усовершенствованной ДМ «Фрегат», которая позволяет:

- рассчитать нормы и продолжительность полива при снижении давления ниже паспортной величины;
- оценить эрозионно-допустимую поливную норму;
- определить оптимальный диаметр системы водоподдачи дополнительного трубопровода.

Гидравлическая модель дождевальной машины определяет свои параметры, исходя из величины поливной нормы, при этом объем подачи воды дождевальной машиной «Фрегат» равняется:

$$W = mA = \frac{m\pi R^2}{10000}, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где:  $m$  – величина поливной нормы,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $A$  – площадь полива, га;  $R$  – радиус полива ДМ «Фрегат», м.

Важным критерием работы дождевальной машины является скорость движения машины и продолжительность полива.

Линейная скорость движения машины, согласно Фокина Б.П., выражается в виде:

$$V = 60 \cdot n \cdot l, \text{ м/час} \quad (2)$$

где:  $n$  – цикличность привода последней опоры ДМ «Фрегат», такт/мин;  $l$  – скорость движения последней опоры, м/час.

Продолжительность полива при полном обороте ДМ «Фрегат» на одной позиции рассчитывается через количество тактов гидроцилиндра:

$$T = \frac{Z}{60 n}, \text{ час} \quad (3)$$

где:  $Z$  – количество тактов гидроцилиндра последней опоры, при обороте ДМ.

Расход воды дождевальной машины для полива сельскохозяйственной культуры поливной нормой определяется по зависимости:

$$Q = \frac{W}{3,6T}, \text{ л/с} \quad (4)$$

где:  $Q$  – расход дождевальной машины для орошения площади  $A$ , л/с.

Модель линейной карты расходов воды по длине усовершенствованной 16-и опорной ДМ формируется из двух независимых потоков:

поток воды на полив, через дефлекторные насадки и поток воды по водоводу малого сечения для работы гидроцилиндров.

а) модель линейной карты расходов воды на полив:

$$Q_M = \frac{\pi m R^2}{3,6 \cdot 10000} \cdot \frac{60 n l}{2 \pi r} = 52,36 \cdot 10^{-4} \cdot (nm) \frac{R^2}{Z} = 1,333 \cdot (nm) R \quad (5)$$

б) модель линейной карты расходов воды на гидроцилиндры:

$$q_{15-16} = \frac{n \cdot W_g \cdot Z_{16}}{60 \cdot Z_{16}}, \quad (6)$$

где:  $W_g$  - объем гидроцилиндра, м<sup>3</sup>

Потери напора воды в трубопроводе дождевальной машины состоят из потерь по длине и местных потерь.

Потери по длине определяли по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{дл} = \frac{\lambda \cdot l \cdot v^2}{d \cdot 2g}, \text{ м.вод.ст} \quad (7)$$

где:  $h_{дл}$  - потери напора воды по длине трубопровода, м;  $\lambda$  - гидравлический коэффициент трения;  $l$  - длина трубопровода, м;  $d$  - диаметр трубопровода, м;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $v$  - скорость движения воды в трубопроводе, м/с, определяется по формуле:

$$v = \frac{Q}{0,785d^2}, \text{ м/с} \quad (8)$$

Местные потери напора возникают на 11-ой самодвижущей опоре при изменении диаметра водопроводящего пояса ДМ.

Зависимость, учитывающая потери напора при сужении трубы, имеет вид:

$$h_m = \xi_m \cdot \frac{v^2}{2g}, \text{ м.вод.ст} \quad (9)$$

где:  $\xi_m$  - коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_m = k \cdot 0,5 \left( 1 - \frac{d_2^2}{d_1^2} \right), \quad (10)$$

Общие потери напора в каждом из трубопроводов ДМ определяются по зависимости:

$$h_{сумм} = h_{дл} + h_m, \text{ м.вод.ст.} \quad (11)$$

Напор воды в водопроводящем поясе ДМ на участке от неподвижной опоры до последнего дождевателя, расположенного в консольной части, определяется по формуле:

$$H_j = H_{св} - \sum_{i=0}^j h_{сумм.i}, \text{ м.вод.мТ} \quad (12)$$

где:  $H_{св}$  – напор воды на гидранте ДМ, МПа.

