

На правах рукописи



Кузьмин Виталий Викторович

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО
АГРЕГАТА ДЛЯ ГЛАДКОЙ ВСПАШКИ ПОД
ЗЕРНОВЫЕ КОЛОСОВЫЕ КУЛЬТУРЫ**

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:
Официальные
оппоненты:

Тарасенко Борис Фёдорович

доктор технических наук, доцент

Борисенко Иван Борисович

доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, кафедра «Земледелие и агрохимия», главный научный сотрудник (г. Волгоград)

Михайлин Андрей Андреевич

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Общеинженерные дисциплины», доцент (г. Новочеркасск)

Ведущая
организация:

ФГБНУ «Росинформагротех» (г. Москва)

Защита состоится «26» апреля 2024 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при 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 и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://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. Затратной операцией в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является вспашка, на которую приходится до 40 % энергетических и до 30 % трудовых затрат от всего объема работ, выполняемых на поле.

В настоящее время актуально использование гладкой вспашки при помощи оборотных плугов (при челночном способе движения), при котором не происходит образование свально-развальных борозд. Однако металлоемкость таких агрегатов по сравнению с плугами, на которых устанавливаются поворотные корпуса, в полтора раза больше. Оборотные плуги по сравнению с обычными имеют следующие недостатки: большую массу и высокий расход топлива, а также сложную и менее надежную конструкцию.

Применение современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых колосовых культур не исключает использование различных комбинированных почвообрабатывающих агрегатов со сменными рабочими органами для работы на других технологических операциях. Перспективным направлением в этой области является разработка агрегатов, совмещающих за один проход несколько технологических операций, что позволит повысить производительность труда и снизить материальные и финансовые затраты.

На основании изложенного предлагаемая тема исследования является актуальной, так как существующие технические средства возделывания зерновых колосовых культур нуждаются в их дальнейшем совершенствовании. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ ЕГИСУ НИОКР №121032300060-2 (2021-2025 гг.).

Степень разработанности темы. Результаты проведенных научных исследований такими учеными, как И. Б. Борисенко, С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, С. Н. Капов, А. А. Михайлин, Н. В. Перфильев, П. Г. Свечников, Б. Ф. Тарасенко, М. И. Чеботарев, В. И. Черноиванов, Г. С. Юнусов показали, что энергозатраты на вспашку составляют порядка 40–50 % при возделывании зерновых колосовых.

Исследованиями совершенствования почвообрабатывающих технологий, разработкой технических средств для их осуществления занимались Ю. А. Кузыченко, С. Л. Дёмшин, Д. А. Черемисинов, Е. А. Владимиров, И. С. Полтавцев, Ю. И. Матяшин, И. М. Гринчук, Г. М. Егоров, А. С. Путрин, И. М. Панов, В. И. Ветохин и др., которые были направлены на снижение тягового сопротивления агрегатов. Полученные ими результаты исследований по обоснованию ресурсосберегающих технологий и технических решений для обработки почвы позволили получить аналитические модели для определения перемещения рабочего органа почвообрабатывающей машины в почве и усилия ее при деформации растяжения S-образного долота. Однако остается проблема повышения производительности труда и сокращения материальных и денежных затрат при возделывании зерновых колосовых культур.

Гипотеза. Обоснование параметров и режимов работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами – дисками и чизельными лапами позволит повысить производительность агрегата при сохранении качества обработки почвы при гладкой вспашке под зерновые колосовые культуры.

Цель работы – обоснование параметров и режимов комбинированного почвообрабатывающего агрегата с дисками и чизельными лапами для повышения его производительности при сохранении качества обработки почвы при гладкой вспашке под зерновые колосовые культуры.

Объект исследования – технологический процесс гладкой вспашки почвы и технические средства для его осуществления.

Предмет исследования – закономерности взаимодействия сменных рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего агрегата с почвой.

Задачи исследования.

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему комбинированного почвообрабатывающего агрегата (КПА) для гладкой вспашки почвы под зерновые колосовые культуры.

2. Разработать математическую модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров.
3. Изготовить экспериментальный образец КПА.
4. Определить оптимальные параметры КПА по критериям качества обработки почвы.
5. Провести полевые испытания экспериментального КПА.
6. Выполнить оценку сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований.
7. Выполнить расчеты экономической эффективности предлагаемого КПА.

Методы исследований. Теоретические исследования проводились с использованием основных положений высшей математики и теоретической механики. При проведении экспериментальных исследований применялись методы планирования многофакторного эксперимента. Обработка полученных данных осуществлена с использованием методов математической статистики.

Научную новизну работы составляют:

- конструктивно-технологическая схема КПА для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры со сменными рабочими органами: дисками и чизельными лапами;
- математическая модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров;
- уравнение регрессии, позволяющее определить рациональные параметры предлагаемого КПА.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость работы представляют: математическая модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров, позволяющая обосновать основные параметры предлагаемого агрегата; уравнение регрессии, определяющее оптимальные параметры предлагаемого агрегата.

