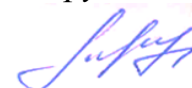


МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



ЛУЧКОВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАТКА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Специальность 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Борычев Сергей Николаевич

Рязань 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ	8
1.1. Развитие картофелеуборочной техники и ее современные перспективы.....	8
1.2. Состояние картофелеводства в России и регионе	17
1.3. Обзор исследований и классификация комкоразрушающих рабочих органов	25
1.4. Цель и задачи исследования	31
1.5. Выводы по главе 1	31
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАТКА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ	33
2.1. Конструктивно-технологическая схема катка	33
2.2. Основные теоретические предпосылки исследований	37
2.3. Анализ сил, действующих на каток картофелеуборочной машины.....	38
2.4. Выводы по главе 2	42
ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТКА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ	44
3.1. Программа лабораторных исследований катка картофелеуборочной машины	44
3.2. Установка и аппаратура для проведения лабораторных исследований ...	44
3.3. Методика экспериментальных исследований процесса и обработки опытных данных	46
3.4. Результаты лабораторных исследований	50
3.5. Методика определения эффективности крошения почвы катком	56
3.6. Результаты определения эффективности крошения почвы катком	59
3.7. Выводы по главе 3	62
ГЛАВА 4. ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО	

КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМ КАТКОМ	64
4.1. Программа испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна	64
4.2. Методика хозяйственных испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна	64
4.2.1. Изучение физико-механических свойств культуры картофеля и почвы...	65
4.2.2. Агротехническая оценка работы картофелеуборочного комбайна, оснащенного усовершенствованным катком с кольцами.....	70
4.3. Результаты испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна	74
4.4. Выводы по главе 4	76
ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ..	78
5.1. Обоснование выбора использования картофелеуборочных машин методом экспертных оценок	77
5.2. Оценка экономической эффективности и результаты внедрения картофелеуборочного комбайна с усовершенствованным катком	87
5.3. Выводы по главе 5	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	99
ПРИЛОЖЕНИЯ	114

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Картофелеуборочные машины непрерывно изменяются в сторону уменьшения затрат человеческого труда и увеличения количества автоматизированных процессов, сопровождающихся комбинированием технических средств. Как правило, при механизированной уборке картофеля на суглинистых почвах при высыхании после осадков образуются почвенная корка, которая при разрушении дает комки размерами с клубень. Так как данные почвенные комки не отсеиваются во время сепарации, то попадая в бункер засоряют картофельный ворох, поэтому разрушение почвенных комков актуально при уборке картофелеуборочными машинами.

Многолетними исследованиями авторов установлено, что в таких условиях наиболее эффективна конструкция передней части комбайна с копирующими рядку комкоразрушающими катками, поэтому необходимо проводить исследования в этой области с разработкой их новых конструкций, что позволит повысить технико-экономический эффект использования картофелеуборочных машин.

Степень разработанности темы. Основные положения по применению копирующих комкоразрушающих рабочих органов в уборочных машинах и исследования процессов разрушения катками почвенных комков в рядке изложены в известных трудах Н.Г. Байбобоева, Л.П. Безрукого, П.К. Белевича, А.И. Бойко, С.Н. Борычева, Н.В. Бышова, П.И. Гаджиева, А.П. Дорохова, В.Ф. Купряшкина, Г.Д. Петрова, А.В. Сибирёва, А.А. Сорокина, И.А. Успенского и других авторов.

Диссертация выполнена в рамках НИР ФГБОУ ВО РГАТУ 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».

Цель исследований – разрушение почвенных комков и улучшения сепарации в картофелеуборочной машине.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы задачи исследований:

- провести анализ исследований применения катков на картофелеуборочной машине;
- теоретически обосновать параметры катка картофелеуборочной машины;
- экспериментально уточнить параметры катка картофелеуборочной машины;
- исследовать в полевых условиях работу картофелеуборочной машины с усовершенствованным катком;
- оценить технико-экономический эффект внедрения усовершенствованного катка картофелеуборочной машины.

Объект исследования – процесс разрушения почвенных комков катком.

Предмет исследования – закономерности процесса разрушения почвенных комков катком.

Научную новизну работы составляют:

- теоретическая зависимость, устанавливающая связь между глубиной погружения, количеством колец и вертикальной нагрузкой катка;
- аналитическая зависимость влияния количества колец катка и влажности почвы на разрушение почвенных комков.

Теоретическая значимость. Установлены теоретические и экспериментальные зависимости, позволяющие определить рациональные параметры катка картофелеуборочной машины.

Практическую ценность работы составляют параметры катка картофелеуборочной машины.

Методология и методы исследования. Основой диссертационного исследования является обобщение известных научных теоретических результатов, которые использовались для совершенствования катка картофелеуборочной машины.

Обоснование параметров катка проводилось по известным и частным методикам с использованием пакетов программ «Microsoft Office», «T-flex cad», «MathCAD v14.0», «STATISTICA 10».

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические исследования процесса взаимодействия катка с почвой;
- результаты лабораторно-полевых исследований картофелеуборочной машины с катком;
- технико-экономическое обоснование эффективности внедрения катка картофелеуборочной машины.

Достоверность результатов исследований. При проведении лабораторных и хозяйственных исследований использовались современные методики, приборы и установки. Применялись ГОСТ 20915-2011, ГОСТ 23493-79, ГОСТ 24055-2016, ГОСТ 28268-89, ГОСТ 34393-2018. ГОСТ Р 54781-2011.

Результаты теоретических исследований в достаточной мере согласуются с полученными экспериментальными данными (расхождение не более 5%). Результаты, полученные в ходе выполнения работы, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях, конкурсах.

Реализация результатов исследований.

Результаты исследований получены при испытаниях в ООО «Солнечные луга» Луховицкого района Московской области и ООО «Верея» Клепиковского района Рязанской области (приложение Б).

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров катка. При этом автору принадлежит участие в постановке задач исследований, непосредственное проведение теоретических исследований и экспериментов по обоснованию параметров усовершенствованного катка, обработка результатов и их интерпретация, участие в написании статей и выводов по ним.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на всероссийских и международных научных конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева (2018-2021 гг.), III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием «Теория и практика современной аграрной науки», проводимой Новосибирским государственным аграрным университетом; бронзовая медаль за проект «Опорный каток картофелеуборочного комбайна» XXIII Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед 2020».

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ, в том числе 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, получено 2 патента РФ на полезную модель. Объем публикаций составляет 2,69 п.л., из которых 1,68 п.л. принадлежит лично соискателю.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 114 наименований и приложений. Работа изложена на 124 страницах, содержит 34 рисунка, 34 таблицы и 4 приложения.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

1.1. Развитие картофелеуборочной техники и ее современные перспективы

История развития картофелеводства в России насчитывает более двухсот лет [50]. В современном мире картофель является востребованной культурой как в пищевой, так и химической промышленности. В этой связи в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы разработана подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации». Трудоемкость возделывания картофеля требует развития и новых технологий, и средств обработки и уборки картофеля [18]. Технологическая карта выращивания картофеля включает укрупненные этапы: предпосевная обработка почвы, посадка и уход за посевами, уборка. Своевременная и бережная уборка урожая способствует сохранению его первоначальных качественных характеристик и длительному хранению. За все время эволюции средства уборки картофеля претерпели существенные изменения, тем не менее до сих пор ручной труд полностью не ушел из этого процесса.

«В развитии средств уборки картофеля можно выделить 5 основных этапов и 4 переходных периода (рисунок 1.1). Выделение основных этапов связано с использованием принципиально новых средств уборки картофеля:

1. этап ручного труда;
2. гужевой этап;
3. тракторный этап;
4. этап самоходных комбайнов;
5. этап роботизации» [60].

«При этом следует отметить, что достижения предыдущих этапов являются стартовой основой последующих. В связи с этим необходимо выделение переходных периодов, которые обладают признаками предыдущего этапа и последующего:

1. плужный период;
2. период элементарной механизации;
3. период прицепных комбайнов;
4. период комбайнов с интеллектуальными бортовыми системами» [60].

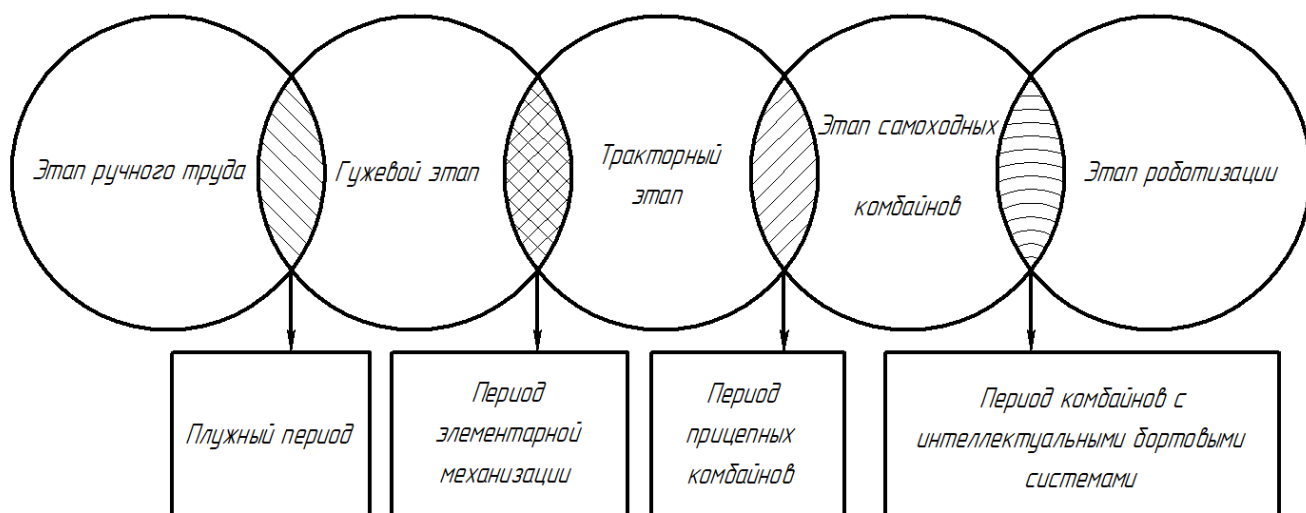


Рисунок 1.1 – Этапы и периоды развития картофелеуборочных средств

«Временные рамки смены этапов развития средств уборки картофеля сильно размыты и не имеют четких границ. Это обусловлено множеством факторов, основными из которых являются:

1. объемы и направления производства картофеля (так уборка картофеля для личных нужд до сих пор, как правило, осуществляется традиционно ручным способом);
2. промышленная революция и научно-технический прогресс (способствует созданию множества экспериментальных образцов картофелекопателей и иной картофелеуборочной техники, которые не получили распространения);
3. образование новых форм хозяйствования (ведет к развитию конкуренции и, как следствие, возрастает потребность в современных средствах уборки картофеля);
4. уровень социально-экономического развития (влечет структурные и качественные изменения в развитии производительных сил, при этом

способствует развитию техники при наличии сдерживающего стоимостного фактора).

На первом этапе, когда применялся ручной труд, возделывались небольшие площади не более 0,25-0,35 га. Из инструментария были сохи, мотыги, лопаты, вилы. Эту стадию можно назвать огородным периодом, и она продлилась до середины XIX века» [60].

«С увеличением убираемых площадей ручные орудия труда менялись на плуги, развитие которых отмечается на плужном периоде. Использование живой тягловой силы в уборке картофеля характерно для гужевого этапа. Этот этап ознаменован появлением конной тяги и специальных приспособлений для раскапывания картофеля, но человеческий труд оставался в большом объеме неизменно. Этот период уже можно назвать полевым, потому что площади возделывания картофеля значительно выросли. Эта стадия длилась до конца 20-ых годов XX столетия. Стали появляться картофелекопатели, их усовершенствование определяет период элементарной механизации. Например, во 2-ой Рязанской Губернской Сельско-Хозяйственной Кустарно-Промышленной выставке 1923 года среди экспонатов Губсельсклада числился картофелекопатель Предела» [60].

«В энциклопедическом словаре Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона (том 14 – 1895 год) подробно описываются картофелекопатели того времени. В литературном источнике указывается, что «назначение картофелекопателей заключается не в ускорении самой работы, но в возможно полной очистке клубней от обыкновенно пристающей к ним земли» [60].

«Авторами предлагается все картофелекопатели, исходя из их строения, разделить на три группы. Копатели первой группы имеют самое простое строение, они похожи на окучник, у которого отвалы заменены рядом из 5- 7 расположенных веером железных спиц. Технология уборки представляла собой процесс, при котором поднятая лемехом земля с гнездами картофеля разрыхляется спицами и проваливается в промежутки между ними, а клубни разбрасываются в стороны от орудия и позднее подбираются рабочими. К этой

группе отнесены картофелекопатели Говарда, Сакка и др.» [60].

«Вторая группа представлена картофелекопателями-швырялками. Рабочее устройство, обычно, состоит из железной рамы; находящейся на двух колесах крупного диаметра. От них в движение приводится вал с прикрепленными на него металлическими стержнями. Данный механизм похож на колесо со спицами, но без обода, который вращается либо параллельно оси машины, следовательно, поперек картофельных борозд, либо по направлению ее движения вдоль борозд. Когда такой копатель приступает работать, то механизм начинает быстро вращаться, подхватывая поднятую лемехом землю и разбрасывая ее. Справа или слева машины иногда прикрепляют железную планку или проволочную решетку. Эти дополнительные элементы не дают клубням возможности разлетаться далеко в сторону» [60].

Картофелекопатели третьей группы оборудованы решеткой, предназначенной для очищения клубней от земли. В копателе Кобылинского земля, двигаясь через ось колеса, падает на решетку, где картофель и обтрясается, а потом попадает в специальный ящик сзади. Наибольшим спросом пользовались копатели первой группы, но отличительным по качеству уборки признано орудие Кобылинского.