Средняя интенсивность дождя определяется по формуле:

$$\rho_{ср} = \frac{60 \cdot g_n \cdot K_{II}}{\pi \cdot R_d^2} = \frac{19,1 \cdot g_n \cdot K_{II}}{R_d^2}, \text{ мм/мин} \quad (13)$$

где:  $g_n$  – расход дефлекторной насадки, л/сек;  $K_{II}$  – коэффициент перекрытия струи насадки, определяется по зависимости:

$$K_{II} = \frac{R_d}{0,5 \cdot l_n} \quad (14)$$

где:  $l_n$  – расстояние между насадками, м;  $R_d$  – радиус захвата дождем дефлекторной насадкой, м.

Эрозионно-допустимая поливная норма определяется по зависимости:

$$m_{0,j} = \frac{K_v}{\sqrt{\rho_{ср}} \cdot e^{0,5-d_{кр}}}, \text{ мм} \quad (15)$$

где:  $K_v$  – показатель безнапорного впитывания воды в почву, мм;  $\rho_{ср}$  – средняя интенсивность дождя под крайней насадкой, мм/мин;  $d_{кр}$  – средний диаметр капель, образованный крайней насадкой, мм;  $e$  – основание натурального логарифма.

**В третьей главе** «Программа и методика исследований» представлена методика проведения полевых исследований ДМ «Фрегат», описана конструкция лабораторного стенда. Исследования проводились в 2015-2016 гг. на землях сельскохозяйственного назначения ООО «Наше Дело», Энгельского и Марковского районов Саратовской области на Гагаринской и Приволжской оросительных системах.

Полевые исследования включали в себя определение:

1. возможного снижения давления серийной ДМ, при котором показатели работы будут отвечать предъявленным требованиям к поливу;
2. работоспособности конструкции усовершенствованной ДМ;
3. зависимости поливной нормы и скорости движения от напорных характеристик серийной и усовершенствованной ДМ;

4. показателей качества полива серийной и усовершенствованной ДМ;

5. затрат электроэнергии на полив серийной и усовершенствованной ДМ.

Исследования проводились на основании стандартной методики СТО АИСТ 11.1 – 2010 «Машины и установки дождевальные», «Методы оценки функциональных показателей». Давление воды замеряли манометром, скорость и направление ветра замеряли анемометром, скорость движения машины определили путем замера количества тактов хода гидроцилиндра за период времени. Измерение поливной нормы определялось объемным методом при помощи осадкомеров, установленных вдоль поливного фронта машины (рис. 3).



Рисунок 3 - Схема расстановки дождемеров

ДМ осуществляла работу при разных режимах давления:

серийная: 0,7 МПа; 0,6 МПа; 0,5МПа; 0,45 МПа;

усовершенствованная: 0,7МПа;0,6МПа;0,5МПа;0,4МПа;0,35МП;0,3МПа.

При выполнении работы, компьютерная обработка полученных данных проводилась при помощи программ для ПЭВМ: Statistical, Mathcad, Excel.

**В четвертой главе** «Результаты полевых и экспериментальных исследований» представлены итоги исследований и дан их анализ.

Результаты численного эксперимента по гидравлической модели.

По результатам экспериментальных исследований при помощи гидравлической модели установлены технические характеристики полива усовершенствованной ДМ «Фрегат» (табл.1), а так же

зависимость величины поливной нормы от давления на гидранте и скорости движения последней опоры (рис.4).

Таблица 1 - Результаты численного эксперимента

№	Скорость движения 16 тележки, м/мин	Слой осадков за проход ДМ, мм	Продолжительность полива, час	Расход воды на полив, л/с	Общий расход воды (с гидроцилиндр.), л/с	Средняя интенсивность, мм/мин	Давление воды перед гидроцилиндром 16-ой опоры, МПа
Давление воды на входе ДМ – 0,30 МПа							
1	0,272	58,6	89	62,9	64,8	0,62	0,2891
2	0,320	49,8	87	62,9	65,1	0,62	0,2849
3	0,480	33,2	84	62,9	66,2	0,62	0,2661
4	0,560	28,4	83	63,0	66,6	0,62	0,2538
Давление воды на входе ДМ – 0,35 МПа							
1	0,272	62,8	89	67,4	69,3	0,63	0,3391
2	0,320	53,4	86	67,4	69,6	0,63	0,3349
3	0,480	35,6	85	67,4	70,7	0,63	0,3151
4	0,560	30,5	83	67,4	71,3	0,63	0,3038

Согласно данным таблицы 1 при давлении воды на входе в машину 0,3 МПа слой осадков колеблется от 28,4 до 58,6 мм; продолжительность полива от 83 до 89 часа; расход воды от 66 до 64 л/с.

