

На правах рукописи



Лаврентьев Валерий Павлович

**ПАРАМЕТРЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АГРЕГАТА
ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
И УХОДА ЗА ПОСЕВАМИ КУКУРУЗЫ**

Специальность: 4.3.1 – Технологии машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный руководитель:	Труфляк Евгений Владимирович доктор технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Камбулов Сергей Иванович доктор технических наук, доцент ФГБНУ «АНЦ «Донской» структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства (г. Зерноград)
Ведущая организация:	Борисенко Иван Борисович доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, кафедра «Земледелие и агрохимия», главный научный сотрудник (г. Волгоград) ФГБНУ «Росинформагротех» (г. Москва)

Защита состоится «26» апреля 2024 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 на базе ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики, ауд. 110.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ: <https://kubsau.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г., размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ <https://minobrnauki.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ: <https://kubsau.ru/>.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук
Самурганов Евгений Ерманекосович



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Производство зерна кукурузы в России в 2022 году составило 18,85 млн т, что на 4 % больше чем в 2021 году, а общая уборочная площадь – 2,6 млн га. В Краснодарском крае в 2022 году площадь посевов кукурузы на зерно составила 433 тыс. га, а валовый сбор 2,7 млн т, что на 14,5 % больше чем в 2021 году. Площади посевов кукурузы на силос в 2022 году составили 1,6 млн га в России и около 165 тыс. га в Краснодарском крае.

Предпосевная обработка почвы и уход за посевами являются одними из основных технологических операций при возделывании кукурузы. В числе приоритетных направлений научно-технического прогресса при возделывании кукурузы на зерно и зеленый корм является совершенствование механизации производственных процессов, а также разработка и освоение ресурсосберегающих технологий или отдельных их элементов.

В настоящее время ресурсосберегающие технологии возделывания кукурузы связаны с большой номенклатурой технических средств для выполнения сплошной культивации, боронования почвы и посевов, междурядных культиваций. Перспективным направлением в этой области является разработка агрегатов, совмещающих за один проход несколько технологических операций. Это позволяет повысить производительность труда и сократить материальные и финансовые затраты.

Тема исследования является актуальной, так как существующие технические средства возделывания кукурузы нуждаются в их дальнейшем совершенствовании. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ ЕГИСУ НИОКР №4А16-11602410038-8 (2016-2020 гг.), №121032300060-2 (2021-2025 гг.).

Степень разработанности темы. Исследованиями совершенствования почвообрабатывающих и посевных технологий, разработкой технических средств для их осуществления занимались: Г.Г. Маслов, Е.И. Трубилин, С.И. Камбулов, И.Б. Борисенко, А.С. Кузнецов, В.А. Милюткин, А.Ю.

Несмеян, И.М. Панов, И.М. Петренко, Ю.В. Попов, В.Б. Рыков, К.А. Сохт, Т.Р. Толорая, В.А. Небавский, В.Е. Таркинский и др. Полученные ими результаты исследований по обоснованию ресурсосберегающих технологий в растениеводстве и новых технических решений по предпосевной обработке почвы для них позволили значительно поднять уровень технологий, однако сохраняется проблема повышения производительности труда и снижения эксплуатационных затрат при сплошной и междурядной культивациях.

Гипотеза. Повышение производительности и снижение эксплуатационных затрат при предпосевной обработке почвы и уходе за посевами кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений возможно путем применения многофункционального агрегата (МФА) с обоснованными оптимальными параметрами и режимами работы.

Цель работы – обоснование оптимальных параметров и режимов работы многофункционального агрегата для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы, обеспечивающего повышение производительности и снижение эксплуатационных затрат.

Объект исследования – многофункциональный агрегат для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.

Предмет исследования – зависимости, связывающие параметры МФА с показателями качества обработки почвы.

Задачи исследования.

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему МФА для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.
2. Разработать математическую модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА.
3. Исследовать влияние угла заточки граней зубьев на величину их истирания о почву.
4. Провести полевые исследования и обосновать конструкцию зуба пружинной бороны и его оптимальные параметры.
5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных данных.

6. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений математики, физики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с использованием общепринятых и частных методик в соответствии с действующими ГОСТами, а также с использованием общепринятых методик планирования многофакторного эксперимента. Обработка результатов исследований выполнялись по стандартным методикам с использованием программ Mathcad, Microsoft Excel.

Научную новизну работы составляют:

- конструктивно-технологическая схема МФА;
- математическая модель МФА и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА;
- регрессионная модель оптимизации параметров зуба МФА.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость представляют: математическая модель и алгоритм оптимизации параметров, режимов работы МФА, позволяющие определить оптимальные параметры агрегата.

Практическую значимость представляют: соотношение между параметрами и режимами работы предлагаемого агрегата с показателями обработки почвы; параметры и режимы работы МФА. Новизна технических решений подтверждена двумя патентами на изобретение РФ №2739803, №2771947 и полезную модель РФ №188549.

Реализация результатов исследований.

Опытный образец МФА прошел производственную проверку: в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ (г. Краснодар); в ООО «Агромер» Теучежского района республики Адыгея и в ИП КФХ «Сень В.В.» Крыловского района Краснодарского края.

Степень достоверности и апробация результатов.

Степень достоверности выводов и положений подтверждена: сходимом-

стью аналитических и экспериментальных результатов исследований; использованием рекомендованных методик; современных приборов и оборудования; результатами обширных полевых опытов.

Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены на Всероссийской (национальной) конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (2019-2020 гг., г. Краснодар); на Научно-практической конференции с международным участием «Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса арктических территорий» (2020 г., г. Якутск). Опытный образец МФА был представлен на XXIII Агропромышленной выставке-ярмарке «Золотая Нива» (2023 г., г. Усть-Лабинск); на XXV Российской агропромышленной выставке «Золотая осень – 2023» (2023 г., г. Москва).

На защиту выносятся:

- конструктивно-технологическая схема МФА;
- математическая модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА;
- параметры и режимы работы МФА;
- регрессионная модель оптимизации параметров зуба МФА;
- влияние конструкции зубьев на их износ;
- результаты сопоставления теоретических и экспериментальных данных;
- экономическая эффективность результатов исследований.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 12 научных работ, из которых 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 2 в базе данных Scopus, 1 в базе данных Web of Sciences, 2 патента на изобретение РФ, 1 на полезную модель РФ, 3 в прочих изданиях. Общий объем публикаций составляет 2,5 п.л., из них личный вклад автора 1,5 п.л.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 140 страницах, включая 67 рисунков, 18 таблиц и приложений на 24 страницах. Список литературы включает 115 наименований, в том числе 9 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлены: характеристика работы, актуальность темы исследований, цель и задачи исследований, а также основные положения, выносимые на защиту.

