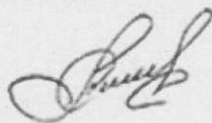


На правах рукописи



Нуриев Ленар Мидхатович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА
РОТАЦИОННОГО ОРУДИЯ С КОАКСИАЛЬНЫМ
РАСПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ
ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Казань – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный аграрный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Яхин Сергей Мирбатович

Официальные оппоненты: Юнусов Губейдулла Сибятуллович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет», профессор кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции;

Дёмшин Сергей Леонидович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», заведующий лабораторией механизации полеводства.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет», г. Чебоксары.

Защита диссертации состоится 29 сентября 2023 года в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.312.10, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68, зал заседаний Учёного совета А-330.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, К. Маркса, д. 68, зал заседаний Учёного совета А-330, Учёный совет.

В отзыве указываются фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии), наименование организации и должность лица с указанием структурного подразделения, представившего отзыв (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней), специальность по защите диссертации.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=461734>.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Диляра Фарильовна
Зиятдинова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Для предпосевной обработки почвы широко применяются комбинированные почвообрабатывающие машины и орудия с ротационными рабочими органами. На современном этапе развития техники чётко прослеживается перспективная тенденция разработки комбинированных ротационных машин и орудий, которые содержат спирально-винтовые и игольчатые рабочие органы. В конструктивном плане рабочие органы располагаются (устанавливаются) на раме, как правило, последовательно друг за другом. В последние годы появились конструктивные разработки орудий с коаксиальным (от англ. *coaxial* – соосный) расположением рабочих органов. Существующие конструкции машин и орудий с последовательным расположением рабочих органов имеют большие габариты, сложны, материалоемки и энергоёмки. Машины и орудия с коаксиальным расположением рабочих органов устраняют эти недостатки. Они компактны, более маневренны, менее материалоемки и энергоёмки, однако вопросы коаксиальной компоновки различных конструктивных вариантов ротационных рабочих органов, а также взаимодействия их с почвой мало изучены, следовательно, требуют дополнительных исследований и поэтому остаются на сегодняшний день актуальными.

Степень разработанности темы

Предлагаемое ротационное орудие для предпосевной обработки почвы (далее – ротационное почвообрабатывающее орудие) содержит коаксиально расположенные на раме спирально-винтовой и игольчатые рабочие органы.

По этой причине нами изучены и проанализированы теоретические исследования и научные труды, посвящённые разработке и обоснованию параметров ротационных почвообрабатывающих орудий, которые содержат как спирально-винтовые, так и игольчатые рабочие органы.

Свой вклад в разработку и исследование ротационных почвообрабатывающих машин и орудий со спирально-винтовыми рабочими органами внесли Мармалюков В.П., Гайнанов Х.С., Галиуллин Ш.Р., Мазитов Н.К., Лещанкин А.И., Ермолко Е.В., Матышин Ю.И., Наумов Л.Г., Щукин С.Г., Якимов Ю.В., Путрин А.С., Акимов А.П., Чаткин М.Н., Избасарова З.И., Абдрахманов Р.К., Кузьмин М.В., Шубин А.В., Падальцин К.Д., Булгариев Г.Г., Юнусов Р.Г., Голубев Д.А., Яхин С.М., Голубев В.В. и др.

Разработке и исследованию ротационных почвообрабатывающих машин и орудий, содержащих игольчатые рабочие органы, посвящены исследования Путрина А.С., Конищева А.А., Сапарова О., Зиязетдинова Р.Ф., Карпуши П.П., Дадченко Н.В., Белокопытова А.В., Смирнова П.А., Козырева Б.М., Руцкого А.В., Кислова А.А., Мингалимова Р.Р., Подолько П.М., Латыпова Р.М., Смирнова М.П., Сагалбекова Б.У., Понамарева А.В., Казакова В.И., Валиева А.Р., Булгариева Г.Г., Сергунцова А.С. и др.

Теоретические исследования, конструкторские разработки и научные труды указанных выше учёных явились базой при разработке конструкции ротационного почвообрабатывающего орудия и обосновании его основных параметров.