Огромную роль в развитии картофелеуборочных средств сыграл Рязанский завод сельскохозяйственных машин («Рязсельмаш»). С 20-ых годов XX века он полностью перешел на производство тракторных машин по возделыванию картофеля и почвообрабатывающих орудий. С 1931 г. «Рязсельмаш» выпускает первые отечественные машины для механизации возделывания картофеля, конный окучник для возделывания картофеля. Выпускался также картофелекопатель В-9 с шириной захвата 1,5 м. Он состоит из рамы, опирающейся на 2 ходовых колеса, сиденья для рабочего, рычага включения, дышла с двумя вальками и двустороннего подкапывающего рабочего органа в виде изменённого корпуса окучника. Рабочий орган посредством стойки прикрепляется к раме орудия. При движении картофелекопателя подрезанный слой земли вместе с картофелем разваливается по обеим сторонам, вследствие

чего достигается более полный вынос клубней на поверхность почвы, чем при выкопке картофеля плугом. Испытания картофелекопателя В-9 показали, что затрата рабочей силы снижается на 10-15%, а чистота выкапывания клубней повышается по сравнению с выкапыванием плугом. Среднедневная производительность картофелекопателя В-9 около 1,5 га при одном обслуживающем рабочем. Потребная тяга - 2 лошади.

Отсчет тракторного этапа условно можно начать с 1936 г., года завод «Рязсельмаш» приступил к выпуску сельхозмашин тракторной тяги. Также производством выпускались: конный однорядный картофелекопатель марки «К» швыряльного типа (1937г.); тракторный 2-рядный картофелекопатель ТЭК-2 элеваторного типа (1940г.); картофелеуборочный комбайн ИКХ.

В послевоенные годы на заводе было создано специальное конструкторское бюро по механизации возделывания и уборки картофеля. Для полной механизации процесса уборки урожая пытались сконструировать несколько образцов картофелеуборочной техники. В результате коллективной работы «Рязсельмаша» и Тульского комбайнового завода были освоены и выпущены первые серии картофелеуборочных комбайнов КОК и ККР-2.

Опытная партия картофелеуборочных комбайнов К-3 выпускается в 1960 году. В них реализованы новейшие по тому времени достижения и конструктивные решения. Машины оправдали и зарекомендовали себя, особенно на легких и средних почвах» [5]. На уборочную 1961 года вышло 25 таких комбайнов, которые убрали картофель на полях Рязанской и Московской областей, испытывались на Центральной машиноиспытательной станции министерства.

Картофелеуборочный комбайн К-3 был предназначен для одновременного выкапывания двух рядов картофеля с междурядным расстоянием 60 или 70 сантиметров, отделения клубней картофеля от почвы и ботвы, и подачи картофельного вороха в бункер или рядом идущее транспортное средство. На тот момент производительность машины К-3 составляла 0,3 – 0,35 га/час. Детали и узлы данной картофелеуборочной машины изготавливались на заводах

Владимира, Муррома, Коврова, Кольчугина, а также на рязанских предприятиях: «Рязсельмаш», Станкостроительный и Радиозавод.

В 1967 г. в Рязани появилось еще одно машиностроительное предприятие - Рязанский комбайновый завод. Он был выделен на базе «Рязсельмаша». Именно на комбайновом заводе производился серийный выпуск картофелеуборочного комбайна ККУ-2 «Дружба» ряда модификаций [85]. Выпущены десятки тысяч этих комбайнов. Также с конвейера этого завода вышли такие востребованные отечественные модели, как: картофелеуборочный комбайн КПК-2-01, ККУ-2А, КПК-3, Е-686, Е-684; копатель картофеля КТН-2В 3-х эл., ККЭ-2М.

Использование самоходных комбайнов выводит на новый уровень развития картофелеуборочную технику, не требующую дополнительного транспорта для перемещения. Комбайн передвигается на колесах самостоятельно, что обеспечивает его маневренность. Этап появления полноценных картофелеуборочных комбайнов – это уже полная механизация технологического процесса уборки урожая. В современном мире наибольший спрос имеет следующая картофелеуборочная техника: Grimme Ventor 530, Dewulf Kwatro Xtreme, Ploeger AR 4BX, AVR Puma 3, Lockwood 673 Airharvester и др. [94].

Данный этап является перспективным, так как именно на нем заложена основа автоматизации комбайнов бортовыми системами. Одним из современных элементов внедрения интеллектуальных технологий является оснащение комбайнов самыми разнообразными и сложными бортовыми компьютерами и оборудованием [74]. На мониторе, расположенном в кабине комбайнера, отражается актуальная цифровая и графическая информация: об урожайности убираемого картофеля, производительности техники, скорости движения, уровне заполнения бункера, потерях, повреждениях и др. В то же время современные модернизированные комбайны могут быть оснащены, как минимум, системой картирования урожая и технологиями машинного зрения.

Данный этап не является конечным, так как в процессе уборки картофеля непосредственно участвует человек-комбайнер.

Таблица 1.1 – Периодизация этапов развития картофелеуборочной техники

Основные этапы и переходные периоды	Временные рамки (условно)	Виды сельскохозяйственного инструмента и техники уборки картофеля	Оценочные критерии (усредненные)					Себестоимость единицы продукции	
			Трудозаграты	Энергозаграты	Производительность	Потери клубней	Повреждение клубней		Надежность с.-х. машины
1. Этап ручного труда	До середины XIX века – по настоящее время в ЛПХ	Соха, мотыга, лопата							
<i>Плужный период</i>		Отвальный плуг	+++	--	--	-	--	x	++
2. Гужевой этап	По 20-е года XX века	Примитивные картофелекопатели (картофелекопатель Пределя, копатель Паулуса, копатель Кобылинского	++	--	-	-	-	-	++
<i>Период элементарной механики</i>		Картофелекопатель В-9, конный однорядный картофелекопатель марки «К» швыряльного типа							
3. Тракторный этап	С 50-х годов XX века– по настоящее время	Картофелеуборочные комбайны КОК и ККР-2, К-3, ККУ-2 «Дружба»	+	+	++	++	+	+	+
<i>Период прицепных комбайнов</i>									
4. Этап самоходных комбайнов	С 70-х годов XX века – по настоящее время	Комбайны бункерного и элеваторного типов фирм AVR и Dewulf (Бельгия), Grimme (Германия), Рязсельмаш (СССР)	-	+	+++	-	-	+++	-
<i>Период комбайнов с интеллектуальными бортовыми системами</i>	Начало XXI века – по настоящее время	Grimme Ventor 530, Dewulf Kwatro Xtreme, Ploeger AR 4BX, AVR Puma 3, Lockwood 673 Airharvester	-	++	+++	-	-	++	+
5. Этап роботизации картофелеуборочной техники	2010 год – по настоящее время	Комбайны с высокой степенью роботизации технологических процессов	--	+++	+++	--	--	+	+
Условные обозначения / Values									
+++ очень высокое значение		++ высокое значение		+ невысокое значение		- низкое значение		-- очень низкое значение	

В перспективе работать с техникой будет специалист новой формации, владеющий навыками управления роботизированной картофелеуборочной техникой. В условиях цифровизации и развития искусственного интеллекта на смену придут киберкомбайны и начнется эпоха роботизации. Формирование и совершенствование применяемых орудий и средств уборки картофеля связано с периодами их развития (таблица 1.1).

Наступает эра интеллектуальных технических средства в АПК [30]. Разработчики сельскохозяйственной техники делают попытки применять в своей деятельности результаты агрокибернетики, электроники, интеллектуальные, автоматизированные и роботизированные системы, альтернативные источники энергии. Осуществляются попытки создания умных, самообучаемых машин. Создание роботов, пригодных для работы на картофельном поле, связано с большими трудностями. Однако в некоторых направлениях растениеводства роботы уже применяются.

«Средства уборки картофеля непрерывно изменяются в сторону уменьшения затрат труда и увеличения элементов роботизации. Однако в современных условиях имеет место применения и прицепных комбайнов, и самоходной техники, и набирает темп активное внедрение интеллектуальных систем, как в первую, так и вторую группу картофелеуборочной техники, поэтому актуальным является определение оптимальности их использования. В таблице 1.2 представлены некоторые релевантные технические и стоимостные параметры, обосновывающие выбор картофелеуборочной техники. Так как существует достаточно большой выбор средств уборки картофеля с дифференциально разными техническими показателями производительности и стоимостными критериями, то в качестве примера использована техника немецкого производителя Grimme» [60].

«Представленная диаграмма акцентирует внимание на том, что прицепные картофелеуборочные комбайны при более низкой ценовой категории обладают техническими параметрами, ненамного уступающими самоходные машины.

Таблица 1.2 – Сравнительная характеристика технических параметров картофелеуборочных машин

Техническая характеристика комбайна	Типы картофелеуборочных машин		
	Прицепные комбайны (<i>Grimme SE 150-60</i>)	Самоходные комбайны (<i>Grimme SF 150-60</i>)	Комбайны с высокой степенью роботизации технологических процессов (<i>На примере Grimme</i>)
Производительность за час основного времени, га/час	0,2-0,4	0,4	0,5
Количество убираемых рядков, шт.	2	2	2
Количество обслуживающего персонала, чел.	2-4	2-4	1
Вместимость бункера, т	6	6	6
Ходовой механизм	Колесный	Колесный	Колесный
Стоимость агрегата, млн. руб.	9,6	13,1	26,5
Себестоимость, тыс. руб./т	10,5	11,3	12,1
Потери клубней, % /	3,1	3,0	3,0
Повреждение клубней, %	9,1	3,5	3,4

В целях визуального анализа данных таблицы 1.2 построим диаграмму по заданным показателям, которые имеют усредненное значение (рисунок 1.2).

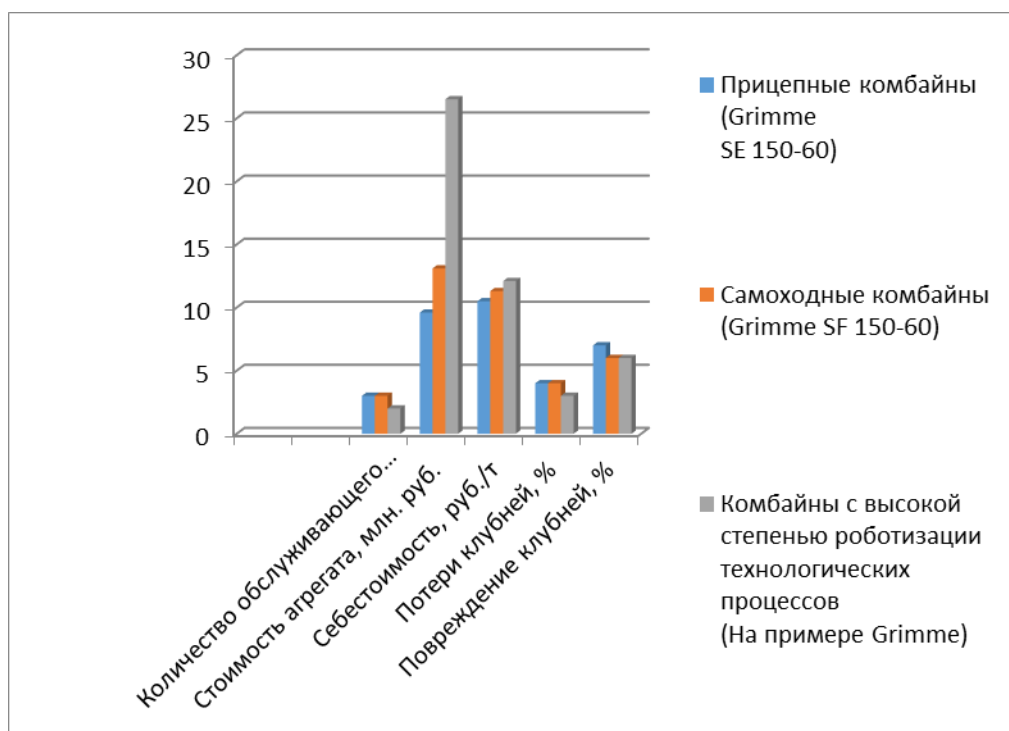


Рисунок 1.2 – Основные параметры картофелеуборочных машин

При оценке предпочтение отдается критериям соотношения стоимости машины, производительности и качеству получаемой продукции. Результаты исследований технических параметров картофелеуборочных машин позволили выделить 5 основных этапов развития картофелеуборочной техники, отличающихся использованием принципиально новых средств уборки картофеля. При этом определены 4 переходных периода, которые обладают признаками предыдущего этапа и последующего. Каждый исторический этап и период представлен типичными для того времени видами сельскохозяйственного инструмента и техники уборки картофеля. Сравнительная характеристика технических параметров установила непрерывные изменения в сторону уменьшения затрат труда и увеличения элементов роботизации. На современном этапе наиболее востребованными по соотношению стоимости машины, производительности и качеству получаемой продукции являются прицепные картофелеуборочные комбайны. Таким образом, в настоящее время приоритетные перспективы развития и совершенствования имеет прицепная картофелеуборочная техника (комбайны)» [60].

1.2. Состояние картофелеводства в России и регионе

Картофель – это один из видов овощей, который имеет разностороннее применение. Во-первых, это достаточно ценный продукт питания, который долгое время в народе назывался «вторым хлебом». Он содержит в себе не только углеводы, белки и жиры, но и является важнейшим источником витаминов и аминокислот. Во-вторых, немаловажное значение картофель имеет в качестве сырья для перерабатывающей, спиртовой и крахмалопаточной промышленности. Такой продукт переработки картофеля как крахмал широко используется в кондитерском и колбасном производстве, в текстильной отрасли [108]. Рост потребления картофельных чипсов населением способствовал выведению и распространению специальных сортов «чипсового» картофеля, в том числе и в

Рязанской области.

Еще одним направлением использования картофеля и его побочной продукции (боты) является кормопроизводство.

Рязанская область на протяжении многих десятилетий является производителем и поставщиком картофеля [86]. Это обусловлено благоприятными почвенно-климатическими условиями.

Текущего состояния и перспективы развития отрасли картофелеводства в Рязанской области можно рассмотреть в разрезе следующих аспектов. Существуют два ключевых фактора, влияющих на объемы производства картофеля – это посевные площади, занимаемые сельскохозяйственной культурой и урожайность. Экстенсивным фактором эффективности производства картофеля выступает площадь его возделывания (таблица 1.3) [61, 112, 113]. Российская федерация и Рязанская область в том числе обладают самыми большими сельскохозяйственными площадями в мировом масштабе, поэтому экстенсивные формы увеличения сельскохозяйственного производства до определенного периода преобладали на территории страны.

