

На правах рукописи



КОЛОТОВ АНТОН СЕРГЕЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВОЗАЦЕПОВ ДИСКОВ
КОМБИНИРОВАННЫХ ПОДКАПЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН**

Специальность: 05.20.01 - Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2015

Работа выполнена на кафедре «Техническая эксплуатация транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВПО РГАТУ)

Научный руководитель: кандидат технических наук
Юхин Иван Александрович

Официальные оппоненты: **Кухарев Олег Николаевич**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА», профессор
кафедры «Организация и информатизация
производства»
Пономарев Андрей Григорьевич,
кандидат технических наук,
ФБГНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт механизации
сельского хозяйства Российской академии
наук», заведующий лабораторией
«Механизация возделывания картофеля»,
ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: ГНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт картофельного
хозяйства им. А.Г. Лорха»

Защита состоится «2» июля 2015 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.117.06 ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» по адресу: 430904, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М.М. Бахтина ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» и на сайте www.mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT_ID=34641

Автореферат разослан « » июня 2015 г. и размещен на официальном сайте Минобрнауки РФ <http://vak2.ed.gov.ru> «30» апреля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Величко С.А.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Согласно «Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 годы» в Российской Федерации одним из наиболее важных направлений развития производимой продукции в стране является увеличение урожайности картофеля регламентированного качества, а так же снижение себестоимости его производства.

В наши дни его производят почти в 130 странах мира. Каждый год на нашей планете собирают более 300 млн. т урожая картофеля, с общей площади более 18 млн. га. Далеко не последнее место в списке его производителей занимает Россия. В нашей стране собирают около 10% всего мирового урожая данной культуры.

Производство картофеля в целом сложная задача. Самым трудоемким и энергоемким процессом, на который уходит до 70% трудозатрат и 40 – 60% энергозатрат, является уборка урожая. Проблема заключается в том, что для проведения данной операции необходимо перерабатывать большое количество почвы и с минимальными потерями и повреждениями выделять из нее клубни картофеля. Доля самого картофеля при этом составляет около 2% массы всего пласта, подкапываемого картофелеуборочной машиной.

В крестьянско-фермерских хозяйствах и в личных хозяйствах граждан, которыми производится в среднем 85% картофеля в нашей стране, для уборки урожая используют преимущественно картофелекопатели с последующим подбором урожая с поля вручную. Применение копателей на небольших территориях посадки экономически более эффективно по отношению к сбору урожая комбайном. Для соответствия агротехническим требованиям, предъявляемым к работе картофелекопателей, следует уделять постоянно значительное внимание совершенствованию их подкапывающих органов, как определяющих эффективность работы всей машины.

В настоящее время широкое распространение получили картофелеуборочные агрегаты с приемной частью, оснащенной дисками, расположенными по бокам от лемехов.

Исходя из этого, можно утверждать, что обоснование параметров почвозацепов дисков комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин является важной народно-хозяйственной задачей.

Степень разработанности темы. Систематизация и анализ материалов по тематике исследования проведены на основании работ известных ученых. Этим вопросом занимались в разное время: Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Н.И. Верещагин, В.П. Горячкин, И.Н. Кирюшин, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, О.Н. Кухарев, Н.П. Ларюшин, Н.Н. Лутхов, Н.М. Марченко, М.Е. Мацелуро, И.В. Никулин, В.М. Переведенцев, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, К.А. Пшеченков, К.И. Родин, А.А. Симдянкин, А.А. Сорокин, М.Б. Угланов, И.А. Успенский, М.Н. Чаткин и др. Они внесли значительный вклад в развитие картофелеуборочной техники в целом и конкретно в совершенствование их подкапывающих органов.

Вместе с тем, имеются возможности повышения эффективности работы имеющихся подкапывающих органов картофелеуборочных машин.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВПО РГАТУ на 2011...2015гг. по теме №7 «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки и хранения сельскохозяйственных культур в условиях ЦФО РФ» (№ гос. регистрации 01201174432) в рамках раздела 7.2. «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств уборки, транспортирования и хранения картофеля в условиях сельскохозяйственных предприятий Рязанской области» и согласуется с распоряжением Председателя Правительства РФ Д.А. Медведева №1233-р «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура на 2012-2015 годы».

Цель исследований - обоснование основных параметров почвозацепов боковых дисков комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин.

Объект исследований – комбинированные подкапывающие рабочие органы картофелеуборочных машин.

Предмет исследований – основные параметры почвозацепов дисков комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин.

Научную новизну работы составляет:

- теоретическое обоснование основных параметров почвозацепов боковых дисков комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин;
- теоретические зависимости крутящего момента и тягового сопротивления бокового диска от параметров почвозацепов.

Практическую значимость работы составляют:

- оригинальная конструкция подкапывающего рабочего органа картофелеуборочной машины (патент РФ на полезную модель № 134375), оснащенного почвозацепами в форме равносторонних треугольников, расположенных поочередно по обе стороны плоскости диска;
- полученные высокие значения агротехнических и технико-экономических показателей работы картофелеуборочной машины, оснащенной усовершенствованными комбинированными подкапывающими органами.

Методы исследований - теоретические исследования выполнены на основе положений, законов и методов теоретической механики и математического анализа с использованием ПК, в том числе с использованием программы MathCAD 14.0. Обоснование параметров почвозацепов дисков комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин проводилось как по известным, так и по разработанным оригинальным методикам. Экспериментальные исследования агротехнических показателей работы картофелеуборочных агрегатов, оснащенных модернизированной приемной частью выполнены с использованием теории планирования многофакторного эксперимента. Обработка результатов исследований проведена методами математической статистики. Оценка объектов

исследований при проведении полевых испытаний проводилась согласно СТО АИСТ 8.5-2010.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование формы и основных параметров почвозацепов дисков комбинированных подкапывающих органов,
- результаты полевых исследований работы картофелеуборочных машин, оснащенных усовершенствованными комбинированными подкапывающими органами с технико-экономической оценкой их применения.

Достоверность результатов исследований. Для осуществления лабораторных и полевых исследований использовались современные приборы и установки. Полученные результаты работы подтверждаются высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение не более 5%) и положительными результатами хозяйственных испытаний.

Реализация результатов исследований. Картофелеуборочная машина, оснащенная усовершенствованными комбинированными подкапывающими органами с почвозацепами в форме равносторонних треугольников успешно прошла полевые испытания в 2012...2014 гг. на полях ООО «Агроимпэкс» Московской области Луховицкого района д. Носово-1 на общей площади более 84 га.