Цель и задачи исследования

Цель работы состоит в повышении качества и эффективности предпосевной обработки почвы путём разработки и обоснования параметров ротационного почвообрабатывающего орудия с коаксиально расположенными на раме спирально-винтовым и игольчатыми рабочими органами. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Теоретически обосновать конструктивные, кинематические и технологические параметры коаксиально расположенных на раме спирально-винтового и игольчатых рабочих органов ротационного почвообрабатывающего орудия;
2. Разработать конструктивно-технологическую схему ротационного почвообрабатывающего орудия с коаксиальным расположением на раме спирально-винтового и игольчатых рабочих органов;
3. Исследовать процесс взаимодействия спирально-винтового и игольчатого рабочих органов с почвой и определить тяговое сопротивление ротационного почвообрабатывающего орудия в полевых условиях;
4. Испытать ротационное почвообрабатывающее орудие в полевых условиях и определить агротехнические показатели работы;
5. Оценить технико-экономическую и энергетическую эффективность использования ротационного почвообрабатывающего орудия.

Научная новизна

1. Разработана конструктивно-технологическая схема ротационного почвообрабатывающего орудия, позволяющего производить за один проход рыхление, крошение почвы, разрушение комков, уплотнение семенного ложа, мульчирование и выравнивание поверхности поля.
2. Получены теоретические зависимости для определения скорости и ускорения точек режущей кромки спирально-винтового и игольчатых рабочих органов, а также рационального значения показателя кинематического режима работы.
3. Получены теоретические зависимости для определения и обоснования рациональных конструктивных, кинематических и технологических параметров спирально-винтового и игольчатых рабочих органов.
4. Разработана математическая модель технологического процесса предпосевной обработки почвы, позволяющая определить рациональные значения поступательной скорости агрегата и частоты вращения эллипсоидных игольчатых дисков.

Техническая новизна ротационного почвообрабатывающего орудия подтверждена патентом Российской Федерации на полезную модель № 195364.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты теоретических исследований служили основой при разработке, проектировании и изготовлении опытного образца ротационного почвообрабатывающего орудия с коаксиально расположенными на раме спирально-винтовым и игольчатыми рабочими органами с рациональными конструктивными, кинематическими и технологическими параметрами.

Научные положения, выводы и результаты исследований могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями при разработке перспективных ротационных почвообрабатывающих машин и орудий.

Методология и методы исследования

В теоретических исследованиях использовались базовые законы и методы земледельческой механики, основы математического анализа, аналитической геометрии, теоретической механики и сопротивления материалов. Экспериментальные исследования выполнены на основе планирования многофакторного эксперимента и регрессионного анализа опытных данных с использованием компьютерных программ Statistica и Mathlab.

Положения, выносимые на защиту

1. Теоретические зависимости для определения и обоснования конструктивных, кинематических и технологических параметров рабочих органов ротационного почвообрабатывающего орудия.

2. Конструктивно-технологическая схема ротационного почвообрабатывающего орудия с коаксиально расположенными на раме спирально-винтовым и игольчатыми рабочими органами.

3. Результаты экспериментального исследования по определению тягового сопротивления ротационного почвообрабатывающего орудия в полевых условиях.

4. Результаты экспериментального исследования ротационного почвообрабатывающего орудия по определению агротехнических показателей работы в полевых условиях.

5. Техничко-экономическая и энергетическая эффективность ротационного почвообрабатывающего орудия.

Апробация работы

Основные положения работы доложены на научно-практической конференции «Prední vedecke novinky – 2012» (г. Прага, 2012 г.), Международной научно-практической конференции «Проблемы развития научного потенциала и направления его повышения» (г. Магнитогорск, 2023 г.) и Всероссийской научно-практической конференции «Система научных ценностей Российского общества: междисциплинарные исследования» (г. Саратов, 2023 г.). Результаты работы экспонировались на Международной специализированной выставке «Агрокомплекс: Интерагро. Анимед. Фермер Поволжья» (г. Казань, 2017 г.), а также на Международной агропромышленной выставке «АГРОВОЛГА – 2022» (г. Казань, 2022 г.).

Публикации

По материалам диссертации автором опубликовано 11 печатных работ, из них 5 статей, входящие в перечень научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 статья в рецензируемом журнале наукометрической базы данных Scopus, 4 работы – в материалах научно-практических конференций, а также 1 патент на полезную модель.

Личный вклад автора заключается в анализе современного состояния объекта исследования, разработке конструктивно-технологической схемы почвообрабатывающего орудия, теоретическом обосновании параметров, в разработке и изготовлении опытного образца почвообрабатывающего орудия и испытании его в полевых условиях, обработке экспериментальных данных, подготовке публикаций по диссертационной работе.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует п.5 Мобильные и стационарные энергетические средства, машины, агрегаты, рабочие органы и исполнительные механизмы, п. 6 Методы и средства оптимизации технологий, параметров и режимов работы машин и оборудования, п. 14 Научные основы конструирования и создания новых машин, агрегатов, рабочих органов, исполнительных механизмов паспорта научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Достоверность результатов исследований

Степень достоверности работы подтверждена результатами теоретических исследований, результатами экспериментальных исследований ротационного почвообрабатывающего орудия, проведенных в полевых условиях с применением современного оборудования и измерительной аппаратуры, сходимостью результатов исследований с аналогичными работами.

