На правах рукописи

НЕСТЕРОВИЧ ЭДУАРД ОЛЕГОВИЧ

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань– 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бышов Николай Владимирович

Официальные оппоненты: **Старовойтов Виктор Иванович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха», заместитель директора по инновационной деятельности

Голиков Алексей Анатольевич,
кандидат технических наук, ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний» (Академия ФСИН России), доцент кафедры математики и информационных технологий управления

Ведущая организация: ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится 26 марта 2019 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak3.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «_____» _____20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из причин, сдерживающих развитие картофелеводства в фермерских и крестьянских хозяйствах является низкий уровень материально-технического снабжения недорогой, производительной техникой для основных процессов возделывания картофеля. Так рассматривая наиболее трудоемкий процесс уборки картофеля, очевидно, что использование на малых площадях высокопроизводительных картофелеуборочных комбайнов не экономично. Поэтому существует острая необходимость в разработке картофелекопателей способных снизить экономические затраты.

Проведение уборки картофеля с минимальными затратами труда и средств может быть достигнуто на основании повышения урожайности, создания менее энергоемких машин, улучшения организации работ, высокого уровня селекции и семеноводства. Эффективность технологии может быть обеспечена лишь в том случае, если она разработана и применяется с учетом конкретных почвенно-климатических и условий местных хозяйств.

Качественное выполнение технологического процесса уборки картофеля во многом зависит от работы подкапывающих органов, которые в свою очередь должны облегчать процесс сепарации. В связи с этим, исследование влияние параметров рабочих органов картофелеуборочных машин на качественные показатели технологического процесса является актуальной задачей, имеющей большое значение для народного хозяйства России.

Степень разработанности темы. Современные способы уборки картофеля и используемые для этого картофелеуборочные машины изложены в работах: Н.В. Бышова, С.Н. Борычева, А.А. Голикова, Р.Р. Камалетдинова, Н.Н. Колчина, А.С. Колотова, М.Ю. Костенко, О.Н. Кухарева, И.Е Кущева, Н.М. Марченко, Г.Д. Петрова, А.Г. Пономарева, К.А. Пшеченкова, Г.К. Рембаловича, А.А. Сорокина, В.И. Старовойтова, М.Б. Угланова, И.А. Успенского, W. Rosel, B. Radil и других авторов. Проведенный анализ показал, что вопрос совершенствования технологий и средств машинной уборки картофеля требует дальнейшего исследования.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФБГОУ ВО РГАТУ на 2016…2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве», подраздел 3.2.1 «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств уборки, транспортирования и хранения картофеля в условиях сельскохозяйственных предприятий Рязанской области» (№ гос.рег. АААА-А16-116060910025-5).

Цель работы. Повышение производительности картофелеуборочных машин.

Объект исследований. Технология подкапывания и взаимодействия клубненосного пласта с рабочими органами картофелеуборочных машин.

Предмет исследований. Закономерности взаимодействия клубненосного пласта с рабочими органами картофелеуборочных машин.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующих конструкций картофелеуборочных машин и подкапывающих рабочих органов, на основе которого определить перспективное направление их совершенствования.

2. Теоретически обосновать параметры рабочих органов картофелеуборочных машин.

3. Провести лабораторно-полевые исследования экспериментального картофелекопателя.

4. Определить технико-экономические показатели экспериментального картофелекопателя в результате проведения хозяйственных исследований.

Научная новизна диссертационной работы:

− математическая модель определения основных параметров рабочих органов картофелеуборочных машин;

− математическая модель взаимодействия рабочих органов картофелеуборочных машин с клубненосным пластом;

− аналитические зависимости для обоснования параметров рабочих органов картофелеуборочных машин.

Методология и методы исследований. При проведении теоретических исследований использовались известные законы физики и математики, а также теоретической и прикладной механики. Лабораторные и производственные испытания проводились на основании общеизвестных методик и разработанных на их базе – частных, с использованием современных электронных и механических устройств, установок и приборов, специально разработанных и изготовленных. Обработка экспериментальных и теоретических данных исследований осуществлялась при помощи компьютерных программ: Statistica V8, Mathcad 15, Microsoft Excel 15.

Положения, выносимые на защиту:

− конструктивно-технологическая схема картофелекопателя с подкапывающим рабочим органом в виде подпружиненного лемеха;

− теоретические и экспериментальные зависимости обоснования параметров рабочих органов картофелеуборочных машин;

− результаты лабораторно-полевых исследований экспериментального картофелекопателя;

− результаты сравнительных полевых исследований серийного и экспериментального картофелекопателя.

Теоретическая значимость работы. Исследовано воздействие рабочих органов на компоненты клубненосного пласта при переходе с лемеха на прутковый элеватор; определены: зависимость скорости движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора от угла воздействия первого элеватора на клубненосный пласт; траектория движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора.

Практическая значимость работы. Научно-обоснованные параметры рабочих органов картофелеуборочной машины позволяют при повышении интенсивности их воздействия на клубненосный пласт увеличить производительность уборочного агрегата, что подтверждают результаты экспериментального применения картофелекопателя КТН-2В в условиях опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ в п. Стенькино Рязанского района Рязанской области.