Практическую значимость работы представляют: соотношение между параметрами и режимом работы агрегата с показателями качества гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры для снижения тягового сопротивления КПА.

Реализация результатов исследований.

Опытный образец комбинированного почвообрабатывающего агрегата прошел производственные испытания и внедрен в РПЗ «Красноармейский» – филиал ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодарский край, поселок Октябрьский). Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

Степень достоверности и апробация результатов.

Степень достоверности выводов и положений подтверждена: сходимостью 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: научно-практической конференции по итогам НИР за 2018 г. «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (г. Краснодар, 2019); 26 Международной выставке сельскохозяйственной техники, оборудования и материалов для производства и переработки растениеводческой сельхозпродукции «ЮГАГРО» (г. Краснодар, 2019); Всероссийской научной конференции с международным участием «Растениеводство и луговое хозяйство» (г. Москва, 2020); Международной научной-технической конференции «Наука о земле» (г. Владивосток, 2021); Всероссийской научно-практической конференции «Год науки и технологий» (г. Краснодар, 2021); Международной научной конференции «Технические и естественные науки» (г. Санкт-Петербург, 2023).

На защиту выносятся:

- конструктивно-технологическая схема КПА для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры;
- математическая модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивно-режимных параметров КПА;

– результаты оценки сходимости теоретических и экспериментальных исследований.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 12 научных работ, из которых 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 1 в базе данных Scopus, 5 патентов РФ на полезные модели, 3 в прочих изданиях. Общий объем публикаций составляет 4,1 п.л., из них личный вклад автора 2,1 п.л.

Объем и структура работы. Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Общий ее объем – 164 страниц машинописного текста, 13 таблиц, 54 рисунков, 9 приложений. Список литературы включает 139 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлены: актуальность исследований, цель работы, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен анализ современного состояния механизации обработки почвы. Существует множество способов обработки почвы, из которых наиболее распространенными являются: минимальная (с использованием чизелей, плоскорезов) и традиционная – проводится при помощи обычных отвальных плугов.

Традиционная система обработки почвы является наиболее энергозатратной, так как применяется большое количество орудий. Увеличение количества проходов техники по полям приводит к росту затрат на топливо-смазочные материалы, что ведет к увеличению стоимости готовой продукции, а также уплотнению почвы, что снижает урожайность сельскохозяйственных культур.

Недостатки минимальной обработки почвы являются: применение большого количества гербицидов и пестицидов для интенсификации выращивания культур для уменьшения площади обрабатываемых земель; при выращивании с/х культуры хозяйствам необходимо закупать разного типа сельхозорудия, что

приведет к дополнительным затратам; ухудшение санитарного состояния, повышение засорённости посевов; снижение скорости минерализации гумуса и уменьшение обеспеченности почвы азотом.

Перспективным направлением является гладкая вспашка, которая представляет собой процесс основной обработки почвы без образования свально-развальных борозд. После прохода пахотных агрегатов, предназначенных для гладкой вспашки, обработанное поле остается с ровной поверхностью, что положительно сказывается на дальнейшем произрастании и урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме того, гладкая вспашка менее энергоемкая, чем традиционная.

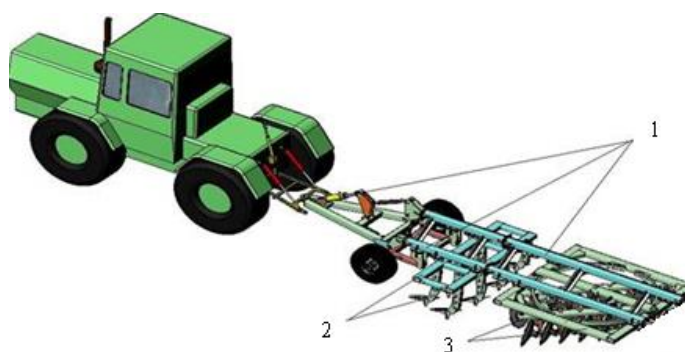
Анализ оборотных плугов и существующих КПА для гладкой вспашки показал, что они обладают большой энерго и металлоемкостью.

Предлагаемый КПА со сменными рабочими органами – дисками и чизельными лапами позволит повысить производительность агрегата при сохранении качества обработки почвы при гладкой вспашке под зерновые колосовые культуры.

Сформулирована цель работы и задачи исследования.

Во **второй главе** представлены теоретические исследования сопротивления почвы рабочими органами КПА. Анализ патентных источников показал, что плуг с поворотной балкой имеет низкие функциональные возможности, так как им возможно осуществление только одной операции – гладкой вспашки. Нет возможности повышения производительности, так как отсутствует возможность удлинить балку, также невозможно перемещение блока с поворотной балкой по дорогам общего пользования без согласования с соответствующими надзорными органами.