Объект исследований – технологический процесс предпосевной обработки почвы ротационным почвообрабатывающим орудием с коаксиально расположенными рабочими органами.

Предмет исследования – закономерности влияния конструктивных, кинематических и технологических параметров ротационного почвообрабатывающего орудия на качество предпосевной обработки почвы.

Реализация результатов исследований

Разработанное ротационное почвообрабатывающее орудие внедрено в КФХ ИП Вафин Р.К Лаишевского района Республики Татарстан. Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

Объем и структура диссертационной работы

Диссертационная работа изложена на 145 страницах машинописного текста и включает 57 рисунков, 12 таблиц и 12 приложений. Список литературы включает 135 наименований цитируемых работ российских и зарубежных авторов.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, а также изложены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе «Современное состояние вопроса» приведена классификация спирально-винтовых и игольчатых рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Выполнен также конструктивный обзор существующих и применяемых в производстве ротационных почвообрабатывающих орудий с коаксиальным расположением рабочих органов.

Во второй главе «Теоретическое определение и обоснование основных параметров почвообрабатывающего орудия» описана конструктивно-технологическая схема предлагаемого ротационного почвообрабатывающего орудия, определены и обоснованы основные конструктивные и кинематические параметры коаксиально установленных ротационных рабочих органов.

Почвообрабатывающее орудие (рис. 1) содержит раму 1 и опорные колёса 14.

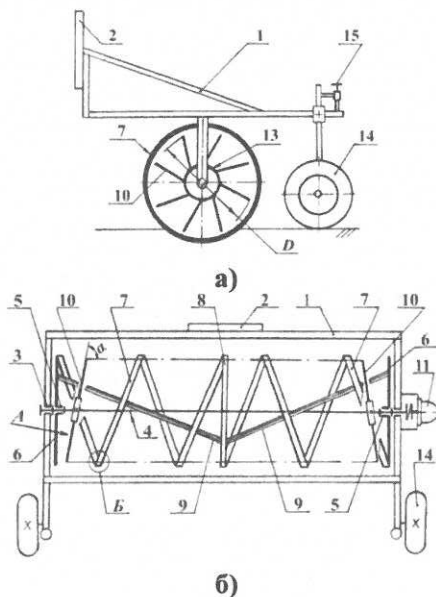


Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема ротационного почвообрабатывающего орудия (а – рабочее положение; б – вид сверху): 1 – рама; 2 – навеска; 3 и 5 – подшипники; 4 – вал; 6 – диски; 7 – ленточные спирали; 8 – кольцо; 9 – прутки; 10 – игольчатые диски; 11 – гидромотор; 13 – ступица; 14 – опорные колёса; 15 – винтовой механизм

На раме 1 коаксиально установлены спирально-винтовой рабочий орган 7 и эллипсоидные игольчатые диски 10. Витки спирали закреплены между собой при помощи квадратных прутков 9. При поступательном движении агрегата спирально-винтовой рабочий орган 7 активно разрыхляет, крошит почву, разрушает комки и уплотняет семенное ложе. Одновременно эллипсоидные игольчатые диски 10 вычёсывают сорные растения на поверхность, интенсивно мульчируют и выравнивают поверхность почвы.

Спирально-винтовой рабочий орган 7 выполнен в виде ленточной спирали, каждый виток которой представляет собой наклонный (косой) геликоид. Эллипсоидные игольчатые диски 10 приводятся в движение при помощи гидромотора 11.

Методом аналитической геометрии получены параметрические уравнения движения отдельных точек M и P спирально-винтового рабочего органа в пространстве, произвольно выбранных на его режущей кромке (рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} X_{M,P} &= D_{св} (\varphi - \sin \varphi) / 2 ; \\ Y_{M,P} &= \mp D_{св} \varphi \operatorname{tg} \varepsilon / 2 ; \\ Z_{M,P} &= D_{св} (1 - \cos \varphi) / 2 , \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $D_{св}$ – диаметр рабочего органа, м.; φ – угол поворота рабочего органа, рад; ε – угол наклона витка винтовой спирали, град. Верхний знак здесь для точки M «правого» винта, а нижний – для точки P «левого» винта.