Вклад автора в решение проблемы состоит в обобщении проведенных ранее теоретических и экспериментальных результатов исследований и выполненных им лично и в соавторстве. Автор участвовал в постановке задач аналитических и экспериментальных исследований, проведении теоретических исследований, экспериментов и хозяйственной проверке работы машины, обработке их результатов, написании статей и формировании общих выводов по результатам работы.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО РГАТУ (2011 – 2014 гг.). Результаты работы были представлены в салонах изобретений и инновационных технологий «Архимед-2014». Разработка «Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна» награждена серебряной медалью салона «Архимед-2014, -15».

Публикации. По теме диссертационной работы получен 1 патент РФ на полезную модель, опубликовано 4 статьи в журналах, включенных в «Перечень Российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ. Общий объем публикаций составил 1,56 п.л., из них лично соискателю принадлежит 0,63 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 109 наименований, в том числе 1 на иностранном языке и приложений. Работа изложена на 132 страницах основного текста, содержит 10 таблиц и 45 рисунков.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы, ее основные направления и народнохозяйственное значение. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Современное состояние и тенденции развития картофелеуборочной техники» проведен анализ состояния вопроса и определены задачи исследования.

Комбинированные подкапывающие устройства имеют бесспорные преимущества по крошению подкапываемого пласта, снижению тягового сопротивления и способность надежно передавать подкапываемую массу пласта почвы с клубнями на сепарирующие органы.

На основе проведенного анализа выявлено, что одним из перспективных схемно-конструктивных решений комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин, повышающих эффективность их работы, являются боковые диски с почвозацепами.

На основе результатов проведенного анализа поставлены следующие **задачи исследований:**

1) Обобщить результаты научных исследований подкапывающих органов картофелеуборочных машин и на этой основе определить перспективное направление их совершенствования;

2) Обосновать путем теоретических и экспериментальных исследований рациональные параметры дисков комбинированных подкапывающих органов с оригинальными почвозацепами, обеспечивающими повышение эффективности работы картофелеуборочных машин;

3) Предложить усовершенствованный комбинированный подкапывающий орган картофелеуборочной машины;

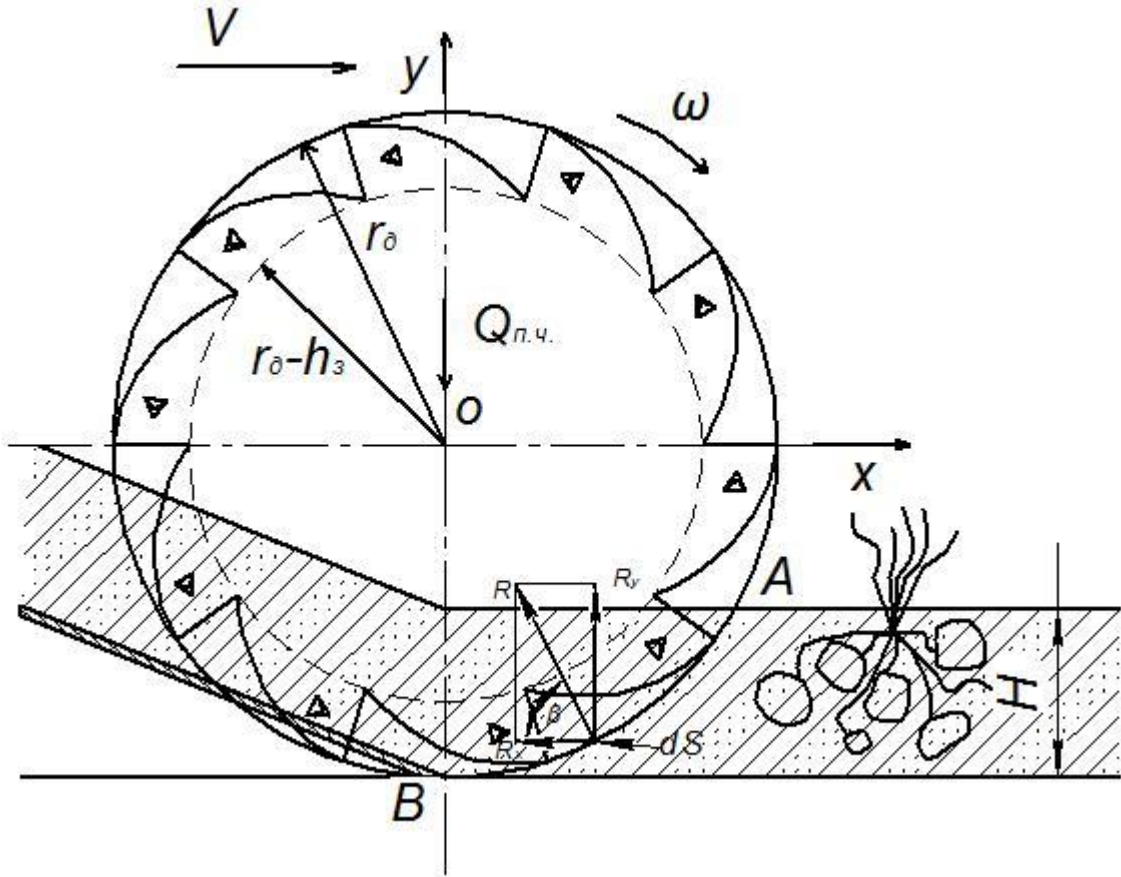
4) Провести оценку эффективности применения картофелеуборочных машин, оснащенных усовершенствованными комбинированными подкапывающими органами.

Во второй главе «Теоретические исследования подкапывающих органов картофелеуборочных машин» проведен теоретический анализ условий применимости боковых дисков с почвозацепами комбинированных подкапывающих органов картофелеуборочных машин, путем теоретических исследований обоснованы рациональные параметры почвозацепов дисков комбинированных подкапывающих органов, предложена схема усовершенствованного комбинированного подкапывающего рабочего органа картофелеуборочной машины.

Рассмотрим действие сил сопротивления почвы на боковой диск с почвозацепами комбинированного подкапывающего органа, для чего воспользуемся схемой, представленной на рисунке 1.

Допустим, что действие сил трения относительно невелико. Так как почвозацепы расположены поочередно с обеих сторон диска, то его можно считать симметричным рабочим органом, то есть действие элементарных сил сопротивления почвы может быть сведено к одной равнодействующей R ,

приложенной примерно к середине рабочей кривой АВ и проходящей через ось его вращения. Без учета сил трения составляющая R_x этой силы представляет собой тяговое сопротивление диска.



r_δ - конечное значение радиус-вектора, м; R - равнодействующая сил сопротивления почвы смятию, Н; R_x - тяговое сопротивление диска, Н; R_y - составляющая равнодействующей силы сопротивления почвы смятию по оси y , Н; H - глубина хода диска, м; h_3 - высота зуба, м; dS - элемент площади, $dS = dx \cdot dy$, м²; V - скорость поступательного движения диска, м/с; ω - угловая скорость вращения диска, с⁻¹; β - угол наклона радиус-вектора контактирующей точки к поверхности поля, град.