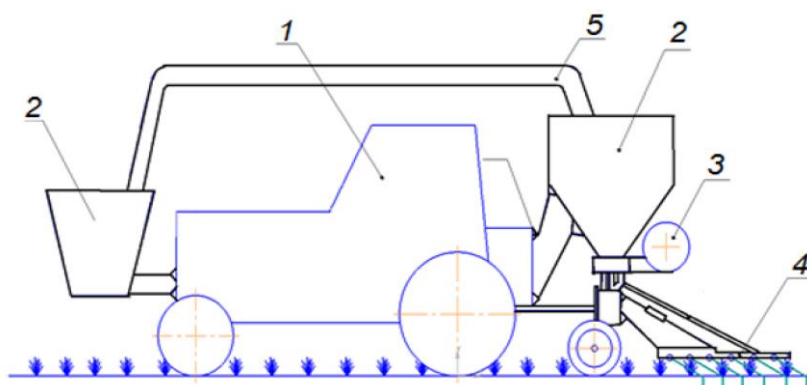
В **первой главе** выполнен анализ применяемых технологий и комплекса машин для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы. Последние научно-технические разработки позволили существенно поднять уровень технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы. Это заметно и в повышении производительности, и надежности машин. Однако в литературных источниках отмечается также высокая трудоемкость и стоимость, снижающие конкурентоспособность производимой продукции.

Применяемые зубовые бороны, культиваторы для сплошной и между-рядной обработок почвы имеют недостатки по равномерности глубины культивации, иссушению верхнего слоя почвы, разрушению структуры на легких почвах и ухудшению водного режима, а на тяжелых – уплотнению и замазыванию почвой культиваторных лап.

Перечисленные недостатки требуют совершенствования за счет обоснования новых рабочих органов машин и технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами. Одним из путей решения проблемы может быть применение многофункциональных агрегатов с обоснованными параметрами и режимами работы.

Проведен обзор научных исследований по изучению процессов поверхностной и междурядной обработки почвы. На основании проведенного анализа сформулированы цель работы и задачи исследования.

Во **второй главе** представлено обоснование конструктивно-технологической схемы многофункционального агрегата, совмещающего за один проход рыхление почвы, боронование, уничтожение сорняков и заделку удобрений (рисунок 1).

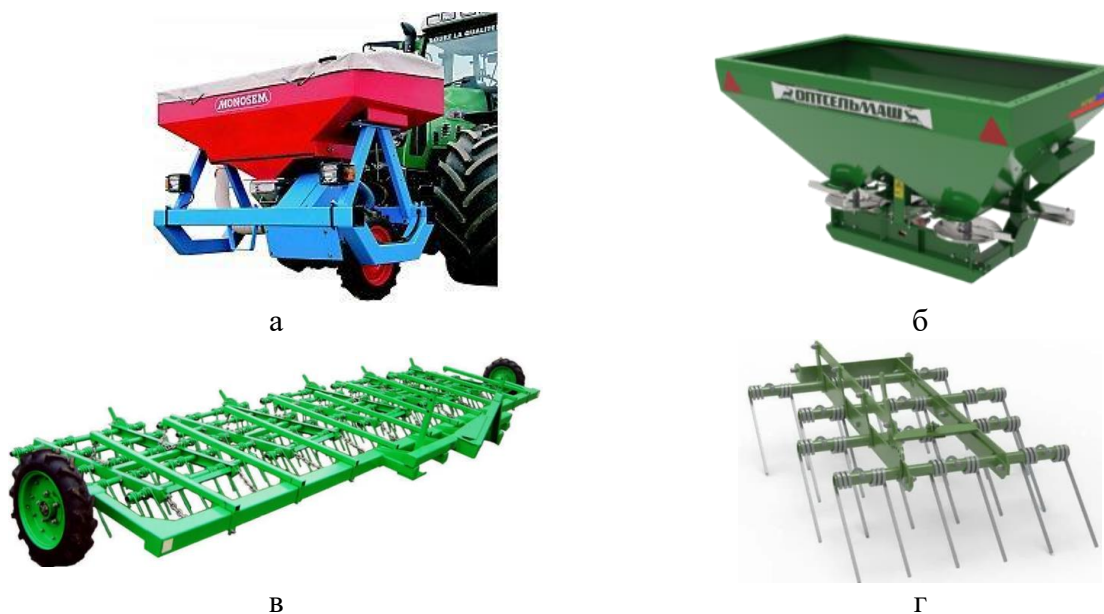


1 – трактор; 2 – емкость для удобрений; 3 – разбрасыватель твердых минеральных удобрений; 4 – зубопружинная борона; 5 – тукопровод.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема МФА

Отличительная особенность предлагаемого МФА по патентам РФ на полезную модель №188549 и изобретения №2739803, №2771947 – наличие фронтального бункера для удобрений на передней навеске трактора и разбрасывателя на задней навеске с минеральными удобрениями и пружинной бороной с модернизированными зубьями. За один проход по полю выполняется совмещение двух технологических операций – боронование почвы и внесение минеральных удобрений.

Составляющие предлагаемого МФА представлены на рисунке 2.



а – фронтальный бункер; б – разбрасыватель минеральных удобрений; в – зубопружинная борона; г – комплект сменных секций зубьев диаметром пружин 8, 10, 12, 14 и 16 мм

Рисунок 2 – Внешний вид МФА

Выполнение лобовой поверхности зуба в виде клина с углом, меньшим угла трения материала о почву (патент РФ № 188549), уменьшает силы трения и тяговое сопротивление бороны, а крепление зуба и стойки шплинтовым соединением упрощает конструкцию. На рисунке 3 показаны силы со стороны клина в перспективе, а также в поперечном сечении.

