

На правах рукописи



СМИРНОВ АЛЕКСЕЙ ИГОРЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «КУБАНЬ-ЛК1»**

Специальность: 05.20.01 – «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» (по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 2022

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

Колганов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», и.о. заведующего кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ)

Защита диссертации состоится «19» апреля 2022 года в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 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 « » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Юхин И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Дождевальная машина (ДМ) кругового действия «Кубань-ЛК1» по своим характеристикам соответствует показателям мирового уровня, и получила широкое распространение в различных регионах нашей страны. Однако имеется ряд особенностей, затрудняющих её применение относительно других типов дождевальной техники. Значительная масса конструкции вызывает необходимость оснащения тележек ДМ энергоёмкими и широкопрофильными пневмошинами, которые при многократных её проходах не исключают образования глубокой и широкой колеи. Это негативно сказывается на условиях работы уборочных и транспортных агрегатов на орошаемых полях, а также приводит к увеличению сопротивления качению самой ДМ и повреждаемости сельскохозяйственных культур. Актуальной задачей по устранению отмеченных недостатков при эксплуатации ДМ, является разработка технологических и технических решений, направленных на совершенствование ходовой системы, исходя из уменьшения материальных, энергетических затрат и повышения несущей способности почвы при повторных проходах при заравнивании колеи.

Степень разработанности темы. В разработку и усовершенствование ходовых систем для многоопорных ДМ кругового действия большой вклад внесли ученые: Н.В. Винникова, А.А. Гаврилица, С.Х. Гусейн-заде, Б.М. Лебедев, Д.А. Колганов, Л.В. Кравченко, Н.Ф. Рыжко, А.И. Рязанцев, А.О. Антипов и другие. Проведённые исследования показали, что для снижения энергетических затрат на качение и уменьшения материалоемкости ДМ «Кубань-ЛК1» необходима разработка решений, направленных на повышение опорной проходимости в зоне передвижения её ходовых систем. Отмеченное направление, зачастую, базируется на материалозатратных и энергоёмких предложениях, сложность реализации которых определяет необходимость проведения дальнейших исследований.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФБГОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» (№ гос. рег. ААА-А16-116060910025-5).

Цель исследования – улучшение показателей работы дождевальной машины ДМ «Кубань – ЛК1» обоснованием параметров ходовой системы.

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

1. Анализ условий функционирования многоопорных ДМ кругового действия с учетом режима полива при заравнивании колеи.
2. Теоретическое обоснование параметров ходовой системы многоопорной ДМ кругового действия на основании допредельного значения

несущей способности почвы в колее при повторных проходах.

3. Проведение экспериментальных исследований ходовой системы многоопорной ДМ кругового действия.

4. Оценка экономического эффекта от использования многоопорной ДМ кругового действия, оснащённой усовершенствованной ходовой системой с обоснованными параметрами.

Объект исследования. Процесс деформации почвы ходовой системой ДМ кругового действия, в зависимости от режима полива при заравнивании колеи.

Предмет исследования. Закономерности процесса деформации почвы ходовой системой многоопорной ДМ кругового действия в зависимости от режима полива при заравнивании колеи.

Научную новизну работы составляют:

1. Аналитическая зависимость увеличения несущей способности почвы в зависимости от режима полива многоопорной ДМ кругового действия при повторных проходах.

2. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров ходовых систем многоопорной ДМ кругового действия с учетом допредельной несущей способности почвы в колее.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке подходов к обоснованию параметров ходовой системы многоопорной ДМ кругового действия при заравнивании колеи.

Практическая значимость работы заключается в получении обоснованных параметров ходовой системы ДМ «Кубань – ЛК1», улучшающих показатели её работы.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования заключались в обосновании параметров ходовой системы ДМ «Кубань – ЛК1», исходя из снижения материальных и энергетических затрат. При лабораторных, лабораторно-полевых и производственных испытаниях использовались макетные и экспериментальные образцы усовершенствованной ДМ. При проведении исследований использовались стандартные и частные методики с применением методов планирования эксперимента, экспертных исследований, вероятностно-статистической оценки результатов работы. Экспериментальные исследования проводились на сертифицированном оборудовании, обработка результатов производилась программными средствами математической статистики Statistica 8.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа условий функционирования многоопорных ДМ кругового действия с учетом режима полива при заравнивании колеи.

2. Результаты теоретического обоснования параметров ходовой системы многоопорной ДМ кругового действия на основании допредельного значения

несущей способности почвы в колее при повторных проходах.

3. Результаты экспериментальных исследований ходовой системы многоопорной ДМ кругового действия.

4. Экономическое обоснование использования многоопорной ДМ кругового действия, оснащённой усовершенствованной ходовой системой.

Реализация результатов исследования.

На основании проведённых исследований был изготовлен опытный образец ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» на узкопрофильных шинах, оборудованный устройством для заравнивания колее, прошедший производственные испытания в Московской области ЗАО «Озёры» в 2019-2020 гг.

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 5 % при доверительной 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 постановке задач научных исследований, участии в проведении теоретических исследований, разработке программы и проведении экспериментальных исследований, обработке результатов экспериментов по усовершенствованию ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1», апробации результатов исследования, подготовке публикаций по выполненной работе.

Апробация работы. Результаты работы были рассмотрены на конференциях:

1. Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (г. Рязань, 12-13 ноября 2019 г., ФГБОУ ВО РГАТУ);

2. Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях (г. Тверь, 25 сентября 2020 г, ВНИИМЗ);

3. Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации (г. Рязань, 20 апреля 2021 г., ФГБОУ ВО РГАТУ).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 7 работах, из них 3 статьи в журналах рекомендованных ВАК, статья в издании Web of Science. Общий объём публикаций составляет 2,25 печ. л., из которых 1,92 печ. л. принадлежит лично автору.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, выводов, заключения, списка литературы из 123 наименований, изложена на 158 страницах машинописного текста с приложениями, содержит 63 рисунка, 29 таблиц.

