

На правах рукописи



СИМОНОВА НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЫХЛИТЕЛЯ
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань, 2023

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 Борычев Сергей Николаевич
Официальные оппоненты:	Гаджиев Парвиз Имранович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского», декан факультета электроэнергетики и технического сервиса Калимуллин Марат Назипович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт машин»
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита состоится «06» декабря 2023 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 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.

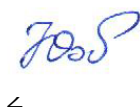
С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Картофель замыкает четверку наиболее востребованных пищевых культур, и поэтому повсеместно выращивается во многих странах мира. В Российской Федерации под картофель выделено более 820 тыс. га, с которых собирают около 30 млн. тонн урожая. Лидером по площадям выращивания картофеля в 2022 году по-прежнему является Брянская область. На долю этого региона приходится около 10% всех площадей. Рязанская область лишь восемнадцатая.

В 2022 году в Рязанской области под картофель было выделено более 16,5 тыс. га. Валовый сбор составил 240,6 тыс. тонн, а урожайность 145,9 ц/га.

Существенная доля урожая убирается в тяжелых условиях, что негативно сказывается на качестве получаемого картофеля. Значительная часть клубней получает повреждения, наблюдается увеличение потерь, растягиваются сроки уборки, и, как следствие, повышается себестоимость.

Исходя из этого, исследования, направленные на повышение производительности картофелеуборочных машин, являются актуальными.

Степень разработанности темы. Вопросы повышения производительности картофелеуборочных машин рассматривали многие ученые, в частности, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.И. Верещагин, П.И. Гаджиев, А.Ю. Измайлов, М.Н. Калимуллин, Р.Р. Камалетдинов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, Л.Л. Максимов, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, К.А. Пшеченков, Г.К. Рембалович, А.А. Сорокин, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, М.Б. Угланов, И.А. Успенский и др., а также зарубежные исследователи: W. Deng, A.M. Rady и др.

Однако прогресс не стоит на месте, появляются новые материалы, новые технологии производства машин, в связи с чем, целесообразно продолжить исследования в данной области.

Диссертация выполнена в соответствии с «Основными направлениями НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы», тема 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий»(№ гос. рег. 122020200038-8), раздел 1.3 «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в агропромышленном комплексе».

Цель исследований – обоснование параметров рыхлителя картофелеуборочной машины.

Задачи исследований:

1. Провести анализ устройств, повышающих производительность картофелеуборочных машин.
2. Теоретически обосновать параметры рыхлителя.
3. Исследовать влияние рыхлителя на производительность картофелекопателя.
4. Оценить экономический эффект применения картофелекопателя с рыхлителем.

Объект исследований. Влияние рыхлителя на клубненосный пласт.

Предмет исследований. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия рыхлителя с клубненосным пластом.

Научная новизна. Аналитические зависимости, описывающие взаимодействие рыхлителя с клубненосным пластом.

Теоретическая значимость. Методика обоснования рациональных параметров рыхлителя.

Практическая значимость. Снижение себестоимости уборки картофеля.

Методология и методы исследований. При проведении исследований применялись методы теоретической механики, сопротивления материалов и математической статистики. Лабораторные и полевые исследования проводились по методике, изложенной в ГОСТ Р 54781-2011. Обработку опытных данных вели в программах «STATISTICA 10», «Microsoft Excel 2010» и «MathCAD 15». Экономический эффект рассчитывали согласно методике, изложенной в ГОСТ 34393-2018.

Положения, выносимые на защиту:

1. Параметры рыхлителя и методика их обоснования.
2. Результаты оценки влияния рыхлителя на показатели работы картофелекопателя.
3. Техничко-экономический эффект применения картофелекопателя с рыхлителем.

Достоверность результатов исследования.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с современными методиками на сертифицированных приборах и установках. Выводы, полученные в результате исследований, показали сходимость теоретических и экспериментальных результатов 95%. Результаты исследований, опубликованные в независимых источниках, согласуются с данными полученными другими учеными, и прошли апробацию в печати, на всероссийских и международных научно-практических конференциях.