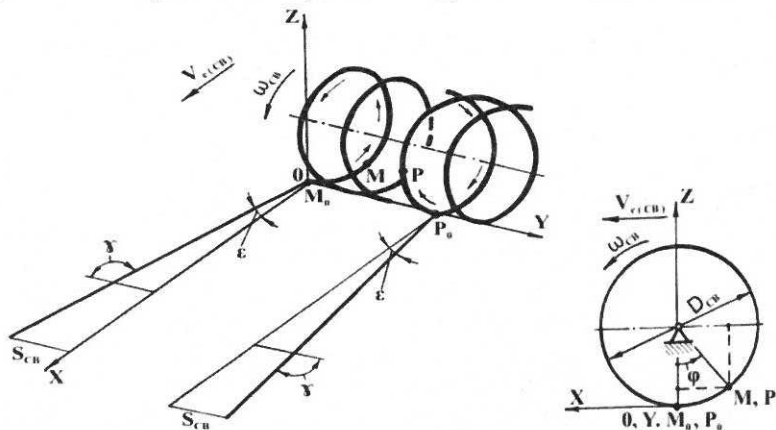


Рис. 2 – К исследованию кинематики рабочего органа

Проекции скорости точек режущей кромки винтовой спирали можно вычислить путём дифференцирования выражения (1) по времени:

$$\left. \begin{aligned} V_{M,P}^X &= dX_{M,P}/dt = D_{св} \omega_{св} (1 - \cos \varphi) / 2, \\ V_{M,P}^Y &= dY_{M,P}/dt = \mp D_{св} \omega_{св} \operatorname{tg} \varepsilon / 2, \\ V_{M,P}^Z &= dZ_{M,P}/dt = D_{св} \omega_{св} \sin \varphi / 2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Модуль (величина) абсолютной скорости исследуемых точек режущей кромки, т. е. скорость резания почвы режущими кромками винтовой спирали определяется согласно выражению:

$$V_{M,P} = D_{св} \omega_{св} \sqrt{2(1 - \cos \varphi) + \operatorname{tg}^2 \varepsilon} / 2. \quad (3)$$

Благодаря сложной траектории движения повышается эффективность взаимодействия рабочего органа с почвой. Витки ленточной спирали, погружаясь в почву, помимо рыхления и крошения, одновременно перемещают почвенные частицы относительно друг друга. В результате уменьшается расстояние между ними, следовательно, уменьшается объем пор, что приводит к увеличению плотности прослойки почвы – семенного ложа.

Аналитическим способом получено выражение для обоснования рационального значения диаметра спирально-винтового рабочего органа: $D_{св} = 6,8 a$, где a – глубина обработки почвы, м. При $a = 0,06 - 0,08$ м рациональное значение диаметра $D_{св} = 0,408 - 0,544$ м.

Установлено, что для снижения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия образующая поверхности спиральной ленты (образующая геликоида) должна быть наклонена к поверхности почвы под углом δ (рис. 3), вычисляемом по формуле: $\delta > \varphi_{тр}$, где $\varphi_{тр}$ – угол трения скольжения почвы о рабочую поверхность рабочего органа, град. Выявлено, что рациональное значение этого угла $\delta > 19^\circ - 39^\circ$.

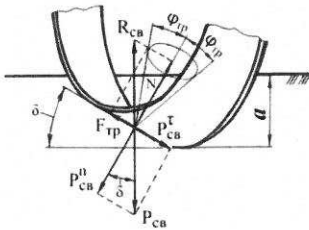


Рис.3 – К определению угла наклона образующей геликоида

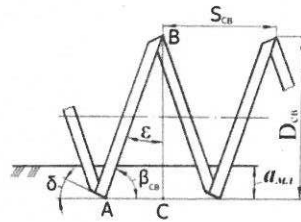


Рис.4 – К определению угла наклона витка спирали

Каждый элемент витка винтовой спирали работает как непрерывно действующий трёхгранный клин (рис.4). В ходе технологического процесса режущие кромки спиральной ленты разрезают почву (монолит), а рабочие поверхности (поверхности геликоида) производят сжатие почвы.

Получено выражение для обоснования рационального значения угла

наклона витка спирали: $\varepsilon < 90^\circ - \varphi_{\text{тр}}$, где $\varphi_{\text{тр}}$ – угол трения скольжения почвы о рабочую поверхность, град. Выявлено, что рациональное значение угла наклона витка спирали $\varepsilon = 10^\circ - 25^\circ$.

Одним из перспективных направлений улучшения качества предпосевной обработки почвы и снижения энергозатрат на её выполнение является применение в составе ротационного орудия эллипсовидных игольчатых дисков с активным приводом (рис. 5).

