

На правах рукописи



ЕВСЕЕВ ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ

**РЕГУЛЯТОР РАСХОДА И РАССЕКATEЛЬ ДОЖДЕВАЛЬНОГО
АППАРАТА**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Рязанцев Анатолий Иванович

Официальные оппоненты: **Журавлева Лариса Анатольевна,**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева», профессор кафедры «Организация и технологии гидромелиоративных и строительных работ»
Рыжко Николай Федорович,

доктор технических наук, ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», главный научный сотрудник, заведующий отделом модернизации технических средств и технологии полива;

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (ФГБОУ ВО Вавиловский университет)

Защита диссертации состоится «03» октября 2024 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Снижение интенсивности подачи воды в концевой части многоопорной дождевальная машины (ДМ) кругового действия «Кубань-ЛК1» возможно обеспечить оснащением дождевальных аппаратов рассекателем струи и устройствами по регулированию расхода. Это обуславливает необходимость исследований, направленных на обоснование параметров устройств по регулированию расхода, а также распыла струи дождевальных аппаратов многоопорной ДМ кругового действия «Кубань-ЛК1» с учетом повышения равномерности полива на склоновых участках.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в повышение эксплуатационных показателей, а также производительности работы ДМ кругового действия внести многие ученые, такие как: Гаврилица А.А., Гусейнзаде С.Х., Журавлева Л.А., Лебедев Б.Н., Ольгаренко Г.В., Рыжко Н.Ф., Рязанцев А.И., Соловьев Д.А. и другие.

Исходя из отмеченного и общемировой тенденции необходимо проведение дальнейших исследований по разработке технических решений, направленных на увеличение равномерности полива.

Цель исследования: обоснование параметров регулятора расхода и рассекателя дождевального аппарата.

В соответствии с целью были поставлены следующие **задачи исследования:**

1. Теоретически обосновать параметры регулятора расхода и рассекателя дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».
2. Экспериментально уточнить параметры регулятора расхода и рассекателя дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».
3. Оценить экономический эффект от применения ДМ «Кубань-ЛК1», оборудованной модернизированным регулятором расхода и рассекателем стержневого типа.

Объект исследования: регулятор расхода и рассекатель дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».

Предмет исследования: теоретические и экспериментальные закономерности функционирования регулятора расхода рассекателя дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».

Научную новизну работы составляют:

1. Теоретическая зависимость для определения параметров клапана

регулятора расхода, подтверждающая рациональный расход и напор дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».

2. Аналитическая зависимость для установления уровня распределения слоя осадков рассекателя дождевального аппарата.

Новизна технического решения подтверждена патентом Российской Федерации №217605.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке зависимостей для обоснования параметров регулятора расхода и рассекателя дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».

Практическая значимость работы заключается в получении обоснованных параметров регулятора расхода и дождевального аппарата с рассекателем ДМ «Кубань-ЛК1» для работы на склоновых участках.

Методология и методы исследования. Проведены теоретические и экспериментальные исследования на основе положений гидравлики, теоретической механики, математики и математической статистики. Экспериментальные исследования проводились с применением существующих государственных стандартов на испытания ДМ и методов оценки сельскохозяйственной техники, а также методик, разработанных на их основе. В ходе экспериментальных исследований применялось сертифицированное, поверенное оборудование и результаты экспериментальных данных обрабатывались с помощью программ PTC MathCAD, Statistica 8 и Microsoft Excel 365.

Положения, выносимые на защиту: теоретически и экспериментально обоснованные параметры регулятора расхода и рассекателя дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1».

Реализация результатов исследования. По результатам теоретических и экспериментальных исследований был усовершенствован узел регулирования подачи и распыла воды ДМ кругового действия. Результаты исследований внедрены в производственную деятельность сельскохозяйственного предприятия АО «Озеры», расположенного в Коломенском районе Московской области.

Степень достоверности результатов исследований. При проведении экспериментальных исследований использовались современные методики и измерительные приборы. Выводы подтверждаются сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований (расхождение не превысило

3% при достоверной вероятности 95%). Основные положения диссертации прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит, в определении цели и задач исследований, в составлении программы и проведении теоретических и экспериментальных исследований, с последующей обработкой полученных результатов исследования по усовершенствованию узла регулирования подачи и распыла воды ДМ кругового действия, подготовке публикационных материалов к печати и их апробации на научно-исследовательских конференциях.

Апробация работы. Результаты работы были рассмотрены на конференциях:

1. I Национальная научно-практическая конференция с международным участием, посвящённая памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии» (г. Рязань, 12 - 13 ноября 2019 г., ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева).

2. Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007) «Инженерные решения для АПК» (г. Рязань, 16 ноября 2022 года, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 24 работах, из них 2 статьи в журналах рецензируемых ВАК и 1 патент на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 12,89 печ. л., из которых 7,65 печ. л. принадлежат лично автору.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 139 наименований, приложений, изложена на 129 страницах, включает 58 рисунков и 7 таблиц.