Реализация результатов исследования. В 2022 году произведена уборка картофеля на общей площади 1,5 га в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области с помощью картофелекопателя КТН-2В, дооборудованного разработанным рыхлителем.

Вклад автора в решении поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров рыхлителя. При этом автору принадлежит участие в постановке задач исследования, непосредственное проведение теоретических исследований и экспериментов с картофелекопателем КТН-2В с рыхлителем, обработка результатов и их интерпретация, участие в написании статей и выводов по ним.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на следующих всероссийских и международных научно-практических конференциях: ФГБОУ ВО РГАТУ: Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая памяти А.М. Лопатина (1939-2007) «Новации как стратегическое направление механизации и автоматизации сельского хозяйства» (Рязань, 12 ноября 2021 г.); ФГБОУ ВО РГАТУ: I-я Национальная научно-практическая конференция с международным участием, посвященная памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии» (Рязань, 23 ноября 2021 г.); ФГБОУ ВО РГАТУ: Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 83-летию со дня рождения А.М. Лопатина (1939-2007) «Инженерные решения для АПК» (Рязань, 16 ноября 2022 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в печати в 9 научных работах, из них 3 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 на полезную модель. Объем публикаций составляет 3,25 усл. п.л., из которых 2,28 усл. п.л. принадлежит лично соискателю.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 143 наименований, приложений, изложена на 110 страницах, включает 47 рисунков и 8 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

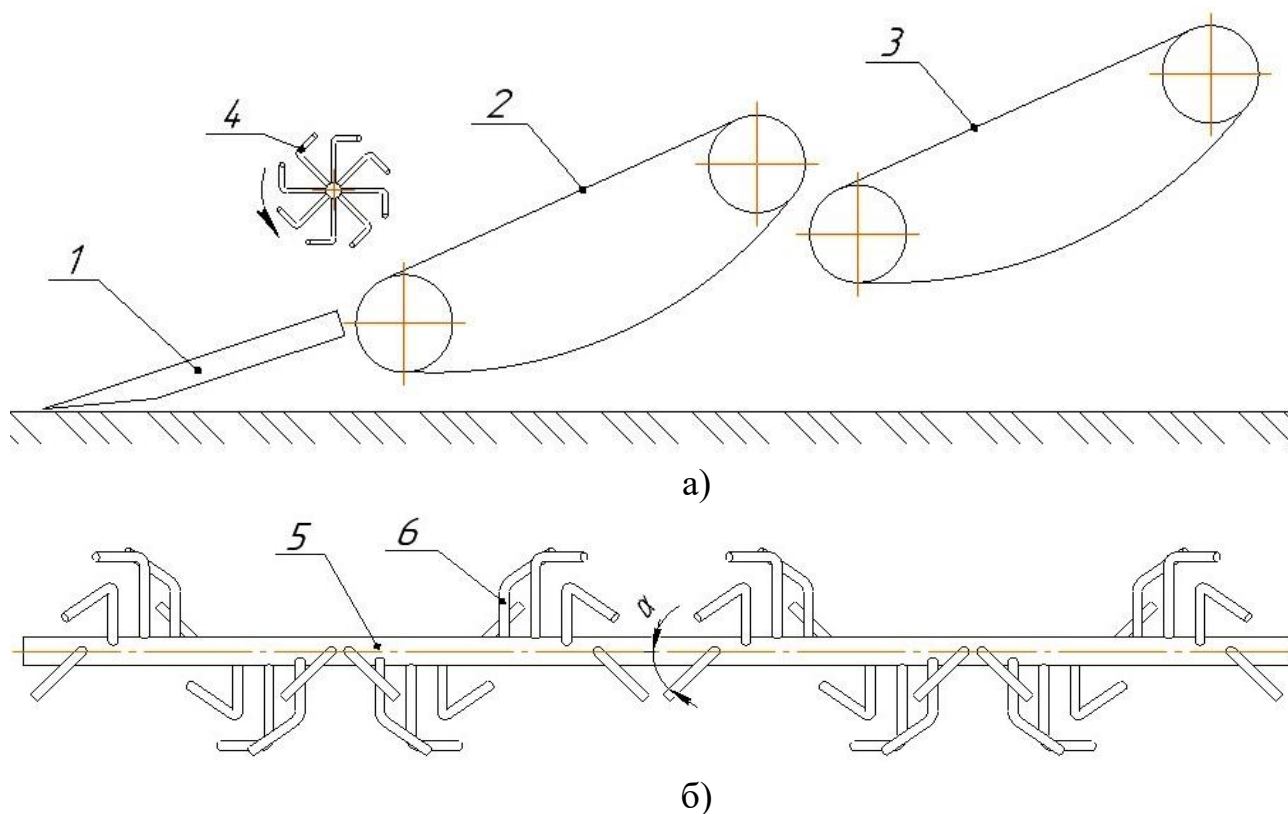
Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований. Отражены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» на основании проведенного обзора сформулированы задачи исследования.