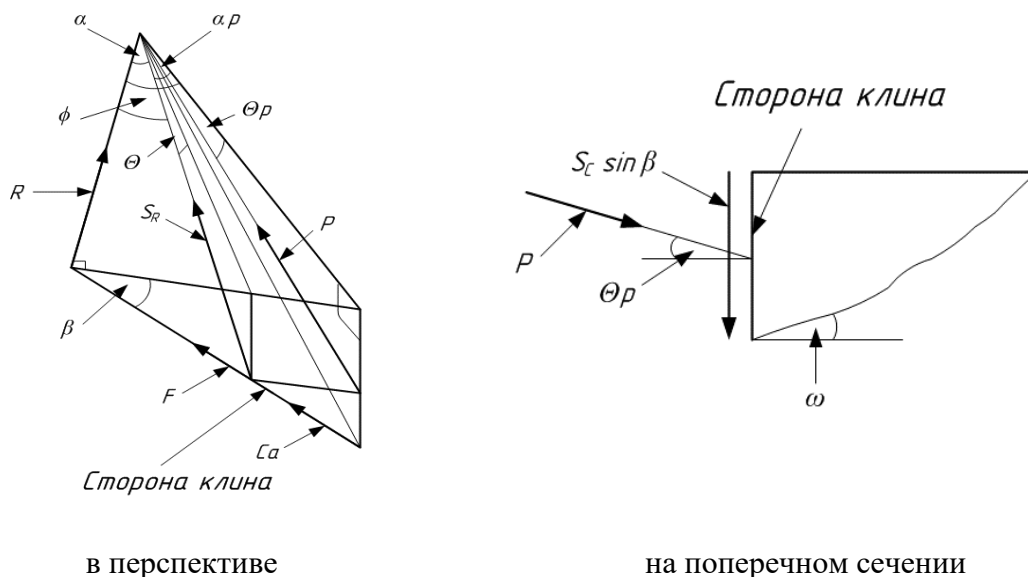


Рисунок 3 – Силы, действующие со стороны клина грунта

Критические значения угла заточки α найдем из условия прочности зуба на изгиб:

$$\sigma = \frac{M_{изг.}}{M_x} = \frac{M_{изг.} \cdot y_c}{I_x} \leq [\sigma], \quad (1)$$

После преобразований и подстановок:

$$\sigma = \frac{11359 \cdot R \left[\frac{2}{3} \sin 2\alpha (1 + \cos 2\alpha)^2 + (2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha) \cdot \left(1 + \frac{\sin 2\alpha}{3\alpha} \right) \right]}{[\sin 2\alpha (1 + \cos 2\alpha) + 2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha] \cdot 709,5} \leq [\sigma], \quad (2)$$

где σ – рабочее напряжение, МПа; $M_{изг.}$ – изгибающий момент, Н·м; M_x – момент сопротивления сечения относительно оси x, Н·м; I_x – осевой момент инерции относительно нейтральной оси x, проходящей через центр масс сечения, кг·м², $[\sigma]$ - допускаемое напряжение на изгиб, для материала зуба, МПа.

Из решения неравенства (2) следует, что для обеспечения наименьшего сопротивления движения зуба в почве значение угла заточки должно быть в интервал $20^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$.

Так как на работу пружинного зуба оказывают влияние множество факторов, то определить его параметры аналитическим путем не представляется возможным. Параметры пружинного зуба определяли экспериментально.

Для определения параметров МФА, была разработана математическая модель (3) рабочего процесса по критерию оптимизации минимума издержек эксплуатационных затрат.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 N_e = \frac{K_{Mo} \cdot B_p \cdot V_p [1 + 0,06(V_p - 4) + 2,4V_6]}{3,24}, \\
 C_B^T = 38,7 \cdot N_e; \\
 \tau = 13,6L_p / (13,6L_p + 0,2 + 0,18B_p + 0,00005B_p/V_6); \\
 W = f(V_p, B_p, \tau); \\
 I_3 = \left(0,2C_B^T + 250 + \frac{42,83B_p}{W} + \frac{1}{13,7} \cdot 10^{-9}N_e^2 + \frac{4,22}{N_e} + 4,22 \right. \\
 \quad \left. \cdot 10^{-6} \cdot N_e \right) + \exp(0,76 \ln N_e - 2,66) + \exp - \\
 \quad - 8,71 \cdot 10^{-6} \cdot N_e^2 + 0,383 \ln N_e + 6,16 \cdot 10^{-6} \cdot N_e; \\
 K = (1,27C_B^T + 139,52B_p/W); \\
 K_{Mo} = f(\alpha, \beta, V_p); \\
 I_3 \rightarrow \min.
 \end{array} \right. \quad (3)$$

где N_e – мощность двигателя трактора, кВт; K_{Mo} – коэффициент удельного сопротивления МФА, кН/м; B_p – ширина захвата агрегата, м; V – скорость движения агрегата, км/ч; V_6 – емкость бункера для удобрений, м³; C_B^T – балансовая стоимость трактора, руб.; W – производительность за 1 ч сменного времени; τ – коэффициент использования рабочего времени смены; L_p – длина гона, м; I_3 – удельные издержки эксплуатации на процесс работы агрегата, руб./га; K – удельные капиталовложения, руб./га.

Для реализации математической модели был разработан алгоритм решения к ЭВМ, блок-схема которого представлена на рисунке 4.