При давлении 0,35 МПа слой осадков колеблется от 30,5 до 62,8 мм; продолжительность полива от 83 до 89 часа; расход от 69 до 71,3 л/с.

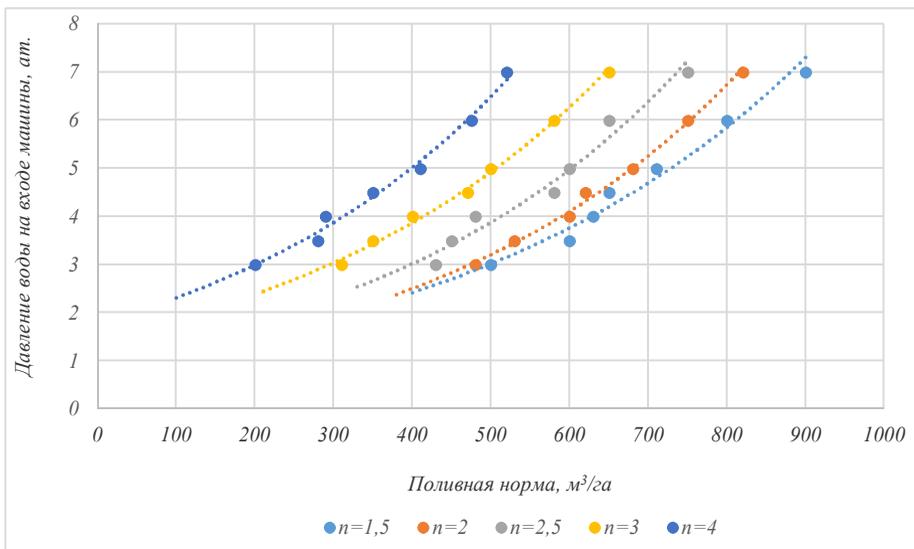


Рисунок 4 - Характеристики работы усовершенствованной ДМ «Фрегат»

Кроме того гидравлическая модель позволила получить технические и геометрические параметры дополнительного водопроводящего пояса усовершенствованной ДМ «Фрегат» (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты моделирования гидравлических условий и параметров

Номинальный наружный/внутренний диаметр трубы от гидранта до 11 тележки, мм	Номинальный наружный/внутренний диаметр трубы от 11-ой до 16-ой тележки, мм	Скорость движения последней тележки, м/мин	Потери давления воды, МПа	Давление перед гидроцилиндром, МПа	Результат
<b>Давление воды на входе ДМ-0,3 МПа</b>					
50/44	50/44	0,272	0,0688	0,2312	движется
63/55,4	50/44	0,272	0,0256	0,2744	движется
63/55,4	63/55,4	0,272	0,0207	0,2793	движется
75/64	50/44	0,272	0,0155	0,2845	движется
50/44	50/44	0,56	0,2917	0,083	не движется
63/55,4	50/44	0,56	0,1085	0,1915	не движется
63/55,4	63/55,4	0,56	0,0876	0,2124	не движется
75/64	50/44	0,56	0,065	0,2345	движется

Для обеспечения движения машины с приводом от гидроцилиндров, необходимо использовать в конструкции водопроводящей трубы полиэтиленовые трубы с номинальным наружным диаметром 75 мм на участке от опоры ДМ до 11-ой тележки и диаметром трубы 50 мм на участке от 11-ой до 16-ой тележки.

Результаты полевых исследований эксплуатационных показателей серийной ДМ «Фрегат».

По результатам полевых исследований установлены технические параметры серийной ДМ «Фрегат» модификации 463-90. Согласно результатам исследований отмечаются колебания среднего слоя осадков по длине машины, при этом величина поливной нормы в опытах изменялась от 220 до 990 м<sup>3</sup>/га. Осредненные характеристики поливной нормы представлены на рисунке 5.

Для оценки качества полива использовали метод Вилькокса-Свейзла:

$$K = 100(1 - \sigma / h_o) \quad (16)$$

где:  $\sigma$  – величина средне квадратичного отклонения слоя осадков в осадкомерах от среднего значения осадков всей выборки, м<sup>3</sup>/га.