КРАТКОЕ 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» проведён анализ состояния исследуемой проблемы, рассмотрены негативные факторы, вызванные воздействием на почву ДМ «Кубань-ЛК1» существующими ходовыми системами, приведён обзор известных технологических и технических решений по уменьшению колееобразования ходовыми системами многоопорных дождевальными машин.

Из анализа работ Рязанцева А.И., Колганова Д.А., Салдаева А.М., Цымбаленко С.В., Гаврилицы А.А. и ряда других авторов следует вывод о том, что при движении ДМ «Кубань-ЛК1» с различными видами движителей, образуется колея глубиной до 0,30 метра и более. Это вызывает увеличение энергетических затрат на передвижение ДМ, снижение тягово-цепных свойств, образование повышенного поверхностного стока воды в колею, ухудшение условий работы машинных агрегатов на орошаемых площадях. Выявлено, что для уменьшения отрицательного влияния образования колеи, оптимальным является применение дисковых заравнивающих устройств. Установлено, что оценка значений несущей способности засыпанной в колею почвы, с учётом высыхания за время межполивного периода и многократности проходов ДМ, ранее не осуществлялась.

Во второй главе «Теоретическое обоснование совершенствования ходовой системы дождевальной машины «Кубань-ЛК1» отмечается важность снижения материалоемкости и энергоёмкости ходовой системы для повышения эффективности применения дождевальной машины (ДМ).

На рисунке 1 приведен баланс мощности привода дождевальной машины «Кубань-ЛК1» на примере последней тележки, как наиболее скоростной ($V=2,5$ м/мин). Он построен по данным технических характеристик и поисковым исследованиям. Как видно из графика примерно 50% мощности (N_{mp}), кВт, расходуется на внутренние потери ($\eta=0,50$). Учитывая сложные условия колееобразования (глубина до 0,30 и более м), до 30% затрат приходится на передвижение N_f , кВт. Указанные потери связаны с высоким коэффициентом сопротивления качению $f \geq 0,30$. Остающаяся часть мощности, примерно 20%, приходится на преодоление сопротивления резанию почвы при заравнивании колеи (N_p), кВт, на преодоление уклонов (N_i), кВт и буксование (N_δ), кВт.

Снизить энергетические затраты на передвижение тележек ДМ «Кубань-ЛК1» возможно уменьшением силы сопротивления качению P_f , Н (рисунок 1), зависящей от глубины погружения ходовой системы. Для этого следует упрочнить поверхность передвижения, например, за счет заравнивания колеи.

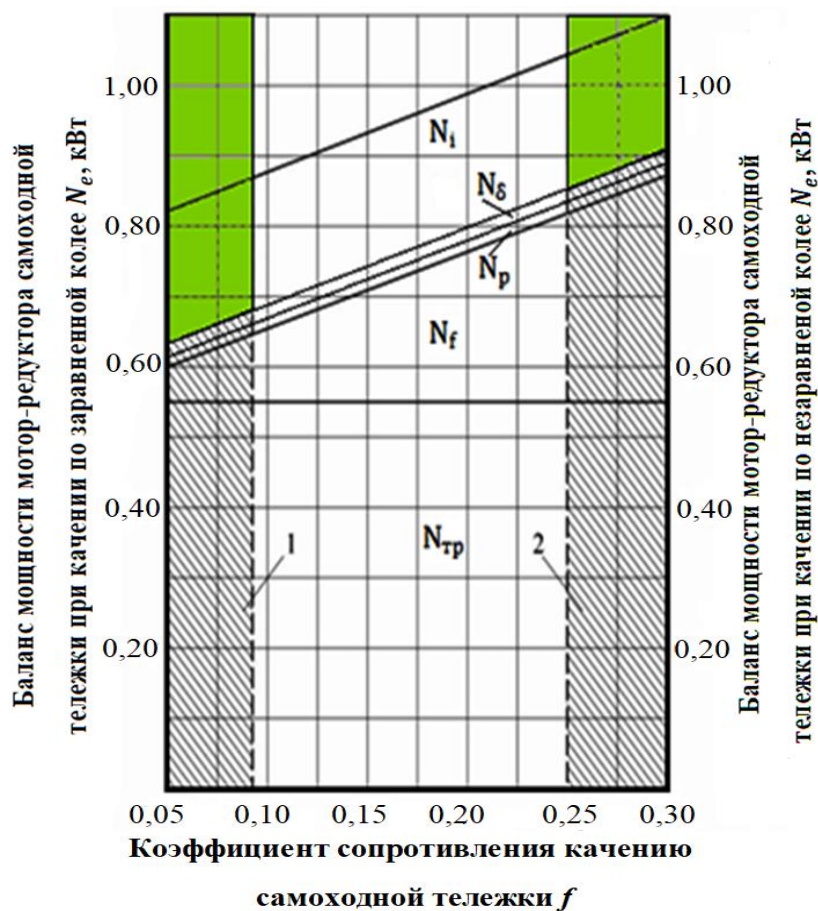


Рисунок 1 - Энергетический баланс мощности электропривода тележки ДМ «Кубань-ЛК1»

Оценку значения несущей способности почвы P_{0nn1} при поливе для ДМ кругового действия, возможно осуществлять по зависимости, предложенной д.т.н., проф. Рязанцевым А.И. (авт. свид. №1706467):