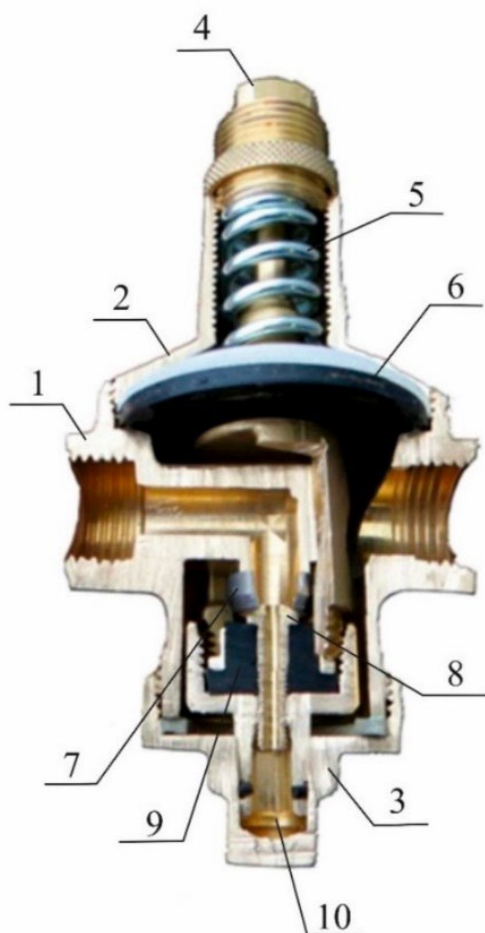
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «Введении» сформулированы основные положения, вынесенные на защиту, обоснована актуальность, определены цели и поставлены задачи, отмечена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» проведен анализ состояния исследуемой проблемы. Из анализа работ Рязанцева А.И., Ольгаренко Г.В., Салдаева А.М., Цымбаленко С.В., Гаврилицы А.А. и ряда

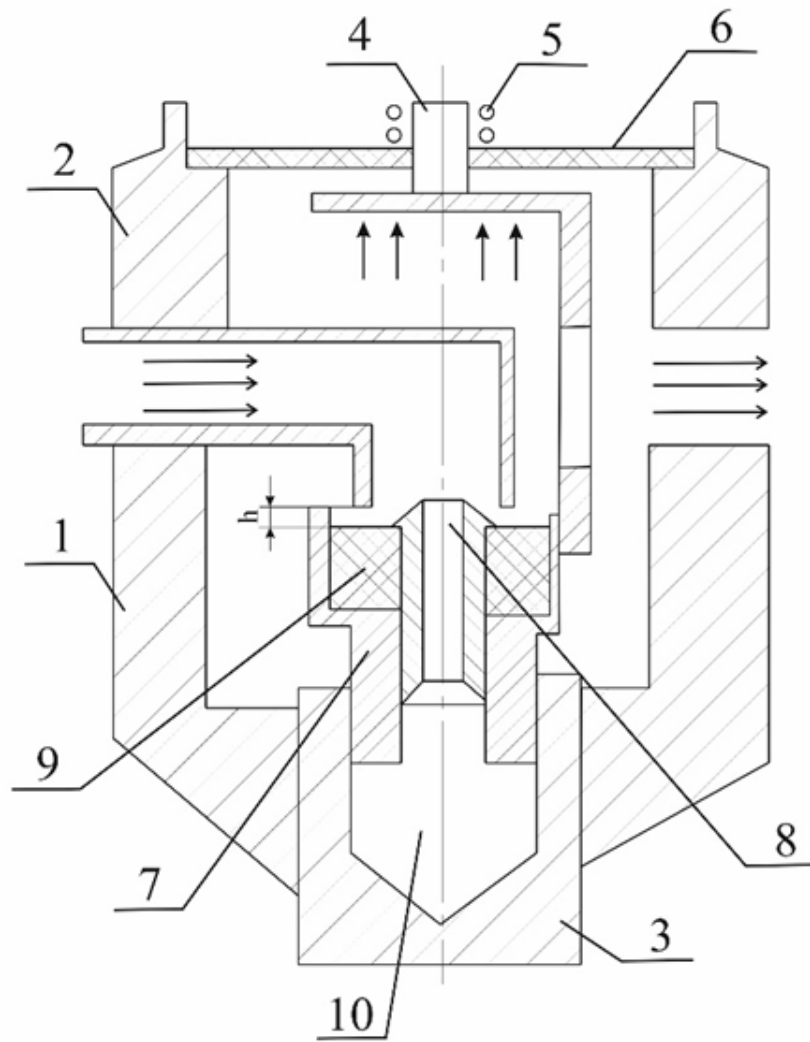
других авторов следует вывод о том, что для повышения равномерности полива необходимо уменьшение интенсивности подачи воды посредством оснащения дождевальных аппаратов регулирующими устройствами их расходно-напорных характеристик и распыла струи. Выявлено, что наиболее рациональными для регулирования расходно-напорных характеристик и распыла струи дождевальных аппаратов ДМ могут быть усовершенствованные регулятор расхода мембранного типа и рассекатель стержневого типа дождевального аппарата.