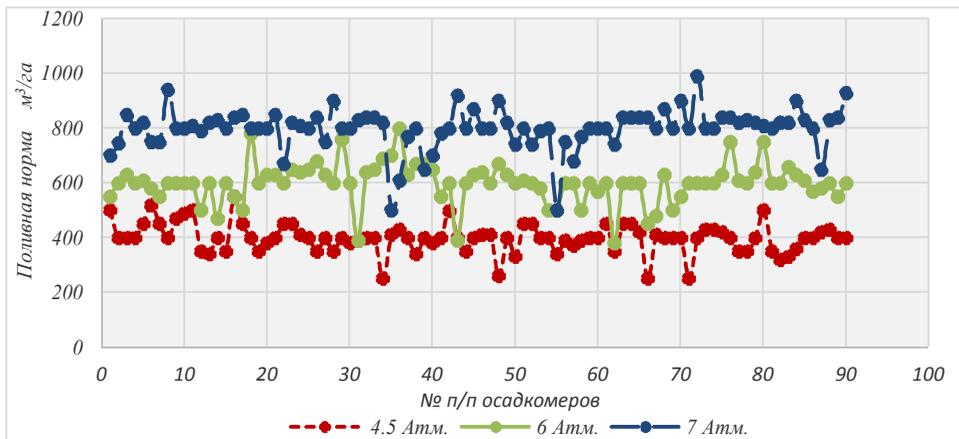


Рисунок 5 – Средние значения распределения осадков по длине ДМ

Полученные величины коэффициента эффективного полива по методу Вилькокса-Свейзла 78...84% показывают математически незначительное колебание совокупности и в приложении к гидротехнике характеризуют качество полива как эффективное по меньшему граничному значению. Так общий коэффициент эффективности полива ДМ в течение 3-х суток составил 84%. По результатам полевых исследований (табл.3) графоаналитическим методом построен график зависимости поливной нормы от давления на гидранте (рис 6), из которого видно, что серийная ДМ «Фрегат» производит полив в соответствии с нормами и требованиями при минимальном давлении не менее 0,45 МПа.

Таблица 3 - Поливная норма ( $\text{м}^3/\text{га}$ ), в зависимости от скорости движения последней опоры и давления на гидранте

Число тактов, такт/мин	Продолжительность полива, час	Давление воды на гидранте, МПа				
		0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
1,5	90	<200	430	530	800	910
2	88	-	400	480	620	810
2,5	79	-	350	400	470	650
3	67	-	290	350	400	530
4	59	-	220	270	300	370

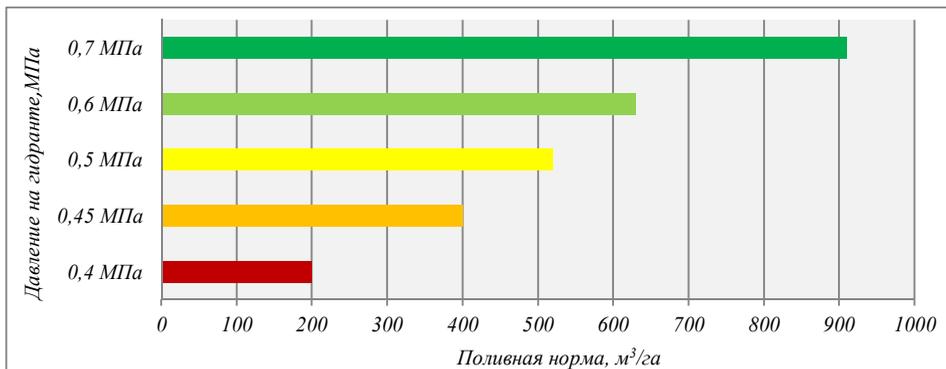


Рисунок 6– Зависимость поливной нормы серийной ДМ «Фрегат» от давления

Исследованиями установлено, что серийная ДМ «Фрегат» модификации 463-90 осуществляет поливы в следующих режимах:

- при давлении воды на гидранте 0,7 – 0,45 МПа и скорости движения последней опорной тележки от 2-4 такт/мин полив осуществляется нормой 220–810 м³/га с продолжительностью полного оборота 3 – 4 суток. Расчеты энергозатрат показывают, что при давлении воды 1,2 МПа., затраты энергии на подачу 1 м³ воды составят 451 кВт·ч. С уменьшением давления затраты электроэнергии будут уменьшаться прямо пропорционально и при давлении 0,9 МПа., затраты энергии на подачу 1 м³ воды составят 350 кВт·ч.