Таблица 1.3 – Площади возделывания картофеля по РФ и Рязанской области

Показатель	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Российская Федерация, тыс. га	1562,00	1441,00	1350,00	1325	1255
-цепной темп роста, %	-	92,25	93,68	98,15	94,72
-базисный темп роста, %	100,00	92,25	86,43	84,83	80,35
Рязанская область, тыс. га	23,5	22,2	20,9	21,7	19,1
-цепной темп роста, %	-	94,47	94,14	103,83	88,02
-базисный темп роста, %	100,00	94,47	88,94	92,34	81,28
% к итогу (РФ)	1,50	1,54	1,55	1,64	1,52

Рассматривая общую динамику изменения площадей можно сделать вывод, что за анализируемый период данный показатель сокращается как по Российской Федерации в целом, так и по Рязанской области в частности и составляет в 2019 году по отношению к базисному периоду 80,35% и 81,28% соответственно [61]. Анализ табличных данных показывает, что несмотря на небольшие темпы, но площадь, возделываемая под картофелем, уменьшается (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Динамика площадей производства картофеля

Урожайность культуры является интенсивным фактором развития производства и предполагает увеличение выпуска продукции на единицу используемых ресурсов (таблица 1.4) [61, 112, 113]. Воздействие на интенсивные факторы производства является наиболее перспективным направлением деятельности в сельском хозяйстве.

Таблица 1.4 – Урожайность картофеля по РФ и Рязанской области

Показатель	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Российская Федерация, ц/га	164	158	163	170	178
-цепной темп роста, %	-	96,34	103,16	104,29	104,71
-базисный темп роста, %	100,00	96,34	99,39	103,66	108,54
Рязанская область, ц/га	175,3	155,2	155,7	148,5	175,5
-цепной темп роста, %	-	88,53	100,32	95,38	118,18
-базисный темп роста, %	100,00	88,53	88,82	84,71	100,11
% к итогу (РФ)	106,89	98,23	95,52	87,35	98,60

В исследуемый период наблюдается нестабильный характер данного показателя, потому что на его величину влияют как регулируемые факторы производства (технология возделывания, технические средства, сортность семян и др.), так и нерегулируемые факторы производства (климатические и погодные условия). Наибольшая урожайность картофеля была в 2019 году. Она составила 178 ц/га по РФ и 175,5 ц/га по Рязанской области (рисунок 1.4).

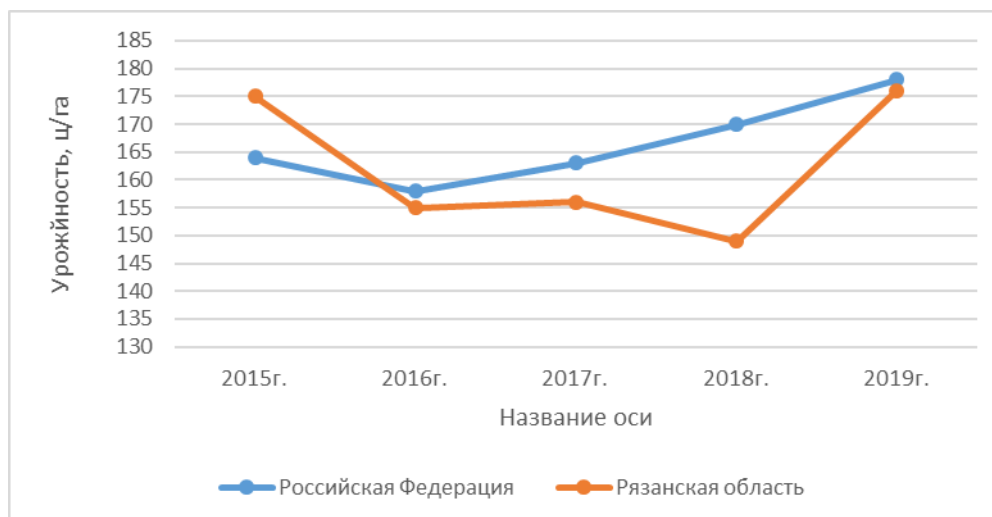


Рисунок 1.4 – Урожайность картофеля по РФ и Рязанской области

В результате взаимодействия экстенсивных и эффективных факторов производства предприятие получает определенный объем продукции (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Объемы производства картофеля по РФ и Рязанской области

Показатель	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Российская Федерация, тыс. тонн	25406,00	22463,00	21708,00	22395,00	22073,00
-цепной темп роста, %	-	88,42	96,64	103,16	98,56
-базисный темп роста, %	100,00	88,42	85,44	88,15	86,89
Рязанская область, тыс. тонн	410,1	341,0	325,3	321,7	334,2
-цепной темп роста, %	-	83,17	95,40	98,89	103,89
-базисный темп роста, %	100,00	83,17	79,34	78,46	81,51
% к итогу (РФ)	1,61	1,52	1,50	1,44	1,51

Объем производства – важный с экономической точки зрения показатель развития предприятия. Несмотря на устойчивое снижение возделываемых площадей картофеля и нестабильную урожайность, объемы производства картофеля по РФ и Рязанской области небольшими темпами все же растут. Особенно наглядно это подтверждают показатели цепного темпа роста объема производства картофеля. В разрезе Рязанской области 2019 г. по отношению к 2018 г. составляет 103,89%, что в абсолютном выражении 334,2 тыс. тонн [113].

Для установления влияния площади возделывания и урожайности на валовый сбор картофеля используем детерминированный факторный метод

анализа мультипликативной модели валового сбора [64] (таблице 1.6).

Таблица 1.6 – Исходные данные для проведения детерминированного факторного анализа влияния на валовый сбор картофеля по Российской Федерации и Рязанской области

Регион	Площадь, тыс. га		Урожайность, ц/га		Валовый сбор, тыс. т		
	2018г.	2019г.	2018г.	2019г.	2018г.	усл.	2019г.
Российская Федерация	1325	1255	170	178	22395	21335	22073
Рязанская область	21,7	19,1	148,5	175,5	321,70	283,64	334,20

Урожайность картофеля в Рязанской области отстает от значения по Российской Федерации в целом в 2019 г., однако наблюдается общая закономерность роста. При этом площади возделывания картофеля сокращаются. Результаты факторного анализа представлены в таблице 1.7.

Сокращение площади возделывания картофеля оказало отрицательное влияние на объемы его производства в результате чего было недополучено продукции 1060 тыс. т по РФ и 38.1 тыс. т по Рязанской области.

Таблица 1.7 – Результаты факторного анализа валового сбора картофеля

Регион	Изменение валового сбора, тыс. тонн		
	всего	в т.ч. за счет	
		площади	урожайности
Российская Федерация	-322	-1060	738
Рязанская область	12,5	-38,1	50,6

Рост урожайности картофеля как в Российской Федерации, так и в Рязанской области повлекло увеличение валового сбора на 738 и 50,6 тыс. т соответственно. Совокупное влияние факторов привело к снижению урожая картофеля по Российской Федерации в 2019 году по сравнению с 2018 годом на 322 тыс. т, при этом опережающий рост урожайности по сравнению с сокращением площади возделывания картофеля привел к увеличению его урожая на 12,5 тыс. т.

На увеличение урожая картофеля оказывает влияние совокупность факторов, таких как семенной материал, внесение минеральных и органических

удобрений, обеспеченность в картофелеуборочных машинах и др.

Обеспеченность в картофелеуборочных машинах является одним из существенных критериев формирования стабильного производства картофеля (таблица 1.8) [112, 113].

Таблица 1.8 – Обеспеченность сельскохозяйственных организаций картофелеуборочными комбайнами

Показатели	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Российская Федерация:					
Картофелеуборочные комбайны, тыс. шт.	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0
Приходится на 1000 га посевов (посадки) картофелеуборочных комбайнов, шт.	3	7	11	14	18
Приходится посадки картофеля на один картофелеуборочный комбайн, га	67	65	60	68	68
Рязанская область:					
Картофелеуборочные комбайны, шт.	40	39	41	38	43
Приходится на 1000 га посевов (посадки) картофелеуборочных комбайнов, шт.	14	12	10	8	11
Приходится посадки картофеля на один картофелеуборочный комбайн, га	70	87	98	129	92

Взаимосвязь между объемом производства картофеля и обеспеченностью картофелеуборочными машинами является стохастической. В целях ее изучения используем корреляционный и регрессионный анализы, применяя аппарат Excel надстройки Пакет анализа (таблица 1.9)[59].

Таблица 1.9 – Исходные данные для проведения стохастического факторного анализа влияния на валовый сбор картофеля обеспеченности картофелеуборочными машинами по Рязанской области

Годы	Валовый сбор картофеля, тыс. тонн	Приходится на 1000 га посевов (посадки) картофелеуборочных комбайнов, шт.
	Y	X
2013	332,2	11
2014	335,5	12
2015	410,1	14
2016	341,0	12
2017	325,3	10
2018	321,7	8
2019	334,2	11

Для построения регрессионной модели используем коэффициенты парной корреляции, заранее оценив взаимосвязь между ними и возможность их использования (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Матрица коэффициентов парной корреляции

Показатели	Y	X
Y	1	-
X	0,81	1

Взаимосвязь между выбранными показателями является сильной и прямой, что говорит о росте валового сбора картофеля с увеличением картофелеуборочных машин на 1000 га посадок ($R_{yx} = 0,81$).

Таким образом, выбранные показатели будем применять для построения регрессионной модели зависимости валового сбора картофеля от обеспеченности картофелеуборочными машинами на 1000 га посадок.

Результаты регрессионного анализа представлены в трех следующих таблицах (таблица 1.11, 1.12, 1.13).

Таблица 1.11 – Корреляционная статистика

Показатели	Значение
Множественный R	0,81
R-квадрат	0,65
Нормированный R-квадрат	0,58
Стандартная ошибка	19,68
Наблюдения	7

Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,65$) показывает, что 65 % вариации валовый сбор картофеля находится под воздействием фактора обеспеченности картофелеуборочными машинами на 1000 га посадок.

Таблица 1.12 – Дисперсионный анализ

Показатели	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	3587,53	3587,53	9,27	0,029
Остаток	5	1936,04	387,21		
Итого	6	5523,58			

Проверку значимости уравнения регрессии произведем на основе F –

критерия Фишера. По данным дисперсионного анализа $F_{расч} = 9,27$. Табличное значение F – критерия при доверительной вероятности 0,05, $\nu_1 = 1$ и $\nu_2 = 5$ (Df – число степеней свободы в таблице дисперсионный анализ) $F_{табл} = 6,61$. $F_{расч} > F_{табл}$ - уравнение регрессии признается адекватным.

Таблица 1.13 – Регрессионная статистика

Показатели	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	196,72	48,58	4,05	0,01	71,83	321,61
X	13,12	4,31	3,04	0,03	2,04	24,19

Значимость коэффициента уравнения регрессии a_1 оценим с помощью t-критерия Стьюдента (t-статистика). По регрессионной статистике $t_{a_1} = 3,04$. Табличное значение t-критерия при уравнении значимости 5% и степенях свободы 6 составляет 2,57.

Так как $t_{расч} > t_{табл}$, то коэффициент a_1 – существенен, то есть значим.

Уравнение регрессии будет составлено на основании данных регрессионной статистики, которая описывает зависимость валового сбора картофеля от обеспеченности картофелеуборочными машинами на 1000 га посадок:

$$Y = 196,72 + 13,12x.$$

Данное уравнение можно использовать для прогнозирования валового сбора картофеля в зависимости от количества картофелеуборочных машин на 1000 га посадок.

Так использование 12 картофелеуборочных машин на 1000 га посадок обеспечит получения урожая картофеля в размере 354,16 тыс. т картофеля ($Y = 196,72 + 13,12 \cdot 12 = 354,16$).

Таким образом, использование высокопродуктивных сортов, внедрение интенсивных технологий возделывания картофеля, в том числе современных и усовершенствованных технических средств при уборке урожая способствуют как увеличению валового сбора, так и росту эффективности картофелеводства [109].

1.3. Обзор исследований и классификация комкоразрушающих рабочих органов

Изучение научно-исследовательских работ [5, 6, 17, 18, 23, 24, 29, 45, 51, 53, 56, 71, 77, 79, 89, 92, 100, 111] по технологиям и средствам уборки картофеля и других корнеклубнеплодов позволило сделать вывод, что количество трудов, освящающих почворазрушающие рабочие органы, достаточно и в основном это работы XX века. В современных условиях значение катков недооценено, так как оптимальная конструкция данного элемента способствует разрушению почвенной корки, снижению количества земляных комков, попадающих на сепаратор.

Большой вклад в изучение и совершенствование технологий и средств уборки корнеклубнеплодов внес А.В. Сибирев [43, 44, 46, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93].

Процесс разрушения катками почвенных комков в грядке исследовали Г.Д. Петров [82], А.А. Сорокин [96], Н.Г. Байбобоев [9, 10, 11], Л.П. Безрукий [12], П.К. Белевич [14], О.И. Бойко [15, 16, 17], С.Н. Борычев [20], А.П. Дорохов [39, 40, 41], Т.Т. Кусов [57], Н.М. Марченко [63], Н.М Юлдашев [101] и др.

«В СССР катки в качестве копирующих комкоразрушающих рабочих органов стали широко применяться с 1959 г. в картофелеуборочном комбайне КГП-2 грохотного типа, созданного ВИСХОМом и Рязанским ГСКБ совместно с Коломенским тепловозостроительным заводом им. В.В. Куйбышева» [10].

В своей работе Байбобоев Н.Г. ссылается на исследования по опрессовке гребней грядки картофеля профильными катками, результаты которых приведены в таблице 1.14 [10].

Данные таблицы показывают, что опорные катки эффективно разрушают почвенные комки при нагрузке 3,5 кН.

В 1958 г. А.А. Сорокин, как указывает Байбобоев Н.Г., исследовал процесс разрушения катками почвенных комков в грядке. В полевых условиях проверяли два типа катков: с прутковой и сплошной (из стального листа диаметром в

средней части - 240 мм, по краям - 340 мм) поверхностью. Как показывают исследования, катки в 2-3 раза уменьшают количество комков, поступающих после подкопа грядок на сепарирующие органы картофелеуборочных машин [10].