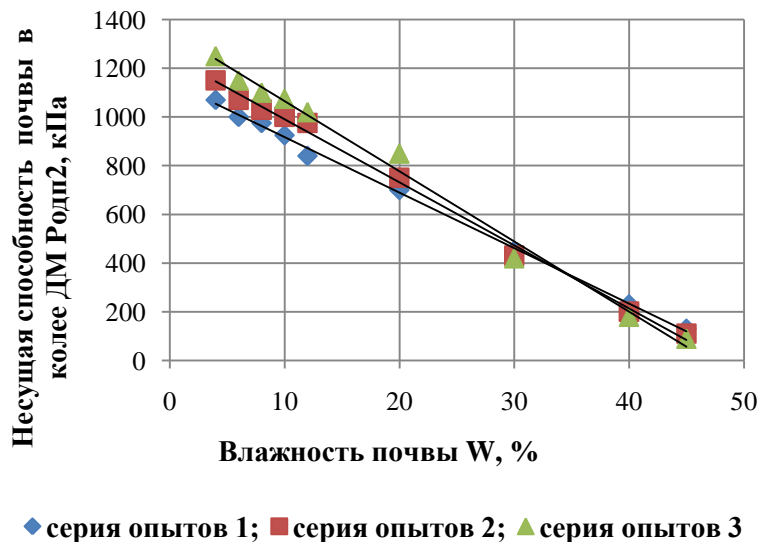
$$P_{0nn1} = [P_{0dn1} - (1,4m_{доcm1}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{cm1}})], \text{ кПа} \quad (1)$$

где: P_{0dn1} — несущая способность почвы до полива, кПа; P_{0nn1} — несущая способность почвы после полива при первом проходе ДМ, кПа; $m_{доcm1}$, m_{cm1} — величины соответственно достоевой нормы полива и стока при проходах ДМ, м³/га.

За межполивной период происходит высыхание засыпанной заравнивающим устройством в колею суглинистой почвы, уменьшается влажность W с 50 % до 10%. Перед началом второго прохода ДМ, по поданным поисковых исследований (рисунок 2), несущая способность почвы P_{0dn2} , кПа, определяется по зависимости (линия серии опытов 2, рисунок 2):

$$P_{0dn2} = aW + b, \text{ кПа} \quad (2)$$

где a , $\frac{\text{кПа}}{\%}$, и b , кПа — эмпирические коэффициенты ($a = -26,3; b = 1261$); W — влажность почвы, %, и увеличивается до значений около 1000 кПа при высыхании.



1,2,3 - повторности опытов

Рисунок 2 - Изменение несущей способности среднесуглинистой почвы в колее ДМ от её абсолютной влажности (ЗАО «Озёры» Московской обл.)

После второго прохода ДМ несущая способность почвы P_{0nn2} , определяется выражением (3):

$$P_{0nn2} = [P_{0dn2} - (1,4m_{досм2}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{см2}})], \text{ кПа} \quad (3)$$

где P_{0dn2} — несущая способность до второго полива, кПа; $m_{досм2}$, $m_{см2}$ — величины, соответственно, досточковой нормы полива и стока при заравнивании колее, при втором проходе ДМ, м³/га. При этом P_{0dn2} , снижается от определённого автором значения 1000 кПа, до величины P_{0nn2} , кПа (линия 3 рисунок 3). Показатели несущих свойств почвы P_{0dn2} , кПа, и P_{0nn2} , кПа растут при увеличении числа проходов ДМ по одной колее, в соответствии с полученной автором зависимостью (4):

$$P_{0nn2} = [P_{0dn2} - (1,4m_{досм2}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{см2}})]\gamma^N, \text{ кПа} \quad (4)$$

где N — количество проходов ДМ; γ — коэффициент интенсивности упрочнения почвы (по данным исследований А.В. Русанова, $\gamma=1,09 - 1,11$).

На графике (рисунок 3), в качестве примера, приведены вычисленные с учётом выражений (1, 2, 3, 4) изменения значения несущей способности в процессе полива ДМ «Кубань-ЛК1», при заполнении колее. Высыхание почвы в колее перед очередным поливом увеличивает несущую способность опорной поверхности передвижения.

На основании условия проходимости:

$$q \leq P_0, \text{ кПа} \quad (5)$$

где q — удельное давление на почву ходовой системы ДМ, кПа, возможно его увеличение из соотношения $\frac{P_{0nn2}}{P_{0nn1}} = k_g$, где k_g — коэффициент интенсивности высыхания почвы. Значение коэффициента было определено экспериментально

и составляет ($k_g = 3,6 - 3,9$), (линия 5, против линии 6). С учетом выше изложенного, при заравнивании колеи ДМ, начиная со второго прохода, получены следующие выражения для практической оценки несущей способности почвы:

$$P_{0nn} = k_g [P_{0dn1} - (1,4m_{досч1}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{см1}})] \gamma^N, \text{кПа} \quad (6)$$

и для допустимого удельного давления на неё ходовой системы:

$$q \leq k_g [q_{dn} - (1,4m_{дост1}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{ст1}})], \text{кПа} \quad (7)$$

где q_{dn} - удельное давление ходовой системы ДМ на почву до полива, кПа.

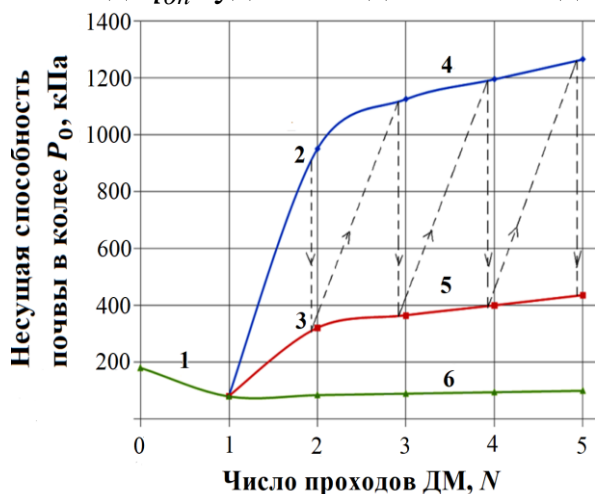


Рисунок 3 - Изменение несущей способности почвы в следе колеи тележки ДМ, в зависимости от числа её проходов



1-тележка ходовой системы; 2-колёсный движитель; 3-заравниватель колеи

Рисунок 4 - Общий вид тележки ДМ «Кубань-ЛК1» с заравнивающим устройством

Анализ полученных выражений (6, 7) позволяет сделать вывод о том, что за счёт повышения несущей способности почвы возможно уменьшение ширины профиля колёсных движителей ДМ.