#### Результаты совершенствования ДМ «Фрегат».

На базе ООО «Наше Дело», Энгельского района Саратовской области и при помощи производственных мощностей УНПК «Агроцентр СГАУ» была изготовлена конструкция опытного образца ДМ «Фрегат» (рис. 7), обеспечивающая работу машины в двух режимах:

- 1) режим движения без проведения полива;
- 2) режим проведения полива при сниженном давлении.

Опытный образец дождевальной машины с дополнительным ПЭ трубопроводом обеспечивает устойчивую и надежную работу при рабочем давлении на входе 0,3-0,7 МПа. Полив и распределение воды осуществляется из водопроводящего пояса машины, движение гидроприводов тележек производится давлением воды посредством новой системы подачи из напорного трубопровода.



Рисунок 7 - Усовершенствованная конструкция ДМ «Фрегат»

Увеличение расходных характеристик в трубопроводе машины позволяет сохранить поливную норму даже при значительном снижении давления на гидранте и улучшает стабильность работы гидроприводов опорных тележек.

Результаты лабораторных испытаний дождеобразующих устройств усовершенствованной ДМ «Фрегат».

Для усовершенствованной ДМ «Фрегат» с дополнительным трубопроводом, разработаны дождеобразующие устройства дефлекторного типа (рис. 8) со сменными дюзами, которые позволяют проводить полив при пониженных давлениях.



Рисунок 8 – Дождеобразующее устройство дефлекторного типа

Лабораторные исследования дождеобразующих устройств позволили:

1. определить качественные характеристики работы устройств: расход воды: 73 л/с; радиус захвата: 6,86 м; диаметр капель:

1,5 мм; рабочий напора устройства: 24,5 м; интенсивность дождя: 0,874 мм/мин; равномерность дождя: 0,9.

2. сформировать карту настройки устройств по длине усовершенствованной ДМ «Фрегат», которая позволяет проводить полив при пониженных давлениях (0,3-0,35 МПа);

#### Результаты полевых исследований усовершенствованной ДМ «Фрегат»

В ходе проведенных полевых исследований работы усовершенствованной ДМ «Фрегат» отмечается колебание среднего слоя осадков по длине машины по всем проведенным поливам, при этом величина поливной нормы изменялась от 405 до 582 м<sup>3</sup>/га. (рис. 9).

Полученные величины коэффициента эффективного полива по методу Вилькокса-Свейзла 79...88% показывают математически незначительное колебание совокупности и характеризуют качество полива как эффективное со стороны меньшего граничного порога.

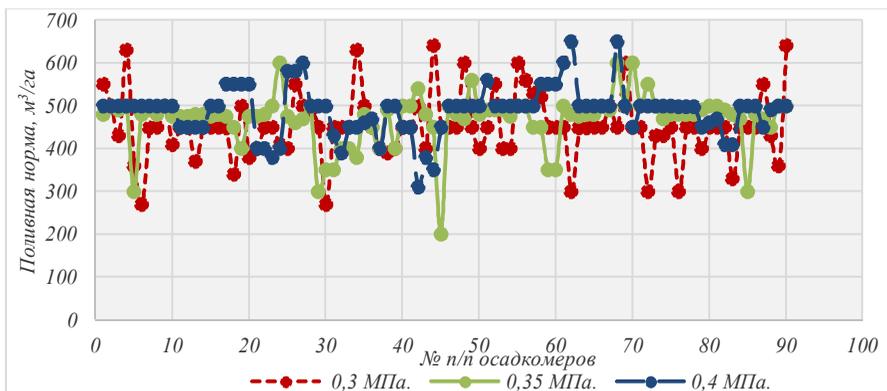


Рисунок 9 - Средние значения распределения осадков по длине ДМ

По результатам полевых исследований построен график зависимости поливной нормы от давления на гидранте и от скорости движения ДМ (рис.10), который показывает, что усовершенствованная ДМ «Фрегат» обеспечивает проведение полива при рабочем давлении воды на входе в машину 0,3-0,7 МПа. При этом машина может выдавать поливную норму от 220 до 950 м<sup>3</sup>/га с продолжительностью полива 3-4 суток (табл.4) обеспечивая работу при пониженных давлениях с соблюдением норм и сроков полива (рис.11).