Таблица 1.14 – Эффективность разрушения почвенного пласта картофельной грядки катком диаметра 250 мм в зависимости от нагрузки

Размер фракции, мм	Фракционный состав почвы (%) при нагрузке (Н)		
	117	234	351
1-10	29,5/37,5	36,4/52,2	42,5/58,8
10-15	2,4/4,2	3,5/6,0	6,8/6,6
15-20	5,0/5,5	6,1/6,7	7,2/7,8
20-25	7,8/8,0	9,6/9,4	9,2/9,7
25-50	7,5/7,2	7,8/9,1	12,0/8,0
50-100	48,5/37,6	33,3/16,6	22,3/4,5

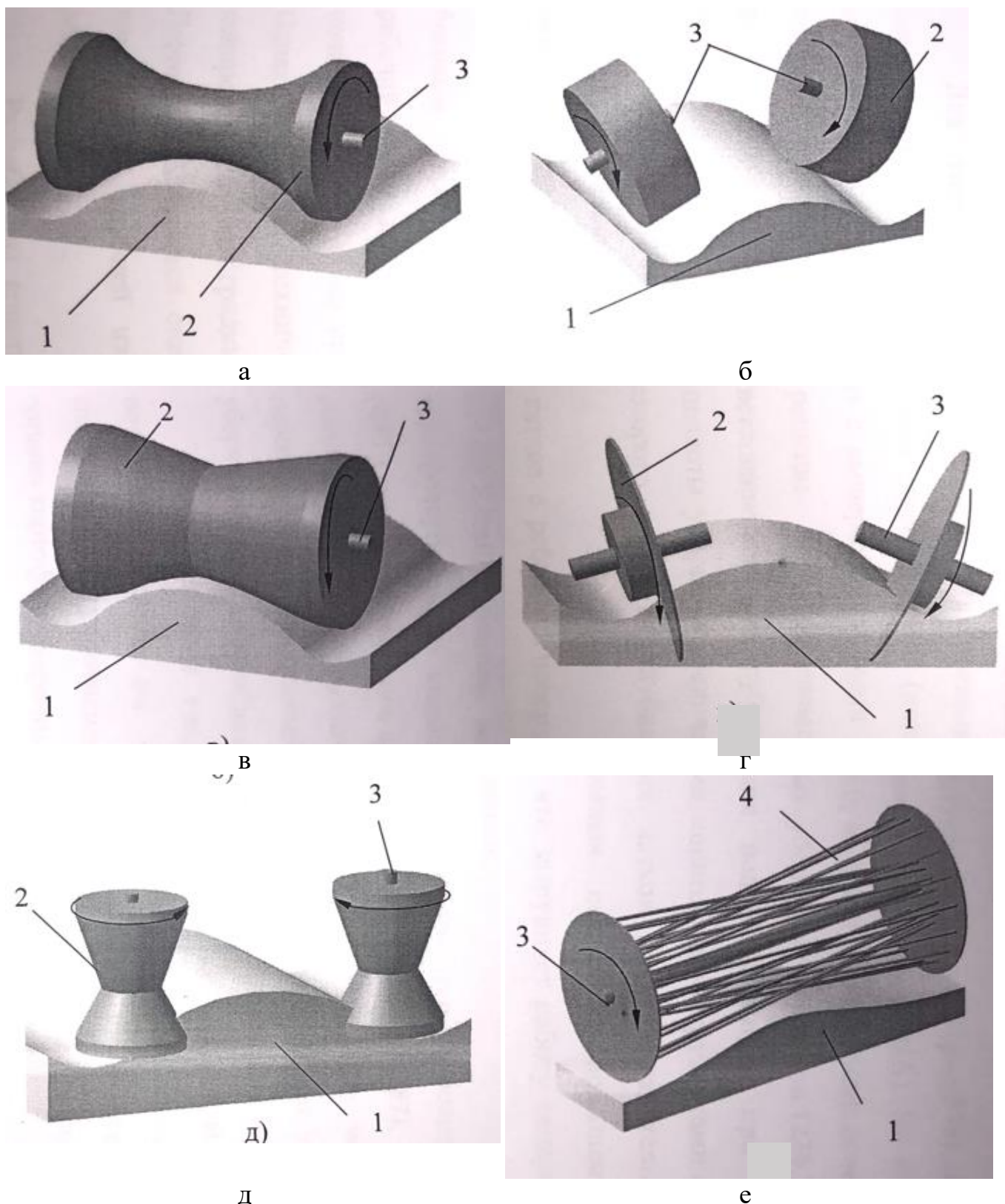
Исследованиями решетчатого катка установлено, что в процессе работы просветы между прутками быстро забиваются почвой и в дальнейшем процессе протекает, как у катков со сплошной поверхностью.

При использовании катков на почвах различной влажности выяснилось, что при повышенной влажности почвы целесообразно работать без катков, чтобы не уплотнять грядки.

Катки устанавливаются перед подкапывающими лемехами; шарнирно подвешенные на коромысле к раме, они хорошо поддерживают глубину копания и разрушают почвенные комки.

Результаты сравнительных испытаний в 1953-1963 гг. комбайна КГП-2 (с комкоразрушающими катками) с лучшими зарубежными образцами показали, что по полноте уборки и чистоте КГП-2 превосходит их [10]. Однако комбайн КГП-2 оказался неработоспособным на почвах повышенной влажности, что явилось следствием уплотнения почвы комкоразрушающими катками.

Чтобы устранить эти недостатки, с 1955 по 1965 гг. в различных специализированных организациях были разработаны и апробированы несколько образцов комкоразрушающих копирующих катков (рисунок 1.5).



1 – грядка; 2 – каток; 3 – ось катка; 4 – прутки.

Рисунок 1.5 – Классификация комкоразрушающих копирующих катков:
 а - вогнутый; б - цилиндрический опрессовывающий; в - из двух усечённых конусов; г - опрессовывающие катки; д - с боковым обжатием; е - прутковый каток.

Исследования, проведенные в ВИСХОМе, БИМСХе, ЧИМЭСХе, цилиндрических прессующих катков показали, что разрушение почвенного пласта картофельной грядки методом двусторонней опрессовки цилиндрическими катками не обеспечивает его достаточного крошения, особенно в нижних слоях грядки. Кроме того, цилиндрические катки часто сгруживают почву, что делает их малоработоспособными [10].

Катковый лемех одновременно с подкапыванием опрессовывает грядки с фигурными гладкими ободками и действуя на них, подвергает клубненосный пласт разрушению. Основным недостатком комкоразрушающего катка такого типа - большой процент повреждений клубней (до 14%), что объясняется трудностью вождения каткового лемеха по рядку.

Исследования катка, состоящего из двух усечённых конусов с жестким креплением на валу свободно, а также и катков бокового обжатия проводились А. П. Дороховым [40, 41]. Выявлено, что благодаря применению передних катков с наименьшим отклонением от курса при копировании рельефа поля количество поступающей массы уменьшается на 10%, а у катков бокового обжатия, снабженных лемехами – до 20%. К недостаткам рабочих органов такого типа следует отнести уплотнение грядки при повышении влажности почвы и ее сгруживание.

Известны катки с принудительным приводом и решетчатой боковой поверхностью, пневматические двухсекционные, имеющие форму усеченного конуса, обращенного меньшим основанием вниз и образованного из ряда пневматических баллонов, установленных на одном валу и имеющих жесткость, увеличивающуюся в направлении от большего основания к меньшему [101].

Известные работы по каткам носят в основном экспериментальный характер.

В конце 80-ых годов были оформлено несколько авторских свидетельств на копирующий каток картофелеуборочной машины [1, 2, 3].

Анализируя работы авторов можно составить следующую

классификационную схему опорных катков [19, 22, 52, 70, 72, 79, 84, 95, 99, 105] (рисунок 1.6). Научным обоснованием применения опорных катков занялся Н.Г. Байбобоев [9, 10, 11], исследования которого заложили фундаментальную основу в подтверждение целесообразности и необходимости совершенствования комкоразрушающих рабочих органов картофелеуборочных машин.

Многолетними исследованиями авторов установлено, что в условиях нормальной и пониженной влажности почв более эффективна конструкция передней части комбайна с копирующими грядку комкоразрушающими катками.

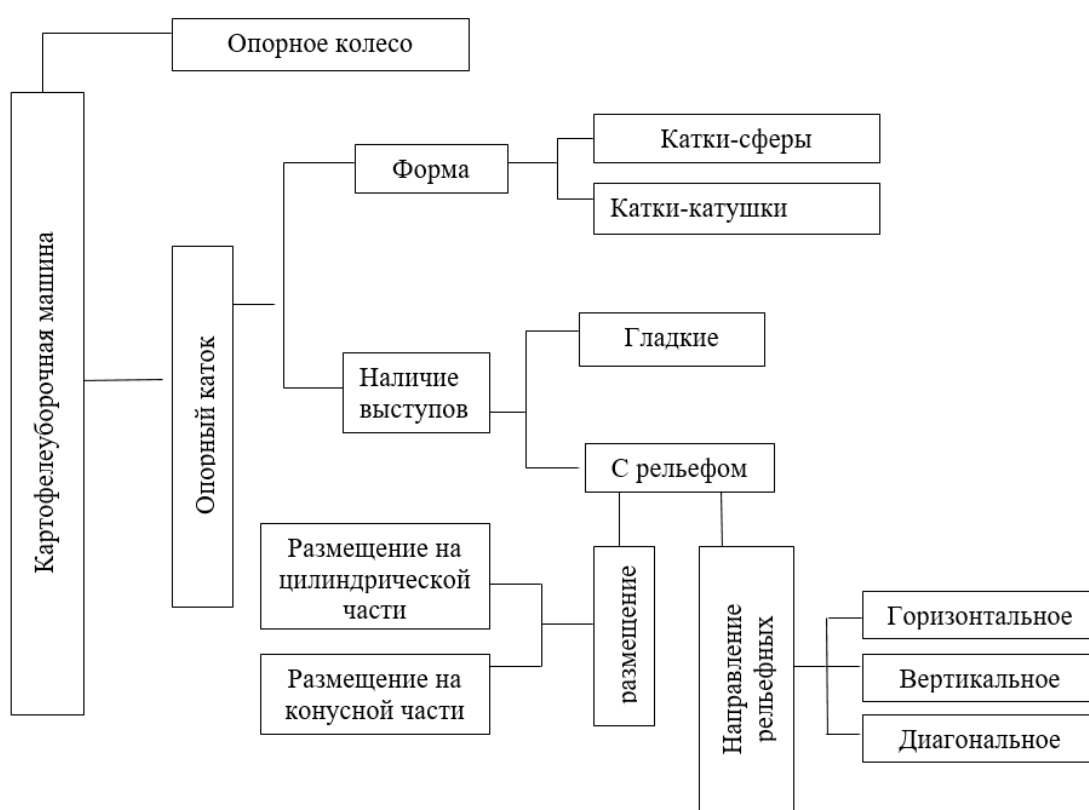


Рисунок 1.6 - Классификационная схема опорных катков

Первостепенными задачами при механизированной уборке картофеля являются: обеспечение высокой степени сепарации (отделения) комков почвы от клубней картофеля, снижение его потерь и повреждений.

Современные технологии и системы рабочих органов, применяемые при уборке картофеля, составляют единый процесс и постоянно совершенствуются. Обоснование оптимальных параметров рабочих органов и режимов работы

машин для уборки картофеля и других корнеклубнеплодов достаточно полно изложены в работах [13, 26, 54, 55, 56, 73, 76, 81, 104, 106].

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество картофелеуборочных комбайнов самоходного и прицепного типа. В настоящее время основными производителями картофелеуборочной техники являются такие страны, как Германия, Россия, Польша, Бельгия, Белоруссия.

Большой выбор картофелеуборочной техники предоставляет немецкий производитель GRIMME. Это картофелекопатели (WH 200 (навесной), WR 200 (прицепной)), прицепные картофелеуборочные комбайны (SE 75-20, SE 140, SE 75-55, SE 260, SE 150-60, EVO 280, EVO 290, SV 260 (с боковым подкопом), GT 170, GT 300 (с центральным подкопом безбункерные с применением перегрузочной техники), самоходные уборочные машины (VARITRON 220 PLATINUM TERRA TRAC (перегрузочный бункер, гусеничный ходовой механизм), VARITRON 270 PLATINUM, VARITRON 270 PLATINUM TERRA TRAC (гусеничный ходовой механизм)[75].

Россию представляют завод Колган (г. Коломна) и компания «Агротехресурс» (г. Рязань).

Созданный в 1995 году в подмосковной Коломне, завод «КОЛНАГ» с первых дней использовал мощный потенциал российских машиностроителей, производственную базу оборонного предприятия и технологии, предоставленные европейскими партнерами. В ассортименте предприятия имеется: картофелеуборочный комбайн AVR Spirit 5200, картофелеуборочный комбайн AVR Spirit 6200 / AVR Spirit 9200, самоходный картофелеуборочный комбайн AVR Puma 4.0 [25].

Рязанская компания «Агротехресурс» является одним из лидеров по производству картофелеуборочной техники и запасных частей, специализируясь на данной отрасли растениеводства. Предприятие образовано в 1996 году на базе ОАО «Рязанский комбайновый завод», приобретая и используя производственную мощь бывшего завода, внедряя новые технологии и расширяя

производственную базу. Для уборки картофеля «Агротехресурс» предлагает картофелеуборочный комбайн КПК-2-01, картофелеуборочный комбайн ККР-2, копатель картофеля КТН-2В 3-х эл. (транспортеры на звеньях) [114].

На мировом рынке картофелеуборочной техники Беларусь представляет Холдинг «ГОМСЕЛЬМАШ», который имеет многопрофильное инновационное производство сельскохозяйственной техники.

1.4. Цель и задачи исследования

Выполненный обзор и анализ литературных источников показал, что на современном этапе развития картофелеуборочной техники существуют ограниченное количество видов применяемых опорных катков.

Цель исследований – разрушение почвенных комков и улучшение сепарации в картофелеуборочной машине.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы задачи исследований:

- провести анализ исследований применения катков на картофелеуборочной машине;
- теоретически обосновать параметры катка картофелеуборочной машины;
- экспериментально уточнить параметры катка картофелеуборочной машины;
- исследовать в полевых условиях работу картофелеуборочной машины с усовершенствованным катком;
- оценить технико-экономический эффект внедрения усовершенствованного катка картофелеуборочной машины.