Для обеспечения равномерного и качественного заполнения колеи в следе от ДМ, рассмотрено применение разработанного ранее для серийной ходовой системы ДМ «Кубань – ЛК1», дискового заравнивающего устройства (рисунок 4) с уточнением ранее обоснованных параметров. Его применение способствует уменьшению ширины профиля колёсных движителей и исключению образования выпуклостей и разъемов по ширине и глубине колеи. Для заполнения колеи необходимо равенство объемов срезаемой и перемещаемой в колею почвы (рисунок 5). Таким образом, из равенства половины площади поперечного сечения колеи $S_1 = \frac{HB_k}{2}$, m^2 , (зона 3 рисунок 5), и проекции площади сегмента при взаимодействии дискового рабочего органа с почвой S_{AFCD} , m^2 , (зона 6 рисунок 5) в плоскости, перпендикулярной к направлению движения рабочего органа получаем:

$$S_{AFCD} \sin \alpha = \frac{R^2}{2}(2\beta - \sin(2\beta)) \sin \alpha = \frac{HB_k}{2} \quad (8)$$

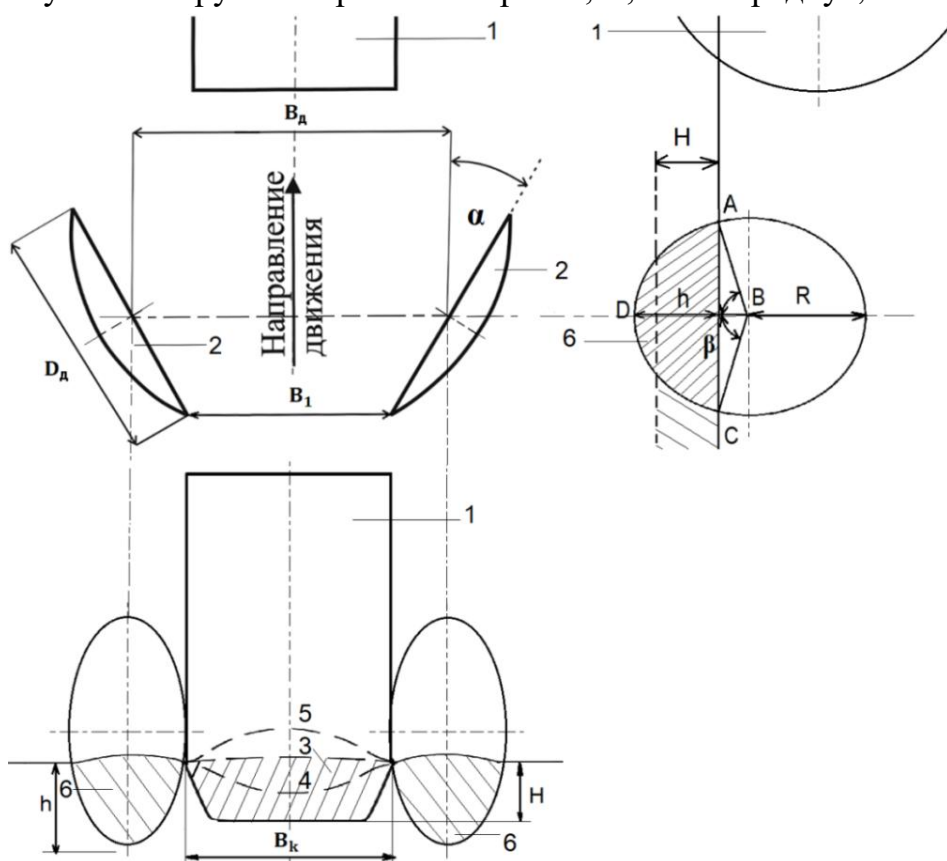
где α – угол атаки дисков, град; H – глубина колеи, м; B_k – ширина, м.

Для оптимального значения угла атаки α при заполнении колеи получим выражение:

$$\alpha = \arcsin \frac{HB_k}{(2\beta - \sin(2\beta))R^2}, \text{ град} \quad (9)$$

Из рисунка 5 следует: $\beta = \arcsin \frac{R-h}{R} = \arcsin(1 - \frac{h}{R})$, град, (10)

где h – глубина погружения рабочего органа, м; R – его радиус, м.



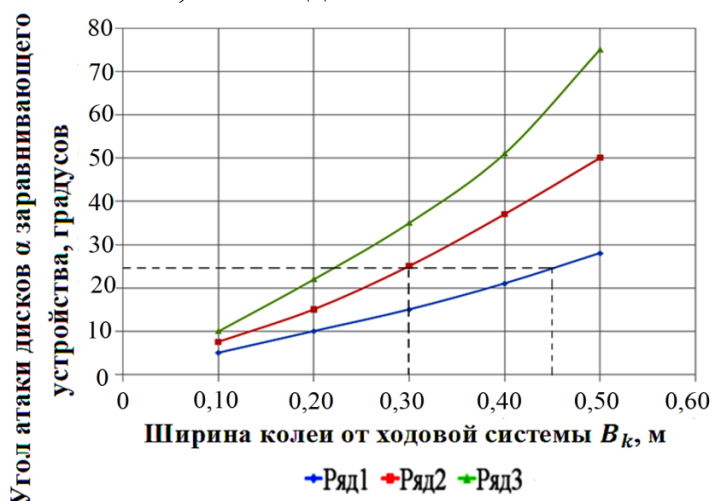
1-колёсный движитель ходовой системы ДМ; 2-дисковые рабочие органы выравнивающего устройства (D_d -диаметр рабочих органов, B_1 -минимальное расстояние между режущими почву кромками, B_d - расстояние между дисками); 3-объём заполняемой колеи (H -глубина колеи, B_k -её ширина); 4,5-образование разъёма и выпуклости соответственно; 6-сегмент взаимодействия рабочих органов выравнивающего устройства с почвой (h -глубина погружения дисков)