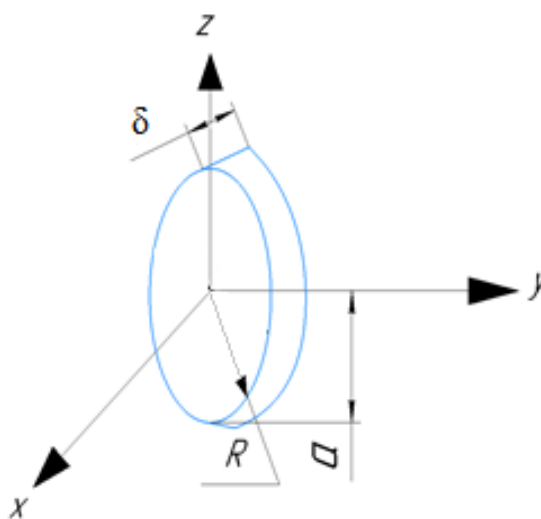
Для устранения данного недостатка был предложен КПА (рисунок 1), на который получен патент РФ №201758.



1 – система навески; 2 – передний с чизельными рабочими органами брус; 3 – поворотная балка бороны с поворотной дисковой секцией.

Рисунок 1 – Общий вид комбинированного почвообрабатывающего агрегата (патент РФ №201758)

При движении в почве дисков, дно борозды оказывается неровным, так как каждый диск образует борозду желобчатого или эллипсоидного профиля, который определяется следующими параметрами – диаметром D , радиусом кривизны сферической поверхности R , толщиной диска δ .



δ – толщина диска; R – радиус диска; a – глубина заделки

Рисунок 2 – Схема диска рабочего органа КПА в системе координат x, y, z

Слой почвы, который отрезает диск ПОА определяется по выражению (рисунок 3):

$$t = 2R \cdot \sin \beta + \delta \cdot \cos \beta \quad (1)$$

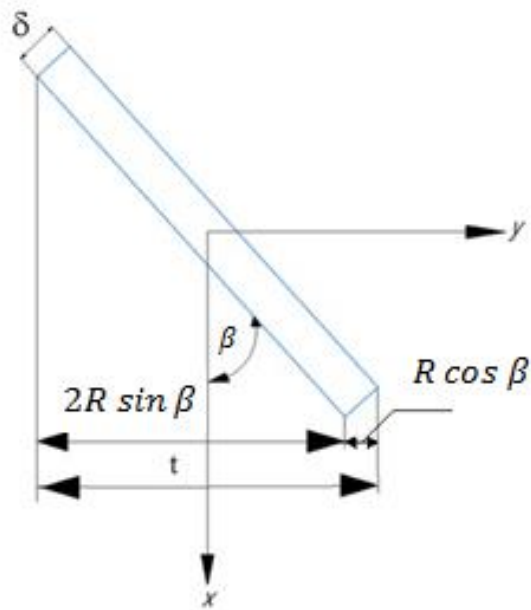


Рисунок 3 – Ширина захвата пласта диском ПОА

Для определения силы сопротивления почвы делаем допущение, что сила реакции почвы действует равномерно на глубину заделки диска в почву и будем определять силу сопротивления почве диска КПА экспериментальным путем.

Диаметр диска с учетом коэффициента соотношения глубины обработки и диаметра диска для борон будет находиться по выражению:

$$D = \frac{(R - 1)}{0,433} \cdot \sin \beta. \quad (2)$$

Ширина захвата b одного диска в батарее:

$$b = \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot n_1, \quad (3)$$

где a – глубина хода дисков, м; η – коэффициент равномерности глубины обработки почвы; β – угол атаки, град; n_1 – число дисков в батарее бороны.

Анализ выражения (3) показывает, что ширина захвата батареи зависит от глубины их хода, коэффициента равномерности глубины обработки почвы, радиуса диска и угла его атаки.

С учетом формулы (3) выражение для определения силы тяжести дисковой бороны, которое было получено Г.Б. Побежимовым:

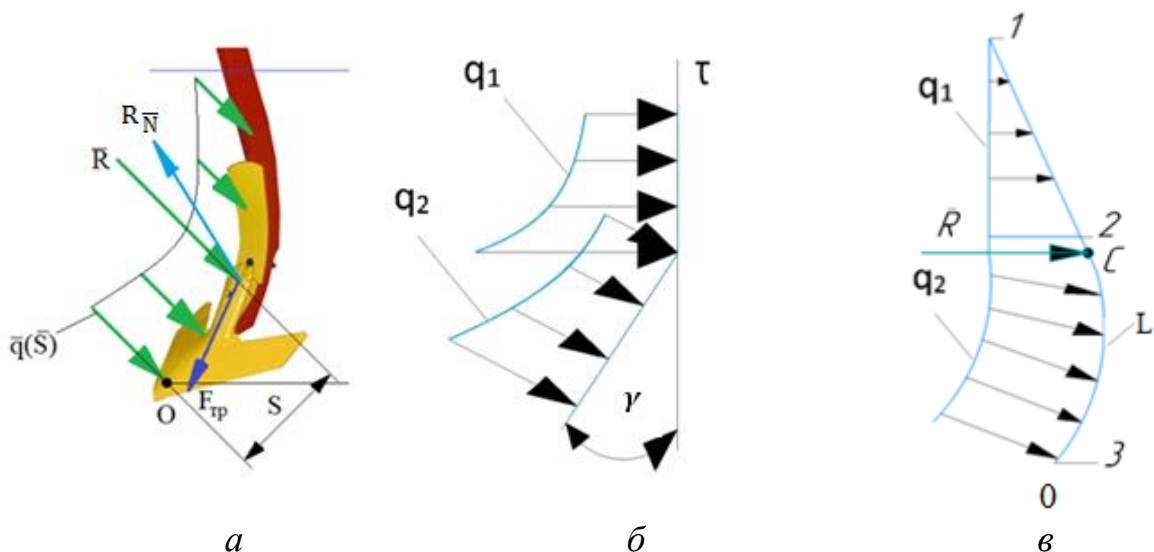
$$G = 10^{-3} \cdot g \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot n_1, \quad (4)$$