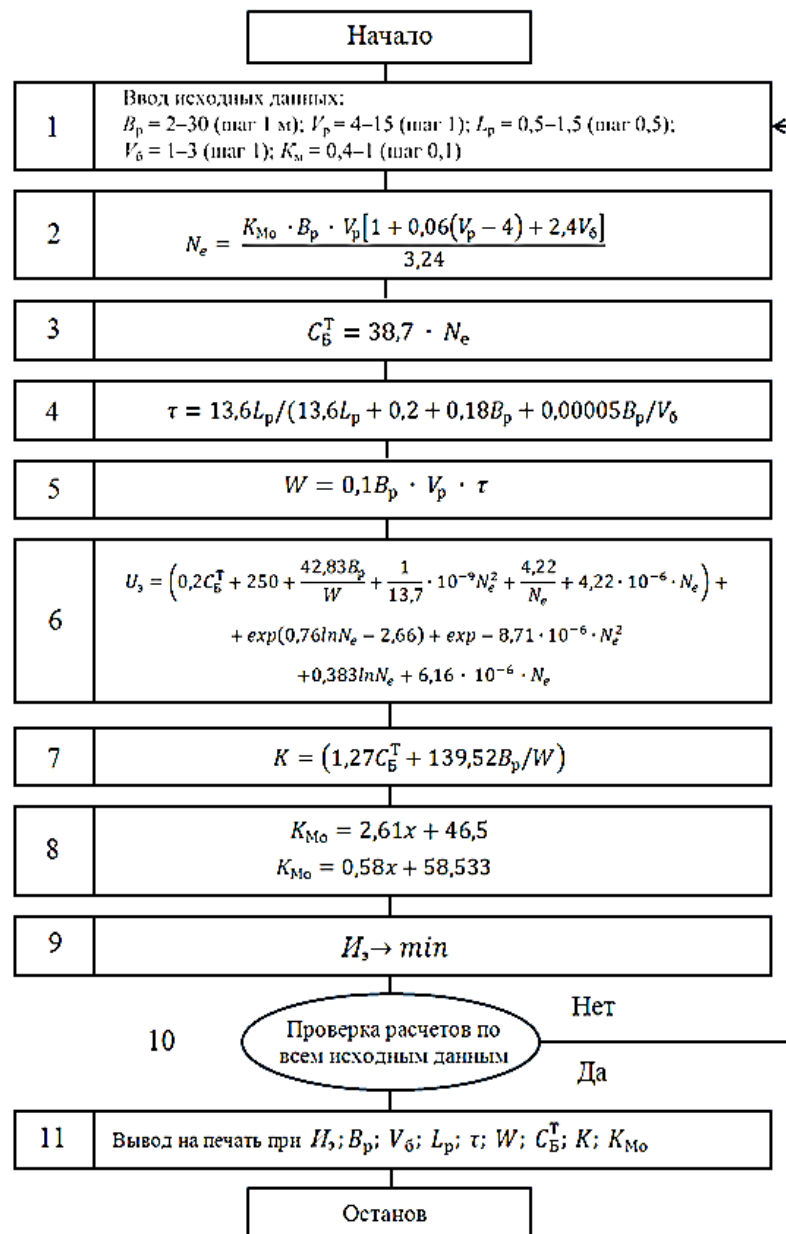


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы МФА

На основе разработанной математической модели и алгоритма оптимизации параметров и режимов работы многофункционального агрегата обоснованы его оптимальные режимные и конструктивные параметры: ширина захвата – 30 м, скорость движения – 8 км/ч, емкость двух бункеров для удобрений – 3 м³. На выполнение процесса боронования с внесением минеральных удобрений требуемая мощность двигателя трактора составила 98 кВт, коэффициент использования сменного времени – 0,86, производительность агрегата – 24,0 га/ч. Эти параметры уточнялись в полевом эксперименте.

В третьей главе представлена программа и методика экспериментальных исследований. Программа включает: описание использованной приборной базы и методики для планируемых исследований и обработку полученных экспериментальных данных, исследование почвенного агрофона для проведения лабораторно-полевых исследований, проведение лабораторно-полевых исследований МФА для боронования почвы с внесением минеральных удобрений, изучение скорости воздушного потока и движения минеральных удобрений в транспортирующем канале, определение коэффициентов трения, скольжения и выталкивания твердых минеральных удобрений (аммиачной селитры), выполнение динамометрирования МФА, определение величины износа зубьев пружинной бороны, оптимизация параметров зуба бороны.

Экспериментальные исследования проводились в полевых условиях с применением предлагаемого МФА (патент РФ №2739803) для боронования почвы и внесения минеральных удобрений. Определены качественные показатели предпосевной обработки почвы (равномерность глубины профиля дна борозды, крошение и глыбистость почвы, гранулометрический состав, профильность, равномерность глубины заделки минеральных удобрений и семян кукурузы, количество сорняков). Проведены наблюдения за динамикой всходов кукурузы и развития растений до урожая зеленой массы, а также определения высоты растений; засоренности, плотности и влажности почвы в посевном слое.

При агрооценке работы МФА использовался СТО АИСТ 4.6-2018. Методика динамометрирования агрегата соответствовала требованиям ГОСТ 34631-2019 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки».

При планировании эксперимента изучали влияние следующих трех факторов: угол наклона и заточки зуба, скорость агрегата. Факторы, интервалы варьирования и их уровни для проведения эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы, интервалы варьирования и их уровни

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Угол наклона зуба (α), град	x_1	30	30	60	90
Угол заточки зуба (β), град	x_2	10	10	20	30
Скорость агрегата (V), км/ч	x_3	5	5	10	15

По разработанной программе к ЭВМ определены зависимости удельного тягового сопротивления МФА от параметров пружинного зуба, угла его наклона и скорости агрегата.

Для исследований была изготовлена экспериментальная установка (рисунок 5, 6), с использованием которой проводились замеры величины силы сопротивления секции зубопружинной бороны при обработке почвы.

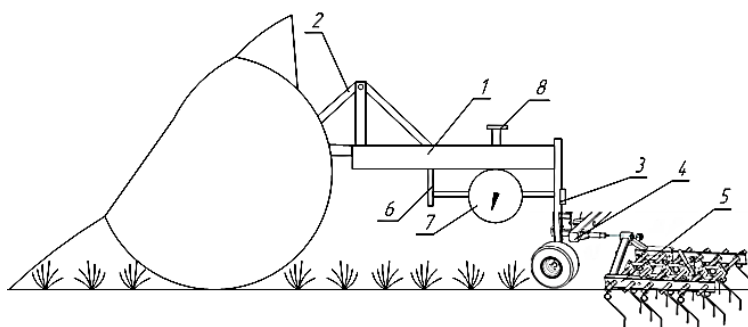


Рисунок 5 – Технологическая схема МФА Рисунок 6 – Внешний вид МФА

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований. В лабораторных условиях определен коэффициент трения скольжения аммиачной селитры о внутреннюю поверхность тукопровода. В полевых условиях получены и проанализированы зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения агрегата при разных углах заточки граней зуба пружинной бороны, определено качество заделки минеральных удобрений, качество заделки семян кукурузы сеялкой СУПН-8 на контроле и на опытном участке при возделывании кукурузы без применения культиватора КПС-4 для сплошной культивации и КРН-5,6 для междурядной культивации, заложен полевой мелкоделяночный опыт по базовой техноло-

гии возделывания кукурузы и предлагаемой с заменой указанных культиваторов разработанным МФА.

Для контроля нормы внесения минеральных удобрений определяли физико-механические свойства аммиачной селитры (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты опытов по определению коэффициентов трения скольжения аммиачной селитры и коэффициента витания

Наименование измеряемого показателя	Значение
Коэффициент трения скольжения аммиачной селитры	0,13
Скорость воздуха в тукопроводе по опыту, м/с	12,8
Средневзвешенная критическая скорость воздуха по опыту, м/с	12,9
Коэффициент витания, м ⁻¹	0,059
Средний расход воздуха вентилятором, м ³ /ч	116,5

Среднеквадратическое отклонение измеряемых параметров: для коэффициента трения скольжения составило 0,0173 и для критической скорости – 0,42 м/с. Полученные значения использованы в расчетах пневмотранспорта удобрений к зубьям МФА и для учета потерь давления воздуха в установке.

Качественные показатели работы МФА определяли в полевых условиях. С помощью динамометрирования получили зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения при разных углах заточки граней (рисунок 7) и угла наклона зубьев (рисунок 8).