1.5. Выводы по главе 1

По результате проделанной работы можно сделать выводы:

1.Картофелеуборочные машины непрерывно изменяются в сторону

уменьшения затрат человеческого труда и увеличения количества автоматизированных процессов, сопровождающихся комбинированием технических средств.

2. Изучение двух ключевых факторов производства картофеля (посевные площади и урожайность), а также детерминированный факторный метод анализа мультипликативной модели валового сбора показали перспективность использования высокопродуктивных сортов, внедрение интенсивных технологий возделывания картофеля, в том числе современных и усовершенствованных технических средств при его уборке.

3. Проведенный анализ известных научно-технических источников продемонстрировал наличие достаточного количества трудов, посвященных опорным либо копирующим каткам картофелеуборочных машин.

4. Установлено, что опорные катки картофелеуборочной машины выполняют поставленные задачи, поэтому следует продолжить их модернизацию.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАТКА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

2.1. Конструктивно-технологическая схема катка

Механизированная обработка почвы на этапе уборки картофеля имеет сильную зависимость от типа почвы, так на суглинистых почвах в условиях пониженной влажности происходит образование почвенной корки и как результат формирование почвенных комков (агрегатов), размер которых достигает размеров клубней. Как правило, подобные агрегаты в процессе сепарации не отсортировываются, по этой причине возможно их попадание на переборочные столы и далее в бункер. В этой связи повышается значимость разрушения почвенных агрегатов именно в процессе уборки картофеля комбайнами [28, 29].

Рабочим органом, разрушающим почвенную корку и комки, является опорный каток. С целью улучшения результативности работы опорного катка нами предусмотрено их усовершенствование путем установки колец на цилиндрическую часть [21].

Каток опорный картофелеуборочного комбайна выполнен в виде барабана, сваренного из двух полых усеченных конусов и цилиндрической части между ними. На цилиндрической части в виде барабана закреплены кольца, выполненные из полуколец. Каждый каток снабжен чистиками и закреплен на боковинах с подшипниковыми опорами. Каждый каток крепится к раме с помощью кронштейнов. Между кронштейном и шарнирной рамкой установлен винтовой механизм, снабженный рукояткой.

Каток опорный позволяет точно и легко регулировать глубину подкапывания клубненосного пласта лемехами и удерживает заданную глубину выкапывания [78].

При движении картофелеуборочной машины по полю катки позволяют сохранять заданную глубину подкапывания клубней и разрушают почвенную

корку и почвенные комки в грядке.

Механизм связи подвижной рамы с основной рамой комбайна обеспечивает копирование рельефа почвы в поперечном и продольном направлениях.

Предназначение опорных катков - это для регулирования и удержание заданной глубины подкапывания клубненосного пласта, копирование грядки с целью обеспечения предварительного крошения поверхностной корки и комков почвы и разрушение связи клубней с землей внутри грядки.

Каждый копирующий каток выполнен в виде барабана, связанного из двух полых усеченных конусов и цилиндрической части между ними. Оба катка закреплены на одном валу, связанном с подвижной рамой двумя механизмами для регулирования глубины выкапывания, каждый из которых выполнен в виде телескопически связанных стоек, соединенных винтовой парой, имеющей рабочую рукоятку.

Для регулирования глубины подкапывания на подвижных стойках опорных катков нанесены риски. Риски означают величину подкапывания клубней с учетом средней величины деформации грядки (от давления на нее подкапывающей секции) и дополнительной величины заглубления, с целью исключения подрезания клубней.

Регулировка глубины производится путем изменения расстояния между двумя опорными катками и лемехами с помощью винтовых пар закрепленных на раме элеватора.

Рекомендуется ручки винтовых пар вращать одновременно или попеременно за несколько приемов, что снижает усилие воздействия.

Однако при работе комбайна винтовой механизм ржавеет, и установить сошники на требуемую глубину подкапывания проблематично.

Излишняя глубина подкапывания клубненосного пласта лемехами ухудшает качество работы комбайна и перегружает рабочие органы. Установка глубины на 1 см больше означает, что с гектара приходится поднимать примерно 70 т почвы больше. Поэтому требуется механизм регулирования глубины подкапывания

клубненосного пласта более удобный и точный, чем у комбайнов принятых за аналог и прототип.

На рисунках 2.1, 2.2 схематично изображен каток опорный картофелеуборочного комбайна.

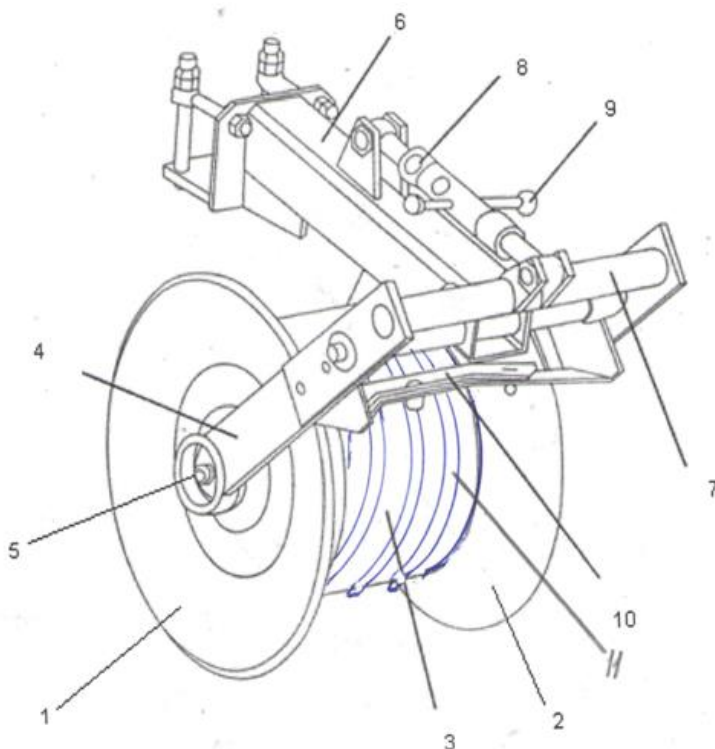


Рисунок 2.1 – Каток опорный картофелеуборочного комбайна ККР-2 (модернизированный) [78]

Каждый каток опорный картофелеуборочного комбайна выполнен в виде барабана, сваренного из двух полых усеченных конусов 1 и 2 и цилиндрической части в виде барабана 3 между ними. Каток опорный закреплен на боковинах 4 с подшипниковыми опорами 5. Каждый каток опорный крепится к раме (рама не показана) с помощью кронштейна 6. Между кронштейном 6 и шарнирной рамкой 7 установлен механизм 8. Механизм 8 снабжен рукояткой 9. Каждый каток опорный снабжен чистиком 10. На цилиндрической части в виде барабана 3 (рис. 1, 2) закреплены кольца 11, состоящее из полуколец 12 и 13. Полукольца 12 и 13, образующие кольца 11, закреплены на цилиндрической части в виде барабана 3 винтами 14 и 15.

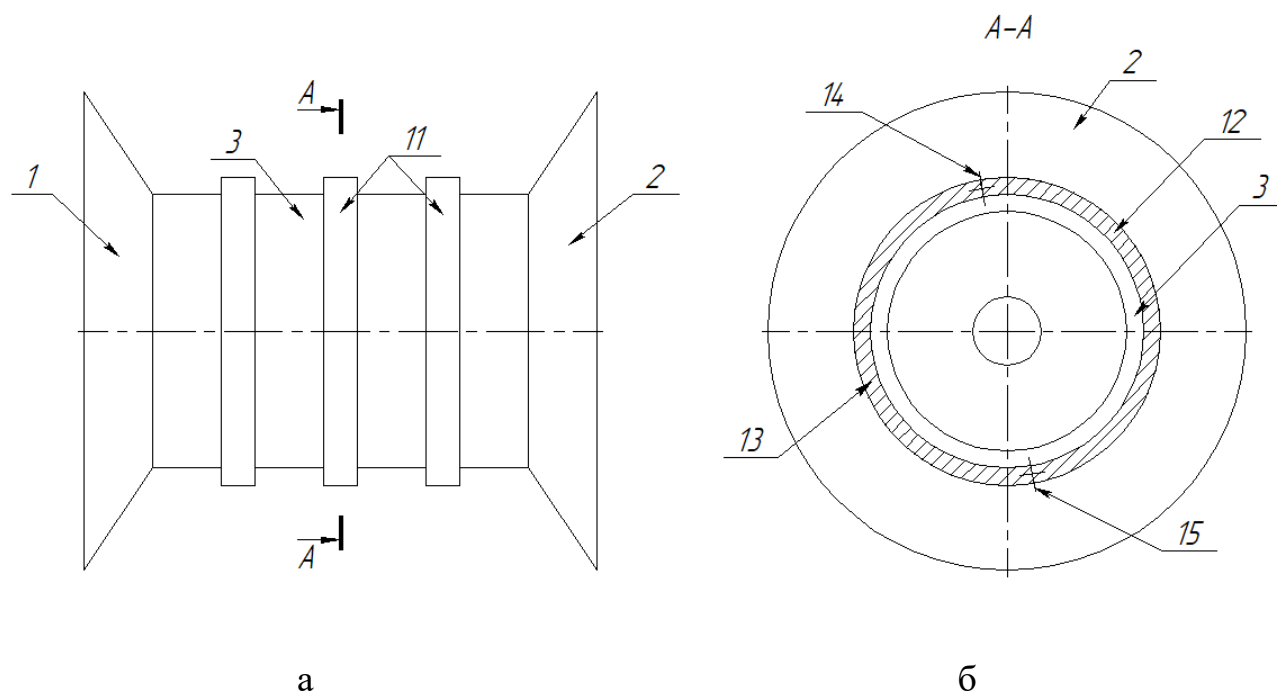


Рисунок 2.2 – а. Каток опорный картофелеуборочного комбайна ККР-2 (модернизированный) вид спереди; б - разрез А-А катка опорного [78]

При работе картофелеуборочного комбайна два полых усеченных конуса 1 и 2 обжимают клубненосный пласт и цилиндрической частью в виде барабана 3 разрушают почвенные комки. При этом каток опорный закрепленный на боковинах 4 с подшипниковыми опорами 5 вращается. Рукояткой 9 механизма 8, установленного между кронштейном 6 и шарнирной рамкой 7 регулируется глубина подкапывания клубненосного пласта лемехами (лемеха не показаны). Почва, которая налипает на цилиндрическую часть в виде барабана 3 и усеченные конуса 1 и 2, удаляются чистиками 10. Механизмом 8, снабженным рукояткой 9, регулируется глубина подкапывания клубненосного пласта. Механизмом 8, установленным между кронштейном 6 и шарнирной рамкой 7 почти горизонтально легко регулируется рукояткой 9 точная глубина подкапывания клубненосного пласта. Кольца 11, образованные полукольцами 12 и 13, разрушают почвенную корку клубненосного пласта (Приложение А).

Каток опорный позволяет точно и легко регулировать глубину подкапывания клубненосного пласта лемехами и удерживает заданную глубину

выкапывания, разрушает почвенную корку и повышает эффективность сепарации почвы на прутковых элеваторах.

2.2. Основные теоретические предпосылки исследований

Эффективность работы серийных картофелеуборочных машин зависит не только от их конструктивных особенностей, но и от почвенно-климатических условий. Изучению физико-механических свойств почвы, влияющих на работоспособность картофелеуборочных машин, посвящены многие исследования [97, 98].

Неоднократно авторами-исследователями проводились эксперименты, которые устанавливали зависимость производительности картофелеуборочных машин от агроклиматических и почвенных условий [31]. В итоге получены результаты, устанавливающие то, что на процесс сепарации наибольшее влияние оказывают вид почвы, ее механический состав и влажность.

От этих факторов зависят такие свойства почвы, которые определяют процесс ее сепарации: пластичность, липкость и прочность комков. На эффективность сепарации существенное влияние оказывают также плотность почвенного пласта, коэффициент трения почвы по металлу, скорость перемещения пласта по лемехам, решетам и другим поверхностям.

Н.Г. Байбобоев, ссылаясь на данные Н.М. Кандаулова указывает, что при нахождении опытным путем статистической прочности почвенных комков на картофельном поле профиль картофельной грядки по связности условно разделен на следующие зоны:

1. Корковая зона толщиной 10-15 мм, разрушающие усилия для почвенных образцов 7,86 – 10,78 Н (0,7-10 кг).

2. Рыхлый слой, расположенный по всему периметру под кормовой зоной; разрушается при слабом прикосновении.

3. Переходная зона, разрушающие усилия для почвенных образцов 2, 94-4, 9 Н (2,9-4,9 кг). В зону входит пахотный слой, взрыхленный при бороновании и неподверженный деформации от тракторных колес.

4. Плотная зона (расположенная по бокам грядки), разрушающие усилия для образцов 3,88-13,72 Н (0,6-1,4 кг), максимальное усилие $P_{max} \approx 2,7...27,46$ Н (2,7-27 кг).

5. Зона междурядий. Усилия, необходимые для разрушения почвенных образцов 7,86-9,8 Н, $P_{max} = 10,78$ Н (10 кг).

6. Зона наибольшей плотности. Сюда входят нижние слои грядки. Разрушающие усилия образцов 12,7 Н – 24,5 Н, $P_{max} = 49...58,8$ Н (5-6 кг) [10].

2.3. Анализ сил, действующих на каток картофелеуборочной машины

Проведем теоретический анализ взаимодействия катка с почвой с учетом установленных колец, разрушающих почвенную кору клубненосного пласта. Для анализа будем использовать расчетную схему, показанную на рисунке 2.3 принятую в работе.