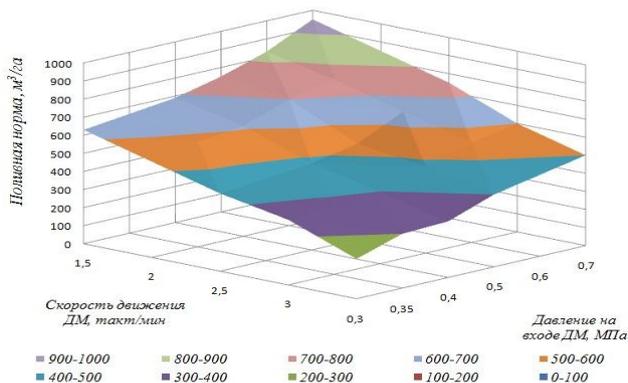


Рисунок 10 - Поливная норма, подаваемая усовершенствованной ДМ «Фрегат» при разных скоростях движения и давления воды

При этом затраты электроэнергии на подачу  $1\text{ м}^3$  воды усовершенствованной ДМ, работающей при давлении  $0,3\dots 0,45$  МПа составят 270 кВт·ч.

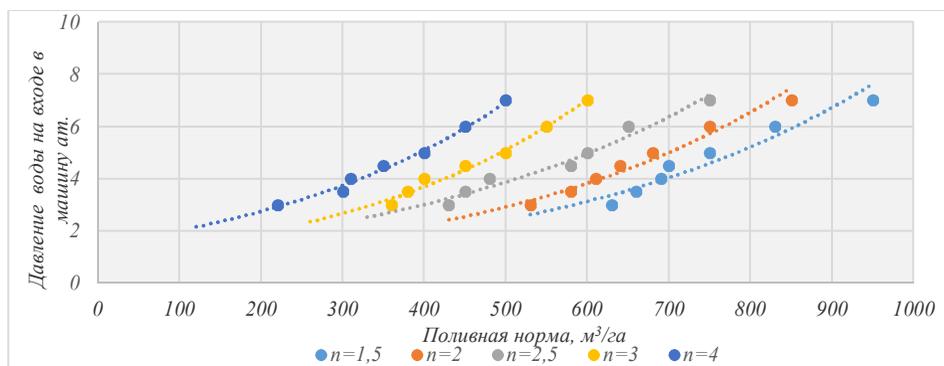


Рисунок 11 - Поливная норма, подаваемая усовершенствованной ДМ «Фрегат» при разных скоростях движения и режимах давлениях

Таблица 4 – Зависимость поливной нормы от времени полива и давления

Число тактов, такт/мин	Продолжительность полива, час	Давление воды на гидранте, МПа				
		0,3	0,35	0,4	0,6	0,7
1,5	97	630	660	690	830	950
2	90	470	580	610	750	850
2,5	85	430	450	480	650	750
3	67	360	380	400	550	600
4	59	220	300	310	450	500

Проведено сравнение результатов полевых исследований и численного эксперимента гидравлической модели ДМ «Фрегат», данные по которым представлены на рисунке 12.