Реализация результатов исследования. Экспериментальный картофелекопатель КТН-2В прошел производственную проверку на базе опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ в п. Стенькино Рязанского района Рязанской области в 2015 и 2016 годах, в ходе которой получены положительные результаты.

Реализация результатов исследования. Экспериментальный картофелекопатель КТН-2В прошел производственную проверку на базе опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ в п. Стенькино Рязанского района Рязанской области в 2015 и 2016 годах, в ходе которой получены положительные результаты.

Степень достоверности. Достоверность научных положений подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных (лабораторно-полевых) исследований, а также обеспечена применением современных методик, контрольно-измерительной аппаратуры и средств обработки результатов экспериментов.

Апробация работы Результаты диссертационного исследования обсуждены на международных научно-технических конференциях Рязанского ГАТУ имени П.А. Костычева (2012-2015 гг).

Личное участие соискателя в получении результатов состоит в обосновании актуальности проблемы, постановке цели и задач исследования, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и

интерпретации результатов, разработке новых технических решений, формулировке выводов и практических рекомендаций производству.

Публикации Основные положения диссертации опубликованы в печати в 7 научных работах, из них 4 статьи в источниках, 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. Получен 1 патент РФ на изобретение и 1 патент РФ на полезную модель. Общий объем публикаций составил 2,25 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,5 п.л.

Структура и объем работы. В целом диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения (общих выводов), списка литературы из 107 наименований, приложения, изложена на 128 страницах, включает 42 рисунка и 10 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «История, современное состояние и тенденции развития картофелеуборочных машин и подкапывающих органов» проанализированы показатели производства картофеля, представлен обзор существующих способов уборки картофеля и используемых для этого картофелеуборочных машин, а также классификация и анализ подкапывающих рабочих органов, определены задачи исследования.

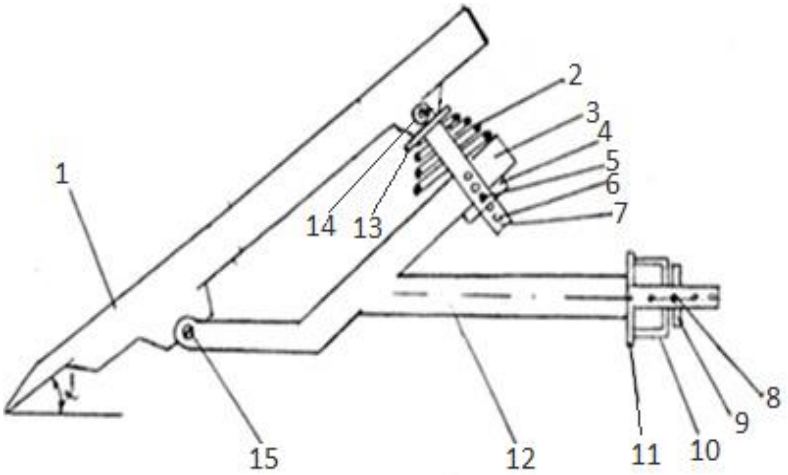
Проведен анализ состояния вопроса современных способов уборки картофеля и используемых для этого картофелеуборочных машин изложенных в работах: Н.В. Бышова, С.Н. Борычева, А.А. Голикова, Р.Р. Камалетдинова, Н.Н. Колчина, А.С. Колотова, М.Ю. Костенко, О.Н. Кухарева, И.Е Кущева, Н.М. Марченко, Г.Д. Петрова, А.Г. Пономарева, К.А. Пшеченкова, Г.К. Рембаловича, А.А. Сорокина, В.И. Старовойтова, М.Б. Угланова, И.А. Успенского, W. Rosel, B. Radil и других авторов. Проведенный анализ показал, что вопрос совершенствования технологий и средств машинной уборки картофеля требует дальнейшего исследования.

Во второй главе «Теоретические исследования подпружиненного лемеха» было установлено, что интенсивность воздействия подкапывающих органов на клубненосный пласт должна определяться исходя из почвенно-климатических условий на момент уборки. Интенсивное воздействие на клубненосный пласт подпружиненного лемеха в начале технологического процесса картофелеуборочной машины позволит улучшить сепарацию без существенного увеличения повреждений клубней картофеля, так как между лемехом и клубнями

имеется прослойка почвы.

Подкапывающий рабочий орган содержит лемех 1, который в нижней части закреплен на лапке кронштейна 12, установленного в поперечном отверстии рамы 10. На кронштейне 7 между плоским лемехом 1 и кронштейном 3 установлена пружина 2. Кронштейн 12 установлен в поперечном отверстии рамы 10 и удерживается с одной стороны упорной шайбой 11, а с другой стороны гайкой 9 и шплинтом 8. За счет регулировочных отверстий 6, расположенных в кронштейне 7, и гайки 4 имеется возможность изменять жесткость пружины в зависимости от типа и состояния почвы, на которой используется уборочная машина.

Модернизированный картофелекопатель работает следующим образом (рис. 1).



1 – лемех, 2 – пружина сжатия, 3 – кронштейн, 4 – гайка, 5 – шплинт, 6 - регулировочные отверстия, 7 – кронштейн, 8 – шплинт, 9 – гайка, 10 – рама, 11 – упорная шайба, 12 – кронштейн, 13 – упорная шайба, 14 – болтовое соединение, 15 – болтовое соединение.