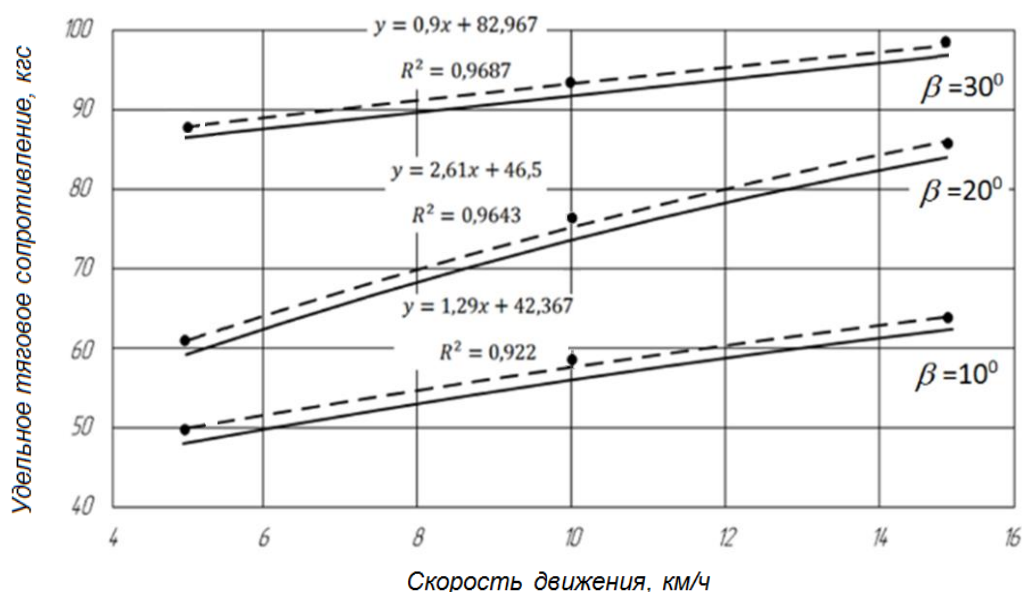


Рисунок 7 – Графики зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения при разных углах заточки граней зубьев

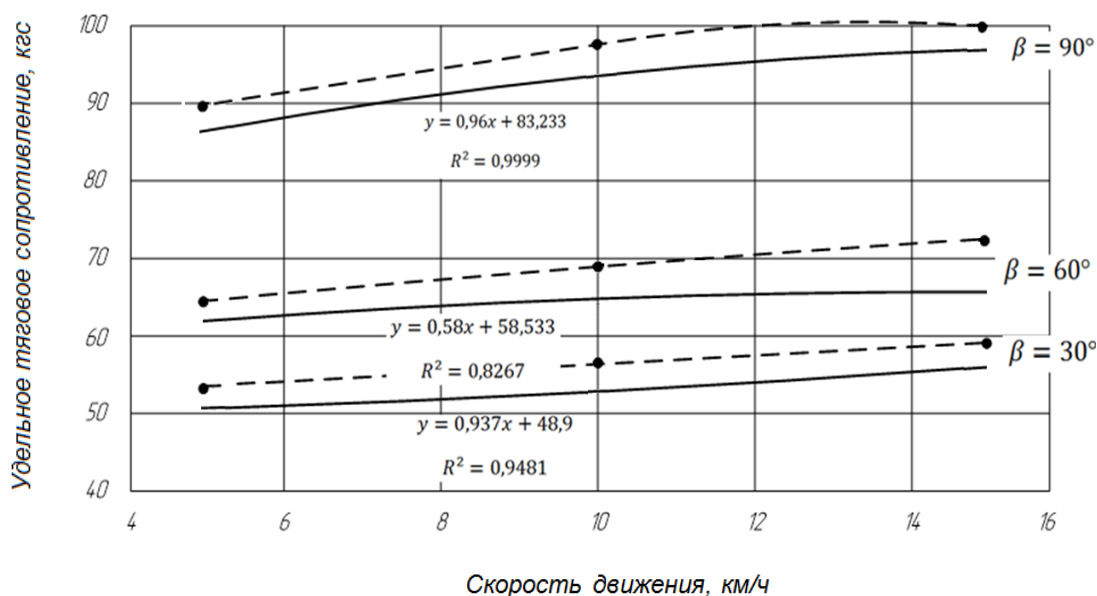


Рисунок 8 – Графики зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения при разных углах наклона зубьев

После математической обработки полученных экспериментальных данных по разработанной программе на ЭВМ получили уравнение регрессии (4) с кодированными значениями факторов:

$$y = 432,62 + 2x_1 + x_2 + 2,5x_3 - 15,75x_1x_2 - 18,75x_1x_3 - 14,25x_2x_3 + 1,375x_1^2 + 2,37x_2^2 + 0,875x_3^2, \quad (4)$$

где y – удельное тяговое сопротивление, Н/м; x_1 – кодированное значение угла наклона зуба; x_2 – кодированное значение угла заточки зуба; x_3 – кодированное значение рабочей скорости агрегата.

Продифференцировав уравнение (4) по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений, решив которую получили координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,0623$; $x_2 = 0,0976$; $x_3 = 0,0388$. Подставив в уравнение регрессии значения переменных x_i , определили значения параметра оптимизации в центре поверхности отклика. После преобразований получили уравнения поверхности отклика в канонической форме. На рисунке 9 представлена поверхность отклика для зависимости сопротивления агрегата от угла наклона рабочих органов и угла их заточки. Задавшись значениями переменных i , подставляя их в каноническое уравнение, получили семейство сопряженных изолиний (рисунок 10).

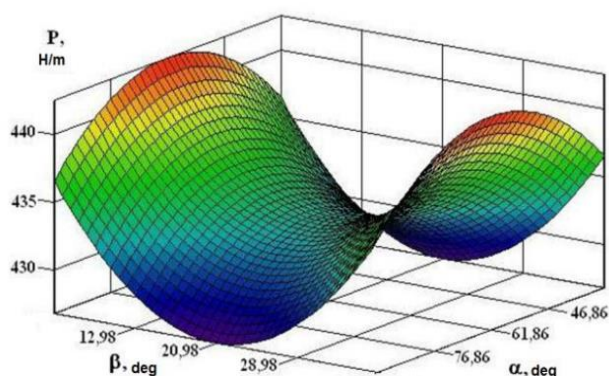


Рисунок 9 – Поверхность отклика для зависимости сопротивления от угла наклона рабочих органов и от угла их заточки