Проведенный анализ показал, что прутковый элеватор достаточно качественно просеивает почву в оптимальных условиях работы. Однако, в случае их отклонения в ту или иную сторону, показатели работы резко снижаются. Для их поднятия до нормативных значений применяют различные интенсификаторы.

Наиболее перспективными являются интенсификаторы, установленные над лемехами и элеватором, т.к. они одновременно с сепарацией клубненосного пласта снижают вероятность его сгуживания на лемехах.

Во второй главе «Теоретические исследования» на основании теоретических исследований была разработана схема картофелекопателя (рисунок 1) и определены параметры его рыхлителя.



а) – картофелекопатель (вид сбоку); б) – рыхлитель; 1 – лемех; 2 – основной элеватор; 3 – каскадный элеватор; 4 – рыхлитель; 5 – приводной вал рыхлителя; 6 – Г-образный палец рыхлителя; α – угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала

Рисунок 1 – Схема картофелекопателя (патент РФ №213875)

Рыхлитель устанавливается с зазором над лемехами и основным элеватором. Рыхлитель представляет собой цилиндрический приводной вал с

обрезиненными пальцами Г-образной формы, вращающийся против вращения приводного вала пруткового элеватора. Г-образные пальцы установлены на приводном валу по цилиндрическим винтовым линиям (правой и левой). Горизонтальная часть Г-образного пальца отогнута на угол α относительно оси вращения приводного вала.

При движении картофелекопателя по междурядьям картофельных грядок лемехи подрезают клубненосный пласт, который перемещается на основной элеватор. При переходе клубненосного пласта с лемехов на основной элеватор на него начинает воздействовать рыхлитель. Г-образные пальцы рыхлителя врезаются в клубненосный пласт, разрушают почвенную корку и почвенные комки. Горизонтальная часть Г-образного пальца, взаимодействуя с клубненосным пластом, перемещает его равномерным слоем по всей ширине пруткового элеватора, за счет сдвига верхней части клубненосного пласта в правую (левую) сторону. В виду того, что скорость вращения приводного вала представленного рыхлителя больше скорости вращения приводного вала основного элеватора, предполагается, что клубненосный пласт не будет сгуживаться на лемехах.

Показатели работы предложенного рыхлителя не должны выходить за рамки агротехнических требований. Для соблюдения этого условия необходимо определить его параметры.

При работе предложенного рыхлителя происходит соударение клубней картофеля с его Г-образными пальцами. Действие ударных сил приводит к значительному изменению за время удара величины и направления их скоростей. Следствием удара могут быть также остаточные деформации, изменение механических свойств материалов, а при скоростях соударения, превышающих критические – разрушение клубней в месте удара.

После взаимодействия клубня с Г-образным пальцем рыхлителя может произойти его соударение с жесткой боковиной рамы картофелекопателя.

Траектория движения клубня после взаимодействия с Г-образным пальцем рыхлителя имеет вид:

$$x_1(t) = -\frac{g \cdot (t-t_0)^2}{2} + C_1(t - t_0) + C_2 \quad (1)$$

$$y_1(t) = C_3(t - t_0) + C_4 \quad (2)$$

$$z_1(t) = C_5(t - t_0) + C_6 \quad (3)$$

где $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ – константы интегрирования.