Как показывают исследования усилие, которое необходимо приложить к центру катка для его равномерного качения, с учетом сил трения определяется по формуле:

$$P = 2kBr^2(1 - \cos\theta_{max})^2 = 2kh^2B, \quad (2.1)$$

где B -ширина катка; м

h -глубина колеи; м

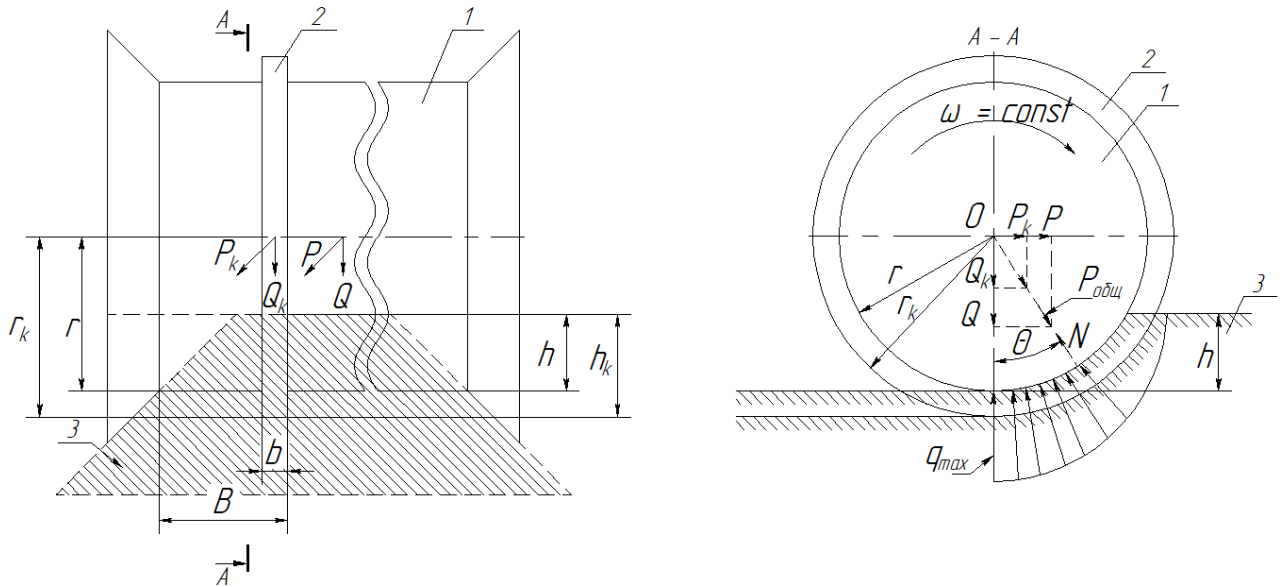
θ_{max} -максимальный угол контакта катка с почвой по всей глубине колеи

r -радиус катка; м

k -коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³

Кроме усилия P на каток действует и вертикальная нагрузка Q которая также определена с учетом сил трения по формуле.

$$Q = kBr^2(1 - \cos\theta_{max})\sin\theta_{max} = kBh\sqrt{2rh - h^2}, \quad (2.2)$$



1 – цилиндрическая часть; 2 – кольцо; 3 – почвенный канал

Рисунок 2.3 – Расчетная схема катка на почве: Q – вертикальное усилие; Q_k – вертикальное усилие кольца катка; P – горизонтальное усилие; P_k – горизонтальное усилие кольца катка; $P_{общ}$ – общее усилие катка на почву; N – сила нормального давления почвы; r – радиус катка; r_k – радиус катка с кольцом; кольца; h – глубина колеи, h_k – глубина колеи от катка с кольцом; θ – угол приложения нагрузки; q_{max} – удельная нагрузка; ω – угловая скорость

Установка колец на опорный каток, позволяет разбить его поверхность на отдельные секции, соответственно на каждую секцию будет приходиться усилие, определяемое по формулам (2.1) и (2.2)

Тогда общее усилие, действующее на опорный каток можно представить:

$$P = \sum_{i=1}^n 2kh^2 B_i, \quad (2.3)$$

где n – количество секций; шт.

B_j – ширина j -ой секции, м

Вертикальная нагрузка:

$$Q = \sum_{i=1}^m i = \sum_{i=1}^n kB_i h \sqrt{2rh - h^2} \quad (2.4)$$

Аналогично на поверхности катка с установкой кольца, действуют усилия:

$$P_k = \sum_{i=1}^m P_{ki} = \sum_{i=1}^m 2k b_i r_i^2 (1 - \cos \theta_{max})^2 = \sum_{i=1}^m 2k h_i^2 b_i \quad (2.5)$$

где m -количество колец, шт

h_j -глубина колец, с учетом кольца, м

r_1 -радиус кольца, м

b_j -ширина кольца, м

$$Q_k = \sum_{i=1}^m Q_{ki} = \sum_{i=1}^m k b_i r_i^2 (1 - \cos \theta_{max}) \sin \theta_{max} = k b_i h_i \sqrt{2r_i h_i - h_i^2} \quad (2.6)$$

С учетом вышеперечисленных зависимостей, определяем суммарное усилие, действующее на конструкцию опорного катка.

$$P_{сум} = P + P_k = \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{i=1}^m P_{ki} = \sum_{i=1}^n 2kh^2 B_i + \sum_{i=1}^m 2kh_i^2 b_i \quad (2.7)$$

Также установка количества колец увеличивает количество секций на единицу, приведем все параметры к одной величине, разделив зависимость (2.7) на h_j и B_j .

$$P_{сум} = 2kh^2 (1 + \alpha^2) (m + 1) B_i (1 + \beta) \quad (2.8)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{h_i}{h} \quad \beta = \frac{b_i}{B_i}$$

Аналогично определим вертикальное усилие.

$$Q_{сум} = Q + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^m Q_{ki} = \sum_{i=1}^n k B_i h \sqrt{2rh - h^2} + \sum_{i=1}^m k b_i h_i \sqrt{2r_i h_i - h_i^2} = kh \sqrt{2rh - h^2} (\gamma + 1) (m + 1) B_i (1 + \beta) \quad (2.9)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{h_i \sqrt{2r_i h_i - h_i^2}}{h \sqrt{2rh - h^2}}$$

Используя совместно выражения (2.8) и (2.9) и формулу Горячкина-Грандвуане определяем формулы для

А) глубины колеи:

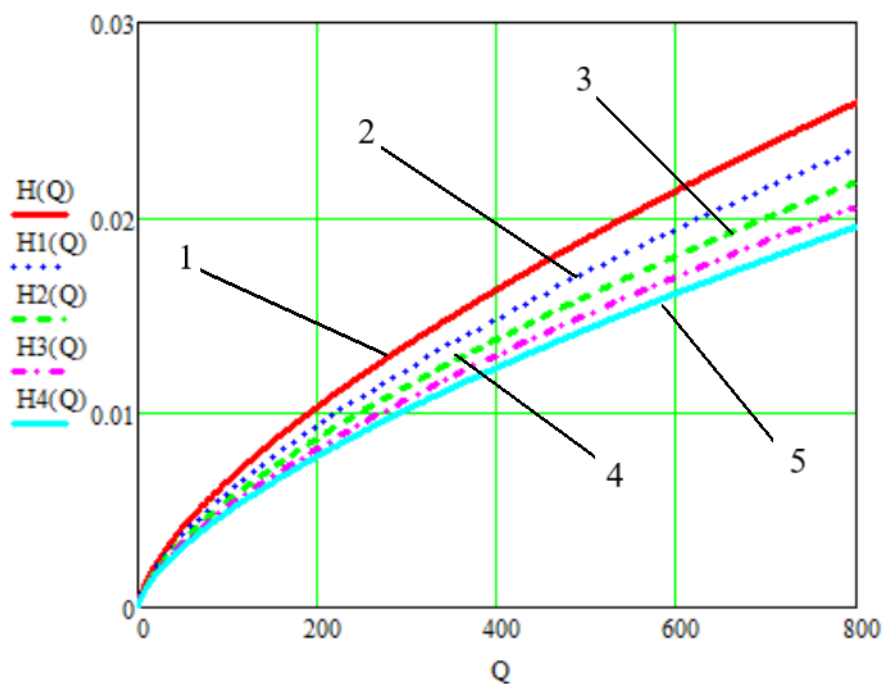
$$H = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 B_i^2 (1 + \beta) D (1 + \epsilon) (m + 1)}} \quad (2.10)$$

где $D = 2r$ – диаметр катка, м;

$\varepsilon = \frac{D_i}{D}$ – соотношение диаметров кольца и катка;

$D_i = 2r_i$ – диаметр кольца.

На основании формулы 2.10 в программе MathCAD проведем исследование глубины колеи катка от вертикального усилия и количества установленных колец (рисунок 2.4).



- 1 – количество колец на катке 2; 2 – количество колец на катке 3;
 3 – количество колец на катке 4; 4 – количество колец на катке 5;
 5 – количество колец на катке 6

Рисунок 2.4 – Зависимость глубины колеи катка от вертикального усилия и количества установленных колец

Анализ зависимости показывает, что с увеличением нагрузки на каток и уменьшением количества колец на катке увеличивается колея (вдавливание катка в почву) и воздействие на почвенную корку. Учитывая, что глубина залегания верхних клубней составляет около 0,02 м, количество колец на катке должно быть не менее 3 из условия неповреждения клубней картофеля.

График получен при следующих значениях: $k = 5000000$, Н/м³; $B = 0,02$, м; $D = 0,4$, м; $m_1 = 3$, шт; $m_2 = 4$, шт; $m_3 = 5$, шт; $m_4 = 6$, шт; $\varepsilon = 1,05$; $\beta = 0,5$.

$$H1(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m1 + 1)}}$$

$$H2(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m2 + 1)}}$$

$$H3(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m3 + 1)}}$$

$$H4(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m4 + 1)}}$$

Б) тяговое усилие:

$$P = 2 \sqrt[3]{\frac{Q^4}{kB(1+\beta)D^2(1+\varepsilon)(m+1)}} \quad (2.11)$$

В) количество установленных колец:

$$m = n - 1 = \frac{8P^3 kB_i (1 + \beta) D^2 (1 + \varepsilon)}{Q^4} - 1 \quad (2.12)$$

Формула (2.10) выражает зависимость между нагрузкой и деформацией почвы (глубины колеи) и учитывает параметры рабочего органа и физико-механических свойств почвы. Формула (2.12) устанавливает зависимости между нагрузкой, геометрическими параметрами конструкции и физико-механическими свойствами почвы [62].

2.4. Выводы по главе 2

1. При механизированной уборке картофеля образуются почвенные комки соизмеримые с размерами клубней. Такие комки не отсеиваются во время сепарации, далее попадают на переборочные столы, затрудняя работу переборщикам и затем в бункер, снижая чистоту картофеля в бункере. Усовершенствованные копирующие катки предназначены для регулирования и удержания заданной глубины выкапывания, а также для обжатия грядки с целью обеспечения предварительного разрушения поверхностных комков почвы и связи

клубней с землей внутри грядки. Теоретическими исследованиями установлена зависимости между нагрузкой и деформацией почвы (глубины колеи) с учетом геометрических параметров рабочего органа и физико-механических свойств почвы.

2. Анализ зависимости показывает, что с увеличением нагрузки на каток и уменьшением количества колец на катке увеличиваются колея (вдавливание катка в почву) и воздействие на почвенные комки. Количество колец на катке должно быть не менее 3 из условия неповреждения клубней картофеля.

ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТКА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

3.1. Программа лабораторных исследований катка картофелеуборочной машины

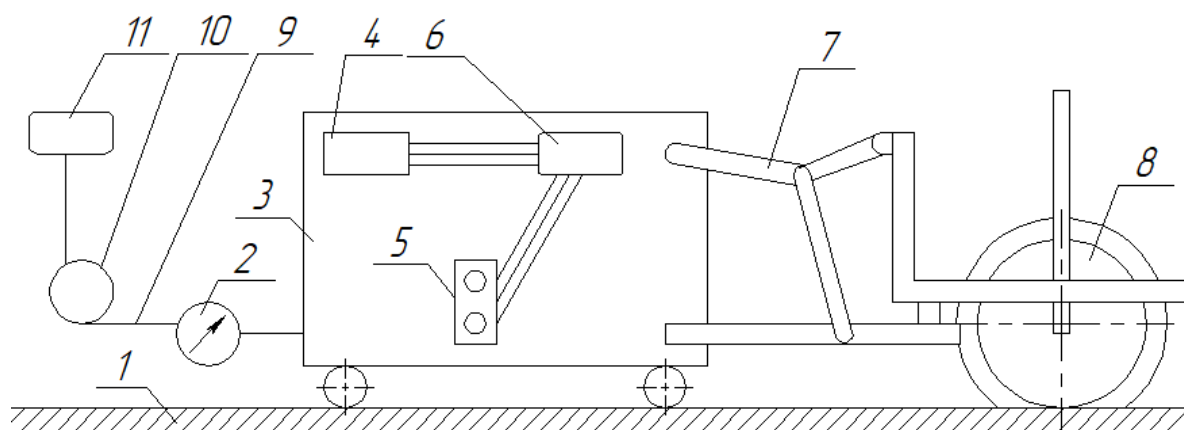
С целью оценки показателей повреждаемости картофеля и эффективности крошения почвы при работе усовершенствованного комкоразрушающего рабочего органа – опорного катка, выполненного в виде барабана, связанного из двух полых усеченных конусов и цилиндрической части между ними была разработана программа лабораторных испытаний, состоящая из 3 (трех) пунктов:

1. Проведение полнофакторного эксперимента серийного опорного катка.
2. Проведение полнофакторного эксперимента усовершенствованного опорного катка – на цилиндрической части в виде барабана закреплены кольца, выполненные из полуколец.
3. Анализ результатов исследований, оценка количественных показателей разрушенных комков почвы, повреждений клубней после воздействия серийного и модернизированного рабочего органа.

3.2. Установка и аппаратура для проведения лабораторных исследований

Лабораторные испытания проводились с помощью экспериментальной установки на почвенном канале, смонтированной в лаборатории № 5 ФГБОУ ВО РГАТУ (рисунок 3.1, 3.2).

Экспериментальная установка на почвенном канале (1) позволяет симитировать некоторые процессы работы картофелеуборочного комбайна ККР-2, конкретнее процесс прохождения опорного катка (8). Каток прикреплен к тележке (3) при помощи навески (7), находящейся перед ним. В движение тележка приводится при помощи лебедки (10) и троса (9), на котором крепится динамометр (2). Электродвигатель (6) приводит в движение лебедку.