Рисунок 1. Схема к определению тягового сопротивления диска с почвозацепами

В общем виде выражение для определения тягового сопротивления диска с почвозацепами без учёта сил трения имеет вид

$$R_x = q_1 (b_\delta \cdot H + \sum_{i=Z'} S_{ni} \cdot \cos \beta_i); \quad (1)$$

где $\sum_{i=Z'} S_n$ - суммарная площадь почвозацепов, м²; H - глубина хода диска, м; b_δ - толщина диска, м; q_1 - удельное воздействие диска на почвенный пласт, Н/м²; β_i - угол наклона радиус-вектора i -ой контактирующей точки к поверхности поля, град;

После нахождения каждой из составляющих формулы (1), окончательно выражение для определения тягового сопротивления диска с почвозацепами без учета сил трения будет иметь вид

$$R_x = \frac{Q_{п.ч.} \cdot (b_d \cdot H + \sum_{i=Z} S_n \cdot \cos \beta_i)}{\frac{z \cdot b_d \cdot r_0}{2 \cdot 2\pi} \left(\psi + \frac{2k_n}{r_0} - 1 + e^{\psi \cot \tau} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_d - H}{r_d} \right) + \sum_{i=Z} S_n \cdot \sin \beta_i} = \frac{Q_{п.ч.} \cdot (b_d \cdot H + \sum_{i=Z} S_n \cdot \cos \beta_i) \cdot 2\pi}{\frac{z \cdot b_d \cdot r_0}{2 \cdot 2\pi} \left(\psi + \frac{2k_n}{r_0} - 1 + e^{\psi \cot \tau} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \left[1 - \frac{2H}{r_0(1+e^{\psi \cot \tau})} \right] \right) + \sum_{i=Z} S_n \cdot \sin \beta_i} \quad (2)$$

где $Q'_{п.ч.}$ – вес подкапывающей части машины, Н; Z – число зубьев, шт.; k_n – ширина почвозацепа, м; ψ – угол обхвата лезвия, рад; τ – угол скольжения, рад; r_0 – начальное значение радиус-вектора, м.

По результатам проведенных вычислений был произведен сравнительный анализ элементов диска подкапывающего рабочего органа следующих типов: диска без почвозацепов, диска с почвозацепами, имеющими форму прямоугольника, диска с почвозацепами, имеющими форму прямоугольной трапеции, и диска с почвозацепами, имеющими форму равностороннего треугольника (табл. 1). Сравнение велось при одинаковых высоте h_n и ширине почвозацепа k_n , радиусе r и глубине хода H диска.

Таблица 1. Сравнительные характеристики дисков с почвозацепами разной формы

Сравниваемые показатели	Зубчатый диск без почвозацепов	Зубчатый диск с почвозацепами		
		Прямоугольн ая форма	Прямоугольн ая трапеция	Равносторонн ий треугольник
Увеличение тягового сопротивления, %	0,0	14,5	11,2	8,7

Из табл. 1 видно, что наиболее приемлемой формой по тяговому сопротивлению почвозацепа является равносторонний треугольник.

Во время работы картофелеуборочной машины на почвозацепы дисков комбинированных подкапывающих органов могут наматываться растительные остатки, что неизбежно приводит к технологическим простоям агрегата. Для того чтобы решить эту задачу необходимо определить такие форму и расположение почвозацепа, которые бы обеспечивали перерезание растительных остатков или их соскальзывание с картофелеуборочного агрегата.

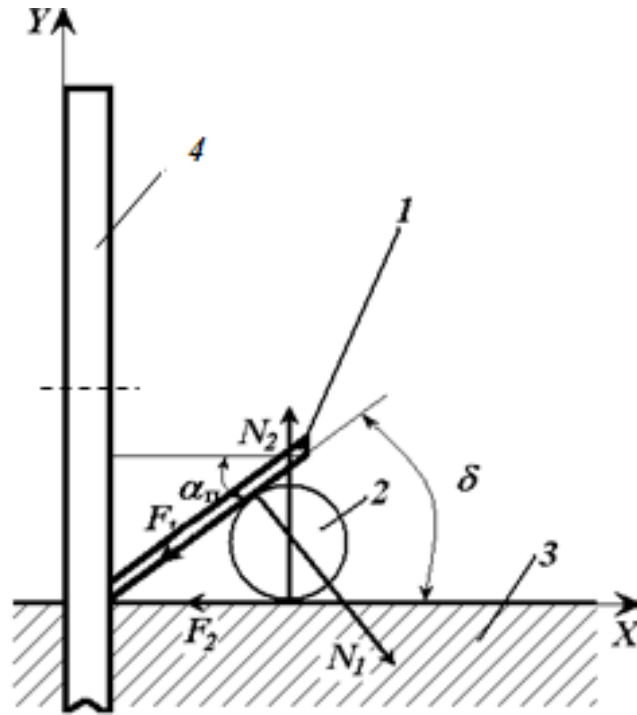
Рассмотрим схему воздействия рабочей кромки почвозацепа на элемент растения (рис. 2).

Примем направление оси OX по линии поверхности поля, а оси OY – по линии действия силы N_2 . Чтобы растительные остатки не выталкивались из вышеуказанного раствора, сила F_2 должна быть больше или равна сумме проекций всех сил, действующих на стебель по оси OX :

$$F_2 \geq N_1 \cdot \sin \delta - F_1 \cdot \cos \delta, \text{ Н} \quad (3)$$

Заменяя силы $F_1 = N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$ и $F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2$, получаем

$$N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \geq N_1 \cdot \sin \delta - N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \delta \quad (4)$$



1 – почвозацеп диска; 2 – элемент растения; 3 – поверхность поля; 4 – диск; N_1 и N_2 – нормальные реакции на элемент растения со стороны почвозацепа и клубненосного пласта, Н; F_1 – сила трения между почвозацепом и элементом растения, Н; F_2 – сила трения между почвой и элементом растения, Н; α_n – угол наклона рабочей плоскости почвозацепа относительно его высоты, град; δ – угол зацемя, град.