Если $C_5 = 0$, то $z_1(t) = C_6 = const$, т.е. клубень полетит параллельно

жестким боковинам рамы картофелекопателя и тем самым столкнуться с ними не сможет.

Если $C_5 \neq 0$, то, приравняв координату z_1 к уравнению плоскости левой (правой) боковины рамы:

$$z_{л(n)} = C_5(t - t_0) + C_6 \quad (4)$$

получаем возможные моменты столкновения клубня с левой (правой) боковиной рамы:

$$t_{л(n)} = t_0 + \frac{z_{л(n)} - C_6}{C_5} \quad (5)$$

При этом в случае $C_5 > 0$, $t_{л} < t_0$, $t_n > t_0$, то клубень в принципе не может попасть на плоскость левой боковины рамы и левая боковина рамы из рассмотрения исключается.

В случае $C_5 < 0$, $t_{л} > t_0$, $t_n < t_0$, то клубень в принципе не может попасть на плоскость правой боковины рамы и правая боковина рамы из рассмотрения исключается.

Скорость в момент удара клубня о жесткую боковину рамы картофелекопателя определяется следующим выражением:

$$\vec{V} = (\dot{x}_1(t_{\delta}); \dot{y}_1(t_{\delta}); \dot{z}_1(t_{\delta})) = (-g(t_{\delta} - t_0) + C_1; C_3; C_5) \quad (6)$$

Величина нормальной составляющей скорости в момент удара равна:

$$V_n = |C_5| \quad (7)$$

Тогда сила удара клубня о боковину рамы картофелекопателя определяется по следующему выражению:

$$F_{\delta} = \frac{m V_n (k_{\delta} + 1)}{\Delta t} \quad (8)$$

где m – масса клубня, кг;

k_{δ} – коэффициент восстановления при ударе клубня о боковину рамы ($0 \leq k_{\delta} \leq 1$);

Δt – время удара, с.

Зависимость силы удара клубня о боковину рамы картофелекопателя от времени удара представлена на рисунке 2.

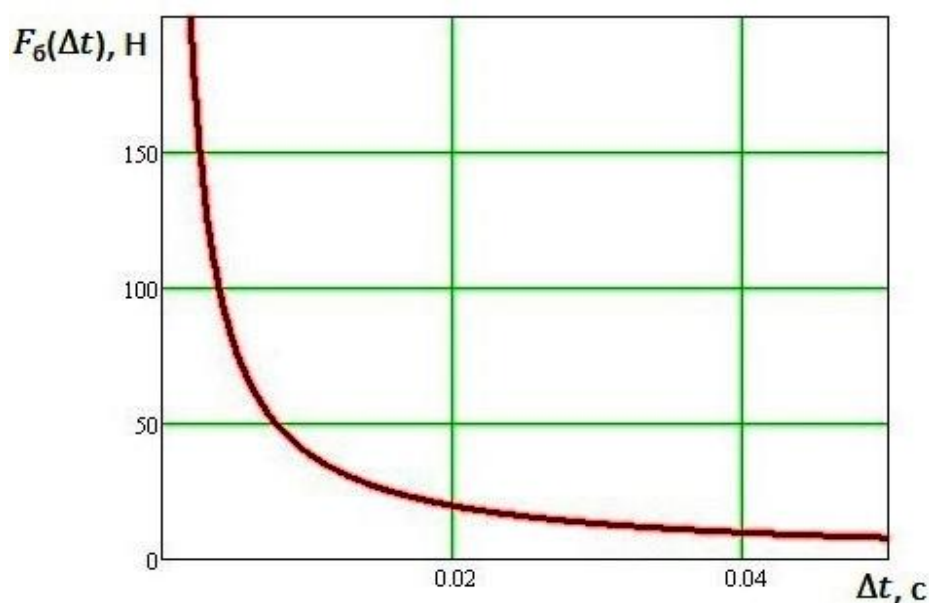


Рисунок 2 – Зависимость силы удара клубня о боковину рамы картофелекопателя от времени удара

Зависимость скорости движения клубня после взаимодействия с Г-образным пальцем рыхлителя от массы клубня представлена на рисунке 3.