Во второй главе «Теоретические исследования регулятора расхода и рассекателя дождевального аппарата дождевальной машины» рассмотрены вопросы повышения равномерности полива ДМ «Кубань-ЛК1». Снижение интенсивности дождя с 0,4 до 0,2 мм/мин можно обеспечить установкой регуляторов расхода мембранного типа (рисунок 1). Для совершенствования ДМ выбран регулятор расхода марки Valtec VT.085. Разработана усовершенствованная модель регулятора (рисунок 1).



а

а – общий вид регулятора расхода



б

б – схема регулирующего устройства;

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – пробка; 4 – настроечная втулка; 5 – пружина; 6 – мембрана, 7 – распределительное кольцо; 8 – винт золотника с каналом; 9 – золотниковая прокладка; 10 – демпферная камера

Рисунок 1 – Общий вид и схема регулятора расхода дождевальными аппаратами

Для снижения скорости и повышения равномерности распределения необходимой поливной нормы, уточнена площадь проходного сечения седла клапана. Определена скорость движения седла клапана во входном патрубке, которая не превышает $V = 15$ м/с. Площадь сечения патрубка $S_{кр.}$ перед клапаном

должна быть больше критической $S_{кр.} = \frac{Q}{V}$ где: Q – норма расхода через регулятор, л/с., V – скорость движения жидкости, м/с, при этом диаметр выходного отверстия определяется по зависимости (1):

$$d = \sqrt{\frac{S_{кр.} \times 4}{\pi}}, \quad (1)$$

где: d – диаметр выходного отверстия регулятора расхода, м;

$S_{кр.}$ – критическая площадь сечения патрубка, м².

Таким образом, для заданных условий работы регулятора расхода, получен диаметр выходного отверстия 11,8 мм.

Представленный регулятор расхода является устройством мембранного типа. Для оценки точности его работы составим уравнение движения мембраны с клапаном, обеспечивающее закономерности его работы.

$$m_k \ddot{x} = (p_1 - p_a) \times S_n - (p_2 - p_a) \times S_{мемб.} + kx - ax - F_{мп.}, \quad (2)$$

где: p_a – атмосферное давление, МПа; p_1 и p_2 – давление на входе и выходе из регулятора, МПа; S_n – площадь сечения, м²; k – коэффициент жесткости пружины Н/м; x – перемещение клапана, м; a – коэффициент сопротивления жидкости, Па*с; $F_{мп.}$ – сила трения клапана, Н, m_k – масса клапана, кг.

После интегрирования выражения (2), с учетом постоянных показателей интегрирования, оно примет вид:

$$x = \left(-\frac{(p_1 - p_a) \times S_n - (p_2 - p_a) \times S_{мемб.} - F_{мп.}}{\beta \times \delta \times m_k \times (\delta - \beta)} \times e^{\beta \times t} - \frac{C_2}{\delta - \beta} \times e^{(\delta - \beta)t} + C_1 \right) \times e^{\frac{\alpha - \sqrt{\alpha^2 + 4 \times k \times m_k}}{2 \times m_k} \times t} + \left(-\frac{(p_1 - p_a) \times S_n - (p_2 - p_a) \times S_{мемб.} - F_{мп.}}{\delta \times m_k \times (\delta - \beta)} \times e^{-\beta \times t} + C_2 \right) \times e^{\frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4 \times k \times m_k}}{2 \times m_k} \times t}, \quad (3)$$

где: $S_{мемб.}$ – площадь сечения мембраны, м²; t – время стабилизации процесса регулирования, сек; β , δ , C_1 , C_2 – постоянные интегрирования.

Анализ выражения показал, что точность усовершенствованной модели регулятора расхода с учетом изменения давления на входе, составляет более 95%. По результатам интегрирования построен график стабилизации процесса регулирования давления в единицу времени (рисунок 2).

При этом допустимые отклонения от настроенного давления (точность регулирования) будут зависеть от времени стабилизации переходного процесса.

Установлено, что время стабилизации клапана с мембраной регулятора расхода определяется площадью сечения проходного отверстия и жесткостью пружины клапана регулятора. При увеличении проходного сечения регулятора

необходимо увеличить жесткость его пружины. Жёсткость пружины z_{np} (Н/м) рассчитана по выражению (4):