Параметрические уравнения движения конечной точки K игл диска в пространстве, которые получены методом аналитической геометрии, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} X_K &= D_{\text{иг}} (\varphi / \lambda \mp \sin \varphi) / 2; \\ Y_K &= D_{\text{иг}} (1 - \cos \varphi) / (2 \operatorname{tg} \alpha); \\ Z_K &= D_{\text{иг}} (1 - \cos \varphi) / 2, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $D_{\text{иг}}$ – диаметр игольчатого диска, м.; φ – угол поворота игольчатого диска, рад; λ – показатель кинематического режима; α – угол наклона ступицы диска к оси вращения, град. Верхний знак здесь и в дальнейших выражениях для диска, который вращается «сверху вниз», а нижний знак – «снизу вверх».

Конечные точки игл эллипсовидного диска при поступательном движении агрегата перемещаются по сложной траектории, в частности в горизонтальной и вертикальной плоскостях они перемещаются по синусоиде, что способствует к активному мульчированию поверхности почвы и вычесыванию сорняков.

Проекции скорости исследуемой точки иглы можно вычислить путём дифференцирования выражения (4) по времени:

$$\left. \begin{aligned} V_K^X &= dX_K/dt = D_{\text{иг}} \omega_{\text{иг}} (1/\lambda \mp \cos \varphi) / 2, \\ V_K^Y &= dY_K/dt = D_{\text{иг}} \omega_{\text{иг}} \sin \varphi / (2 \operatorname{tg} \alpha), \\ V_K^Z &= dZ_K/dt = D_{\text{иг}} \omega_{\text{иг}} \sin \varphi / 2. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

С учётом технологических требований на мульчирование поверхностного слоя почвы рациональное значение диаметра эллипсовидного игольчатого диска определено согласно зависимости: $D_{\text{иг}} = D_{\text{св}} - a$, где $D_{\text{св}}$ – диаметр спирально-винтового рабочего органа, м; a – глубина обработки почвы, м. При $D_{\text{св}} = 0,47$ м, $a = 0,06 - 0,08$ м, рациональное значение диаметра диска $D_{\text{иг}} = 0,390 - 0,410$ м.

Основываясь на трудах проф. Матяшина Ю.И., получено выражение для определения рационального значения показателя кинематического режима:

$$\lambda = [\pi/k_{\text{игл}} \pm \arccos(1 - 2h_{\text{гр}}/D_{\text{иг}})] / [2\sqrt{h_{\text{гр}}(D_{\text{иг}} - h_{\text{гр}})}/D_{\text{иг}}], \quad (6)$$

где $k_{\text{игл}}$ – количество игл на диске, шт.; $h_{\text{гр}}$ – допустимое значение высоты гребешков, м, $h_{\text{гр}} = (0,1 - 0,2) a_{\text{мл}}$, где $a_{\text{мл}}$ – глубина мульчирования, м.

Взяв за основу исследования проф. Канарева Ф.М., получено выражение для обоснования рационального значения угла наклона ступицы эл-

липсовидного диска к оси вращения: $\alpha > \varphi_{\text{тр}} + i$, где i – угол заточки иглы, град. Анализ показал, что стабильная и устойчивая динамика диска наблюдается, когда $\alpha = 60^\circ - 70^\circ$.

Для обеспечения скользжащего вхождения в почву и самоочищения от растительных остатков иглы эллипсовидных дисков установлены на ступице с наклоном назад на угол β (рис. 5). Выявлено, что каждая игла закрепляется на ступице диска строго под своим расчётным углом, равном в пределах $29,0^\circ - 32,6^\circ$.

Путём фиксирования начальных и конечных точек игл углами, как на профильной плоскости, так и на плоскости самого диска получено уравнение для определения теоретической длины игл. Определено и обосновано рациональное значение диаметра иглы $d = 0,010$ м.

В этой главе разработаны также теоретические предпосылки для определения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия.

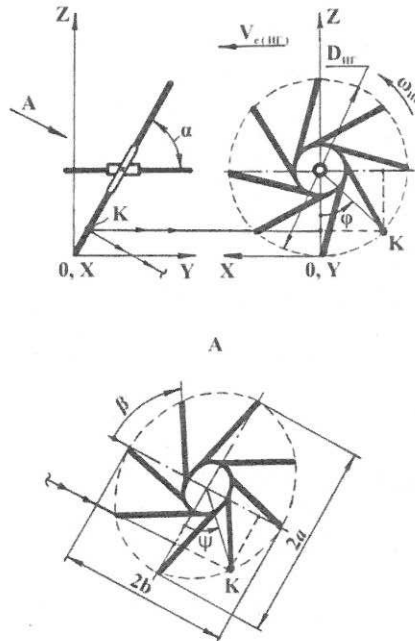


Рис. 5 – Схема к исследованию кинематики эллипсовидного игольчатого диска

В третьей главе «Программа, оборудование, методика и результаты экспериментальных исследований» изложены программа, методика и ре-

зультаты экспериментальных исследований. Приведены также сведения о применяемых приборах и оборудовании.