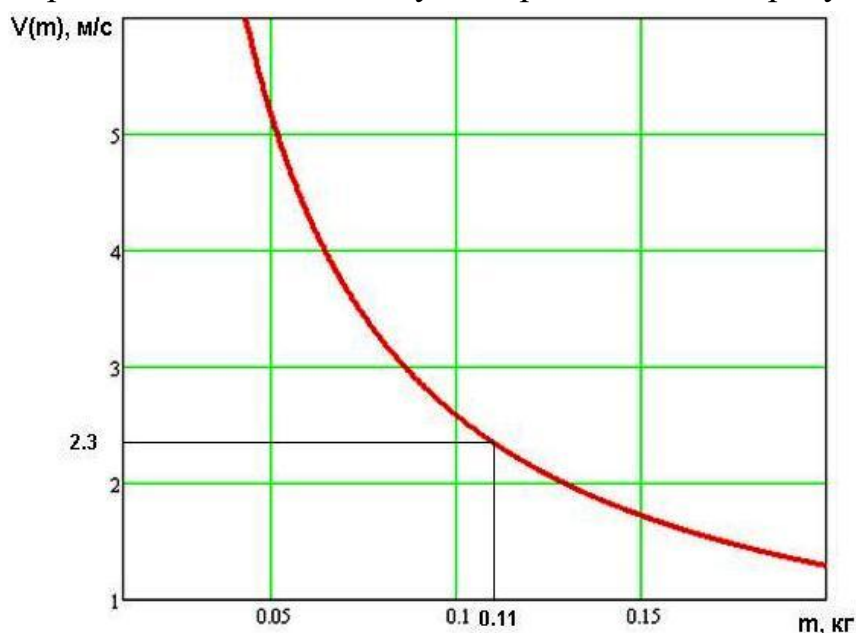


Рисунок 3 – Зависимость скорости движения клубня после взаимодействия с Г-образным пальцем рыхлителя от массы клубня

Анализ зависимости показывает, что в результате взаимодействия Г-образного пальца рыхлителя с клубнем массой 110 г последний приобретает скорость 2,3 м/с, что соответствует частоте вращения приводного вала рыхлителя 179 мин^{-1} .

В третьей главе «Лабораторные исследования» представлена методика и результаты лабораторных исследований.

В процессе работы предложенного рыхлителя, происходит взаимодействие всех компонентов клубненосного пласта (клубней картофеля, почвы, растительных и других примесей) с его Г-образными пальцами. Параметры данного взаимодействия будут определяющими при расчете потерь и повреждений клубней при работе картофелекопателя. Ряд параметров был определен при теоретических исследованиях, поэтому их необходимо уточнить, проведя экспериментальные (лабораторные) исследования.

Для проведения экспериментов на основе теоретических исследований были выбраны 2 фактора варьирования:

- частота вращения приводного вала рыхлителя;
- угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала.

Эксперименты были направлены на определение потерь и повреждений клубней при работе рыхлителя.

В результате обработки опытных данных в программе STATISTICA-10 были получены уравнения регрессии.

Потери клубней описываются уравнением (рисунок 4):

$$Q = 3,39 - 1,41x_1 - 0,5233x_2 + 0,53x_1^2 + 0,115x_1x_2 + 0,07x_2^2 \quad (9)$$

где x_1 – частота вращения приводного вала;

x_2 – угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала.