Рисунок 5-Схема взаимодействия с почвой дисковых рабочих органов выравнивающего устройства

При определении величины угла атаки α , град, обеспечивающем наилучшее выравнивание колеи, необходимо приведённое выше выражение (10) подставить в формулу (9), при этом получим следующую зависимость:

$$\alpha = \arcsin \frac{HB_k}{((2 \arcsin(1 - \frac{h}{R}) - \sin(2 \arcsin(1 - \frac{h}{R})))R^2)}, \text{ град} \quad (11)$$

Для допустимой глубины погружения рабочего органа $h = 0,10$ м, $R = 225$ мм, $B_k = 300$ мм, $H = 0,075$ м (глубина колеи после первого прохода опытной ходовой системы на пневмошинах 11.2R44), величина угла атаки составляет $\alpha = 25,67^\circ$. На рисунке 6, представлены значения угла атаки α рабочих органов выравнивающего устройства, в зависимости от ширины колеи при различных значениях её глубины H (0,05 м, 0,075 м и 0,10 м). Исходя из уменьшенной ширины профиля опытных колёс (11.2R44) при расстоянии между дисками $B_d = 0,45$ м, проведено уточнение обоснованного угла атаки дисков ($\alpha = 23-25^\circ$), с учётом пропуска, без забивания, необходимого объёма почвенного слоя.



1- $H = 0.05$ м, 2- $H = 0.075$ м, 3- $H = 0.10$ м

Рисунок 6 - Зависимость угла атаки дисков α от ширины колеи B_k при различных значениях её начальной глубины H

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» предусматривалось проведение лабораторных, лабораторно - полевых и производственных испытаний.

Исследование и оценка показателей работы средств механизации при дождевании проводились с учетом методических требований СТО АИСТ 11.1 – 2010. «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей».

Моделирование изменения показателей движения ходовой системы дождевальной машины, осуществлялось в лабораторных условиях в почвенном канале (рисунок 7). При передвижении с использованием лебёдки макетных образцов ходовой системы ДМ, проводилась оценка показателей колееобразования и энергетических характеристик. Значения сопротивления качению определялись посредством тензометрирования.

Лабораторно-полевые и производственные исследования проводились в ЗАО «Озеры» в Озёрском районе Московской области, на 10 тележечной ДМ «Кубань-ЛК1» (рисунок 8). Производился полив всходов картофеля. Проводимыми исследованиями предусматривалась оценка параметров колеи и энергетических затрат для различных колёсных движителей.

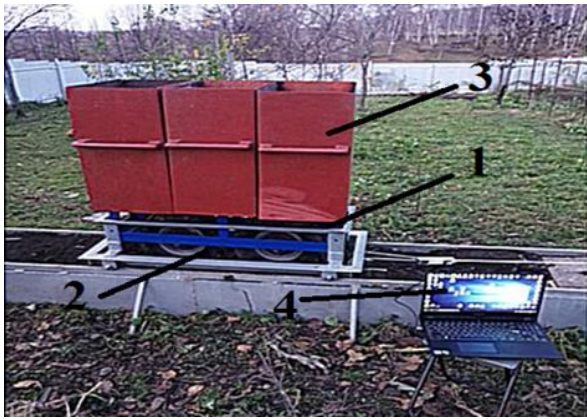


Рисунок 7 - Общий вид лабораторной установки

- 1 - основание, 2 - макетные образцы пневмошин,
- 3 - груз, 4 - измерительный комплекс

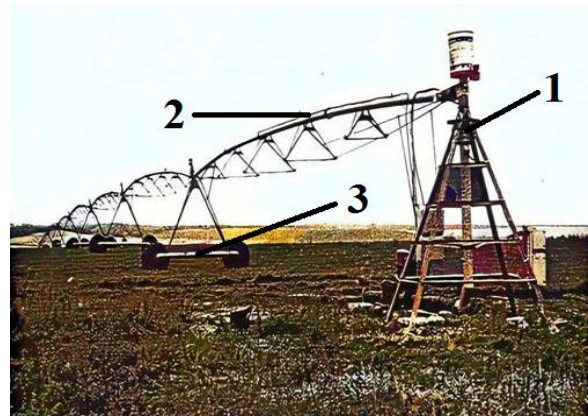


Рисунок 8 - Общий вид ДМ «Кубань-ЛК1»

- 1 - неподвижная опора, 2- трубопровод, 3 - тележка ходовой системы ДМ

Перед проведением исследований ДМ «Кубань-ЛК1» оснащалась серийными пневмошинами 18.4R24 и опытными 11.2R44 на последней тележке, с навеской за соответствующими колесными движителями, заравнивающих устройств (рисунок 9). Для определения интервалов изменения варьируемых величин в ходе проведения активного эксперимента в лабораторно-полевых исследованиях, использовались априорные данные, экспертные оценки, а также данные полученные в ходе проведения лабораторных исследований.



а



б

Рисунок 9—Общий вид тележки ДМ с заравнивающими устройствами
а - ДМ на шинах 18.4R24, б- ДМ на шинах 11.2R44

В четвёртой главе «Результаты экспериментальных исследований усовершенствованной ходовой системы дождевальная машины «Кубань-ЛК1» представлены результаты лабораторных, лабораторно-полевых и производственных исследований.

Основные характеристики ДМ «Кубань-ЛК1» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики ДМ «Кубань–ЛК1» (МДЗК-474-70)

Показатели	Значение
Рабочая длина захвата(радиус полива),м	479,0
Расход воды при общем нулевом уклоне, л/с	70,0
Давление на входе, МПа	0,35-0,40
Орошаемая площадь, га	72,0
Тип ходовой системы	Колёсный движитель на пневмоколёсах 11.2R44 (18.4R24) с заравнивателем колеи
Средняя мощность, потребляемая электродвигателями, кВт	6,0-8,0

Проведённые в соответствии с разработанной программой исследований обработка и анализ результатов, подтвердили необходимую достоверность задачи.