где G – сила тяжести дисковой бороны, кН; μ – удельная конструкционная масса бороны, кг/м.

На основании исследований Г.Б. Побежимова и подставив выражения (3) и (4) в рациональную формулу В. П. Горячкина получили силу сопротивления дисковой бороны:

$$P_{\text{диск}} = \sqrt{\frac{(0,3 \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot \sqrt{[10^{-3} \cdot g \cdot \mu \cdot f \cdot n + 0,15 \cdot k'' + 0,15 \cdot \varepsilon \cdot v_p^2]} \quad (5)$$

где f – общий коэффициент трения; ε – коэффициент, зависящий от формы поверхности рабочего органа, свойств почвы и размеров почвенного пласта, $(\text{кН} \cdot \text{с}^2)/\text{м}^4$; v_p – скорость движения агрегата, м/с; k'' – удельное сопротивление почвы, $\text{Н}/\text{м}^2$.



a – силы, действующие на лапу; b – нагрузка упрощенная; c – направление действия нагрузки

Рисунок 4 – Общий вид чизеля и схема действующих сил

Определено тяговое сопротивление чизеля лапы при действии силы реакции на почву (рисунок 4).

Исходя из рисунка 4 a определен модуль силы реакции R на чизель:

$$R = \int_L \bar{q}(S) \cdot d\bar{S} = \int_L q(S) \cdot \cos \gamma \cdot dS, \quad (6)$$

где $\bar{q}(S)$ – интенсивность распределенной нагрузки со стороны почвы на рабочий орган, Н/м; γ – угол между направлением силы $\bar{q}(S)$ и нормалью к точке приложения силы, град.

Величина и направление $\bar{q}(S)$ зависит от координаты S . Для упрощения вычислений принято на участках: 1-2 нагрузка соответствует по линейному распределению $q(S) = q_0 + k_1 \cdot S$, где k_1 – коэффициент линейной зависимости q от S , а 2-3 – по равномерному распределению. Найдена точка приложения (рисунки 4 в) силы реакции R . Момент силы, действующий на чизель для участка $(0, z_c)$ будет равен:

$$M_{(0, z_c)} = \int_{z_c}^0 q(z) \cdot dz, \quad (7)$$

а момент силы для участка (z_c, H) :

$$M_{(z_c, H)} = \int_{z_c}^H q(z) \cdot dz. \quad (8)$$

Приравнивая полученные моменты и проведя алгебраические преобразования выражений (7) и (8), получим:

$$k_1 \cdot z_c^2 + 2q_1 \cdot z_c - \left(q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2} \right) = 0, \quad (9)$$

где

$$z_{c1} = 4q_1^2 + 4k_1 \cdot \left(q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2} \right), \quad (10)$$

Определим координату точки приложения силы реакции R по формуле:

$$z_{c2} = \sqrt{\frac{2q_1^2}{k_1^2} + \frac{H \cdot \left(q_1 + \frac{k_1 \cdot H}{2} \right)}{k_1}}, \quad (11)$$

Преобразуем выражение (11), при $q_1 = 0$:

$$z_{c2} = 0,71 \cdot H. \quad (12)$$

Подставляя значения величин, найдем ее максимальное и минимальное значения:

$$H = 0,15\text{м и } q_{max} = 200\text{Н, } R_{min} = 15\text{Н;}$$

$$H = 0,35\text{м, } q_{max} = 500\text{Н, } R_{max} = 87,5\text{Н.}$$

В тоже время модуль силы реакции определяется по (рисунок 4 а):

$$R = \sqrt{1 + f_{TP}^2} \cdot R_N. \quad (13)$$

Модуль нормальной силы реакции определился по выражению:

$$R_N = \frac{R}{\sqrt{1 + f_{TP}^2}}. \quad (14)$$

Нормальная сила реакции повышается с увеличением силы реакции.