Рисунок 2. Схема воздействия рабочей кромки почвозацепа на элемент растения

Из условия равенства нулю суммы проекций всех сил на ось ОУ имеем:

$$N_2 = N_1 \cdot \cos\delta + F_1 \cdot \sin\delta = N_1 \cdot \cos\delta + N_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \sin\delta, \text{ Н} \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), получаем

$$\cos\delta + \sin\delta \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 \geq \sin\delta - \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \cos\delta \quad (6)$$

Решая неравенство (6), имеем

$$\operatorname{tg}\delta \leq \frac{\operatorname{tg}\varphi_1 + \operatorname{tg}\varphi_2}{1 - \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_2}, \quad (7)$$

но $(1 - \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_2) \approx 1$, получаем

$$\operatorname{tg}\delta \leq \operatorname{tg}\varphi_1 + \operatorname{tg}\varphi_2, \text{ откуда } \delta \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (8)$$

Так как $\delta = \alpha_n + \beta$, где β – угол наклона поверхности поля к горизонтали, $\beta \approx 0$, то $\delta = \alpha_n$. Тогда условие зацемя элементов растений рабочей поверхностью почвозацепа будет равно

$$\alpha_n \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (9)$$

Углы φ_1 и φ_2 известны, и, следовательно, угол наклона рабочей кромки почвозацепа, определяющей самоочищение от элементов растений и ботвы, должен быть меньше или равен 63° , то есть

$$\alpha_n \leq 27^\circ + 36^\circ = 63^\circ \quad (10)$$

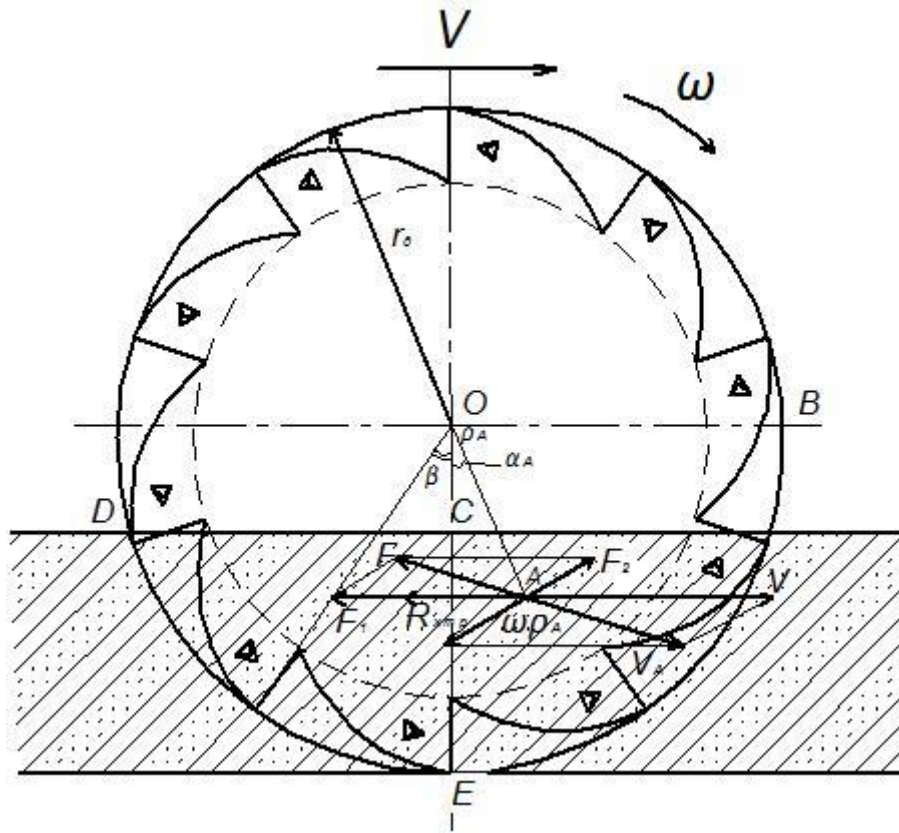
Из формулы (10) видно, что рационально использовать почвозацепы треугольной формы, имеющие угол наклона к плоскости диска меньше 63° . Это обеспечит снижение тягового сопротивления диска и самоочищение почвозацепа от растительных остатков.

Найдём крутящий момент и тяговое сопротивление с учетом сил трения. Для этого рассмотрим отдельно поверхность диска и почвозацепы (рис. 3, 4).

В интегральной форме крутящий момент, создаваемый дисками имеет вид

$$M_{\text{дис.}} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \cdot \int_{\alpha=0}^{\arccos \frac{r-H}{\rho}} \int_{\rho=r-H}^{\rho} \frac{(V \cdot \cos \alpha_A - \omega \cdot \rho_A) \cdot \rho_A^2 \cdot d\rho \cdot d\alpha}{\sqrt{\omega \cdot \rho_A (\omega \cdot \rho_A - 2V \cdot \cos \alpha_A) + V^2}} \quad (11)$$

где V - поступательная скорость движения агрегата, м/с; ω - угловая скорость вращения диска, рад/с; ρ_A - радиус, координирующий точку A на диске, м; α_A - угол, координирующий точку A на диске, град; p - давление почвы на боковую поверхность диска, Н/м²; f_{mp} - коэффициент трения диска о почву.



ρ_A - радиус, координирующий точку A на диске, м; α_A - угол, координирующий точку A на диске, град; V - поступательная скорость движения агрегата, м/с; V_A - скорость точки A диска, м/с; ω - угловая скорость вращения диска, рад/с.

Рисунок 3. Расчётная схема сил, действующих на диск, работающий в пассивном режиме

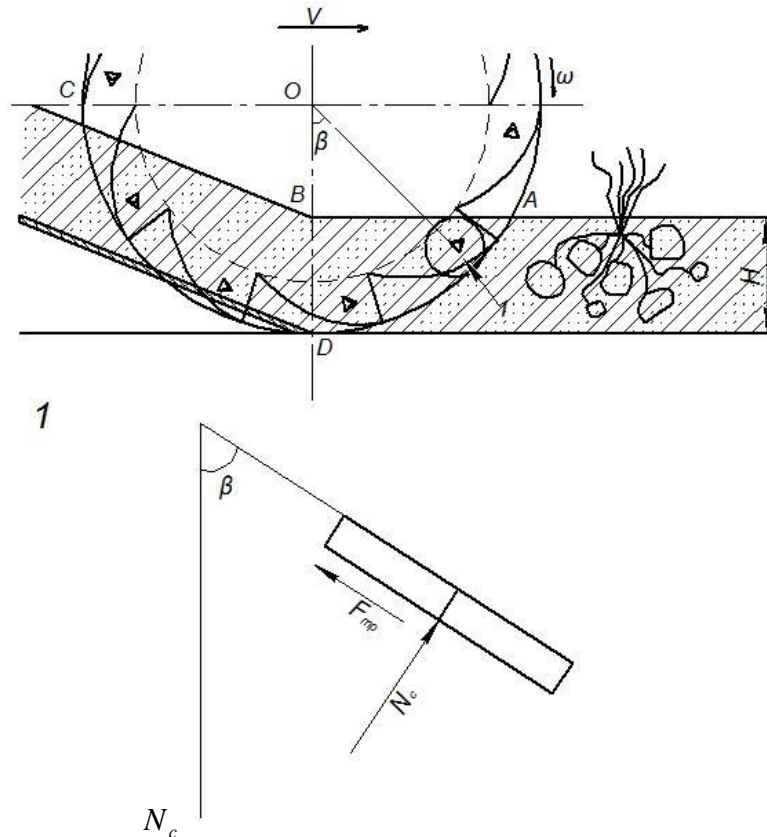
Момент, создаваемый почвозацепами, выразим по формуле

$$M_{\text{поч.}} = \left(r_0 - \frac{h_n}{2} \right) \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z'} S_n, \quad (12)$$

где $\sum_{i=Z'} S_n$ - суммарная площадь почвозацепов, м²; $r_0 - \frac{h_n}{2}$ - плечо действия силы, м; N_c - удельная сила сопротивления почвы, Н/м².