Как следует из результатов (рисунок 10), после межполивного периода при заравнивании колеи несущая способность почвы вследствие её высыхания увеличивается почти в 10 раз и достигает 900-1000 кПа относительно начальных значений 80-100 кПа. При этом после полива нормой $m=500 \text{ м}^3/\text{га}$, показатели опорной проходимости почвы (в заполненной колее) снижаются, из-за напорного водонасыщения от поверхностного стока, до 320-350 кПа (рисунок 10, линия 3).

Несущая способность почвы в колее без заравнивания, не превышает значений 120-150 кПа, что почти в 3 раза меньше, чем при засыпке следа от ходовой системы (рисунок 10, линия 4).

При аппроксимации полученных результатов оценки несущей способности почвы, при поливе в следе колеи от ходовой системы тележки ДМ, начиная со второго прохода, были получены следующие эмпирические зависимости:

при заравнивании колеи ($P_{n.n.z}$):

$$P_{n.n.z} = 3,75 [P_{\text{дн}} - (1,4m^{0,65} + 8 \times 1,01^{m_{cm}})] + K_1 \lg 9,85^{(N-2)}, \text{кПа}; K_1=31,50 \text{ кПа} \quad (12)$$

без заравнивания колеи ($P_{n.n}$):

$$P_{n.n} = [P_{\text{дп}} - (1,4m^{0,65} + 8 \times 1,01^{m_{cm}})] + K_2 \lg 9,85^{(N-2)}, \text{кПа}; K_2=8,20 \text{ кПа} \quad (13)$$

Как видно, показатель увеличения несущих свойств почвы в колее от тележек ДМ (коэффициент высыхания k_e), при ее заравнивании, выше более чем в три раза, что снижает глубину почвенной деформации (рисунок 11).

Глубина колеи для серийной шины 18.4R24, с увеличением числа её проходов уменьшается с 0,05 до 0,03 м, а для узкопрофильной модели 11.2R44 с 0,07 до 0,04 м, против 0,32 м и 0,35 м в соответствии с рисунком 12. Сопротивление качению колес тележки, характеризуемое коэффициентом f , в зависимости от глубины колеи, достигает при пятом проходе ходовой системы, без последовательной засыпки колеи значений 0,32–0,35, против 0,05–0,07

призасыпке (рисунок 10). Сходимость полученных опытных и теоретических данных составляет не менее 0,95.

Изменение показателей энергетических затрат на качение, для различной ширины профиля шин тележек ДМ «Кубань–ЛК1», в зависимости от несущей способности почвы, отражено на графической зависимости (рисунок 14), описываемой уравнением регрессии (14):

$$f = 0,6614 - 0,0004 \cdot B - 0,0035 \cdot P_0 + 2,4291E - 19 \cdot B^2 + 7,4074E - 7 \cdot B \cdot P_0 + 5,1111E - 6 \cdot P_0^2, \quad (14)$$

где f –коэффициент сопротивления качению; P_0 –несущая способность почвы, кПа; B – ширина профиля колеса, м.

Оснащение тележек ДМ шинами, с меньшей шириной профиля 11.2R44 вместо 18.4R44, обуславливает снижение нагрузки на колёсный движитель, в среднем с 32 кН до 31кН.

Это позволяет, как видно из графической зависимости (рисунок 15), для P_f , описываемой регрессионным уравнением (15), уменьшить сопротивление качению тележки на 4-6%.

$$P_f = 1,6478E - 5 - 1,0789E - 8 \cdot G - 1,0463E - 8 \cdot f + 1,9847E - 11G^2 + 11 \cdot G \cdot f + 1,6606E - 12 \cdot f^2, \text{ Н}, \quad (15)$$

где P_f - сопротивление перекатыванию тележки, Н; G - вес тележки, Н;

f –коэффициент сопротивления качению.

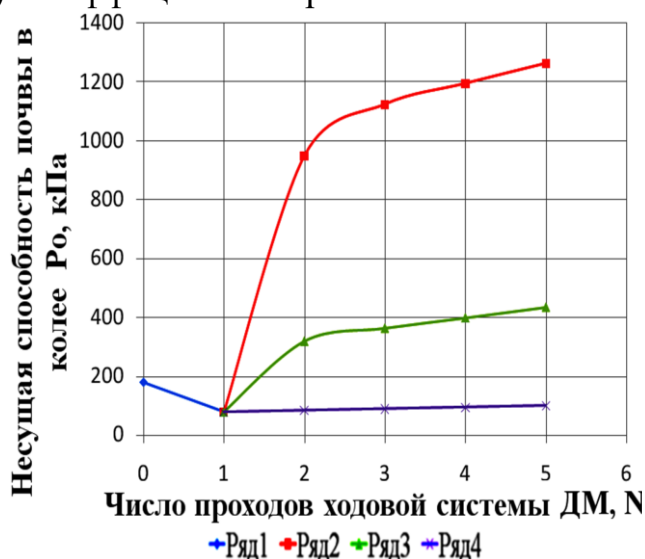


Рисунок 10 - Зависимость несущей способности почвы в зоне движения ходовой системы ДМ "Кубань-ЛК1" от числа её проходов.