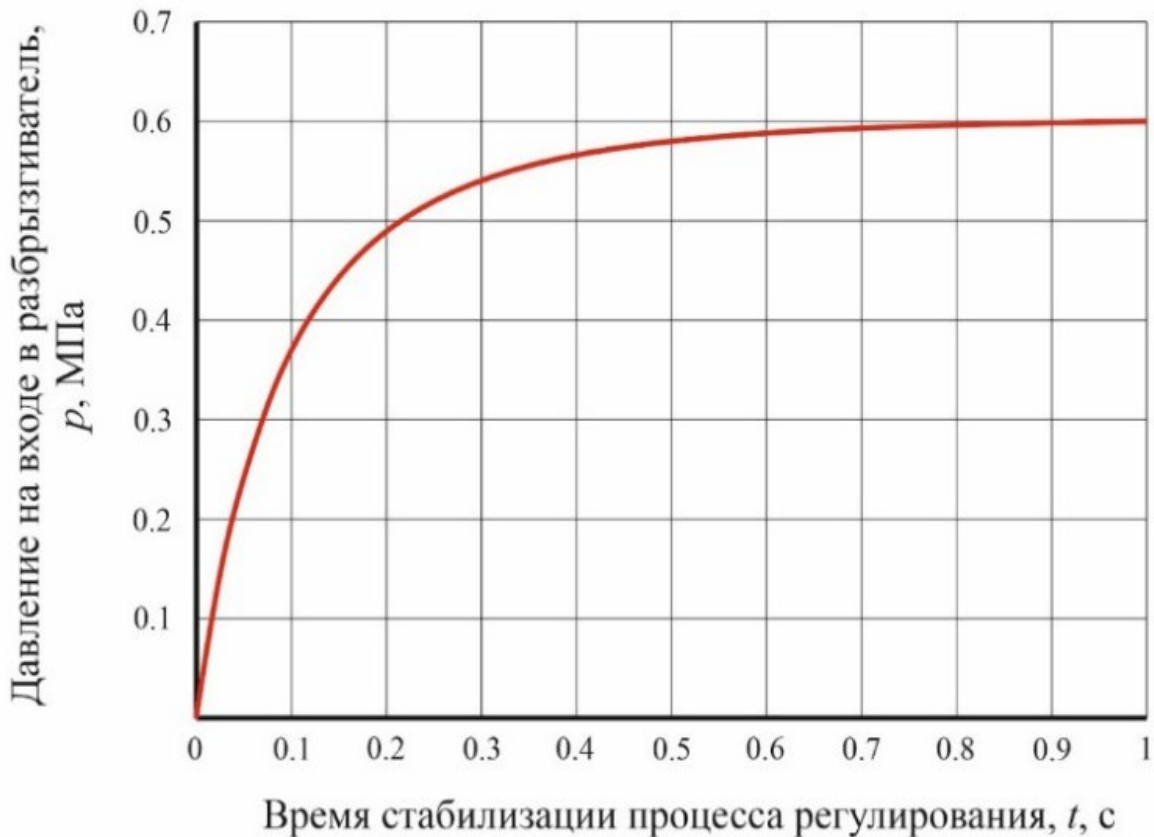


Рисунок 2 – График стабилизации переходного процесса в модернизированном регулирующем устройстве

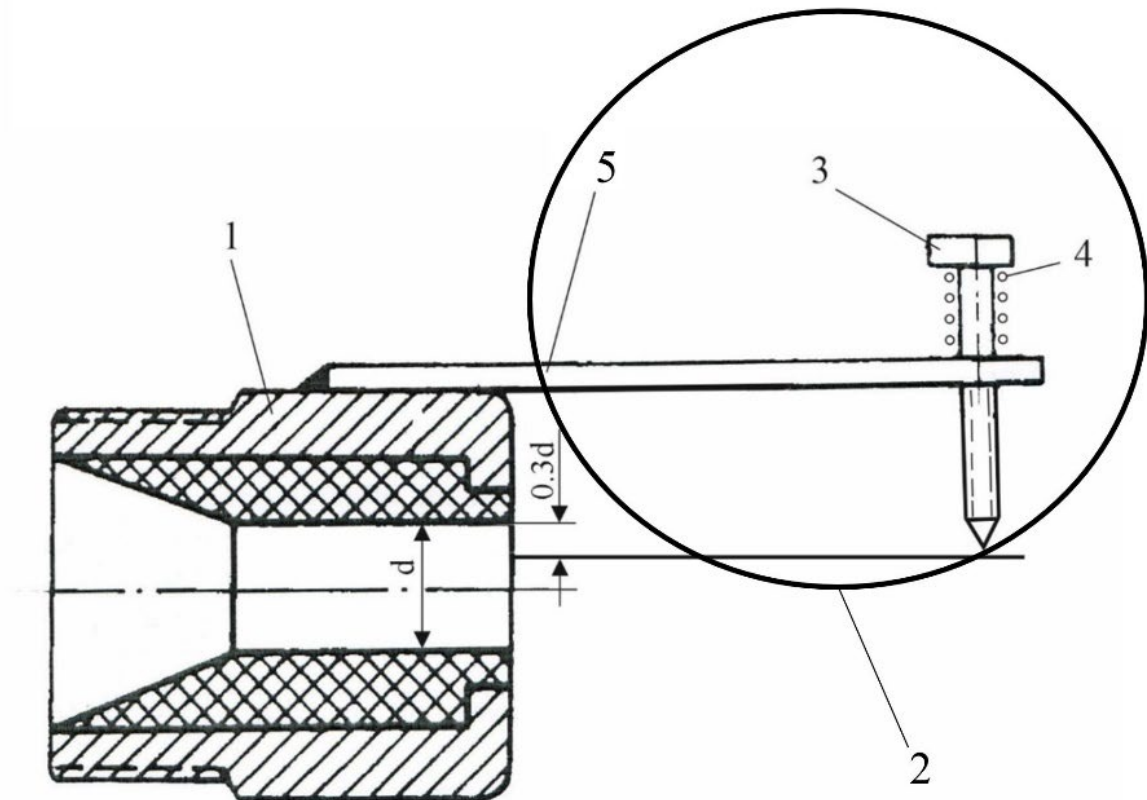
$$z_{np} = \frac{\pi}{4 \times \Delta x} \times (p_{вых.} \times d^2 - p_{вх.} \times (d^2 - d_{шт.}^2)), \quad (4)$$