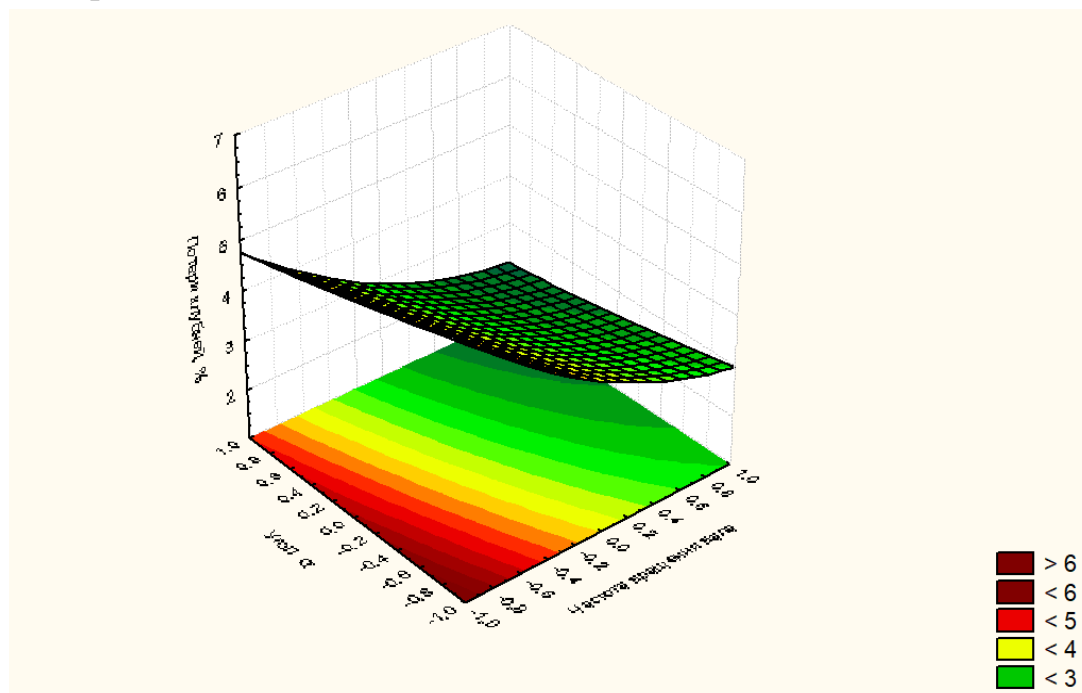


Рисунок 4 – Зависимость потерь клубней от частоты вращения приводного вала и угла между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала

Повреждения клубней описываются уравнением (рисунок 5):

$$P = 2,96 + 1,39x_1 + 0,3567x_2 + 0,3x_1^2 + 0,13x_1x_2 - 0,06x_2^2 \quad (10)$$

где x_1 – частота вращения приводного вала;

x_2 – угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала.