Величина крутящего момента создаваемого почвозацепами на диске

зависит от твердости почвы N_c , которая в зоне почвозацепа составляет 10...30 Н/м².



H – глубина хода диска, м; N_c – удельная сила сопротивления почвы, Н/м²; F_{mp} – равнодействующая силы трения, Н

Рисунок 4. Схема к определению момента и тягового сопротивления, создаваемого силой трения на поверхности почвозацепов

Суммируя момент, создаваемый почвозацепами и самим диском, получим общий крутящий момент

$$M_{общ} = M_{диск} + M_{поч} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \int_{\alpha=0}^{\arccos \frac{r-H}{\rho}} \int_{\rho=r-H}^{\rho=r-h/2} \frac{(V \cdot \cos \alpha - \omega \cdot \rho) \cdot \rho^2 \cdot d\rho \cdot d\alpha}{\sqrt{\omega \cdot \rho (\omega \cdot \rho - 2V \cdot \cos \alpha) + V^2}} + \left(r_d - \frac{h_n}{2} \right) \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z'} S_n \quad (13)$$

Тяговое сопротивление бокового диска определяется следующим образом:

$$R_x = \frac{2 \cdot Q_{п.ч.} \cdot H \cdot \Psi}{Z \cdot (h+c) \cdot (180^\circ - 2 \arcsin \frac{r-H}{r})} = \frac{2 \cdot Q_{п.ч.} \cdot H \cdot \Psi}{\left[\frac{r \cdot \Psi}{\lambda} + \frac{1}{\sin \tau} \left(\left(r - \frac{r \cdot \Psi}{\lambda} \right) \cdot \Psi \cdot \sin \tau + \text{tg} \tau \cdot (e^{\Psi \cdot \text{ctg} \tau} - 1) \right) \right] \cdot (\pi - 2 \arcsin \frac{r-H}{r})}, \text{ Н} \quad (14)$$

где $Q_{п.ч.}$ – вес подкапывающей части; H – глубина хода диска; λ – показатель кинематического режима (в нашем случае равен 1).

Тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности почвозацепа

$$R_{x.поч} = F_{mp} \cdot \sin \beta = f_{mp} \cdot N_c \cdot S_n \cdot \sin \beta, \quad (15)$$

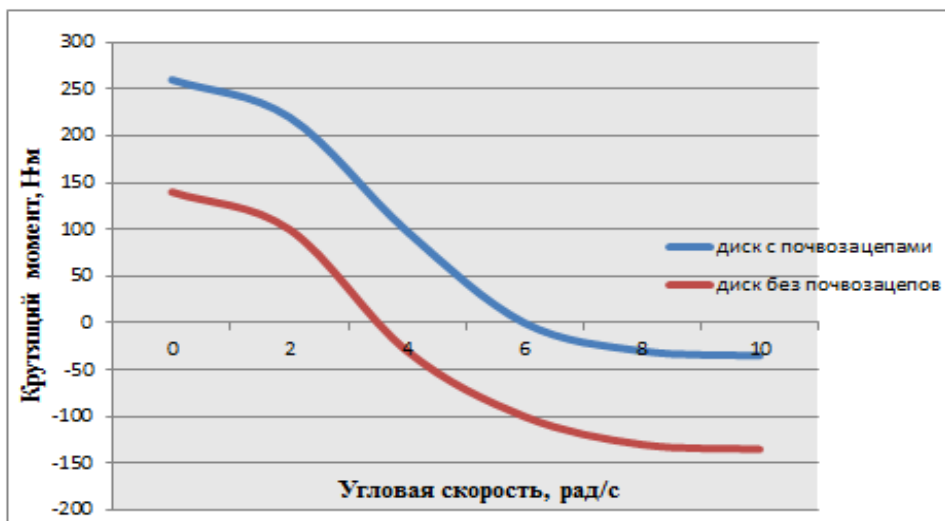
В почве во время движения находится несколько почвозацепов, поэтому окончательно выражение для определения тягового сопротивления, создаваемого силами трения на поверхности почвозацепов, находящихся в почве, примет вид

$$R_{x,поч.} = f_{mp} \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z'} S_n \cdot \sin \beta_i \quad (16)$$

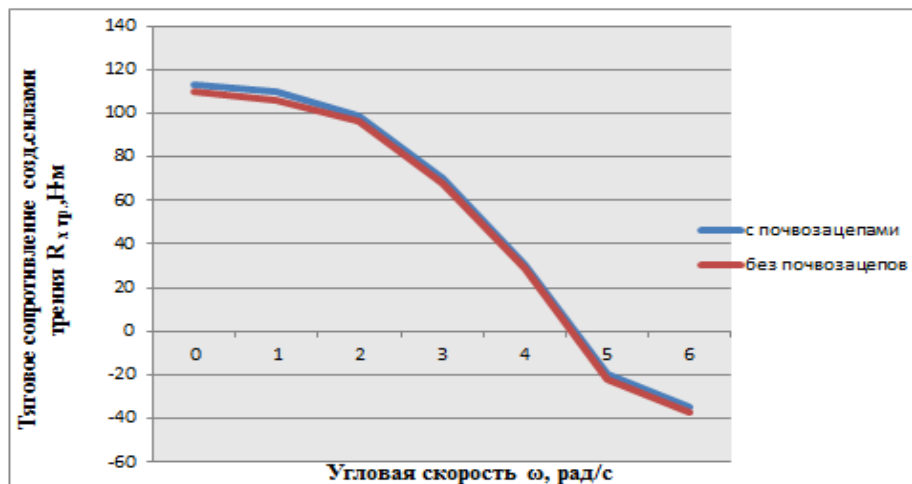
Общее тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности диска и почвозацепов имеет вид

$$R_{x,общ} = R_x + R_{x,поч} = \frac{2 \cdot Q_{пч.} \cdot H \cdot \Psi}{\left[\frac{r \cdot \Psi}{\lambda} + \frac{1}{\sin \tau} \cdot \left(\left(r - \frac{r \cdot \Psi}{\lambda} \right) \cdot \Psi \cdot \sin \tau + \text{tg} \tau \cdot (e^{\Psi \cdot \text{ctg} \tau} - 1) \right) \right] \cdot (\pi - 2 \arcsin \frac{r-H}{r})} + f_{тр} \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z'} S_n \cdot \sin \beta_i \quad (17)$$

Результаты интегрирования выражений (11, 14) при $p = 2,3 \text{ Н/см}^2$, $f = 0,5$, $H = 0,2 \text{ м}$, $V = 1 \text{ м/с}$ представлены на рисунке 5 (а и б).