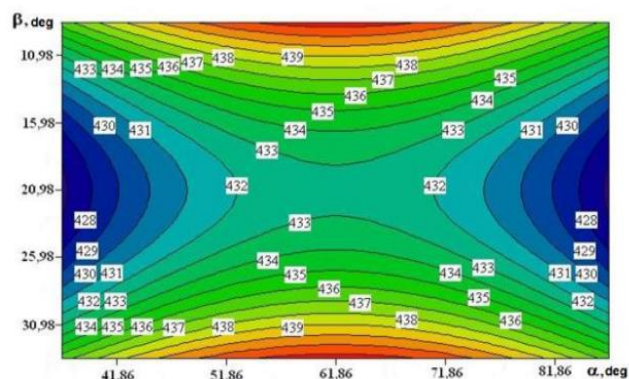


Рисунок 10 – Двухмерное сечение поверхности отклика для зависимости сопротивления агрегата от угла наклона и заточки

Изолинии, полученные в результате сечения поверхности отклика, вытянуты по оси x , соответствующей фактору x_1 – угол наклона рабочих органов β . Следовательно, этот фактор меньше влияет на удельное сопротивление агрегата, чем второй фактор x_2 – угол заточки рабочих органов. При кодированном значении фактора (скорость агрегата) $x_3 = 0,0338$ угол наклона рабочих органов $\alpha = 62^\circ$, угол заточки рабочих органов $\beta = 21^\circ$, а значение удельного сопротивления агрегата находится в центре плана эксперимента и равно $0,433$ кН/м при скорости $11,7$ км/ч.

Аналогичный анализ проведен для других гиперповерхностей и двумерных сечений: для зависимости удельного сопротивления от угла наклона зубьев и скорости агрегата и от угла заточки рабочих органов и скорости агрегата.

На основании полученных зависимостей определено: минимальное тяговое сопротивление агрегата обеспечивается при углах заточки граней зуба 21° и угле наклона 62° .

Моделирование МФА с использованием целевой функции минимальных общих затрат на процесс боронования посевов кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений выполнено в соответствии с математической моделью по алгоритму, представленному на рисунке 4. В результате расчетов получены зависимости: критерия оптимизации (издержки эксплуатационных работ I_3) от основных параметров МФА (мощ-

ность двигателя N_e , при различной ширине захвата агрегата). Эта зависимость (рисунок 11) линейная.

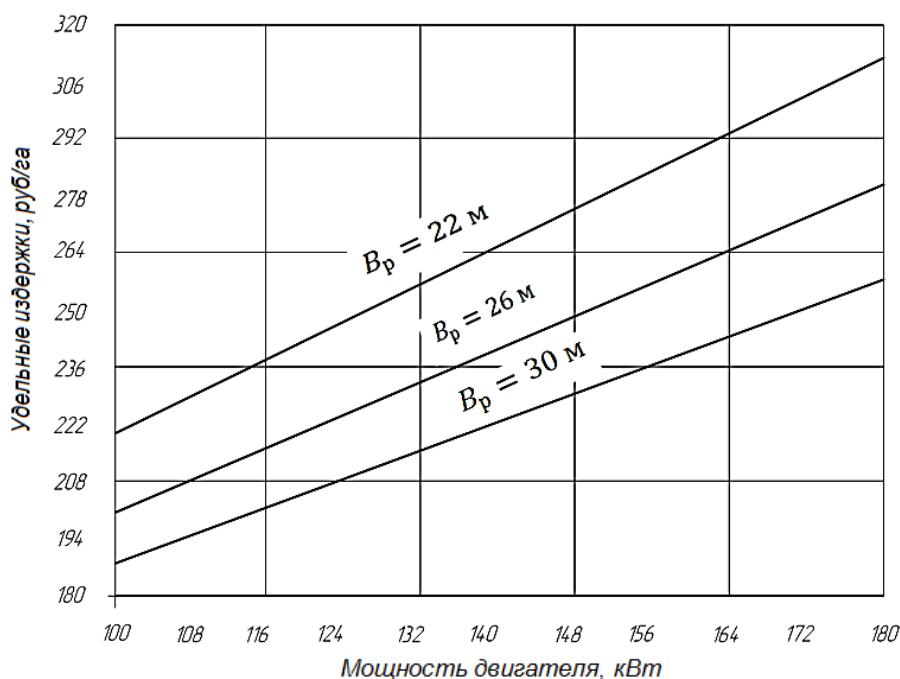


Рисунок 11 – Зависимость издержек Иэ от мощности двигателя при различной ширине захвата МФА

Оптимальной шириной захвата следует считать $B_p = 30$ м.

Зависимость издержек эксплуатационных работ Иэ от ширины захвата агрегата B_p и рабочей скорости движения v_p представлена на рисунке 12.

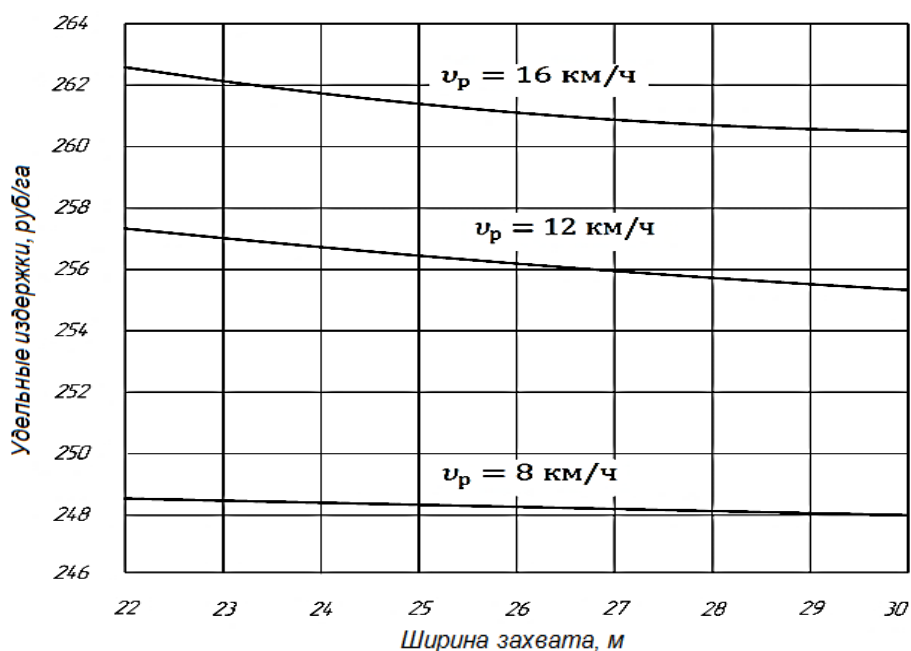


Рисунок 12 – Зависимость общих издержек от скорости МФА

Чем больше ширина захвата МФА, тем меньше издержки, и наоборот с увеличением рабочей скорости агрегата они возрастают. Можно сделать вывод, что выгоднее выполнять боронование с большой шириной захвата и меньшей скоростью.