Например, тип почв в Приморско-Ахтарском, Старовеличковской, Тимашевском, Кропоткине, Армавире тяжелосуглинистые, у которой коэффициент трения о сталь (чизель) согласно В.В. Тихонова составляет 0,33. Тогда минимальное и максимальное значение нормальной силы реакции с учетом сил реакций составит: $R_{N_{min}} = 14,24\text{Н}$ и $R_{N_{max}} = 83,09\text{Н}$.

Суммарное тяговое сопротивление рабочих органов в КПА будет складываться из дисковой бороны ($P_{диски}$) и чизельного орудия (P_1) и определяется по выражению:

$$P = P_{диски} + P_1. \quad (15)$$

Получено тяговое сопротивление агрегата:

$$P = \left(\sqrt{\frac{(0,3(1 - \eta))^2 - 0,0015 \sin \beta \cdot (R^2 - 1)}{0,25 \cdot \text{ctg} \beta} \cdot \left(10^{-3} \cdot g \cdot \mu \cdot f \cdot n_1 + 0,15k'' + \right) + 0,15 \cdot \varepsilon \cdot v_p^2} \right) + (f_1 \cdot 10^{-3} \mu \cdot g \cdot (b_{\pi} - 2 \cdot (h - 0,125)) \cdot \text{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi))) + \left(k + \frac{\delta}{2g \cdot (\cos \theta + f \cdot \sin \theta)} \cdot v_p^2 \right) \times [0,015 - b_{\pi} - 2h \cdot \text{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi)) - 0,25 \cdot \text{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi))^2] + (k' + \varepsilon' \cdot v_p^2) \cdot n \cdot (b_{\pi} - 2 \cdot (h - 0,125)) \times \text{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi)) \cdot (0,375 - h). \quad (16)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления передвижению чизеля в борозде; G – вес чизельного орудия, кН; k, k' – коэффициенты, которые характеризуют способность почвенного пласта сопротивляться деформации, кН/м²; $b_{\text{п}}$ – ширина деформированной полосы почвенного пласта в поперечном сечении, м; φ_1 – угол трения обрабатываемого почвенного пласта по материалу чизельного рыхлителя, град; ψ – угол скалывания, град; n – число рабочих органов; ε' – коэффициент деформации почвы, (кН·с²)/м⁴; v_p – скорость движения агрегата, м/с; θ – угол наклона тягового сопротивления к горизонту, град.

В результате проведенных расчетов были получены следующие значения тягового сопротивления чизелей в агрегате в зависимости от угла наклона дисков: 62,8...66,9 кН при угле наклона – 15 °; 64,3...68,0 кН при угле наклона – 30 °; 85,7...93,0 кН при угле наклона – 45 °.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ. Для проведения экспериментальных исследований была разработана программа и методика исследований. Был изготовлен опытный образец КПА (рисунок 5), на котором были сняты диски и плоскорезные лапы (5 шт.).



Рисунок 5 – Общий вид экспериментального образца комбинированного почво-обрабатывающего агрегата

Для определения факторов, которые влияют на качество обработки почвы по агротребованиям агрегата, было проведено априорное ранжирование факторов. Наиболее значимыми факторами (таблица 1), являются: (x_1) скорость движения агрегата, км/ч, (x_2) угол наклона дисков, в град.

Таблица 1 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированные обозначения, x_i	Интервал варьирования, Δ_i	Уровни факторов		
			+1	0	-1
Скорость движения агрегата, X_1 (v), км/ч	x_1	3	12	9	6
Угол наклона дисков, X_2 (α), град	x_2	15	45	30	15

Математическую обработку полученных экспериментальных данных производили по разработанной программе на ЭВМ в среде *Mathcad 7*, по ее результатам получили уравнение регрессии в кодированном виде:

$$y = 85,872 + 1,464 \cdot x_1 + 2,97 \cdot x_2 - 2,655 \cdot x_1 \cdot x_2 - 14,553 \cdot x_1^2 - 10,39 \cdot x_2^2, \quad (17)$$

где y – качество обработки почвы по агротребованиям, %; x_1 – кодированное значение скорости движения агрегата; x_2 – кодированное значение угла наклона дисков.

Проверка по критерию Фишера показала, что данное уравнение адекватно.

$$fr = 0,231; ft = 6,04.$$

Определены оптимальные значения исследуемых параметров КПА, которые обеспечивают максимальное качество обработки почвы – 86,10 % при скорости движения агрегата $X_1 = 9,1$ км/ч и угле наклона диска $X_2 = 32^\circ$.

Построена поверхность отклика (рисунок б а) и двумерное сечение (рисунок б б), которое характеризует зависимость качества обработки почвы от рассматриваемого параметра и режима работы КПА.

Зависимость качества обработки почвы согласно агротребованиям от скорости движения агрегата представлена на рисунке 7.