где: d – диаметр выходного отверстия регулятора расхода, м; Δx – коэффициент упругости, Н/м; $d_{шт.}$ – диаметр штока регулятора, м; $p_{вх.}$ – давление на входе в регулятор, МПа; $p_{вых.}$ – давление на выходе из регулятора, МПа;

Жесткость пружины, при которой получено наименьшее время стабилизации хода клапана при проходном сечении регулятора расхода 11,8 мм, составляет 1,48 Н/мм.

Для снижения интенсивности дождя на сопло дождевального аппарата устанавливали рассекатель стержневого типа (рисунок 3). По агротехническим требованиям, при работе ДМ на склоновых участках интенсивность дождя не должна превышать 0,2 мм/мин. Рассекатель стержневого типа обеспечивает

увеличение эффективной площади полива за счет внедрения винта в струю дождевального аппарата на 0,3 диаметра сопла.



1 – сопло; 2 – рассекатель стержневого типа; 3 – винт рассекателя; 4 – пружина рассекателя; 5 – планка рассекателя

Рисунок 3 – Сопло дождевального аппарата с рассекателем

Определена площадь полива дождевальным аппаратом без рассекателя стержневого типа и с ним (рисунок 4):

- площадь полива без рассекателя (фигура 1):

$$S = S_{\Delta 1} + S_{D1} = \frac{a_1 \times b_1}{2} + \frac{\pi \times b_1^2}{8}, \quad (5)$$

где: $S_{\Delta 1}$ – площадь треугольника фигуры 1, м²;

S_{D1} – площадь сектора фигуры 1, м²;

a_1 – длина захвата дождевального аппарата без рассекателя, м;

b_1 – ширина захвата дождевального аппарата без рассекателя, м;

- площадь полива с рассекателя (фигура 2):

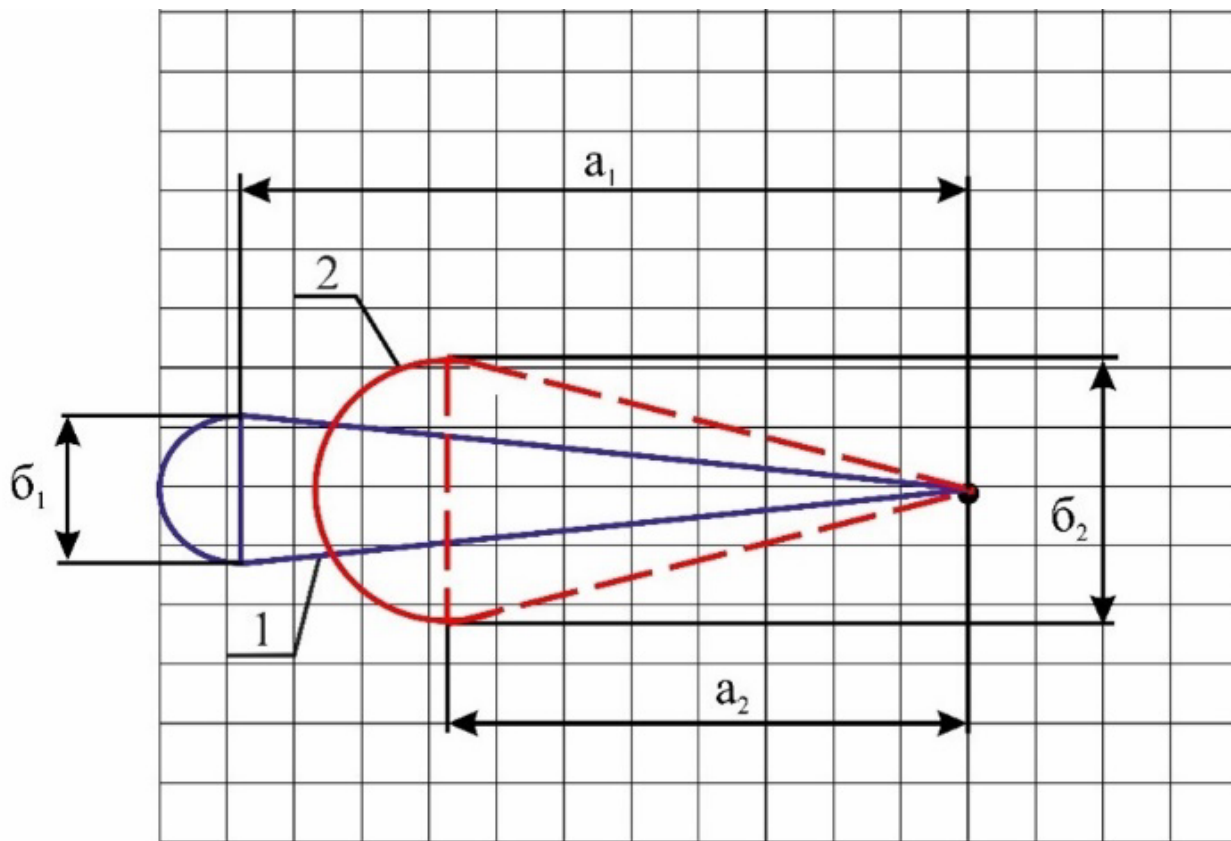
$$S_p = S_{\Delta 2} + S_{D2} = \frac{a_2 \times b_2}{2} + \frac{\pi \times b_2^2}{8}, \quad (6)$$