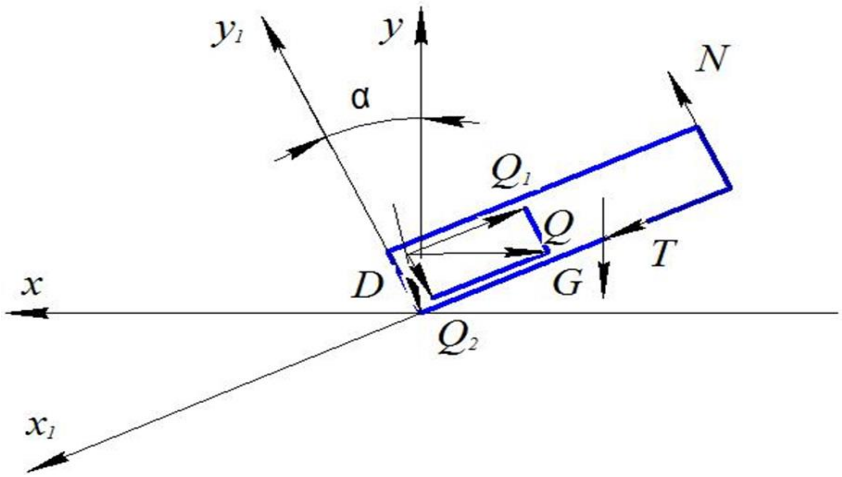
Рисунок 1 – Схема подкапывающего рабочего органа в виде подпружиненного лемеха

При работе картофелекопателя на заглубленный лемех 1, установленный на определенную глубину подкапывания клубненосного пласта, вследствие неравномерности сопротивления почвы действуют переменные силы, которые передаются через опорную шайбу 13 кронштейна 7 на пружину 2 и заставляют кронштейн 7 с лемехом 1 изменять угол наклона лемеха к горизонту α. Жесткость пружины 2 регулируется гайкой 4 и устанавливается такой, при которой угол наклона лемеха к горизонту α исключает сгруживание. Вследствие неравномерного сопротивления почвы на лемех 1 действуют переменные силы, которые заставляют лемех изменять свое положение, то есть угол α наклона лемеха к горизонту. Клубненосный пласт при этом испытывает воздействие со стороны лемеха и пруткового элеватора, что приводит к крошению почвы.

Для случая связного пласта В.А. Ксендзовым рассмотрено взаимодействие пласта с двухгранным клином и получены выражения для определения силовых характеристик взаимодействия. Введем следующие допущения:

1. Клубненосный пласт представляет собой однородный связный пласт, почва переплетена корнями растений.
2. Скорость движения пласта по лемеху в установившемся режиме постоянна.

На рассматриваемый участок пласта оказывают действие нормальная реакция N и сила трения T со стороны рабочей поверхности клина (лемеха), а также реакция подпора Q со стороны неподвижного участка, расположенного перед лемехом (рис. 2). Эти силы равнодействующие соответствующих распределенных сил на рабочей поверхности лемеха и границе разделов участков пласта.



N – нормальная реакция, T – сила трения, G – сила тяжести, D – сила динамического давления пласта, Q – реакция подпора, Q_1 – составляющая реакции подпора действующая вдоль оси x_1, Q_2 – составляющая реакции подпора, действующая вдоль оси y_1, α – угол наклона лемеха.

Рисунок 2— Схема сил, действующих на участок пласта

Для плоской произвольной системы сил можно составить лишь одно векторное уравнение равновесия и два соответствующих ему скалярных в проекциях на оси x_1 и y_1:

$$\begin{aligned} &\overline{Q}+\overline{N}+\overline{T}+\overline{G}=0;\\ &Q_1-G\sin\alpha-T=0;\\ &-Q_2-G\cos\alpha+N=0. \end{aligned} \qquad (1)$$

где: Q – реакция подпора, Н; N – нормальная реакция, Н; T – сила трения, Н; G – сила тяжести, Н; Q_1 – составляющая реакции подпора, действующая вдоль оси x_1, Н; Q_2 – составляющая реакции подпора, действующая вдоль оси y_1, Н; α – угол наклона лемеха, рад.

Составим уравнение равновесия лемеха:

$$P - N'\sin\alpha - T'\sin\alpha = 0, \qquad (2)$$

где:

$$T = fN; \quad f = tg\varphi; \quad T' = T; \quad N' = N.$$

f – коэффициент трения; φ – угол трения почвы о металл, рад.

С учетом зависимости $T = fN$ имеем четыре неизвестных и три уравнения для их определения, т. е. задача статически неопределима. Значит, рассматриваемый тип задачи статики не может быть решен применением только метода составления уравнений равновесия. Решение возможно в случае, если число неизвестных сделать равным числу уравнений. Для этого составим дополнительное уравнение на основе принципа возможных перемещений.

Окончательные выражения для расчета силовых характеристик будут:

Составляющие силы подпора пласта:

$$Q_1 = Dtg\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), \qquad (3)$$

$$Q_2 = Dtg\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \qquad (4)$$

где D – динамическое давление пласта, Н.

Тяговое сопротивление:

$$P = D\frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\cos\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)}. \qquad (5)$$

Проанализировав значения данных сил при изменении угла наклона α на основе расчетов в программе MathCAD построили график зависимости тягового сопротивления лемеха от его угла наклона (рис. 3).