1 – почвенный канал; 2 – тяговый динамометр; 3 – подвижная тележка; 4 – прибор для определения затрат мощности; 5 – магнитный пускатель; 6 – электродвигатель; 7 – навеска; 8 – каток, 9 – трос; 10 – лебедка; 11 – электродвигатель.

Рисунок 3.1 - Схема установки для лабораторных исследований



1 – почвенный канал; 2 – тяговый динамометр; 3 – подвижная тележка; 4 – навеска; 5 – каток.

Рисунок 3.2 - Общий вид лабораторной установки

Перед оценкой степени повреждения клубней картофеля и эффективности крошения почвы определяли:

- твердость (плотность) почвы до прохождения опорного катка, после и по бокам на разной глубине. Использовался твердомера Ю.Ю. Ревякина, который позволяет снять информацию о состоянии почвы по твердости;

- влажность почвы на глубине 5см, 10см, 15см, 20см по центру гребня картофельной грядки. Определение влажности почвы осуществлялось весовым способом.

3.3. Методика экспериментальных исследований процесса и обработки опытных данных

Исследование взаимодействия копирующего катка с почвой проводили согласно ГОСТ 24055-2016 «Методы эксплуатационно-технологической оценки» и другим нормативным документам [33, 34, 35, 36, 38]. Опытный образец опорного катка испытывался в различных скоростных режимах и с изменяющимся количеством и высотой колец. Результаты эксперимента подтверждают теоретические результаты. Расхождение между ними не превышает 5%.

Для подтверждения методики расчета рациональных параметров и режимов работы проводили полнофакторный эксперимент типа 2^k (где k - число факторов). Кольца на цилиндрической части катка, состоящие из полуколец, имели параметры, определенные ранее теоретическим путем. Реализация опытов полного факторного эксперимента проводилась при влажности 18% и твердости почвы 16 кг/см [67].

«Цель этой работы – получить математическую модель влияния комкоразрушающего катка на эффективность сепарации почвы на элеваторе с учетом повреждаемости клубней картофеля, которую можно было бы применять для выбора технологических и конструктивных параметров комкоразрушающего

рабочего органа и пользоваться ею для прогнозирования эффективности сепарации почвы» [11].

План эксперимента задается в виде матрицы планирования.

В процессе лабораторного эксперимента влияние опорного катка на процесс эффективности сепарации рассматривалось с учетом трех факторов:

X_1 – скорость движения агрегата, км/ч (V);

X_2 – количество колец на катке, шт. (n);

X_3 – высота кольца, мм (h).

Уровни и интервалы варьирования факторов эксперимента приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Показатели	Кодирование значения факторов	X_1	X_2	X_3
		Натуральные значения факторов		
		км/ч	шт.	мм
Верхний уровень	+1	4,6	3	9
Основной уровень	0	3,4	2	7
Нижний уровень	-1	2,2	1	5
Интервал варьирования	ε	1,2	1	2

«Для обработки результатов опыта проводится преобразование управляемых переменных (учитываемые в эксперименте факторы X_i) к безразмерным величинам по формуле:

$$X_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

где X_i – кодированное значение i -ого фактора;

X_{i0} – натуральное значение i -ого фактора на нулевом уровне;

ε – натуральное значение интервала варьирования фактора;

X_i – текущее натуральное значение i -ого фактора» [11].

Усовершенствованные параметры опорного катка должны характеризоваться эффективностью сепарации Y^1 и повреждениями клубней Y^2 . Принимаем, что для повышения чистоты картофельного вороха на элеваторе комбайна должно сепарироваться не менее 79% почвы, при условии повреждения клубней не более 1,3 % от общей массы.

Выполнение этих двух условий были достигнуты благодаря оптимальному

выбору скорости движения агрегата X_1 , количества колец на катке X_2 и высоте кольца X_3 , оказывающих существенное влияние на выбранные показатели.

Постановка задачи осуществляется следующим образом:

– построить математические модели повреждений картофеля Y^1 и эффективности сепарации Y^2 в виде уравнений регрессии от независимых переменных: скорость движения агрегата X_1 , количество колец на катке X_2 и высота кольца X_3 , т.е.

$$Y^1 = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{123}X_1X_2X_3 \quad (3.2)$$

$$Y^2 = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{123}X_1X_2X_3 \quad (3.3)$$

– по математическим моделям (3.3) и (3.4) определить оптимальные значения независимых переменных X_1 , X_2 , X_3 , обеспечивающих максимум Y^2 при $Y^1 \leq 1,3\%$ [11].

Решение поставленной задачи осуществляется полным факторным экспериментом, в котором реализуются все возможные неповторяющиеся комбинации уровней n независимых управляемых факторов, каждый из которых варьируют на двух уровнях. В этом случае учитывается влияние на функцию отклика исследуемого процесса не только каждого рассматриваемого в эксперименте фактора в отдельности, но и их взаимодействий [65].

При варьировании каждым из трех факторов ($k=3$) на двух уровнях число опытов N будет составлять $N = 2^3 = 8$. В этом случае опытные точки располагаются в вершинах куба, центр которого находится в начале координат $(0,0,0)$ (рисунок 3.3).

Обработка итоговых данных полнофакторного эксперимента предполагает следующий порядок действий:

1. Оцениваются дисперсии среднего арифметического в каждой строке матрицы по формуле:

$$S_{\varepsilon}^2 = \sum_{i=1}^n (Y_{\varepsilon i} - \bar{Y}_{\varepsilon})^2 / (n - 1) \quad (3.4)$$

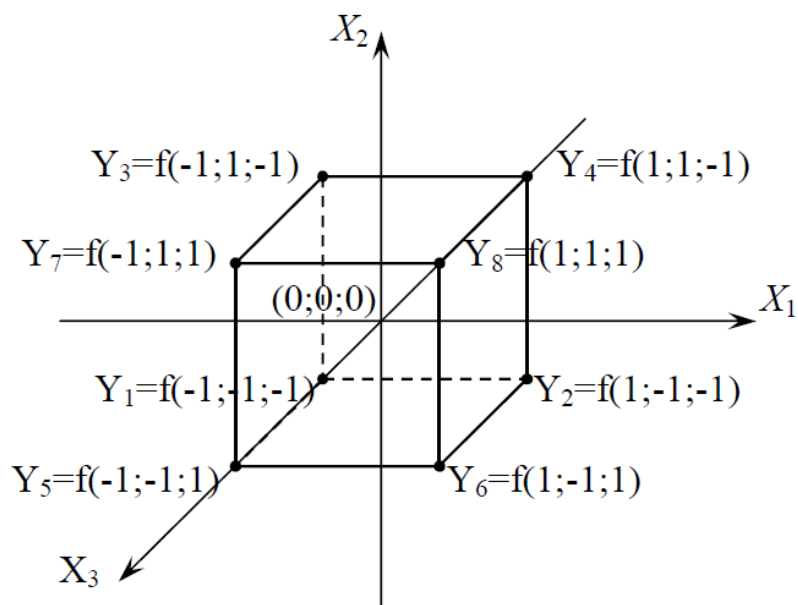


Рисунок 3.3 - Расположение экспериментальных точек в плане, соответствующем полиному 1-го порядка для трех независимых переменных.

2. Проверяются однородности дисперсий с помощью расчета критерия Кохрена.

$$G = \max S_{\varepsilon}^2 / \sum_{\varepsilon=1}^N S_{\varepsilon}^2 \quad (3.5)$$

Найденное по формуле (3.6.) наибольшее экспериментальное значение G сравнивают с критическим (табличным) его значением ($G_{кр}$). Если $G \leq G_{кр}$, то «подозрительное» максимальное значение изменчивости не является «инородным», а представляет собой результат случайного рассеяния исследуемой функции отклика, то есть эксперименты воспроизводимы и их результаты можно использовать для оценки коэффициентов регрессии.

3. Создается математическая модель объекта с проверкой статистической значимости коэффициентов полинома.

После выполнения полнофакторного эксперимента осуществляется независимая оценка коэффициентов полинома по следующей формуле:

$$b_i = [\sum_{\varepsilon=1} x_{i\varepsilon} \bar{Y}_{\varepsilon}] / N \quad (3.6)$$

После вычисления коэффициентов оценивается их значимость для определения степени влияния различных факторов на выходной параметр (функцию отклика). Основой оценки значимости является сопоставление

абсолютного значения, например, коэффициента b_i и дисперсии ошибки его определения $S^2\{b_i\}$. В этом случае с помощью t -критерия (критерия Стьюдента) проверяется гипотеза о незначимости рассматриваемого коэффициента, то есть гипотеза о том, что $b_i=0$ (проверка нуль-гипотезы). Значение параметра определяется по формуле:

$$t_i = |b_i|/\sqrt{S^2\{b_i\}} \quad (3.7)$$

Коэффициент b признается значимым, если t для числа степеней свободы $v=N(n-1)$ больше или равен $t_{кр}$ ($t \geq t_{кр}$), найденному по таблице для заданного значения коэффициента риска β . В случае $t < t_{кр}$, коэффициент признается незначимым.

4. Проверяется адекватность математической модели. Проверка гипотезы об адекватности проводится с помощью F -критерия (критерия Фишера) при $v_{ад}=N-d$ и $v=N(n-1)$.

$$F = S_{ад}^2/S^2\{Y\} \quad (3.8)$$

Если $F \leq F_{кр}$, то модель признается адекватной.

По результатам расчетов производилась оценка степени повреждений клубням картофеля и эффективность сепарации картофельного вороха в процессе использования модернизированного опорного катка с кольцами [51, 83].

3.4. Результаты лабораторных исследований

Целью проведения эксперимента является обеспечение минимального влияния случайных параметров исследуемого процесса на функцию отклика. Для того чтобы снизить влияния данных параметров на окончательный результат эксперимента будем выполнять два параллельных опыта при одних и тех же условиях, предусмотренных соответствующей строкой матрицы планирования [24]. Матрица планирования и результаты полнофакторного эксперимента проведенного на первом этапе представлены в таблицах 3.2, 3.3.

Таблица 3.2 – Матрица планирования и результаты полнофакторного эксперимента проведенного на модернизированном опорном катке (эффективность сепарации)

№	Факторы и их взаимодействие							Результаты опытов – степень повреждения, %		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ *X ₂	X ₁ *X ₃	X ₂ *X ₃	X ₁ *X ₂ *X ₃	Y ₁ ¹	Y ₂ ¹	Y _{ср} ¹
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1,48	1,27	1,375
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1,24	1,47	1,355
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	1,08	1,33	1,205
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1,24	1,05	1,145
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	1,11	0,83	0,970
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1,07	0,89	0,980
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,98	0,75	0,865
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,86	1,08	0,970

Таблица 3.3 – Матрица планирования и результаты полнофакторного эксперимента проведенного на модернизированном опорном катке (степень повреждения клубней картофеля)

№	Факторы и их взаимодействие							Результаты опытов – эффективностью сепарации, %		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ *X ₂	X ₁ *X ₃	X ₂ *X ₃	X ₁ *X ₂ *X ₃	Y ₁ ²	Y ₂ ²	Y _{ср} ²
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,78	0,83	0,805
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0,79	0,82	0,805
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0,73	0,75	0,740
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,77	0,72	0,745
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0,73	0,77	0,750
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0,79	0,75	0,770
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,74	0,71	0,725
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,75	0,72	0,735

В соответствии с матрицей центрального композиционного планирования эксперимент был проведен с 2-кратной повторностью. Параллельные опыты должны быть проанализированы на наличие грубых ошибок. Для исключения ошибочных опытов используются специальные методы математической статистики.

Дисперсия описывает разброс экспериментальных значений, а следовательно, служит мерой точности. При проведении опытов было

произведено несколько измерений одной и той же величины, в данном случае повреждения картофеля и эффективности сепарации, дисперсия может дать представление о точности произведенных измерений. Проведение дисперсионного анализа было осуществлено с использованием Анализа данных, результаты которого по повреждению картофеля представлены в таблице 3.4 по эффективности сепарации представлены в таблице 3.5.

Следует отметить, что межгрупповой разброс результатов опыта 0,0733 выше величины внутригруппового варьирования 0,0255. Суммарная дисперсия воспроизводимости дает оценку средней точности всего эксперимента и составляет 0,025. Таким образом ошибка или точность метода, определенная по текущим измерениям равна $\sqrt{0,025} = 0,1581$. F-критерий Фишера 2,8771 не превосходит величину F-критическое, что указывает на закономерность различий между группами. P-значение составляет 0,0809, так как значение показателя достаточно мало, то отклонение между группами носит не случайный характер.

Таблица 3.4 – Результаты дисперсионного анализа по проценту повреждения картофеля

№ опыта	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
1	2	2,75	1,375	0,02205		
2	2	2,71	1,355	0,02645		
3	2	2,41	1,205	0,03125		
4	2	2,29	1,145	0,01805		
5	2	1,94	0,97	0,0392		
6	2	1,96	0,98	0,0162		
7	2	1,73	0,865	0,02645		
8	2	1,94	0,97	0,0242		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,513194	7	0,073313393	2,877150566	0,080947846	3,500463855
Внутри групп	0,20385	8	0,02548125			
Итого	0,717044	15				

Наибольшее значение дисперсии опытных значений функции отклика составило 0,0392. Это соответствует условиям проведения эксперимента, установленным 3-му номеру опыта.

Далее подсчитаем по формуле (3.5) значение критерия Кохрена с целью проверки воспроизводимости эксперимента.

$$G = S^2_{\xi_{\max}} / \sum_{\xi=1}^N S_{\xi}^2 = 0,0392/0,20385=0,192298259$$

Критическое его значение, для $\beta=0,10$ при $n=2$ (по столбцу) и $N=8$ (по строке), равно $G_{кр}=0,57$. Так как $G < G_{кр}$, следовательно эксперимент воспроизводим. Суммарная дисперсия воспроизводимости составляет 0,0007. Таким образом ошибка или точность метода, определенная по текущим измерения равна $\sqrt{0,0007} = 0,02646$.

Дисперсии опытных значений функции отклика (повреждения картофеля) около их средних значений в каждой строке матрицы рассчитаны. Наибольшее ее значение (0,00125) соответствует условиям проведения эксперимента, установленным 1 и 4-му номеру опыта.