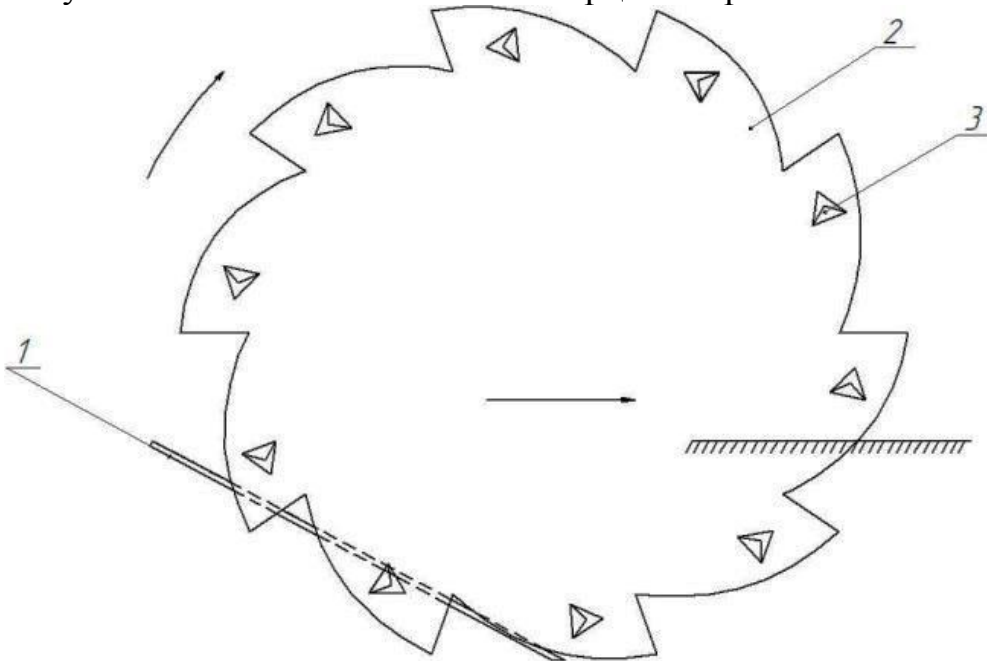
а)



б)

Рисунок 5. Теоретическая зависимость: а) крутящего момента бокового диска, $\text{Н} \cdot \text{м}$ от угловой скорости при твердости почвы в зоне почвозацепа 10 Н/м^2 ; б) тягового сопротивления, создаваемого силами трения на поверхности бокового диска.

Предложенный нами комбинированный подкапывающий рабочий орган картофелеуборочных машин (рис. 7), содержит лемех 1, по обе стороны которого вертикально установлены зубчатые диски 2. В каждом зубе выполнен почвозацеп 3 в виде равностороннего треугольника, площадь которого не превышает $1/3$ площади зуба. При этом одна сторона треугольника параллельна не рабочей поверхности зуба, а две другие насквозь прорезаны в теле диска 2 и отогнуты на угол 45° - 90° относительно его торца попеременно по обе стороны.



1 – лемех; 2 – зубчатый диск; 3 – почвозацеп.

Рисунок 6. Зубчатый диск с отгибами – почвозацепами разной формы (патент на полезную модель РФ №134735)

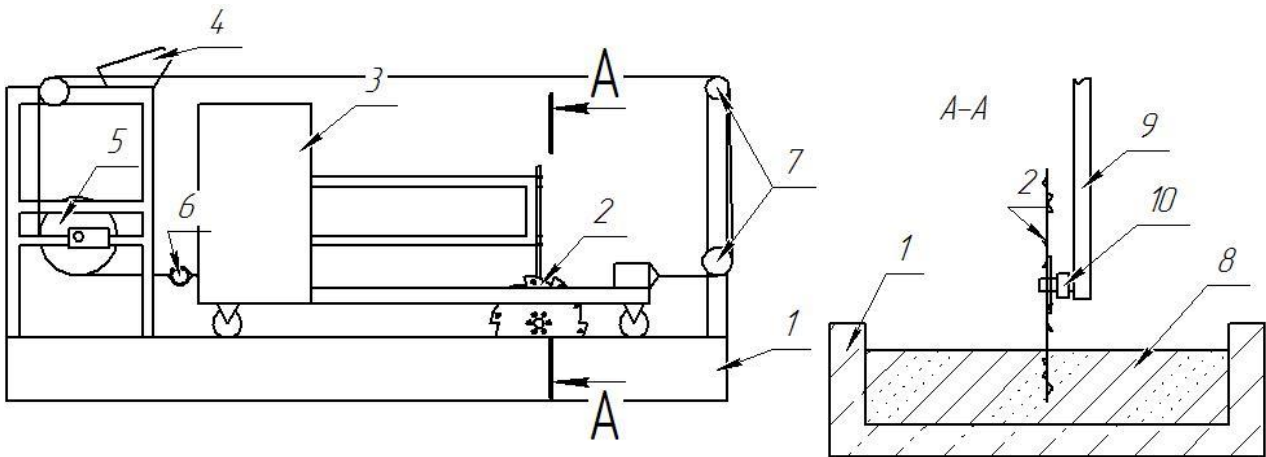
В третьей главе «Лабораторные исследования усовершенствованного подкапывающего рабочего органа картофелеуборочной машины» представлены программа, методика и результаты лабораторных исследований эффективности работы усовершенствованного подкапывающего органа картофелеуборочной машины. Была принята следующая программа исследований: 1) Проведение экспериментальных исследований диска с почвозацепами осуществлялось при различных величинах заглубления диска в почву, параметрах почвозацепов и скорости перемещения диска; 2) Обработка и оценка результатов испытаний.

Объектами исследований выступали стандартный и усовершенствованный диск с почвозацепами подкапывающего рабочего органа (рис. 7).

При определении тягового сопротивления разработанного диска с почвозацепами, переменными факторами выступали: x_1 – скорость движения агрегата, км/ч; x_2 – глубина хода диска, мм; x_3 – площадь почвозацепа, мм².

Основные уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 2.