Анализируя данный график (рис. 3) можно заметить, что с увеличением угла наклона лемеха возрастает тяговое сопротивление, причем зависимость будет параболической. Следует отметить, что наибольший прирост тягового сопротивления наблюдается при углах наклона лемеха от 25° до 30°, что соответствует углу в радианах от 0,44 до 0,52. Поэтому нами было предложено с целью уменьшения тягового сопротивления угол наклона лемеха сделать переменным, в зависимости от состояния почвы. Чем тяжелее почва, тем меньше угол наклона.

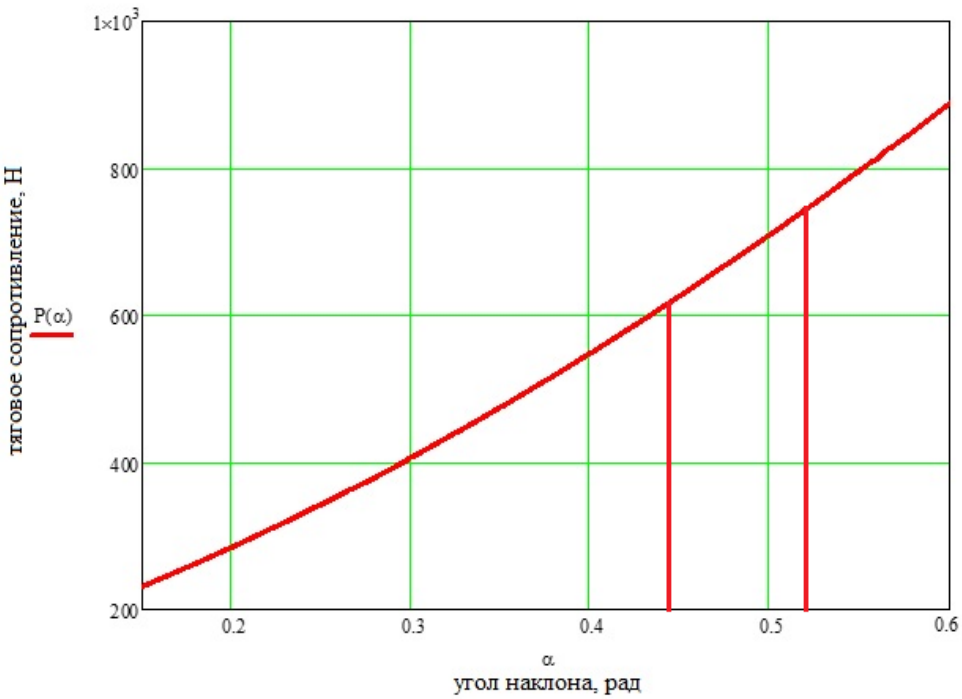


Рисунок 3 – График зависимости тягового сопротивления лемеха от его угла наклона

Исследуем взаимодействие прутков с компонентом картофельного вороха. Введем следующие допущения:

1. Воздействие прутков элеватора на клубненосный пласт ведет к его разрушению, в результате чего образуется картофельный ворох, состоящий из компонентов.
2. Мощность, затрачиваемая на холостой ход и подъем картофельного вороха имеют постоянные значения.

Так как взаимодействие происходит в течение достаточно короткого промежутка времени, воспользуемся теоремой об изменении количества движения.

$$m\left(\overline{V_2} - \overline{V_1}\right) = \overline{F}\Delta t \qquad (6)$$

где m – масса компонента картофельного вороха, кг; $\overline{V_1}$ – скорость движения компонента до взаимодействия с прутком, м/с; $\overline{V_2}$ – скорость движения компонента после взаимодействия с прутком элеватора, м/с; $\overline{F}$ – средняя сила удара за время Δt, Н; Δt – время удара, с.

Так как вес прутка элеватора имеет небольшую величину, то инерционная составляющая прутка будет незначительно влиять на силу удара. Поэтому величину силы выразим из мощности, затрачиваемой на привод основного элеватора. Общая мощность на привод элеватора складывается из следующих составляющих:

$$P_{общ} = P_{xx} + P_{пв} + P_{кр}\,, \qquad (7)$$

где $P_{общ}$ – общая мощность, затрачиваемая на привод элеватора, Вт;
$P_{хх}$ – мощность холостого хода основного элеватора, Вт;
$P_{пв}$ – мощность, затрачиваемая на подъем картофельного вороха, Вт;
$P_{кр}$ – мощность, затрачиваемая на крошение клубненосного пласта, Вт.

Учитывая, что мощности, затрачиваемые на холостой ход и подъем картофельного вороха имеют постоянные значения, то мощность, затрачиваемая на крошение клубненосного пласта будет выглядеть следующим образом:

$$P_{кр} = P_{общ} - P_{хх} - P_{пв}. \quad (8)$$

Сила удара прутка элеватора по компоненту клубненосного пласта определяется выражением:

$$F = \frac{P_{кр}}{V_э} = \frac{P_{общ} - P_{хх} - P_{пв}}{V_э}, \quad (9)$$

где $V_э$ – скорость элеватора, м/с.

Интенсивность взаимодействия клубненосного пласта с основным элеватором зависит от угла β, который определяет направление воздействия. В свою очередь угол β зависит от точки подачи пласта к основному элеватору, т.е. от угла наклона лемеха α.