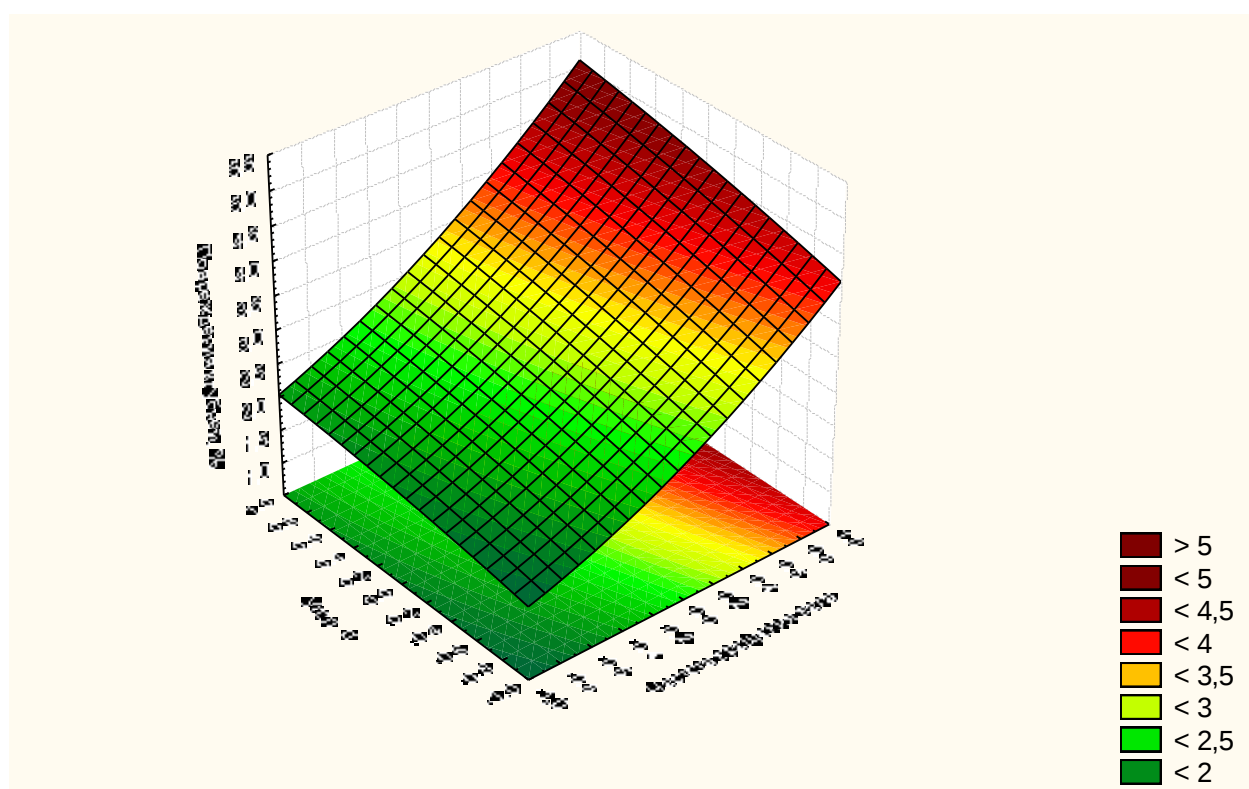


Рисунок 5 – Зависимость повреждений клубней от частоты вращения приводного вала и угла между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала

Проанализировав рисунки 4 и 5, делаем вывод, что наиболее значимым фактором полученных уравнений регрессии является частота вращения приводного вала, угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала не оказывает существенного влияния ни на повреждения, ни на потери клубней.

Окончательно принимаем частоту вращения приводного вала предложенного рыхлителя $n = 175 \text{ мин}^{-1}$ (расхождение с результатами теоретических исследований составляет менее 5%), угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала $\alpha = 40^\circ$.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования» представлены методика и результаты полевых экспериментальных исследований.

Исследования проводились в сентябре 2022 года на полях ООО

«Авангард» Рязанского района Рязанской области и были направлены на определение показателей работы картофелекопателя.

В качестве объектов исследований были приняты: серийный и экспериментальный картофелекопатель КТН-2В (рисунок 6).

На раме серийно выпускаемого картофелекопателя КТН-2В над лемехами и основным прутковым элеватором на подшипниках качения был смонтирован цилиндрический приводной вал, вращающийся с частотой 175 мин^{-1} навстречу движению пруткового элеватора, с обрезиненными пальцами Г-образной формы. Г-образные пальцы установлены на приводном валу по цилиндрическим винтовым линиям (правой и левой). Горизонтальная часть Г-образного пальца отогнута на угол 40° относительно оси вращения приводного вала (рисунок 7).



Рисунок 6 – Экспериментальный картофелекопатель КТН-2В, дооборудованный рыхлителем, на учетной делянке



Рисунок 7 – Разработанный рыхлитель (патент РФ №213875)

До начала сравнительных полевых исследований серийно выпускаемого картофелекопателя КТН-2В и экспериментального (дооборудованного разработанным рыхлителем) подробно изучили условия проведения исследований, т.е. провели агротехническую оценку опытного участка поля (таблице 1).

Таблица 1 – Характеристика участка при полевых исследованиях

Наименование	Значение
Характеристика культуры:	
сорт	«Гала»
способ посадки	гребневый
биологическая зрелость	зрелые
состояние ботвы	скошена
Высота гряды, см	15
Ширина междурядий, см	70
Густота насаждения, тыс. шт./га	50
Характеристика гнезда:	
ширина, см	22
глубина залегания верхнего клубня, см	2
глубина залегания нижнего клубня, см	18
Биологическая урожайность клубней, т/га	31,2

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность разработанного рыхлителя на тяжелых суглинистых почвах влажностью 20%.