Это выгодно так же с точки зрения количества рабочих ходов, расхода топлива и качества боронования. К тому же интенсивность изменения затрат от роста ширины захвата незначительная, а с увеличением рабочей скорости затраты при одной и той же ширине захвата возрастают. Так, при одной и той же ширине захвата, например, 22 м издержки на скорости 8 км/ч составляют 248,8 руб./га, на скорости 12 км/ч – уже 257,2, а на скорости 16 км/ч – 262,2 руб./га.

Установлены также зависимости производительности МФА от ширины захвата и скорости движения (рисунок 13), емкости бункера для удобрений, коэффициента использования времени смены от рабочей скорости и ширины захвата (рисунок 14), мощности двигателя от ширины захвата и др.

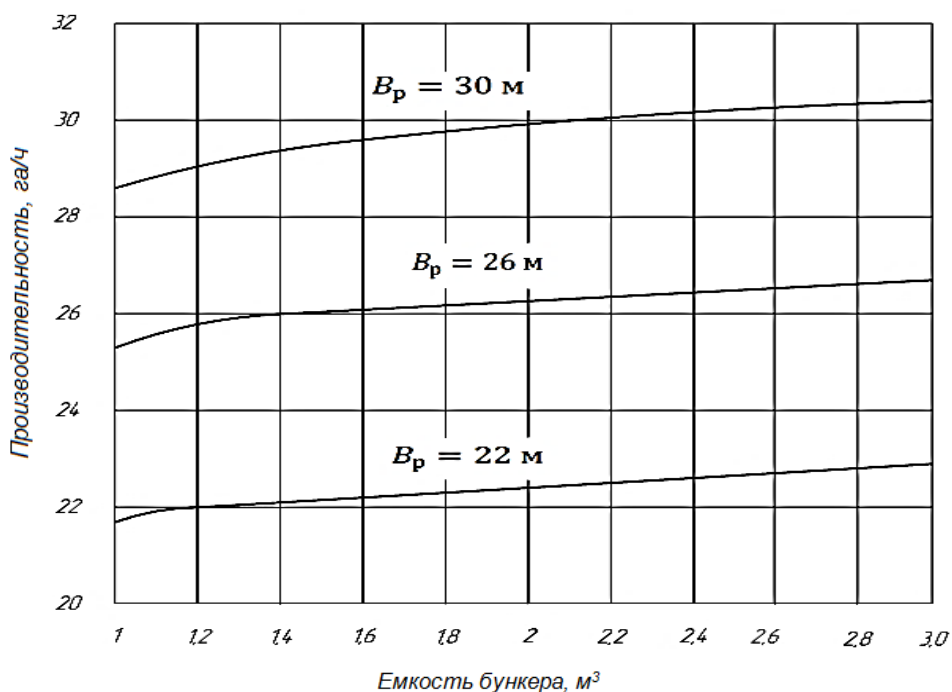


Рисунок 13 – Зависимость производительности МФА от емкости бункера для удобрений при различной ширине захвата

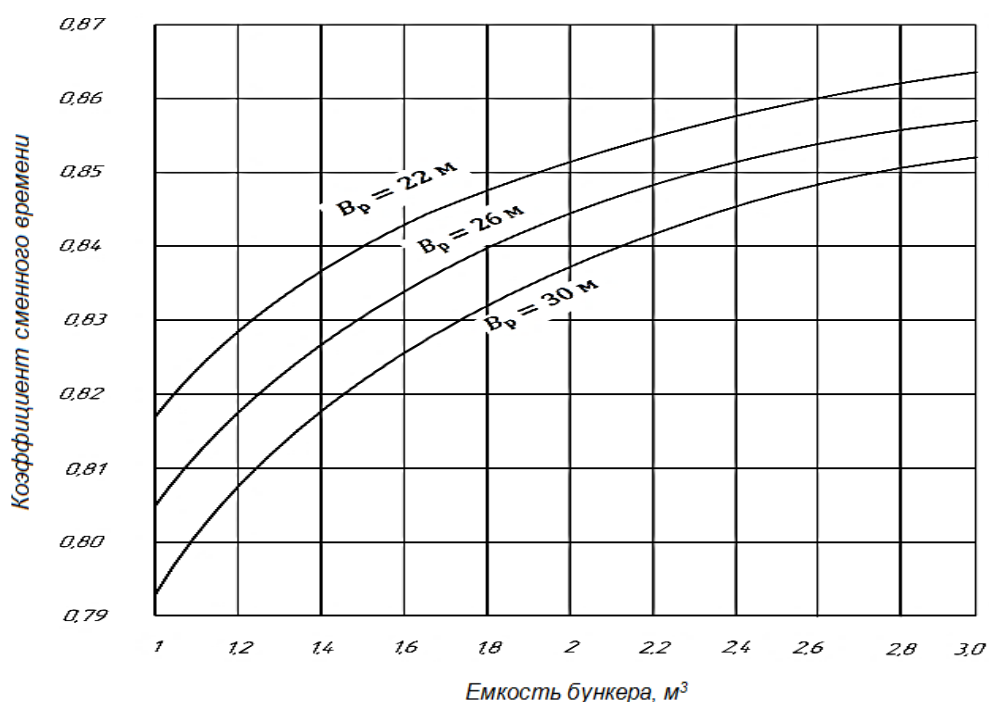


Рисунок 14 – Зависимость коэффициента использования времени смены от емкости бункера при различной ширине захвата МФА

Анализ результатов моделирования МФА в различных условиях позволил установить следующие значения оптимальных параметров (таблица 4).

Таблица 4 – Оптимальные параметры МФА

Удельные затраты, руб./га	Мощность двигателя N_e , кВт	Ширина захвата, B_p , м	Скорость движения v_p , км/ч	Емкость бункера V_b , м³	Производительность, га/ч	Коэффициент сменного времени, τ
185	98	30	8	3	24,0	0,86

Исследования износа пружинных зубьев МФА показали наибольшую его величину по варианту зуба с углом заточки граней 90° при наработке 90 часов.

Выполненные исследования по влиянию МФА на урожай зеленой массы кукурузы в 2021 году показали одинаковую урожайность зеленой массы.

Согласно эксперименту урожайность составила 190,7 ц/га на опыте и 190,5 ц/га – на контроле.