Расчетная схема взаимодействия прутка основного элеватора с компонентом клубненосного пласта приведена на рисунке 4.

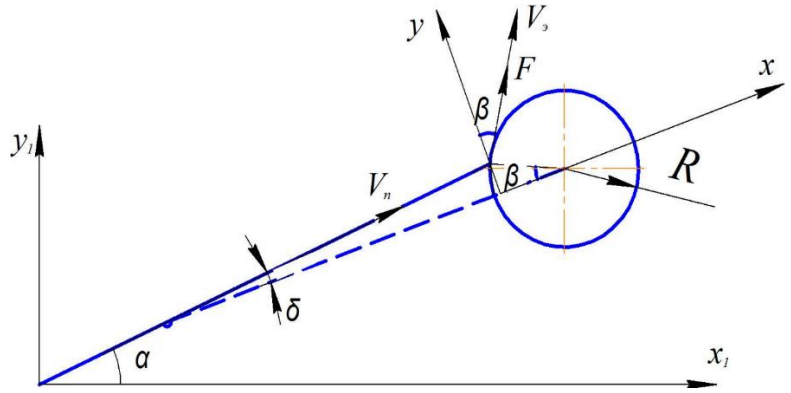


Рисунок 4 – Расчетная схема взаимодействия прутка основного элеватора с компонентом клубненосного пласта

Спроецируем скорость движения пласта по лемеху до взаимодействия с прутком. Тогда начальная скорость движения пласта будет определяться выражением:

$$V_1 = \frac{V_п \sin\delta}{\cos\beta}, \quad (10)$$

где $V_п$ - скорость движения пласта по лемеху, м/с.

Найдем скорость движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора.

$$V_2 = \frac{F\Delta t}{m} + \frac{V_n \sin\delta}{\cos\beta}, \qquad (11)$$

Рассчитаем значения скорости движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора на основании выражения (11) и построим график в программе MathCAD (рис. 5)

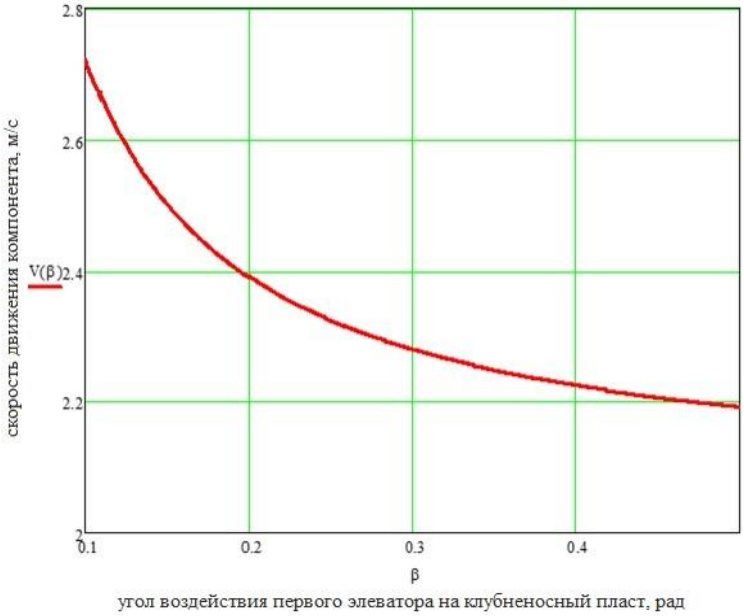


Рисунок 5 – График зависимости скорости движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с рабочими органами

Движение компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора происходит за счет инерции движения компонента по лемеху и взаимодействия с прутком основного элеватора. При этом направление движения вдоль лемеха будет характеризовать текущий угол наклона лемеха $\alpha_л$, а направление удара угол β. В результате абсолютная скорость частиц компонента будет определяться по правилу параллелограмма (рис. 6), а угол направления движения θ будет зависеть от величины и направления составляющих скоростей:

$$V_p = V_{абс} = \sqrt{V_{вз}^2 + V_n^2 - 2V_{вз}V_n\cos\theta}, \qquad (12)$$

где $V_{вз}=V_2$ - скорость движения компонента после взаимодействия с прутком элеватора, м/с;V_n – скорость движения пласта по лемеху, м/с.

С учетом установленных закономерностей запишем уравнение движения компонента внутри картофельного вороха в виде дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\dfrac{d^2x}{dt^2} = -G\sin\alpha_л - F_{сопр}\cos\psi \\ m\dfrac{d^2y}{dt^2} = -G\cos\alpha_л - F_{сопр}\sin\psi \end{cases} \qquad (13)$$

где G – вес компонента, кг; $F_{сопр}$– сила сопротивления внутри картофельного вороха, Н.