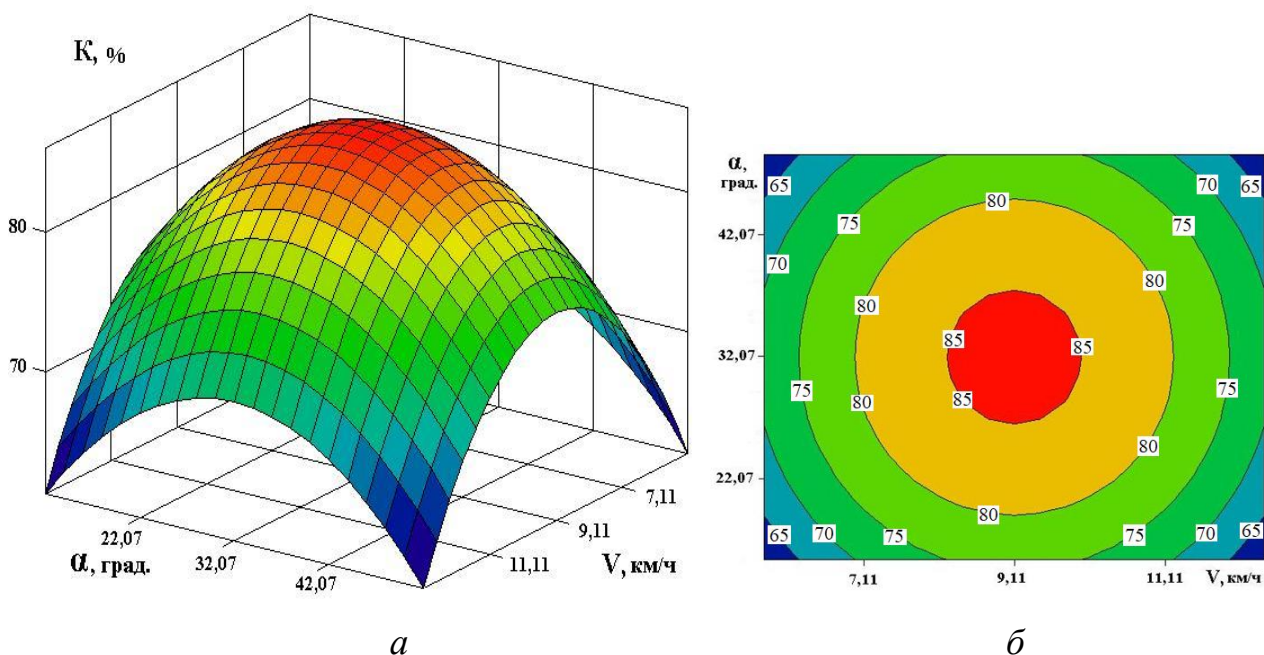


Рисунок 6 – Поверхность отклика (а) и двухмерное сечение поверхности (б) зависимости качества обработки почвы от скорости движения агрегата и угла наклона диска

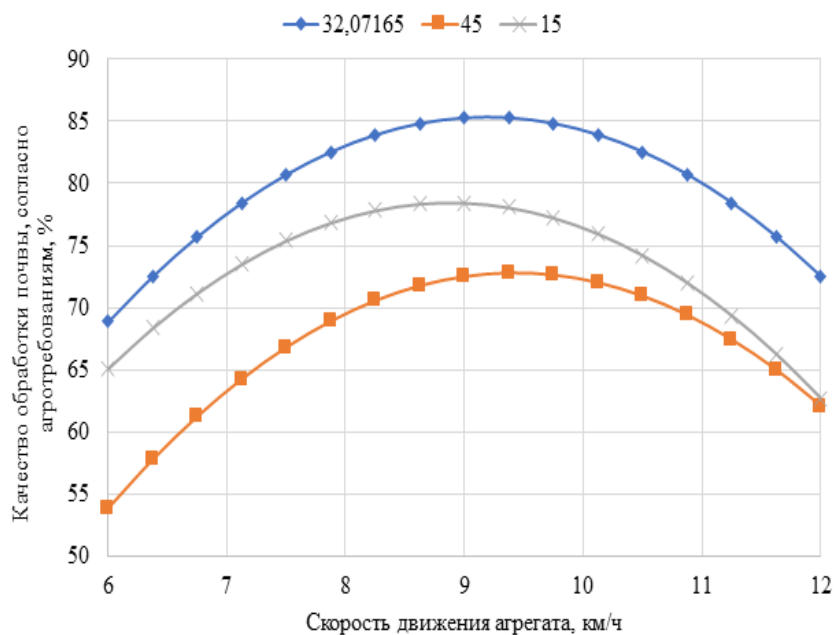


Рисунок 7 – Зависимость качества обработки почвы, от скорости движения агрегата при угле наклона дисков

На рисунке 7 представлены зависимость качества обработки почвы, согласно агротребованиям от скорости движения агрегата при угле наклона дисков:

$$\alpha = 32^\circ:$$

$$y = -14,55 x_2 + 1,831 + 85,264, \quad (18)$$

$$\alpha = 45^\circ:$$

$$y = -14,55 x_2 + 4,119x + 75,512, \quad (19)$$

$$\alpha = 15^\circ:$$

$$y = -14,55 x_2 + 1,191x + 78,452. \quad (20)$$

Полевые испытания КПА проводили 17.09.2020 г. и 22.10.2021 г. в Красноармейском районе, РПЗ им. Майстренко, отделение № 7 (пос. Краснополянский).