1 - при первом проходе; 2 - перед началом соответствующего прохода при заравнивании колее; 3 - после начала соответствующего прохода при заравнивании колее; 4 – после начала соответствующего прохода без заравнивания колее



а



б

Рисунок 11 - Общий вид колее от ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» при ее заравнивании - а, б - в разрезе

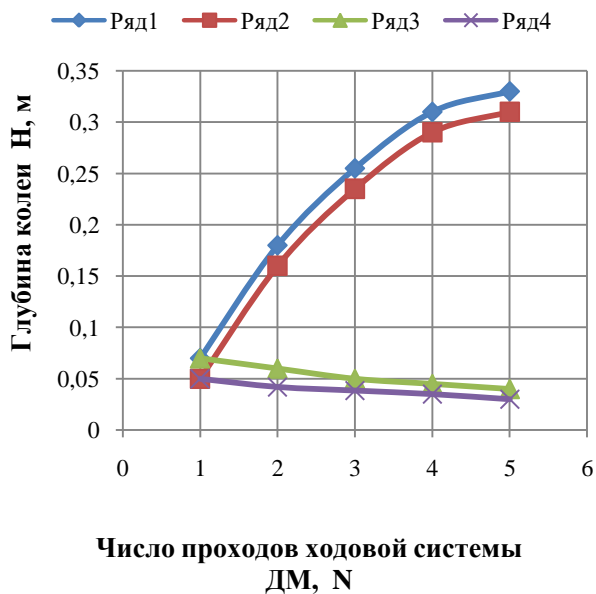


Рисунок 12 - Зависимость глубины колеи ходовой системы ДМ от числа проходов
 1-пневмошина 18.4R24, 2-пневмошина 11.2R44 при $P_0=80$ кПа, 3 –пневмошина 18.4R24, 4-пневмошина 11.2R44 при $P_0=320$ кПа

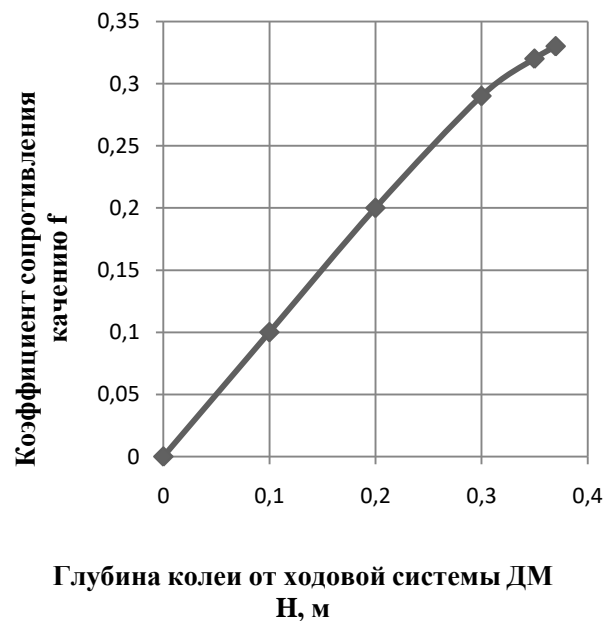


Рисунок 13 -Зависимость коэффициента сопротивления качению ходовой системы ДМ от глубины колеи

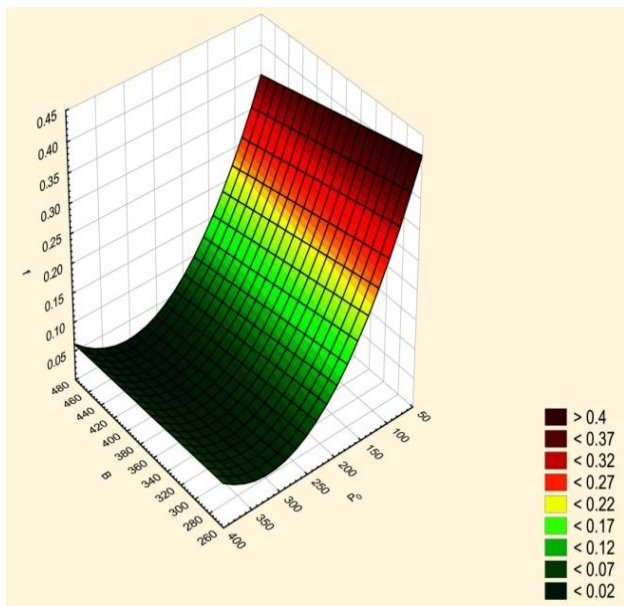


Рисунок 14-Зависимость коэффициента сопротивления качению тележки ДМ «Кубань-ЛК1» от несущей способности почвы и ширины профиля шин (5 проход)

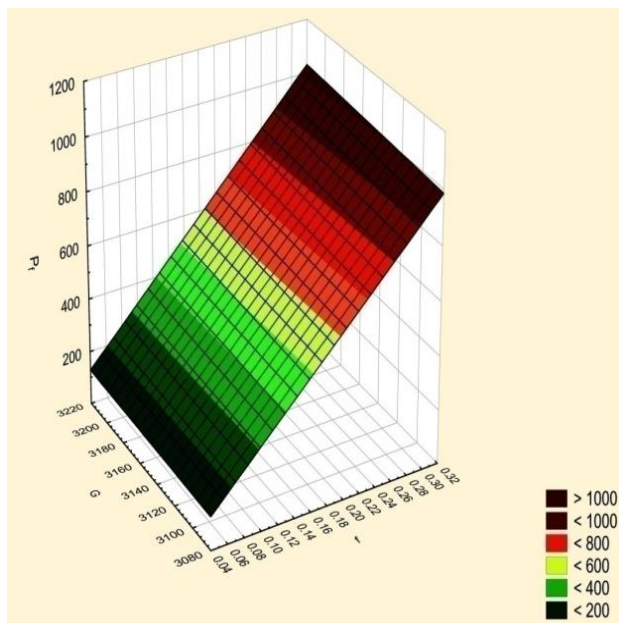


Рисунок 15-Зависимость силы сопротивления движению тележки ДМ «Кубань-ЛК1» от её коэффициента сопротивления качению и массы