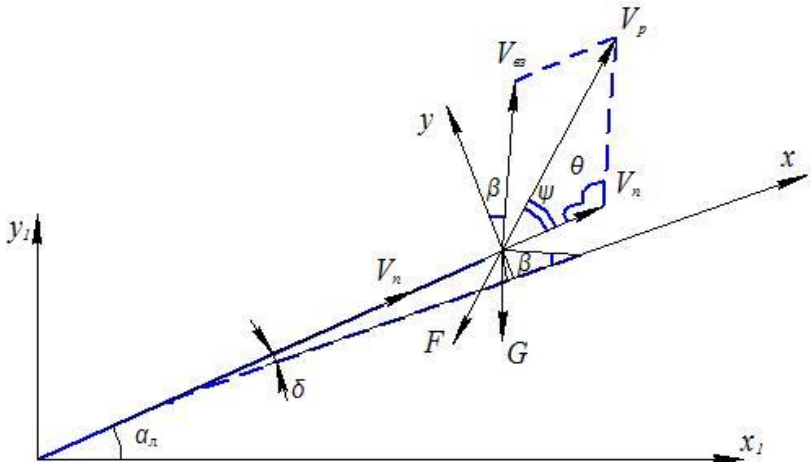


Рисунок 6 – Расчетная схема взаимодействия прутка основного элеватора с компонентом клубненосного пласта.

Решив дифференциальные уравнения, получим следующую систему:

$$\begin{cases} x = \dfrac{m\cdot(V_p\cdot\upsilon\cdot\cos\psi + m\cdot g\cdot\sin\alpha_n)}{\upsilon^2\cdot(\cos\psi)^2} - \dfrac{m\cdot(V_p\cdot\upsilon\cdot\cos\psi + m\cdot g\cdot\sin\alpha_n)}{\upsilon^2\cdot(\cos\psi)^2}\cdot e^{-\frac{\upsilon}{m}\cdot\cos\psi\cdot t} - \dfrac{m\cdot g\cdot\sin\alpha_n}{\upsilon\cdot\cos\psi}\cdot t \\ y = \dfrac{m\cdot(V_p\cdot\upsilon\cdot\sin\psi + m\cdot g\cdot\cos\alpha_n)}{\upsilon^2\cdot(\sin\psi)^2} - \dfrac{m\cdot(V_p\cdot\upsilon\cdot\sin\psi + m\cdot g\cdot\cos\alpha_n)}{\upsilon^2\cdot(\sin\psi)^2}\cdot e^{-\frac{\upsilon}{m}\cdot\sin\psi\cdot t} - \dfrac{m\cdot g\cdot\cos\alpha_n}{\upsilon\cdot\sin\psi}\cdot t, \end{cases} \quad (14)$$

На основании полученных решений выражения (14) построим график в программе MathCAD (рис. 7).

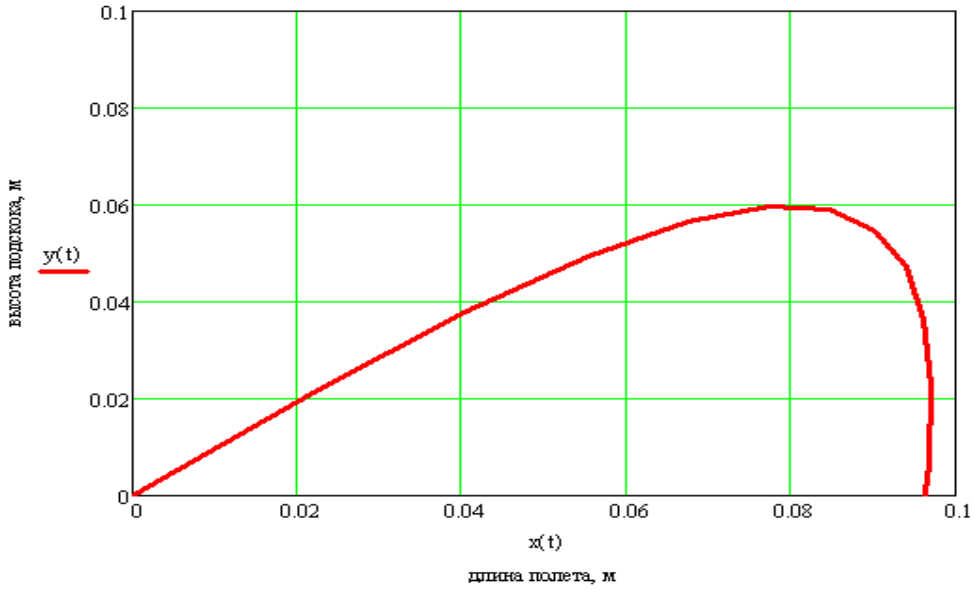


Рисунок 7 – График траектории движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора.

Анализируя полученный график (рис. 7), можно заметить, что траектория движения компонента картофельного вороха представляет собой параболу и зависит от угла воздействия первого элеватора на подкопанный пласт β и скорости движения компонента по лемеху. При принятых нами значениях (V=1,2 м/с, m=3,5 кг, υ=25 Н/(м/с), α=0,3 рад, ψ=0,5 рад) высота подскока составляет 0,06 м, дальность полета частица примерно 0,1 м, что не превышает значений, вызывающих повреждения клубней.

В третьей главе «Программа, методики экспериментальных исследований картофелекопателя с усовершенствованным подкапывающим рабочим органом» представлены программа экспериментальных исследований, методика агротехнической оценки, методики определения рациональных параметров усовершенствованного подкапывающего устройства и проведения сравнительных полевых исследований серийного и усовершенствованного картофелекопателей.

В четвёртой главе «Результаты экспериментальных исследований картофелекопателя с усовершенствованным подкапывающим рабочим органом» представлены результаты агротехнической оценки.