В результате проведенных полевых испытаний было установлено, что наличие пор в почве и водных канал имеет значение 44–48 %, а в пахотном слое значение аэрации доходит до 14 %, общая пористость на уровне пахотного слоя – 46 %, а ниже его – 48 %. При полевых его испытаниях на выполнение вспашки заделка пожнивных остатков – 80-85 %, а при дисковании почвы на поле через месяц после лущения и после уборки сои с плотностью соответственно 1,2 и 1,3 г/см³ составила – 45-50 % (рисунок 8).



а

б

а – в работе; *б* – поверхность поля после прохода

Рисунок 8 – Внешний вид комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1

Расхождение между теоретическими и экспериментальными зависимостями силы сопротивления КПА от угла атаки диска не более 10 %, а тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата относительная ошибка составила 5 %.

В четвертой главе приведены результаты экономической эффективности КПА для гладкой вспашки. Проведенная технико-экономическая оценка агрегата АПУ-1 при сравнении с агрегатами, которые по отдельности выполняют дискование и чизелевание показала, что чистый дисконтированный доход за период его эксплуатации (5 лет) на площади 100 га составляет 25 800 тыс. руб., что на 7 180 тыс. руб. больше в сравнении с базовым вариантом; себестоимость работ снизилась с 237 тыс. руб. до 190 тыс. руб. или в 1,25 раза; срок окупаемости капитальных вложений – 1,2 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема КПА со сменными рабочими органами: дисками и чизельными лапами, позволяющими выполнять гладкую вспашку за один проход. Новизна технического решения подтверждена патентами РФ на полезную модель № 193872, 201758, 207705, 206517, 214422.

2. На основе рациональной формулы В. П. Горячкина получены математические модели зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от их параметров:

– дискового орудия, от коэффициента равномерности глубины обработки почвы, угла его наклона, радиуса дисков, удельной конструкционной его массы и коэффициентов;

– чизельного орудия, от критической глубины чизелевания, конструктивной ширины захвата, коэффициента, который определяет форму рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного пласта, а также угла скалыва-

ния и ширины деформированной полосы почвенного пласта в поперечном сечении. В результате проведенных расчетов были получены следующие значения тягового сопротивления чизелей в КПА в зависимости от угла наклона дисков:

62,8...66,9 кН при угле наклона – 15 °;

64,3...68,0 кН при угле наклона – 30 °;

85,7...93,0 кН при угле наклона – 45 °.

3. Изготовлен экспериментальный образец КПА со сменными рабочими органами для гладкой вспашки с возможностью изменения конструктивно-режимных параметров.

4. В результате реализации плана Бокса-Бенкина для двухфакторного эксперимента были получены оптимальные параметры КПА: скорость движения – 9,1 км/ч, угол наклона дисков – 32,1 °, качество обработки по гребнистости – 86,1 %.

5. В результате полевых испытаний разработанного КПА установлено, что для снижения тягового сопротивления при изменении фона поля и угла наклона дисков с 15 до 45 ° необходимо, чтобы скорость его движения была не более 9 км/ч.

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных тягового сопротивления, разработанного КПА при его работе на разном фоне поля (после лущения, целина и после уборки сои) и изменении скорости движения от 6 до 12 км/ч, в результате которого установлено среднее его значение: 63,8...67,6 кН при угле наклона дисков 15 °; 65,4...68,4 кН, при угле 30 °; 86,6...93,6 кН, при угле 45 °. При этом величина его вариации не превышает 3%.

При угле наклона дисков 15 ° глубина обработки почвы составляет 20 см, высота гребня с 19 до 16 см, глыбистость для комков диаметром больше 5 см 50–45 %. При этом с увеличением угла наклона дисков с 15 до 30 ° глубина обработки почвы составляет 18 см, уменьшается высота гребня с 16 до 10 см, глыбистость с 45 до 40 %. При дальнейшем увеличении угла наклона дисков до 45 °

глубина обработки почвы составляет 16 см, высота гребня с 10 до 8 см, глыбистость уменьшиться с 40 до 38 %.

Проведена оценка равномерности распределения гребнистости поверхности поля, которая имеет величину вариации 8,7–11,2 %. При этом корреляция между качеством обработки почвы и высотой гребня составляет 0,96–0,97 % и наибольшая корреляция наблюдается при угле наклона дисков 45 °.

6. Расхождение между теоретической и экспериментальной зависимостью силы сопротивления КПА от угла атаки диска при скорости движения агрегата 9-15 км/ч и глубине обработки 8-12 см не более 10 %.