где: $S_{\Delta 2}$ – площадь треугольника фигуры 2, м²;

S_{D2} – площадь сектора фигуры 2, м²;

a_2 – длина захвата дождевального аппарата с рассекателем, м;

b_2 – ширина захвата дождевального аппарата с рассекателем, м;



1 – площадь распыла без рассекателя; 2 – площадь смещения факела
дождя

Рисунок 4 – Площадь обработки дождевальным аппаратом

Установлен коэффициент увеличения мгновенной площади распыла струи как отношение площадей обработки с рассекателем и без:

$$K_2 = \frac{S_p}{S} = \frac{a_2 \times b_2 + \frac{\pi \times b_2^2}{4}}{a_1 \times b_1 + \frac{\pi \times b_1^2}{4}}, \quad (7)$$

С учетом коэффициента K_2 определена мгновенная интенсивность полива дождевального аппарата (8):

$$\rho_m = \frac{120 \times Q \times r}{K_1 \times K_2 \times b \times R^2}, \quad (8)$$

где: r – расстояние от центра вращения разбрызгивателя, м; Q – расход дождевального аппарата, л/с; b – ширина полосы, покрываемой аппаратом на расстоянии от центра вращения, м; K_1 – коэффициент уменьшения мгновенной интенсивности дождя, $K_1=11$; K_2 – коэффициент увеличения мгновенной площади распыла струи рассекателем; R – радиус действия дождевального аппарата, м.

В третьей главе «Программа и методика исследований» описана программа и методика экспериментальных исследований. В соответствии с планом работы были проведены исследования по оценке качества полива. Регулирование расхода воды осуществлялось усовершенствованными устройствами расходно-напорных характеристик и распыла струи дождевальных аппаратов.

При проведении лабораторных экспериментов исследовались параметры усовершенствованного регулятора расхода и дождевального аппарата с рассекателем стержневого типа. Исследования проводились согласно методике СТО АИСТ 11.1-2010.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований регулятора расхода и дождевального аппарата с рассекателем дождевальной машины «Кубань-ЛК1» представлены результаты лабораторных, лабораторно-полевых и производственных исследований.

На основе результатов проведенных исследований регулятора расхода с различными диаметрами выходных отверстий d в зависимости от давления p и расхода воды Q , построена графическая зависимость (рисунок 5), описываемая регрессионным выражением (9):

$$Q = -0,3667 + 0,1 \times p_{ex} - 3,3333 \times d + 8,6233 \times 10^{-13} \times p_{ex}^2 + 0,5 \times p_{ex} \times d - 6,6058 \times 10^{-12} \times d^2 \quad (9)$$

Анализ уравнения регрессии показал, что наиболее значимым фактором, определяющим расход жидкости, является диаметр проходного сечения седла клапана.

В соответствии с планом работы, проведены экспериментальные исследования по оценке влияния параметров дождевального аппарата с рассекателем на интенсивность дождя. На основе опытных данных построен график зависимости влияния глубины внедрения винта рассекателя в струю и диаметра сопла на интенсивность подачи воды (ρ) (рисунок 6), описываемый

регрессионным выражением (10), при различных показателях диаметра сопла (d_c) и величины внедрения винта рассекателя в струю (x):

$$\rho = 1,293 - 0,3521 \times d_c - 1,6521 \times x + 0,034 \times d_c^2 - 0,18 \times d_c \times x + 7,4136 \times x^2 \quad (10)$$