Лабораторно-полевые исследования агрегата в составе трактора МТЗ-82 и картофелекопателя КТН-2В с усовершенствованным подкапывающим органом проводили уборку на 2 передаче. Настройка рабочих органов картофелекопателя осуществлялась с учетом агротехнических требований к качеству уборки картофеля. Затем на предварительно настроенном картофелекопателе мы осуществляли изменения натяжения пружин лемеха, тем самым регулируя угол наклона и место подачи клубненосного пласта на элеватор. Общий вид пружинного механизма усовершенствованного подкапывающего рабочего органа представлен на рис. 8. Жесткость пружины составляла 10,3 Н/мм.

Рисунок 8 – Общий вид пружинного механизма усовершенствованного подкапывающего рабочего органа

Полученные результаты были обработаны с помощью программы STATISTICAV8, что позволило получить уравнение регрессии:

$$Var2 = 0.0599 + 0.9057 \cdot x_в - 107.619 \cdot x_в^2$$

где *Var2* – высота подскока, Н; $x_в$ – предварительное натяжение пружины, м.

Анализ статистических показателей модели позволяет говорить об её адекватности, коэффициент детерминации составляет R^2=0,73. Наиболее значимым коэффициентом уравнения регрессии является коэффициент при последнем члене уравнения равный 107,619, что подчеркивает параболический характер зависимости. На основании полученного уравнения регрессии был построен график влияния натяжения пружины на высоту подскока представленный на рисунке 9.

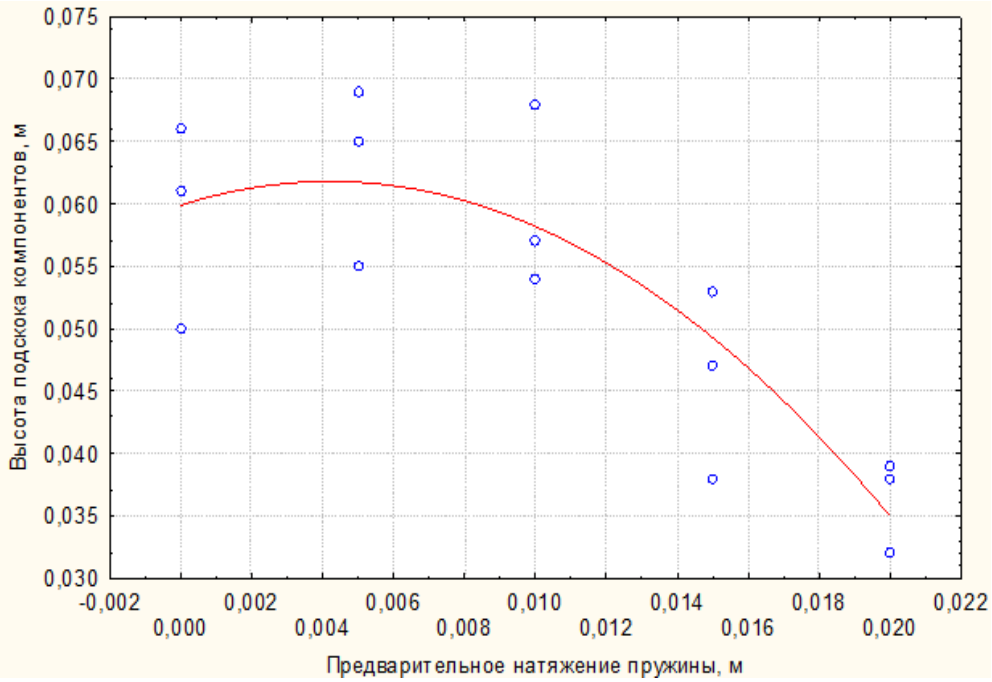


Рисунок 9 – Зависимость высоты подскока компонентов от предварительного натяжения пружины

Анализ рисунка 9 показал, что наибольшая высота подскока компонентов картофельного вороха равная 0,062 м наблюдалась при предварительном натяжении пружины 0,005 м. Следует отметить, что натяжение пружины способствует стабильности высоты подскока. Учитывая, что высота подскока связана с интенсивностью воздействия на клубненосный пласт, нами также оценивались качественные показатели работы картофелекопателя, а именно: количество клубней на поверхности, оставленных в почве, а также различные виды повреждения клубней.

Сравнительные испытания картофелекопателей проводились на базе опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ поселка Стенькино Рязанского района Рязанской области в период массовой уборки картофеля с

сентября по октябрь 2016 года согласно собственной методике и ГОСТ Р 54781-2011.

Для получения сравнимых результатов испытаний, нами был выбран картофелекопатель КТН-2В, агрегатируемый с трактором МТЗ-82, на котором устанавливали серийные и усовершенствованные подкапывающие рабочие органы.

Анализ результатов исследований показал, как преимущества, так и незначительные недостатки в работе усовершенствованного картофелекопателя с модернизированным подкапывающим органом по сравнению с серийным:

- при работе усовершенствованного картофелекопателя КТН-2В потери клубней снижаются на 2,9% в сравнении с серийным, за счет уменьшения количества клубней, присыпанных почвой;

- применение модернизированного подкапывающего органа в конструкции картофелекопателя КТН-2В незначительно повышает повреждения клубней на 0,11%.