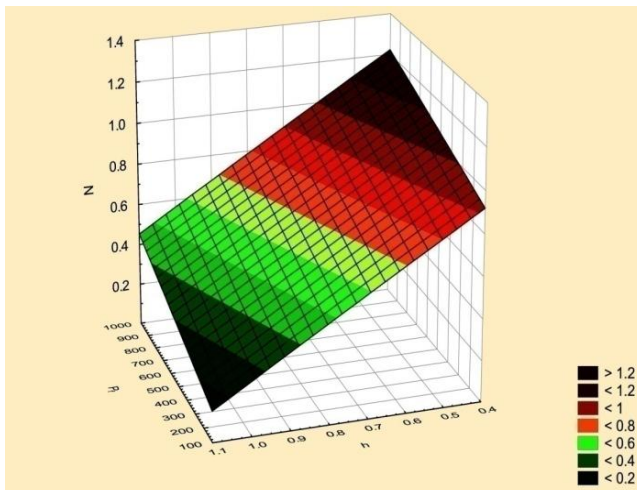


Рисунок 16 - Зависимость мощности электропривода тележки ДМ "Кубань-ЛК1" от сопротивления качению и его КПД

Графическая зависимость (рисунок 16), описываемая уравнением регрессии (16), характеризует снижение мощности, потребляемой на передвижение ДМ «Кубань–ЛК1», в связи с уменьшением сопротивления качению при заравнивании колеи с 10,0 кН до 1,6 кН, что при коэффициенте полезного действия (КПД) электропривода ($\eta=0,50$), составляет 0,26 кВт - (с 1,10 до 0,82 кВт), а для всей машины 2,50–2,70 кВт (с 11 до 8,3-8,5 кВт), или 25-27%.

$$N = 1,3118 + 0,0004 \cdot P_f - 1,06 \cdot \eta - 1,0958E - 8 \cdot P_f^2 - 1,0815E - 17 \cdot P_f \cdot \eta - 0,0267 \cdot \eta^2, \text{ кВт}, \quad (16)$$

где N – мощность энергозатрат на передвижение, кВт; P_f -сопротивление перекачиванию колёс, Н; η - величина КПД.

Определено снижение размера площади, определяющее уменьшение издержек средств от повреждения сельскохозяйственной продукции, на 33% в сравнении с серийным образцом ходовой системы.

В пятой главе «Расчёт экономического эффекта от внедрения ДМ «Кубань–ЛК1» на пневматических шинах 11.2R44 с устройством заравнивания колеи», определён годовой экономический эффект от совершенствования ходовой системы дождевальнй машины, за счёт снижения материальных и энергетических затрат, составивший 842500 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Анализ условий функционирования многоопорных дождевальных машин (ДМ) кругового действия показал, что при заравнивании колеи, норме полива 500 м³/га и продолжительности межполивного периода 7 суток несущая способность почвы при повторных проходах ходовой системы возрастает с 70-80 кПа до 300-320 кПа.

2. При теоретическом обосновании параметров ходовой системы многоопорной ДМ кругового действия на основании предельного значения несущей способности почвы в колее установлено, что с учётом максимальной нагрузки 16 кН на колесо, ходовая система должна быть оснащена пневмошинами с шириной профиля 0,27 м, диаметром 1,6 м, давлением 0,15 МПа.

3. В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что усовершенствованная ходовая система ДМ «Кубань – ЛК1», оснащенная

шинами обоснованного типоразмера 11.2R44, обеспечивает снижение потребляемой мощности в среднем на 26%, площадь повреждения сельскохозяйственных культур уменьшаются с 1,05 га до 0,705 га, что при площади орошения 72 га соответствует снижению с 1,47 % до 0,97%, или на 33% в сравнении с серийным образцом.

4. Годовой экономический эффект от использования ДМ «Кубань – ЛК1» при ее оснащении усовершенствованной ходовой системой с обоснованными параметрами составил 842500 рублей в расчете на одну дождевальную машину при площади орошения 72 га.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Оборудование ходовых систем «Кубань–ЛК1» шинами 11.2R44 с устройствами для заравнивания колеи снижает стоимость колёсных движителей ходовой системы на 40%, материалоемкость на 25%, уменьшает энергетические затраты при орошении в среднем на 26%, а также издержки средств от потерь сельскохозяйственной продукции за счёт повреждаемости растений ходовой системой ДМ на 33%.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В перспективе целесообразно продолжать научные исследования в направлении совершенствования ДМ «Кубань–ЛК1» по снижению её материалоемкости и энергоёмкости.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ:

1. Смирнов А.И. Заравнивание колеи многоопорных дождевальных машин / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Смирнов А.И. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2018. №2 (38). С.116-121.

2. Смирнов А.И. Тяговые характеристики многоопорных дождевальных машин / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И. // Аграрный научный журнал. 2019. №5. С.85-89.

3. Смирнов А.И. Технологические особенности полива и показатели оценки эффективности ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И., Евсеев Е.Ю. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2019. №4 (44). С.110-113.

Статьи в международной базе данных Web of Science:

4. Smirnov A.I. Water conversation while using irrigation devices of multiple supports in the conditions of the Moscow region / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Olgarenko G.V., Smirnov A.I. // Amazonia Investiga. 2019. Т. 8. №18.С. 323-329.

Статьи в других изданиях:

5. Смирнов А.И. Повышение технического уровня ходовых систем широкозахватных дождевальных машин / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Смирнов А.И. // Вестник Государственного социально-гуманитарного университета. 2018. №2(30). С. 69-71.

6. Smirnov A.I. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Running Systems Efficiency (on Example of IM Kuban - LK1) / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Smirnov A.I., Evseev E. Yu., Akhtyamov A.A., Rembalovich G.K. // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). 2019. T.8. №8 S3. C404-406.

7. Смирнов А.И. Особенности оценки несущей способности почвы при поливе дождеванием / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Смирнов А.И. // Вестник Государственного социально-гуманитарного университета. 2019. №3. (35). С. 63-66.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ №1500 подписано в печать 18.02.2022 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*