После проведения лабораторных исследований, полученные результаты обрабатывались с использованием методов математической статистики.



1 – почвенный канал; 2 – диск, оснащенный почвозацепами; 3 - тележка; 4 – пульт управления; 5 – барабан; 6 – динамометр; 7 – направляющие ролики; 8 – грунт; 9 – кронштейн; 10 - ступица

Рисунок 7. Схема лабораторной установки

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании тягового сопротивления диска с почвозацепами

№	Факторы	Единицы измерения	Основной уровень		Интервал варьирования	Верхний уровень		Нижний уровень	
			Наг. знач.	Код. знач.		Наг. знач.	Код. знач.	Наг. знач.	Код. знач.
1	x_1	км/ч	3	0	1	4	+1	2	-1
2	x_2	мм	200	0	50	250	+1	150	-1
3	x_3	мм ²	1000	0	100	1100	+1	900	-1

По результатам лабораторных исследований получено уравнение регрессии для определения тягового сопротивления диска с почвозацепами:

$$y = 748,92 + 4,008 \cdot x_1 + 8,725 \cdot x_2 + 7,475 \cdot x_3 \quad (18)$$

В результате проведения лабораторных испытаний была произведена обработка данных, полученных в результате эксперимента. Также была установлена рациональная величина площади почвозацепа.

В четвертой главе «Экспериментальные полевые исследования» представлена программа, методика и результаты полевых испытаний.

Исследования проводились в соответствии с ОСТ 70.8.5-74, ОСТ 70.8.8-74, ОСТ 108.5-87 на полях Московской области в период массовой уборки картофеля в 2012...2014 годах.

Программа полевых исследований включала в себя агротехническую и энергетическую оценки сравнительных хозяйственных (полевых) испытаний картофелекопателя, оснащенного подкапывающими органами со стандартными дисками и картофелекопателя, оснащенного комбинированными подкапывающими органами с почвозацепами (рис.8).

Во время проведения агротехнической оценки определялись: характеристика культуры (сорт картофеля, урожайность клубней и ботвы, ц/Га); режим работы (скорость движения, км/ч; глубина подкапывания, м; простои, мин.); качество работы машины с различными подкапывающими рабочими органами (полнота уборки, %; количество и характер повреждений, %).

Во время энергетической оценки картофелекопателя определялись: скорость движения агрегата; тяговое сопротивление картофелекопателя со стандартными и с усовершенствованными дисками в рабочем режиме, кгс; путь, пройденный за время опыта, м; продолжительность опыта, с.

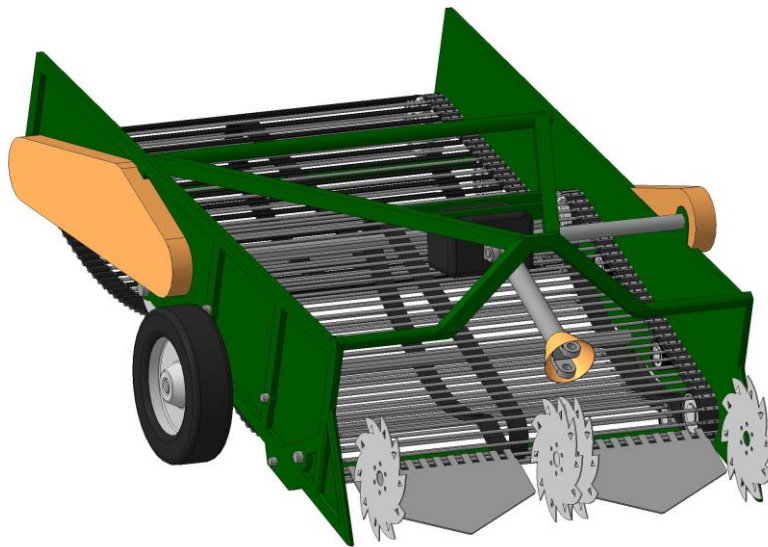
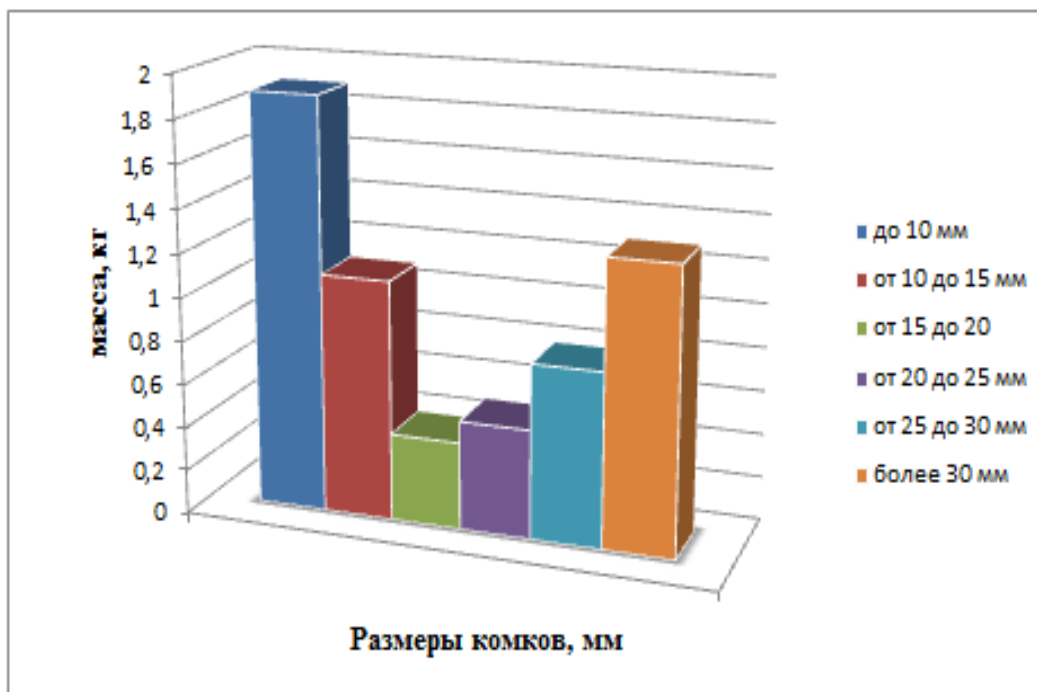


Рисунок 8. Усовершенствованный картофелекопатель.