- при работе усовершенствованного картофелекопателя КТН-2В установлено что, увеличение воздействия на клубненосный пласт в начале технологического процесса способствует улучшению сепарации почвы.

В пятой главе «Технико-экономические показатели картофелеуборочной машины с усовершенствованным подкапывающим рабочим органом» изложена методика и результаты определения технико-экономических показателей применения усовершенствованного картофелекопателя. Также определен суммарный экономический эффект от применения предлагаемого подкапывающего устройства в конструкции картофелекопателя КТН-2В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ОБЩИЕ ВЫВОДЫ)

1. Одним из перспективных путей совершенствования картофелеуборочных машин является применение модернизированных лемехов, обеспечивающих повышение воздействия рабочих органов в начале технологического процесса на клубненосный ворох.

2. Проведено теоретическое исследование воздействия рабочих органов на компоненты клубненосного пласта при переходе с лемеха на прутковый элеватор. При принятых параметрах рабочих органов и компонентов картофельного вороха (V=1,2 м/с, m=3,5 кг, υ=25 Н/(м/с), α=0,3 рад, ψ=0,5 рад) высота подскока составляет 0,06 м, а дальность полета частиц примерно 0,1 м. Определены: зависимость скорости движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора от угла воздействия первого элеватора на клубненосный пласт; траектория движения компонента картофельного вороха после взаимодействия с прутком элеватора.

3. Лабораторно-полевые исследования показали, что наибольшая высота подскока компонентов картофельного вороха в зоне передних опор основного элеватора равна 0,062 м, и наблюдалась при предварительном натяжении пружины 0,005 м жесткостью 10,3 Н/м. Следует отметить, что натяжение пружины способствует стабильности высоты подскока. Увеличение воздействия способствовало улучшению сепарации и незначительному возрастанию повреждений.

4. Хозяйственные испытания серийного и усовершенствованного картофелекопателя КТН-2В показали:

- при работе усовершенствованного картофелекопателя КТН-2В потери клубней снижаются на 2,9% в сравнении с серийным, за счет уменьшения количества клубней, присыпанных почвой;

- при работе усовершенствованного картофелекопателя КТН-2В установлено, что увеличение воздействия на клубненосный пласт в начале технологического процесса позволяет увеличить рабочую скорость агрегата до 3,9 км/ч.

5. Расчет экономического эффекта показал, что за счет снижения тягового сопротивления подкапывающих органов и повышения интенсивности воздействия рабочих органов в начале технологического процесса на клубненосный ворох увеличивается производительность машины на 13,2%. Годовой экономический эффект на один картофелекопатель составит 16186,1 руб., срок окупаемости менее одного года.

Рекомендации производству:

Для повышения производительности картофелеуборочных машин следует использовать саморегулируемые подкапывающие рабочие органы, которые позволяют снижать тяговое сопротивление и интенсивно отделять почву в начале технологического процесса уборочной машины.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

В дальнейшей перспективе следует продолжить научные исследования саморегулируемых рабочих органов картофелеуборочных машин с целью внедрения автоматических систем управления процессом уборки картофеля при изменяющихся почвенно-климатических условиях.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Модернизация картофелекопателя КСТ-1,4 /Бышов Н.В., Липин В.Д., Якутин Н.Н., Нестерович Э.О. // Сельский механизатор – 2015 г, №7. – С. 8-9.

2. Исследование тягового сопротивления лемеха с переменным углом наклона/Нестерович Э.О., Бышов Н.В., Костенко М.Ю., Мурог И.А., Нефедов

Б.А.//Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2018. № 1 (37). - С. 84-89.

3. Исследование воздействия на клубненосный пласт элеватора картофелеуборочной машины/Нестерович Э.О., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Рембалович Г.К. //Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2018. № 1 (37). – С. 89-95.

4. Экспериментальное обоснование параметров подпружиненного лемеха картофелеуборочной машины/Нестерович Э.О., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К.//Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии - 2018. № 4 – С. 144-148.

Патенты:

5. Пат. 132944, RU,МПК A 01 D 21/00 Картофелекопатель [Текст] / Бышов Н.В., Тришкин И.Б., Бышов Д.Н., Липин В.Д., Нестерович Э.О., Липина Т.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. – № 2013125266/13; заявл. 30.05.2013; опубл. 10.10.2013.

6. Пат. 2554452,RU, МПК A 01 D 21/00 Картофелекопатель [Текст] / Бышов Н.В., Тришкин И.Б., Бышов Д.Н., Липин В.Д., Нестерович Э.О., Липина Т.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. – № 2014111191/13; заявл. 24.03.2014; опубл. 03.04.2015.

Статьи в материалах конференций и других изданиях:

7. Усовершенствование подкапывающего рабочего органа картофелекопателя КТН-2В / Бышов Д.Н., Ковешников Р.Ю., Липин В.Д., Нестерович Э.О., Сержантов Н.В., Якутин Н.Н.// Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона: Материалы 66-й международной научно-практической конференции 14 мая 2015 года. – Рязань: Издательство Рязанского государственного университета, 2015. – Часть 2. - С.63-67.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л.1 Тираж 100 экз. Заказ № 1398
подписано в печать 24.01.2019 г
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы
и учебно-методических пособий
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1