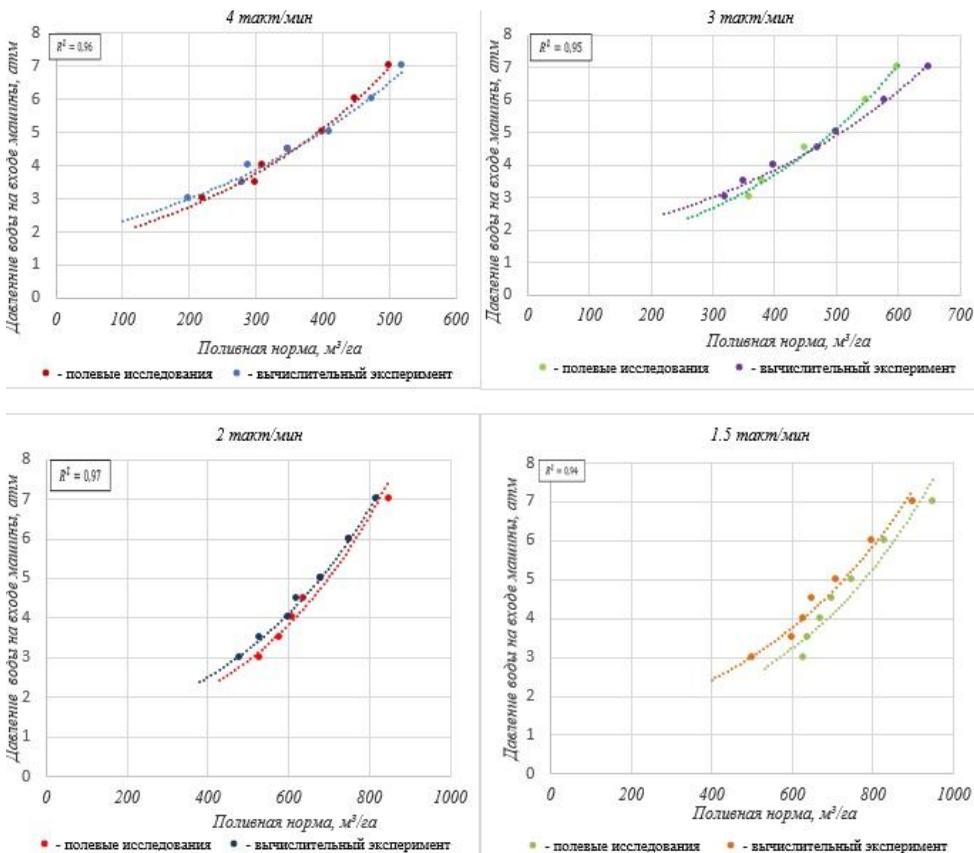


Рисунок 12 - Результаты численного эксперимента и полевых исследований поливной нормы в зависимости от давления и скорости движения последней опоры

По результатам сравнения наблюдается соответствие режимов работы машины, рассчитанное гидравлической моделью с режимами работы полученными полевыми исследованиями.

**В пятой главе** «Экономическая эффективность результатов исследований и рекомендации производству» дается экономическая оценка внедрения усовершенствованной ДМ «Фрегат». В результате расчетов установлено, что применение усовершенствованной ДМ

«Фрегат» с дополнительным трубопроводом на привод ходового оборудования позволит снизить энергозатраты на проведения полива до 36%, при соблюдении требований норм и сроков полива. Помимо этого внедрение усовершенствованной ДМ «Фрегат» позволит повысить эффективность орошаемого земледелия с годовым экономическим эффектом  $\Xi = 83970$  руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ технических решений, направленных на снижение рабочего давления ДМ «Фрегат», показал, что режимы работы машины составляет 0,5-0,7 МПа, энергоемкость полива при таких режимах работы высокая и составляет 350 - 600 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup>.

Выявлено наиболее эффективное решение, позволяющее перевести ДМ в низконапорные режимы работы, заключающееся в применении дополнительного полиэтиленового трубопровода на привод ходового оборудования;

2. Обоснованы конструктивные параметры и технические требования усовершенствованной ДМ «Фрегат» с дополнительным трубопроводом, обеспечивающий движение машины без проведения полива и работу при пониженных давлениях:

- при давлении воды 0,3 МПа, поливная норма 220 - 600 м<sup>3</sup>/га;
- при давлении воды 0,35 МПа, поливная норма 300 - 650 м<sup>3</sup>/га.

3. Разработанная гидравлическая модель, алгоритм и прикладная программа расчета норм и сроков полива ДМ «Фрегат» позволила провести численный эксперимент и получить технические характеристики полива:

- при давлении воды на входе в машину 0,3 МПа: слой осадков колеблется от 28,4 до 58,6 мм; продолжительность полива от 83 до 89 часа; расход воды от 66 до 64 л/с.

- при давлении воды 0,35 МПа: слой осадков 30,50-62,8 мм; продолжительность полива 83-89 часа; расход воды 69-71,3 л/с.

Для обеспечения движения машины с приводом от гидроцилиндров, применяется полиэтиленовый трубопровод с наружным диаметром 75 мм на участке от опоры ДМ до 11-ой тележки и 50 мм на участке от 11-ой до 16-ой тележки;

4. На основании полевых исследований установлено, что серийная ДМ «Фрегат» модификации ДМУ - 463-90 обеспечивает проведение полива сельскохозяйственных культур при рабочем давлении на входе в машину 0,7 - 0,45 МПа. При этом ДМ может выдавать

поливную норму от 300 до 650 м<sup>3</sup>/га, дальнейшее снижении рабочего давления не возможно в связи с конструктивными особенностями ДМ;

5. Лабораторными исследованиями установлены качественные характеристики работы дождеобразующих устройств для усовершенствованной ДМ «Фрегат»: расход воды: 73 л/с, радиус захвата дождем: 6,86 м, диаметр капель дождя: 1,5 мм, рабочий напор устройства: 24,5 м, интенсивность дождя: 0,87 мм/мин; равномерность дождя 0,9. На основании проведенных исследований сформирована карта настройки устройств по длине усовершенствованной ДМ «Фрегат», позволяющая производить полив при пониженном давлении 0,3-0,35 МПа;