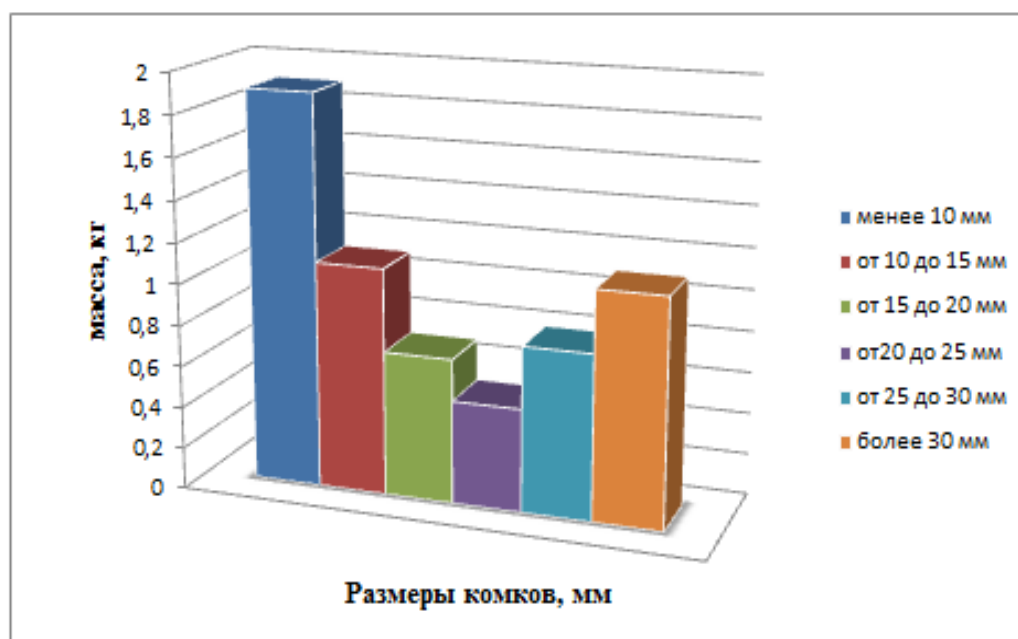
Испытания проводились на суглинистой почве с урожайностью картофеля 148,7 ц/га.

В итоге полевых испытаний получены две гистограммы размерно-массовой характеристики вороха (рис 9а и 9б), сравнив которые, мы можем оценить эффективность работы со стандартными дисками и с подкапывающими органами с почвозацепами.

Из показателей видно, что картофелекопатель с модернизированной приемной частью, оснащенной дисками с почвозацепами, показывает лучшие размерно-массовые характеристики вороха, а это значит, что в приемную часть комбайна попадает меньше твердой почвы в виде комков, что подтверждает лучшую работу усовершенствованных дисковых боковин. Количество комков размером больше 20 мм снизилось в среднем на 11%, что облегчает функционирование сепарирующих рабочих органов, снижает повреждения картофеля.



а)



б)

Рисунок 9. Гистограмма размерно-массовой характеристики вороха при использовании копателя: а) со стандартными дисками; б) с комбинированными подкапывающими органами с почвозацепами

Проведенные нами испытания показали следующие результаты:

- модернизированный подкапывающий рабочий орган показал снижение тягового сопротивления до 4%. При этом крошение клубненосного пласта повысилось на 7%.

- картофелекопатель с усовершенствованным рабочим органом испытывался на рабочих скоростях 2 - 4 км/ч. В процессе исследований он

показал высокое качество работы. Повреждаемость клубней находилась в допустимых пределах (не более 3%), а полнота уборки увеличилась на 1,2% и составила 98,8% (97,7% у картофелекопателя со стандартными дисками).

- использование почвозацепов снижает сгруживание подкапываемого пласта на рабочих органах копателя и, тем самым, уменьшает время простоя агрегата на 9%.

- результаты полевых исследований показывают, что повышается производительность уборочной машины до 12%.

Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований составило менее 5%, что подтверждает достоверность полученных данных.

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность от внедрения усовершенствованных дисков с почвозацепами» определено, что суммарный годовой экономический эффект от использования на картофелекопателях комбинированных подкапывающих органов с почвозацепами составляет 5409 руб./га. в ценах на 2014 год.

Заключение (Общие выводы)

1) В настоящее время распространение получили комбинированные подкапывающие органы картофелеуборочных машин, повышение эффективности функционирования которых требует обоснования основных параметров боковых дисков.

2) В процессе теоретических исследований обоснованы энергетические параметры почвозацепа бокового зубчатого диска комбинированного подкапывающего устройства картофелеуборочной машины: общее тяговое сопротивление этого рабочего органа не должно превышать величину $R_{общ} = 760 \text{ Н}$ при твердости почвы от 10 до 30 Н/см².

3) Установлены геометрические параметры: почвозацеп с площадью не более 1/3 зуба выполняется в виде равностороннего треугольника со стороной 0,0432 м, имеющего угол наклона к плоскости диска от 45° до 63°, что обеспечивает снижение тягового сопротивления диска с почвозацепами и его самоочищение от растительных остатков.

4) С целью повышения эффективности процесса подкапывания клубненосного пласта предложен усовершенствованный комбинированный подкапывающий орган картофелеуборочной машины, оснащенный боковыми зубчатыми дисками с почвозацепами в виде десяти равносторонних треугольников (патент на полезную модель РФ № 134735).

5) В процессе проведения хозяйственных испытаний установлено, что у картофелекопателя, оснащенного комбинированными подкапывающими органами с почвозацепами по сравнению с картофелекопателем со стандартным устройством снижается тяговое сопротивление до 4% при повышении крошения клубненосного пласта на 7%, повреждаемость клубней не превышает 3%. За счет применения дисков с оригинальными почвозацепами повышается

эффективность на **158486,6** руб. в год и производительность уборочной машины до 12 %.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ

1. Борычев, С. Н. История развития техники для уборки картофеля [Текст] / С. Н. Борычев, И. Н. Кирюшин, И. А. Успенский, А. С. Колотов // Сельский механизатор. – 2013. - №5. – С. 4-5.

2. Кирюшин, И.Н. Модернизированный выкапывающий рабочий орган картофелеуборочной машины / И.Н. Кирюшин, А.С. Колотов // Вестник ФГБОУ ВПО РГАТУ. - 2014. - № 1 (21). - С. 112-114.

3. Успенский И.А. Обоснование рациональных параметров дисковых элементов подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин / И.А. Успенский, И.Н. Кирюшин, А.С. Колотов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №02(096). С. 323 – 333. – IDA [article ID]: 0961402024. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/24.pdf>.

4. Колотов, А.С. Лабораторно-полевые испытания экспериментального копателя с модернизированным подкапывающим рабочим органом / Колотов А.С., Успенский И.А., Юхин И.А., Кирюшин И.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №03(107). С. 433-442 – IDA [article ID]: 1071503030. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/30.pdf>.

Патенты

5. Пат. 134735 Российская Федерация, МПК А01D25/04. Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна / Успенский И.А., Симдянкин А.А., Колотов А.С. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. - №2013113332/13, заявл. 27.03.2013; опубл. 27.11.2013, бюл. №33.