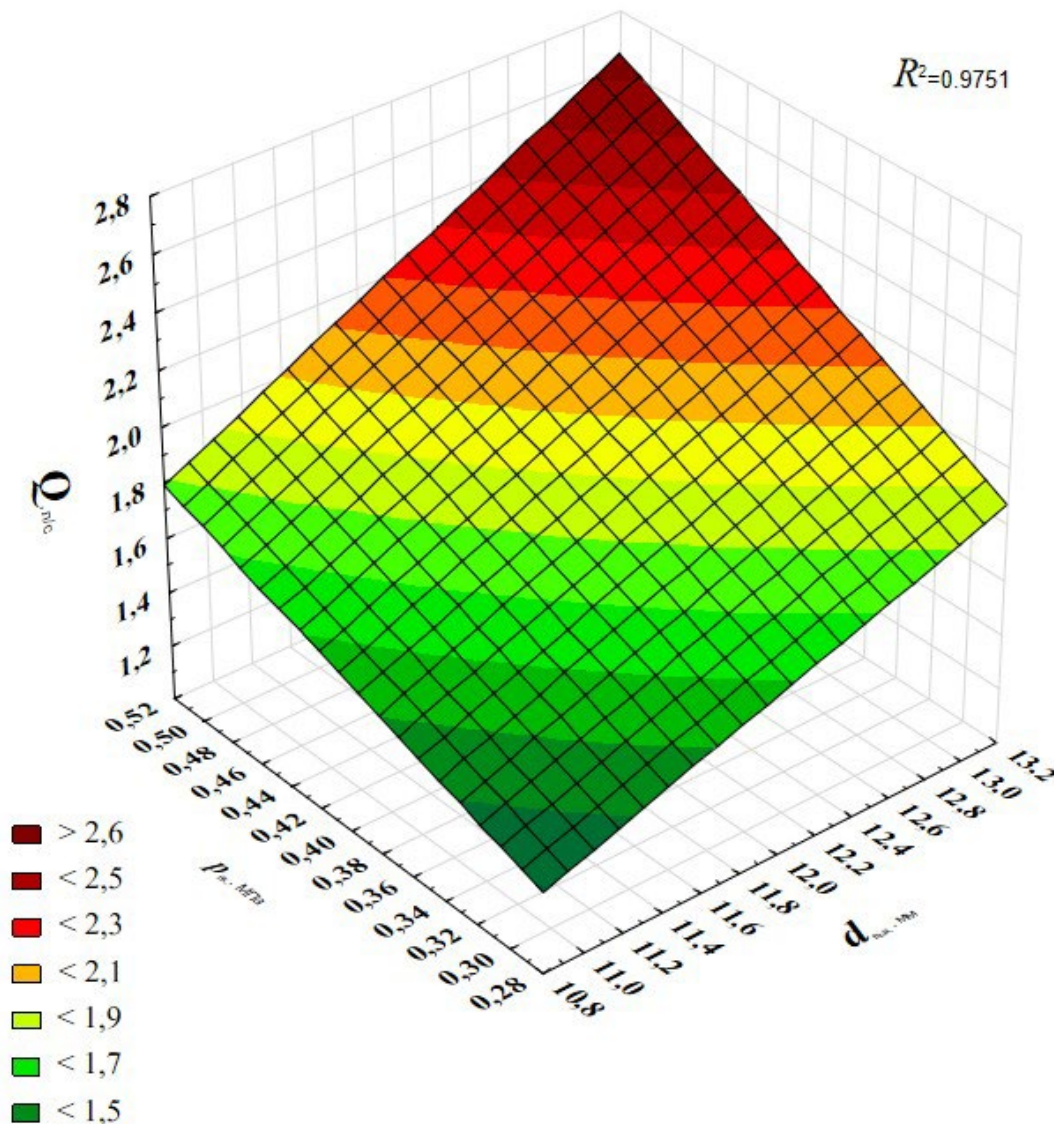


Рисунок 5 – График зависимости величины проходного сечения регулятора давления и напора перед его входом на расход воды

Экспериментальными исследованиями дождевального аппарата с рассекателем установлено, что применение рассекателя позволяет увеличить мгновенную площадь орошения в 1,5 раза, за счет установки винта рассекателя на глубину 0,3 диаметра сопла, при диаметре сопла 5,6 мм глубина установки винта рассекателя М6 с конусной частью под углом 45° составляла 1,68 мм.