В пятой главе приведен расчет экономической эффективности предлагаемого МФА. Расчеты показывают высокую эффективность по росту производительности труда с 0,7 га/ч в базовой технологии до 1,62 – в предлагаемой, или в 2,3 раза, эксплуатационные затраты снижаются с 2890 руб./га до 2013 руб./га, или в 1,4 раза. Капиталовложения в механизацию процессов предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы окупаются за один сезон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема МФА, совмещающего технологические операции внесения удобрений и боронование почвы с модернизацией пружинных зубьев согласно патентам РФ на изобретения №2739803, №2771947 и полезную модель №188549.

2. Разработана математическая модель и алгоритм оптимизации параметров МФА и режимов его работы: ширина захвата – 30 м, скорость движения – 8 км/ч, емкость двух бункеров для удобрений – 3 м³. На выполнение процесса боронования с внесением минеральных удобрений требуемая мощность двигателя трактора составила 98 кВт, коэффициент использования сменного времени – 0,86, производительность агрегата – 24,0 га/ч.

3. Проведенные лабораторные исследования показали влияние угла заточки граней зубьев на величину их истирания о почву и радиуса износа лезвия. За 90 часов испытаний зуб в почвенном канале минимальная величина истирания зуба о почву с углом заточки 20° составила 2,9 г и максимальная величина истирания – для контрольного зуба – 3,72 г. Для углов с заточкой граней зуба 10° и 30° величина истирания зуба от его массы составила 3,3 г.

4. Согласно регрессионной модели по критерию оптимизации минимум удельного тягового сопротивления 0,43 кН/м достигается при угле заточки зуба 21° и наклоне 62°.

5. Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей удельного тягового сопротивления МФА от рабочей скорости при углах заточки зубьев 10 – 30° определялась по общепринятой методике, относительная ошибка составила 4%.

6. Экономическая эффективность предлагаемого МФА для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы показала его целесообразность: производительность повышается в 2,3 раза с 0,7 га/ч до 1,62 га/ч в сравнении с базовой технологией, а эксплуатационные затраты снижаются в 1,4 раза с 2890,7 руб./га до 2043,3 руб./га. Капиталовложения в механизацию процессов предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы окупаются за один сезон.

Рекомендации и предложения производству

Рекомендуется к внедрению в АПК МФА с модернизированной конструкцией зубьев и с научно обоснованными параметрами и режимами работы. Предлагаемый комплекс машин обеспечит по сравнению с применяемым в настоящее время повышение производительности в 2,3 раза и снижение эксплуатационных затрат в 1,4 раза.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее совершенствование предлагаемого МФА и технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы будет направлено на использование автоматизированной системы внесения минеральных удобрений на базе систем ГЛОНАСС или GPS с применением листовой и почвенной диагностики, а также на модернизацию конструкции МФА для возможности междурядных обработок посевов кукурузы в более поздние фазы их развития.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях по перечню ВАК:

1. Лаврентьев, В.П. Многофункциональный агрегат на базе пружинной бороны [Текст] // Г.Г. Маслов, В.П. Лаврентьев // Сельский механизатор, № 5, 2019. – С. 10–11.

2. Лаврентьев, В.П. Оптимизация параметров и режимов работы зубо-пружинной бороны [Текст] / Г.Г. Маслов, А.В. Палапин, Е.М. Юдина, В.В. Цыбулевский, В.П. Лаврентьев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, № 5, 2020. – С. 117–121.

3. Лаврентьев, В.П. Эффективные направления снижения уплотнения почвы для сохранения ее плодородия [Текст] / Г.Г. Маслов, Н.В. Малашихин, В.П. Лаврентьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ, 2019. – № 146. – С. 24–37.

- в базе данных, индексируемых в Web of Science:

4. Lavrentev, V.P. Optimization of parameters of a multifunctional unit based on a spring harrow [Текст] / G.G. Maslov, V.P. Lavrentev, V.V. Tsybulevsky, V.T. Tkachenko // International journal of engineering and advanced technology. 2019. Т. 9. № 1. – С. 1915–1918.

- в базе данных, индексируемых в Scopus:

5. Lavrentev, V.P. Improving the process of harrowing and sowing crops [Текст] / G.G. Maslov, V.P. Lavrentev, E.M. Yudina, A.D. Taran // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Т. 6. № 4. – С. 7060–7064.

6. Lavrentev, V.P. Development of parameters of a gear spring harrow [Текст] / G.G. Maslov, A.V. Palapin, V.V. Tsybulevsky, V.P. Lavrentev // International journal of recent technology and engineering. 2019. – С. 8030–8034.

- патенты на изобретения и полезные модели:

7. Патент № 2739803 Российской Федерации А01 В/29.04 (2006.01). Агрегат для обработки почвы с внесением удобрений [Текст] / Г.Г. Маслов, В.П. Лаврентьев, Д.А. Ушаков ; заявитель и патентообладатель Кубанский

госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2019140703, 09.12.2019 ; опубл. 05.03.2020. Бюл. № 7.

8. Патент № 2771947 Российской Федерации А01 В19/02 (2006.01). Пружинная борона [Текст] / Г.Г. Маслов, Д.А. Ушаков, В.П. Лаврентьев; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2021123611, 05.08.2021 ; опубл. 13.05.2022. Бюл. № 14.

9. Патент № 188549 Российской Федерации А01 В/29.04. Пружинная борона [Текст] / Г.Г. Маслов, В.П. Лаврентьев, Н.В. Москалев ; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2018147658, 28.12.2018 ; опубл. 06.04.2019. Бюл. № 21.

- в прочих изданиях:

10. Лаврентьев, В.П. К совершенствованию технологии возделывания кукурузы [Текст] / В.П. Лаврентьев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции / отв. за вып. А.Г. Кощаев. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – С. 189–190.

11. Лаврентьев, В.П. Многофункциональный агрегат для боронования почвы и посевов с одновременной подкормкой [Текст] / В.П. Лаврентьев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции / отв. за вып. А.Г. Кощаев. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – С. 191–192.

12. Лаврентьев, В.П. Выбор лучшей конструкции пружинной бороны с использованием функции Харрингтона [Текст] / Г.Г. Маслов, В.П. Лаврентьев, Е.М. Юдина // Научно-практическая конференция с международным участием «Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса арктических территорий», посвященная 70-летию доктора ветеринарных наук, профессора, заслуженного деятеля науки республики Саха (Якутия) Павловой Александры Иннокентьевны. – Якутск : Изд-во Дани-Алмас. – 2021. – С. 138–142.

Подписано в печать __.__.2024

Бумага офсетная

Уч.-изд. л. 1

Тираж 100 экз.

Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$

Офсетная печать

Заказ № ____

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13