Сравнив технологический процесс работы серийно выпускаемого и экспериментального картофелекопателя КТН-2В, делаем вывод, что применение рыхлителя в конструкции картофелекопателя способствует повышению сепарации почвы прутковым элеватором. Обусловлено это тем, что Г-образные пальцы рыхлителя врезаются в клубненосный пласт, разрушают его почвенную корку и разбивают почвенные комки. А в виду того, что Г-образные пальцы установлены на приводном валу по цилиндрическим винтовым линиям (правой и левой), и горизонтальная часть Г-образного пальца отогнута на угол 40° относительно оси вращения приводного вала, то при взаимодействии ее с клубненосным пластом, происходит его равномерное распределение по ширине пруткового элеватора, за счет сдвига верхней части клубненосного пласта в правую (левую) сторону. Тем самым, снижается количество клубней,

присыпанных почвой, не просеянной через элеватор. Однако при работе рыхлителя наблюдается повышение повреждений клубней в пределах агротехнических требований (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований

Показатели работы	Значение	
	Серийный КТН-2В	КТН-2В с экспериментальным рабочим органом (рыхлителем)
Скорость движения, км/ч	2,5	2,7
Производительность за 1 час эксплуатационного времени, га/ч	0,25	0,27
Полнота уборки клубней, %	94,8	96,1
Оставлено в почве, %	0,8	0,8
Присыпано почвой, %	4,4	3,1
Повреждения клубней, %	2,8	2,9

При работе экспериментального картофелекопателя КТН-2В подкопанный клубненосный пласт практически не сгруживался на лемехах, тем самым на 3% эффективнее использовалось время смены.

В пятой главе «Технико-экономические исследования» представлена технико-экономическая оценка эффективности использования разработанного рыхлителя в конструкции картофелекопателя КТН-2В.

Экономический эффект от применения экспериментального картофелекопателя КТН-2В получен ввиду повышения производительности уборочного агрегата и снижения потерь основной продукции. При этом себестоимость уборки картофеля снижается на 40%.

Заключение

1. Установлено, что наиболее перспективными устройствами, помогающими прутковому элеватору выделять клубни из подкопанного лемехами пласта являются интенсификаторы, установленные над лемехами и элеватором, т.к. они одновременно с повышением показателей их работы снижают вероятность сгруживания клубненосного пласта на лемехах.

2. Обоснованы параметры рыхлителя: частота вращения приводного вала 175 мин⁻¹, угол между горизонтальной частью Г-образного пальца и осью вращения приводного вала 40°.

3. Получено снижение количества клубней (потерь), присыпанных почвой после схода с пруткового элеватора экспериментального картофелекопателя, на 1,3%, а также достигнуто повышение производительности экспериментального картофелекопателя в сравнении с серийной уборочной машиной на 8%.

4. Установлено снижение себестоимости уборки картофеля на 40%.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В виду того, что условия уборки картофеля меняются из года в год, целесообразно продолжить исследования разработанного рыхлителя в различных условиях эксплуатации.

Рекомендации производству

Для повышения производительности картофелеуборочных машин рационально использовать в их конструкции активные рыхлители с приводом.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. О взаимодействии клубненосного пласта с рабочими органами копателя / Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев, Н.В. Симонова [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 161-167.

2. Исследование процесса соударения клубней картофеля с комбинированными прутками элеватора картофелеуборочной машины / Н.В. Симонова, Г.К. Рембалович, С.Д. Полищук [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – № 2(54). – С. 149-157.

3. Симонова, Н. В. Полевые исследования усовершенствованного копателя КТН-2В / Н.В. Симонова, С.Н. Бoryчев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 170-176.

Патент

4. Патент на полезную модель № 213875 U1 Российская Федерация, МПК А01D 17/22. Картофелекопатель : № 2022112215 : заявл. 04.05.2022 : опубл. 04.10.2022 / Н.В. Симонова, С.Н. Бoryчев, А.В. Шемякин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1565 подписано в печать
05.10.2023 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*