Для реализации программы исследований разработан и изготовлен опытный образец ротационного почвообрабатывающего орудия (рис. 6).

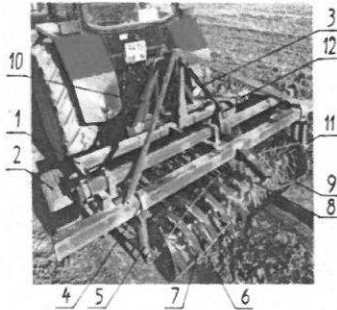


Рис. 6 – Опытный образец ротационного почвообрабатывающего орудия: 1 – рама; 2 – опорные колеса; 3 – винтовой механизм; 4 – хомуты; 5 – стойки; 6 – вал; 7 – ленточная спираль; 8 – игольчатые диски; 9 – винтовые прутки; 10 – тензометрическая навеска; 11 – гидромотор; 12 – гидрошланги

Приведены результаты исследований опытного образца ротационного почвообрабатывающего орудия, проведенных в полевых условиях ООО АФ «Нармонка» Лаишевского района Республики Татарстан. Тип почвы – средне-суглинистый, средняя влажность почвы – 18,2 %, средняя твердость участка – 1,35 МПа.

Тяговое сопротивление P_T почвообрабатывающего орудия определялось методом планирования многофакторного эксперимента.

В качестве основных факторов эксперимента выбраны глубина a обработки почвы, поступательная скорость V_e агрегата и частота вращения $n_{иг}$ эллипсовидных игольчатых дисков. В результате получена математическая модель в натуральных величинах:

$$P_T = 72,43 + 10950,00 a + 49,74 \cdot V_e + 1,83 \cdot n_{иг}. \quad (7)$$

Адекватность математической модели была проверена по критерию Фишера. В связи с тем, что $F_{рас} = 69,88 \gg F_{кр} = 3,15$, математическая модель является адекватной.

При доверительной вероятности опыта 95 % выполнен статистический анализ математической модели. Результаты эксперимента достоверны, т. к. среднее значение абсолютной ошибки аппроксимации не превышает 10 %.

Для того, чтобы проверки адекватности математической модели по критериям Фишера и средней относительной погрешности были корректными, проверялось выполнение для неё условий Гаусса-Маркова.

Расчёты показали, что математическая модель удовлетворяет условиям Гаусса-Маркова, т.е. оценки параметров метода наименьших квадратов являются несмещёнными, состоятельными и эффективными, т. е. они имеют наименьшие дисперсии.

Были построены поверхности отклика математической модели $P_T = f_1(V_e, n_{иг})$ (рис. 7); $P_T = f_2(a, n_{иг})$ (рис. 8); $P_T = f_3(a, V_e)$ (рис. 9).

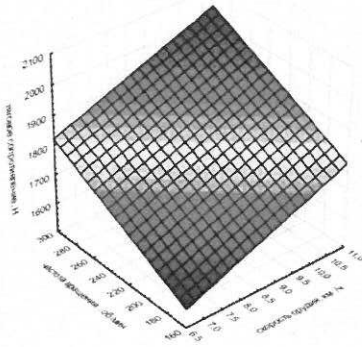


Рисунок 7 – Поверхность отклика зависимости $P_T = f_1(V_e, n_{иг})$

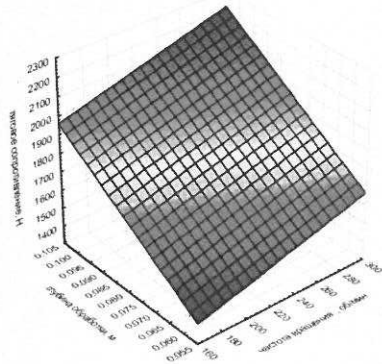


Рисунок 8 – Поверхность отклика зависимости $P_T = f_2(a, n_{иг})$

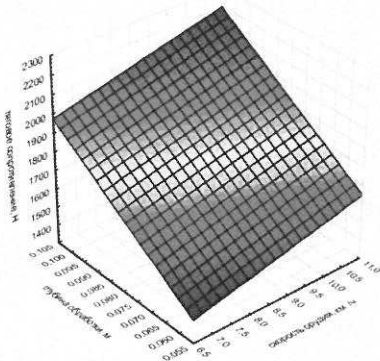


Рисунок 9 – Поверхность отклика зависимости $P_T = f_3(a, V_e)$

Эксперименты показали, что средние фактические значения глубины обработки почвы не превышают допустимых значений (± 10 мм), предусмотренные агротехническими требованиями на предпосевную обработку

Из рисунков 7-9 видно, что поверхности отклика носят линейный характер и с увеличением глубины обработки почвы, поступательной скорости агрегата и частоты вращения игольчатых дисков тяговое сопротивление орудия увеличивается.