6. Полевыми исследованиями установлено, что усовершенствованная ДМ «Фрегат» обеспечивает проведение полива при рабочем давлении воды на входе в машину 0,3 - 0,7 МПа, при этом машина выдает поливную норму от 200 до 950 м<sup>3</sup>/га с продолжительностью полива 3 - 4 суток;

Усовершенствованная ДМ производит полив нормой 500 м<sup>3</sup>/га при напоре 0,30 МПа с продолжительностью 4 суток, тогда как базовая ДМ при соответствующей норме и продолжительности полива производит работу при напоре 0,5 МПа;

Параметры полива усовершенствованной ДМ по поливной норме увеличены на 20-150 м<sup>3</sup>/га при работе на низких давлениях 0,3-0,4 МПа;

7. Затраты электроэнергии на полив созданной ДМ, работающей при напоре 0,3-0,4 МПа на 16 - 36% ниже затрат при работе серийной ДМ с давлением на гидранте 0,45-0,7 МПа;

8. Проведено сравнение результатов полевых исследований и численного эксперимента по гидравлической модели ДМ «Фрегат». На основании сравнения величина достоверности аппроксимации равняется 0,95 что указывает на близкое совпадение результатов режима работы машины, рассчитанного гидравлической моделью, с режимами работы, полученными полевыми исследованиями.

9. Экономический эффект от внедрения низконапорной ДМ «Фрегат» складывается из экономии электроэнергии на насосной станции, повышения надежности работы оросительной сети, а также от увеличения урожайности сельскохозяйственных культур за счет своевременности проведения поливов. Годовой экономический эффект от внедрения усовершенствованной ДМ «Фрегат» с дополнительным трубопроводом составляет 83970 руб.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. При орошении сельскохозяйственных культур эксплуатационным организациям рекомендуется с целью снижения энергоемкости дождевальной техники установить на ДМ «Фрегат» дополнительный трубопровод для привода ходового оборудования, который позволит производить работу машины в режимах при пониженных давлениях;

2. Научно-исследовательским институтам при создании и исследовании дождевальной техники использовать разработанную гидравлическую модель, алгоритм и прикладную программу расчета нормы и сроков полива ДМ «Фрегат» при снижении давления ниже паспортной величины.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать автоматизированную систему управления низконапорной ДМ «Фрегат».

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

*В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ*

1. Кошкин Н.М. Новые подходы в совершенствовании и разработке широкозахватных дождевальных машин и оросительных систем [Текст] / Н.М. Кошкин, Д.А. Соловьев, С.В. Затицацкий, Д.А. Колганов // Научная жизнь. -2016. - № 6. С. 17-27.

2. Соловьев Д.А. Результаты создания дождевальной машины «Фрегат», работающей в режимах при низких напорах [Текст] / Д.А. Соловьев, М.Г. Загоруйко, М.С. Елисеев, Д.А. Колганов // Аграрный научный журнал. - 2017.- №2 С.67-69.

3. Колганов Д.А. Гидродинамическая модель работы ДМ «Фрегат» [Текст] / Д.А. Колганов, М.Г. Загоруйко М.Г //Аграрный научный журнал. - 2017, №17 С.39-49.

4. Колганов Д.А. Гидравлическая модель работы модифицированной ДМ «Фрегат» с возможностью движения без полива [Текст] / Д.А. Колганов, С.В. Затицацкий // Научное обозрение. - 2017. № 15. С. 20-27.

## *Патенты*

5. Многофункциональная дождевальная машина: патент на изобретение № 2016104855, МКИ А 01 G 25/16 / Н.М. Кошкин, Колганов Д.А. 06.07.17.

6. Дождевальная насадка: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) № 138183, 11.26.2013 г. – патент на полезную модель. Соловьев Д.А. Колганов Д.А.

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

7. *Колганов Д.А.* Совершенствование и разработка широкозахватных дождевальных машин и дождевальной техники / Колганов Д.А. // сборник экологические вопросы СГАУ 2017;

8. *Колганов Д.А.* Разработка и обоснование параметров поливного комплекса/ Колганов Д.А. // сборник материалов – XXVIII Международная научная конференция Математические методы в технике и технологиях ММТТ-28, 315 с.2015. Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А. 24.04.2015.

---

Подписано в печать .10.17. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ № 495/456.

---