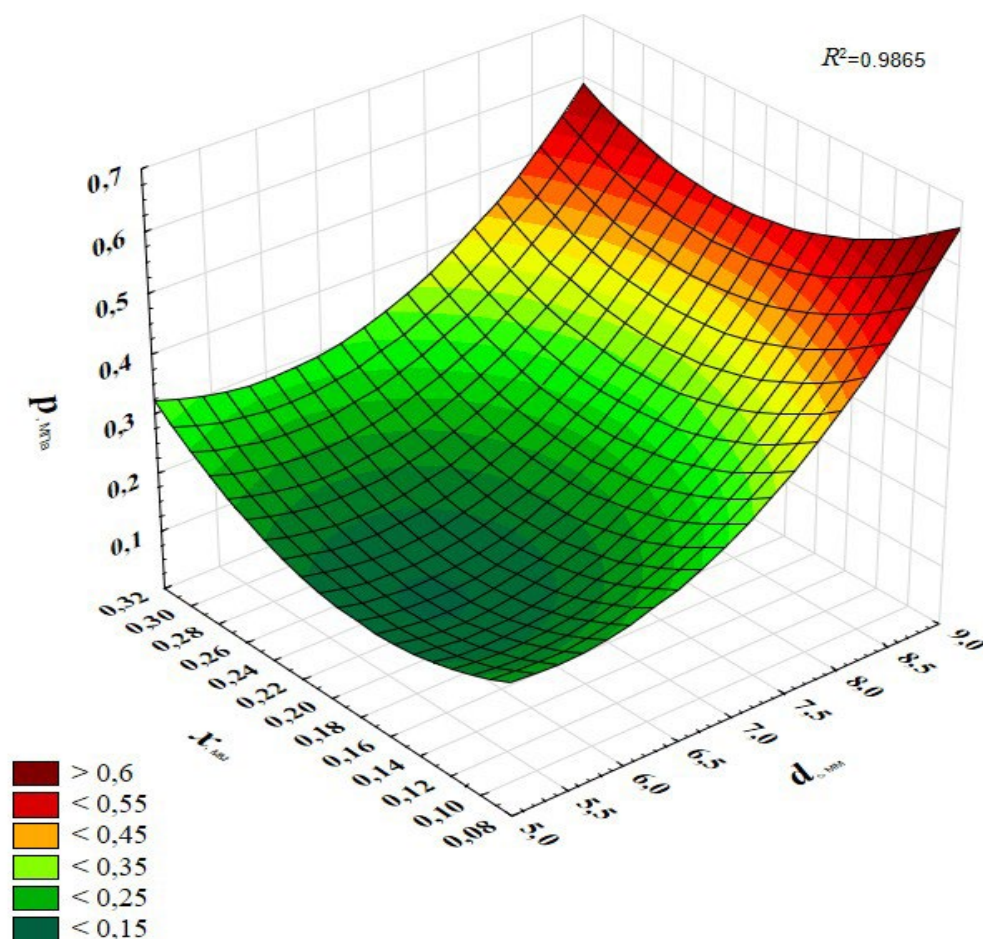


Рисунок 6 – График зависимости влияния глубины внедрения винта рассекателя в струю и диаметра сопла на интенсивность подачи жидкости

В пятой главе «Экономическая оценка эффективности внедрения усовершенствованной ДМ «Кубань-ЛК1», определен годовой экономический эффект от внедрения усовершенствованного дождевального аппарата ДМ «Кубань-ЛК1», оборудованного регуляторами расхода и стержневыми рассекателями дождевальных аппаратов, который составляет 2303221 руб., со сроком окупаемости капитальных вложений прибылью 0,024 года или 1 сельскохозяйственный сезон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретическими исследованиями установлено, что время стабилизации клапана с мембраной регулятора расхода определяется площадью сечения проходного отверстия и жесткостью пружины клапана регулятора. Наименьшее время стабилизации хода клапана (время регулирования давления) при сохранении необходимого расхода получено при диаметре проходного сечения 11,8 мм и жесткости пружины 1,48 Н/мм.

2. Теоретическими исследованиями дождевального аппарата с рассекателем установлено, что применение рассекателя позволяет увеличить мгновенную площадь орошения в 1,5 раза, за счет установки винта рассекателя на глубину $0,3d$ сопла, на диаметре сопла 5,6 мм глубина установки винта рассекателя М6 с конусной частью под углом 45° составляла 1,68 мм. Применение дождевального аппарата с рассекателем на ДМ «Кубань-ЛК1» позволит обеспечить среднюю интенсивность подачи воды $\rho = 0,20$ мм/мин.

3. Экспериментальными исследованиями установлено, что для обеспечения расхода воды усовершенствованным регулятором 1,6 – 1,7 л/с диаметр проходного сечения регулятора расхода составляет 12 мм при обеспечении необходимого и постоянного давления после себя в пределах 0,29 – 0,31 МПа. Установлено, что для обеспечения интенсивности подачи 0,2 мм/мин, дождевальный аппарат с рассекателем стержневого типа должен иметь следующие рациональные параметры: отверстие диаметром 5,6 мм и глубину установки в сопло винта рассекателя М6 с конусной частью под углом 45° – 1,68 мм (0,3 диаметра сопла).

4. При внедрении ДМ «Кубань-ЛК1», оборудованной регуляторами расхода и дождевальными аппаратами с рассекателем в районе концевой и консольной части, получен экономический эффект 2303221 руб.

Рекомендации производству

Для ликвидации поверхностного стока и повышения эффективности полива ДМ кругового действия необходимо использовать устройства для регулирования давления и дождевальных аппаратов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Для совершенствования ДМ кругового действия необходимо разработать дашборд параметров полива.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ:

1. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, М. Ю. Костенко, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев [и др.] // Вестник Рязанского

государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 107-113.

2. Обоснование регулирования расходно-напорных характеристик дождевальных машин работающих в движении по кругу / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Наука в центральной России. – 2022. – № 5(59). – С. 69-76.

Патенты:

3. Патент на полезную модель № 217605 U1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Стержневой рассекатель струи дождевального аппарата : № 2022131487 : заявл. 01.12.2022 : опубл. 07.04.2023 / А. И. Рязанцев, Г. К. Рембалович, Е. Ю. Евсеев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1612 подписано в печать 25.07.2024 г.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А. Костычева»*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических
пособий ФГБОУ ВО РГАТУ*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1