В заключение выявлены рациональные параметры технологического процесса, которые обеспечивают минимальное тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия: глубина обработки $a = 0,06$ м, поступательная скорость агрегата $V_e = 6,9$ км/ч, частота вращения игольчатых дисков $n_{иг} = 182$ мин⁻¹.

почвы. Гребнистость поверхности (рис. 10) составляет 15,2 – 21,8 мм, что удовлетворяет агротехническим требованиям, поскольку высота гребней не превышает 30 – 40 мм.

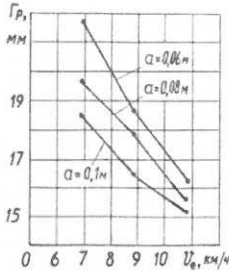


Рис. 10 – Графики зависимости гребнистости поверхности почвы

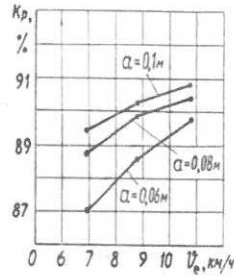


Рис. 11 – Графики зависимости крошения почвы

Степень крошения почвы (рис. 11) составляет 87 – 90,8 %, данные экспериментов удовлетворяют агротребованиям, т. к. агрономически ценные фракции (до 50 мм) превышают 80 %.

В четвёртой главе представлены методика и итоги расчёта технико-экономической и энергетической эффективности ротационного почвообрабатывающего орудия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлено перспективное направление разработки ротационных почвообрабатывающих орудий нового поколения, заключающееся в коаксиальном размещении на раме спирально-винтового рабочего органа геликоидального типа и эллипсовидных игольчатых дисков особой конструкции (Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель № 195364).

2. Аналитическим способом определены рациональные значения основных параметров спирально-винтового рабочего органа: диаметр $D_{св} = 0,408 - 0,544$ м, угол наклона образующей поверхности спирали (геликоида) к поверхности почвы $\delta > 19^\circ - 39^\circ$, угол наклона витка спирали $\varepsilon = 10^\circ - 25^\circ$, количества витков $n_{вит} = 5$, количество навилок $n_{нав} = 2 - 4$, шаг $S_{св} = 0,36$ м, количество винтовых квадратных прутков $n_{прут} = 4 - 8$. Определены также рациональные значения основных параметров эллипсовидных игольчатых дисков: диаметр $D_{иг} = 0,390 - 0,410$ м, угол наклона ступицы диска к оси вращения $\alpha = 60^\circ - 70^\circ$, показатель кинематического режима $\lambda = 2$, количество игл на диске $k_{игл} = 16$, расстояние между дисками по оси секции $l_d = 0,160 - 0,180$ м, количество дисков в секции $k_d = 10$. Получено аналитическое выражение для определения длины игл по всему

периметру эллипсовидного диска. Выявлено, что длина $l_{игл}$ игл меняется по синусоидальному закону в пределах 0,1372 – 0,1503 м. Получены теоретические зависимости для определения угла наклона игл к оси вращения. Расчёт выявил, что первая игла наклонена к оси вращения под минимальным углом 65° , пятая и тринадцатая иглы наклонены к оси вращения под углом 90° , девятая игла наклонена к оси вращения под максимальным углом 115° . Получены также теоретические зависимости для определения угла закрепления игл на ступице. Выявлено, что каждая игла закрепляется на ступице диска под своим углом β наклона, равном в пределах $29,0^\circ - 32,6^\circ$. Определено и обосновано рациональное значение диаметра иглы $d = 0,010$ м. Разработаны теоретические предпосылки для определения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия.