Сходимость теоретической и экспериментальной зависимости тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата от 6 до 12 км/ч при разных углах его наклона 15...45 ° определялась по общепринятой методике, относительная ошибка составила 5 %.

7. Проведенная технико-экономическая оценка предлагаемого КПА при сравнении с агрегатами, которые по отдельности выполняют дискование и чизелевание позволяет повысить чистый дисконтированный доход за период его эксплуатации (5 лет) на площади 100 га до 25 800 тыс. руб., что на 7 180 тыс. руб. больше в сравнении с базовым вариантом, снизить себестоимость работ с 237 тыс. руб. до 190 тыс. руб. или в 1,25 раза. Срок окупаемости капитальных вложений в агрегат составляет 1,2 года.

Рекомендации и предложения производству

Сельскохозяйственным предприятиям предлагается разработанный КПА для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры, который содержит сменные рабочие органы: диски и чизельные лапы.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее совершенствование предложенной конструктивно-технологической схемы КПА для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры должно происходить путем совмещения чизелевания и дискования.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Кузьмин, В. В. Агрегат почвообрабатывающий универсальный АПУ-1 / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Романов, С. Ю. Орленко, В. А. Дробот, В. В. Кузьмин // Научный журнал КубГАУ. – 2020. – №157(03). – С. 182–205.

2. Kuzmin, V. V. Harrow with Turning Disc Section [Текст] / В. F. Tarasenko, V. V. Kuzmin, I. P. Troyanovskaya, S. A. Partko, S. A. Voinash // Scientific journal Engineering technologies and systems. – 2023. – Vol. 33, № 1. – P. 10–20.

3. Кузьмин, В. В. Поворотная балка почвообрабатывающего агрегата [Текст] / В. В. Кузьмин, Б. Ф. Тарасенко, Е. Е. Самурганов // Сельский механизатор. – 2023. – № 11. – С. 10–15.

- в базе данных, индексируемых в Scopus:

4. Kuzmin, V. V. Universal tillage unit / В. F. Tarasenko, S. Y. Orlenko, V. V. Kuzmin // IOP conference series: Earth and environmental science. "International Science and Technology Conference "Earth Science". – Chapter 2". – 2021. – P. 32.

- патенты на полезные модели:

5. Патент № 193872 Российской Федерации А01 В 3/36 (2006.01). Плуг с поворотной балкой [Текст] / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Романов, С. Ю. Орленко, И. А. Куликов, В. В. Кузьмин ; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2019109692, 02.04.2019; опубл. 10.02.2021. Бюл. № 4.

6. Патент № 201758 Российской Федерации А01 В 7/00 (2006.01). Агрегат почвообрабатывающий [Текст] / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Романов, С. Ю. Орленко, И. А. Куликов, В. В. Кузьмин ; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2020103244, 24.01.2020; опубл. 20.04.2022. Бюл. № 11.

7. Патент № 206517 Российской Федерации А01 В 3/36 (2006.01). Поворотная балка агрегата почвообрабатывающего [Текст] / Б. Ф. Тарасенко, С. Ю. Орленко, С. В. Оськин, В. В. Кузьмин, В. Н. Гаврилов ; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2021117671, 16.06.2021; опубл. 14.09.2021. Бюл. № 26.

8. Патент № 207705 Российской Федерации А01 В 3/08 (2006.01). Борона с поворотной дисковой секцией [Текст] / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Романов, С. Ю. Орленко, В. В. Кузьмин, И. Е. Припоров ; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2021106294, 10.03.2021; опубл. 12.11.2021. Бюл. № 32.

9. Патент № 214422 Российской Федерации А01 В 3/00 (2006.01). Почвообрабатывающий агрегат [Текст] / Б. Ф. Тарасенко, С. Ю. Орленко, В. Н. Гаврилов, В. В. Кузьмин, А. А. Добровольский ; заявитель и патентообладатель Кубанский госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2022110189, 14.04.2022; опубл. 26.10.2022. Бюл. № 30.

- в прочих изданиях:

10. Кузьмин, В. В. Оценка качества разрыхления почвенных структур техническими средствами, разработанными в КубГАУ / Б. Ф. Тарасенко, С. Ю. Орленко, В. В. Кузьмин // Растениеводство и луговодство : сб. ст. Всеросс. науч. конф. с междуна. участ. Москва. – 2020. – С. 46–51.

11. Кузьмин, В. В. Агрегат почвообрабатывающий универсальный АПУ-1 / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Кузьмин // Год науки и технологий 2021 : сб. тез. по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. Краснодар. – 2021. – С. 163.

12. Кузьмин, В. В. Полезная модель «Универсальный плуг с поворотной балкой» / Тарасенко Б.Ф., Кузьмин В.В. // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. статей по матер. 74-й науч.-пр. конф. студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощачев. – С. 344–346.

Подписано в печать __.__.2024

Бумага офсетная

Уч.-изд. л. 1

Тираж 100 экз.

Формат 60 × 84 ¹/₁₆

Офсетная печать

Заказ № ____

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13