3. Разработаны программа и методика проведения экспериментальных исследований в полевых условиях. Для реализации программы проведения экспериментальных исследований разработан и изготовлен опытный образец ротационного почвообрабатывающего орудия с рациональными параметрами: $D_{св} = 0,47$ м; $S_{св} = 0,36$ м; $\varepsilon = 13,7^\circ$; $n_{вит} = 5$; $n_{нав} = 2$; $n_{прут} = 4$; $\delta = 30^\circ$; $D_{иг} = 0,4$ м; $\alpha = 65^\circ$; $\lambda = 2$; $k_d = 10$; $k_{игл} = 16$; $l_d = 0,18$ м; угол установки дисков на валу друг относительно друга – 20° ; ширина захвата опытного образца – 1,8 м.

4. Реализация плана многофакторного эксперимента позволила получить статически значимую математическую модель, которая описывает влияние факторов на тяговое сопротивление ротационного почвообрабатывающего орудия. Установлено, что рациональными параметрами, обеспечивающими минимальное тяговое сопротивление агрегата, являются: глубина обработки $a = 0,06$ м, скорость движения агрегата $V_e = 6,9$ км/ч, частота вращения игольчатых дисков $n_{иг} = 182$ мин⁻¹. Эксперименты также показали, что глубина обработки отличается от установленных значений в допустимых пределах, гребнистость $\Gamma_p = 15,2 - 21,8$ мм < 30 – 40 мм, а степень крошения почвы $K_p = 87 - 90,8\% > 80\%$.

5. Годовой экономический эффект от использования предлагаемого ротационного почвообрабатывающего орудия составит 136,2 тыс. руб. Срок окупаемости капитальных вложений – 1,26 года. Полные энергетические затраты на проведение обработки почвы снизятся на 11 %.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования

Дальнейшая разработка темы направлена на повышение эффективности работы орудия путём совершенствования вариантов коаксиальной компоновки рабочих органов, а также установки их под углом к направлению движения.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

Статьи в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Нуриев, Л.М. Бороны с активными спирально - винтовыми рабочими орга-

нами / Л.М. Нуриев, А.А. Камалиев, С.М. Яхин // Сельский механизатор, 2013. – № 11. – С. 10-11.

2. Нуриев, Л.М. Кинематический анализ и обоснование параметров спирально - винтового рабочего органа почвообрабатывающей машины / Л.М. Нуриев, Ф.Ф. Яруллин, С.М. Яхин, И.И. Алиакберов // Вестник Казанского ГАУ, 2020. – № 2(58). – С. 21-26.

3. Яхин, С.М. Кинематика игольчатого эллипсоидного диска ротационного почвообрабатывающего орудия / С.М. Яхин, И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев, Ф.Ф. Яруллин // Техника и оборудование для села, 2020. – № 2(272). – С. 12-15.

4. Алиакберов, И.И. Обоснование параметров эллипсоидного игольчатого диска почвообрабатывающего орудия / И.И. Алиакберов, С.М. Яхин, Л.М. Нуриев // Вестник Казанского ГАУ, 2021. – № 2(62). – С. 65-69.

5. Нуриев, Л.М. К определению тягового сопротивления ротационного почвообрабатывающего орудия / Л.М. Нуриев // Вестник Казанского ГАУ, 2022. – № 1(65). – С. 73-76.

Статья в рецензируемом журнале наукометрической базы данных Scopus:

6. Nuriev, L.M. Kinematics and parameters for spiral-helical machinery unit used for secondary tillage / L. M. Nuriev, S. M. Yakhin, I. I. Aliakberov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 488 012051. IOP Publishing. 2019. P. 1-11.

Патент:

7. Патент № 195364 РФ, МПК А01В 49/02. Ротационное комбинированное орудие для предпосевной обработки почвы / С.М. Яхин, И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев, (РФ); Опубл. 23.01.2020, Бюл. № 3.

Труды в прочих изданиях:

8. Яхин, С.М. Расчет валов сельскохозяйственных машин при сложном нагружении / С. М. Яхин, Б.Г. Зиганшин, А.Р. Валиев, Н.И. Сёмушкин, Л.М.Нуриев // Prední vedecké novinky – 2012: Материалы VIII научно-практической конференции. – Прага, 2012. – С. 59-65.

9. Алиакберов, И.И. Ротационное почвообрабатывающее орудие с коаксиальным расположением рабочих органов / И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев // Проблемы развития научного потенциала и направления его повышения: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2023. – С. 9-11.

10. Алиакберов, И.И. Результаты экспериментального определения тягового сопротивления ротационного почвообрабатывающего орудия / И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев // Проблемы развития научного потенциала и направления его повышения: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2023. – С. 11-14.

11. Алиакберов, И.И. Параметрические уравнения движения игольчатых дисков ротационного почвообрабатывающего орудия / И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев // Система научных ценностей Российского общества: междисциплинарные исследования: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов, 2023. – С. 99-101.