Таблица 3.5 – Результаты дисперсионного анализа по проценту эффективности сепарации

№ опыта			Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
1			2	1,61	0,805	0,00125
2			2	1,61	0,805	0,00045
3			2	1,48	0,74	0,0002
4			2	1,49	0,745	0,00125
5			2	1,5	0,75	0,0008
6			2	1,54	0,77	0,0008
7			2	1,45	0,725	0,00045
8			2	1,47	0,735	0,00045
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,013444	7	0,001920536	2,719342604	0,092248825	3,500463855
Внутри групп	0,00565	8	0,00070625			
Итого	0,019094	15				

Далее подсчитаем по формуле (3.5) значение критерия Кохрена с целью проверки воспроизводимости эксперимента

$$G = S^2_{\xi_{\max}} / \sum_{\xi=1}^N S_{\xi}^2 = 0,00125/0,00565=0,2212.$$

Критическое его значение, для $\beta=0,10$ при $n=2$ (по столбцу) и $N=8$ (по строке), равно $G_{кр}=0,57$. Так как $G < G_{кр}$, следовательно эксперимент воспроизводим. Реализация опыта по матрице планирования осуществлялась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel. Использование в надстройке Анализ

данных инструмента анализа Регрессия позволил вычислить коэффициенты регрессии, расчетные значения которых представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Расчетные значения коэффициентов регрессии

Коэффициенты регрессии	Для Y_1		Для Y_2	
	значение	коэффициент Стьюдента	значение	коэффициент Стьюдента
B_0	1,108125	27,76760226	0,759375	114,2975855
B_1	-0,00437	-0,109629563	-0,00438	-0,658504608
B_2	0,061875	1,550475253	0,023125	3,480667213
B_3	0,161875	4,056293844	0,014375	2,163657997
B_{12}	0,006875	0,172275028	-0,00062	-0,094072087
B_{13}	0,024375	0,610793281	0,003125	0,470360434
B_{23}	0,033125	0,830052408	0,008125	1,222937129
B_{123}	-0,01688	-0,422856887	0,001875	0,282216261

Коэффициенты предполагаемой модели исследуемого процесса, оцениваем их значимость с помощью критерия Стьюдента, предварительно рассчитав значение t-параметра по формуле (3.7) для каждого коэффициента и соответствующей ему дисперсии ошибки определения этого коэффициента [58].

Определим критичное значение t-параметра по таблице для $\nu=N(n-1)=8$ и $\beta=0,10$; $t_{кр}=1,86$. Из сравнения найденного значения $t_{кр}$ с соответствующими значениями t-параметров, можно утверждать с уверенностью в нашей правоте в 9 случаях из 10, что для Y^1 коэффициенты $B_1, B_{12}, B_{13}, B_{23}, B_{123}$ являются незначимыми, для Y^2 коэффициенты $B_1, B_{12}, B_{13}, B_{123}$ являются незначимыми. Допустим, исходя из конкретных условий работы необходимо обеспечить уровень повреждения картофеля не более 1,3%. В этом случае эффектом взаимодействия учитываемых в эксперименте факторов можно пренебречь и уточненная имитационная модель, описывающая исследуемый процесс, примет вид:

$$y_1 = 1,108 + 0,062x_2 + 0,162x_3 \leq 1,3\%$$

Анализируя математическую модель y_1 – повреждения картофеля можно сделать вывод, что наибольшее влияние на функцию отклика оказывает третий фактор (x_3 – высота кольца), в то время, как влияние второго фактора (x_2 – количество колец на катке) меньше в 2,6 раза.

Рассмотрим вариант, когда количество колец на катке максимальное, то есть составит 3 шт. ($x_2 = +1$), тогда:

$$1,108 + 0,062 \cdot 1 + 0,162x_3 \leq 1,3\%$$

$$x_3 \leq 0,80$$

При переводе кодированного значения фактора к натуральному применяем формулу:

$$x_{н3} = x_{н0} + \delta x_3 \quad (3.9)$$

Получаем натуральное значение фактора: $h \leq 8,6$ мм.

Для того, чтобы эффективность сепарации не была ниже 79%, требуется выполнение условия:

$$y_2 = 0,759 + 0,023x_2 + 0,014x_3 + 0,008x_2x_3 \geq 0,79 \quad (79\%)$$

Анализируя математическую модель y_2 – эффективность сепарации можно сделать вывод, что самое большое влияние на функцию отклика оказывает второй фактор (x_2 – количество колец на катке), в то время, как влияние третьего (x_3 – высота кольца) и их комбинации меньше в 1,64 и 2,88 раза соответственно.

$$0,782 + 0,022x_3 \geq 0,79$$

$$x_3 \geq 0,36$$

Получаем натуральное значение фактора: $h \geq 7,72$ мм.

Окончательную высоту кольца при количестве 3 штук принимаем 8,16 мм (рисунок 3.4).

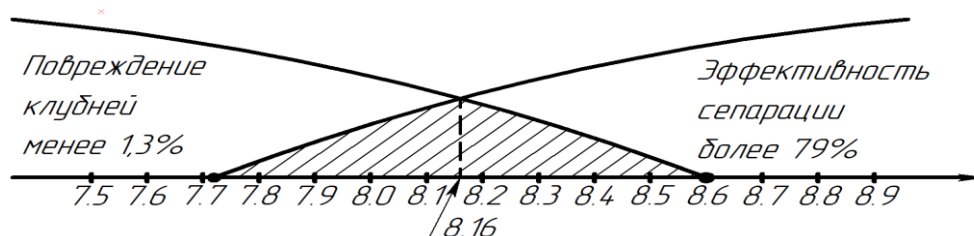


Рисунок 3.4 - Высота кольца на модернизированном катке при количестве 3 штук

На рисунках 3.5 и 3.6 представлены графики экспериментов и их результаты.

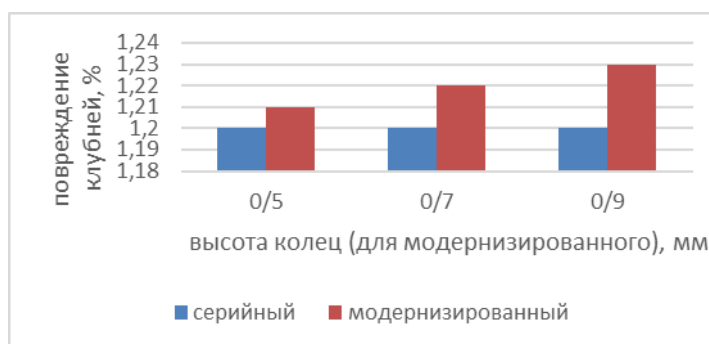


Рисунок 3.5 – Диаграмма повреждения клубней картофеля

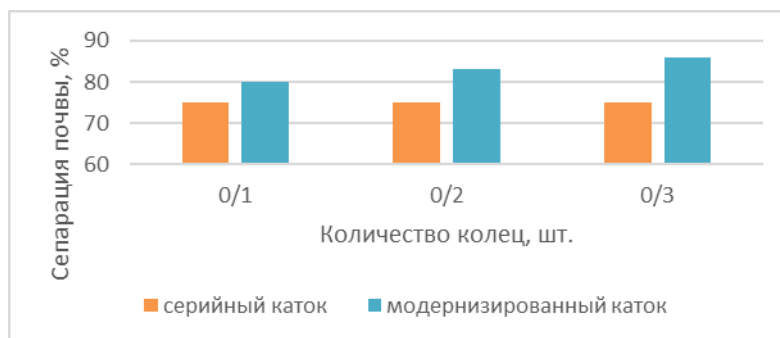


Рисунок 3.6 – Диаграмма эффективности сепарации почвы

Так как 0,16 мм играет незначительную роль, в целях оптимизации производства данного элемента округлим высоту кольца до 8 мм.

3.5. Методика определения эффективности крошения почвы катком

Исследование взаимодействия копирующего катка с почвой проводили согласно ГОСТ 24055-2016 «Методы эксплуатационно-технологической оценки». Экспериментальный рабочий орган испытывался при различной влажности почвы и с изменяющимся количеством колец.

Эксперимент проводился на почвенном канале, на предварительно сформированной грядке при влажности почвы 21,3%, 18,4%, 15,6%. Земля в почвенном канале представляет собой средний суглинок, которая при высыхании до определенной влажности образует на поверхности почвенную корку (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 - Забор почвенной пробы для определения ее влажности

На первом этапе эксперимента определяется влажность почвы.

Почвенные пробы забираются начиная с глубины 5 см с шагом в пять (5) см: 5-10-15-20см (глубина залегания картофеля в гнезде), помещаются в пронумерованные, высушенные и взвешенные стаканчики и закрываются крышками.

Стаканчики (алюминиевые бюксы) и почву в стаканчиках взвешиваем с погрешностью не более 0,4 г (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 - Взвешивание почвенных проб перед определением влажности

Алюминиевые бюксы открываем и вместе с крышками помещаем в нагретый сушильный шкаф и высушиваем при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$.

После каждого высушивания стаканчики с почвой закрываем крышками, охлаждаем на открытом воздухе и взвешиваем.

При вычислении массового отношения влаги в почве в процентах используем формулу 3.10.

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100, \quad (3.10.)$$

где

- масса влажной почвы со стаканчиком и крышкой, г;
- масса высушенной почвы со стаканчиком и крышкой, г;
- масса пустого стаканчика с крышкой, г.

На втором этапе лабораторного эксперимента определяется эффективность крошения почвенных комков модернизированным образцом опорного катка картофелеуборочной машины. Схема деления экспериментальной грядки для проведения опыта представлена на рисунке 3.9.

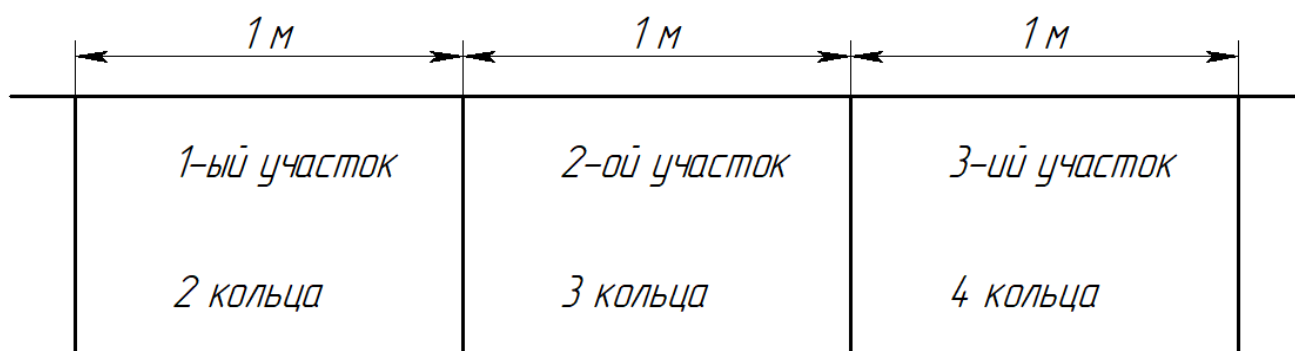


Рисунок 3.9 - Схема деления участка для проведения опыта

В процессе прохождения опорного катка картофелеуборочного комбайна разрушается почвенная корка и образуются почвенные комки (почвенные агрегаты) различной величины, которые попадают на элеватор. Часть почвенных комков просеивается сквозь прутки сепарирующих элеваторов, более крупные идут дальше с возможностью попадания в картофельный бункер.

Для исследования эффективности крошения почвы модернизированным образцом опорного катка проводился лабораторный рассев, представленный на рисунке 3.10. Для отсева было изготовлено пять решет со следующим размером ячеек: 30 мм, 25 мм, 20 мм, 15 мм и 10 мм.

Решета ставились друг на друга в порядке уменьшения размера ячеек сверху вниз. Под решетками помещалась плотная клеенка, на которой собирался просеянный слой почвы. Собранная почва с каждого решета собиралась и взвешивалась (рисунок 3.10). Данные заносились в таблицу.



Рисунок 3.10 – Лабораторный рассев почвы

Сравнивая полученные результаты разрушаемости почвенных комков модернизированным опорным катком при различной влажности с разным количеством колец можно судить об эффективности их применения в заданной комбинации.

3.6. Результаты определения эффективности крошения почвы катком

Оставшиеся комки почвы с каждого решета собирались и взвешивались. Данные заносились в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Опытные данные

№ п/п	Размер ячейки, мм	1 участок - 2 кольца		2 участок – 3 кольца		3 участок – 4 кольца	
		Масса, кг	Удельный вес, %	Масса, кг	Удельный вес, %	Масса, кг	Удельный вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Влажность почвы 21,3 %						
	30	1,910	24,22	0,445	5,30	2,035	21,14
	25	0,450	5,71	1,010	12,06	0,615	6,40
	20	0,340	4,31	0,360	4,30	0,420	4,36
	15	0,365	4,63	0,855	10,22	0,930	9,66
	10	0,995	12,62	1,260	15,08	1,590	16,52

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8
	Просеянный слой	3,825	48,51	4,435	53,04	4,035	41,92
	Итого	7,885	100,00	8,365	100,00	9,625	100,00
2	Влажность почвы 18,4 %						
	30	1,770	27,00	0,470	6,42	1,455	18,51
	25	0,470	7,16	1,265	17,35	0,655	8,32
	20	0,255	3,87	0,310	4,26	0,775	9,85
	15	0,765	11,66	1,050	14,41	0,930	11,82
	10	0,850	12,96	0,970	13,31	0,745	9,48
	Просеянный слой	2,450	37,35	3,225	44,25	3,305	42,02
	Итого	6,560	100,00	7,290	100,00	7,865	100,00
3	Влажность почвы 15,6 %						
	30	1,795	25,88	0,615	9,50	1,505	20,01
	25	0,495	7,10	1,075	16,65	0,635	8,43
	20	0,410	5,91	0,360	5,58	0,350	4,69
	15	0,985	14,20	0,220	3,43	0,930	12,38
	10	0,960	13,83	0,780	12,13	0,880	11,75
	Просеянный слой	2,295	33,08	3,400	52,71	3,210	42,74
	Итого	6,940	100,00	6,450	100,00	7,510	100,00

Принимаем за крупные комки почвенные агрегаты, оставшиеся на решетках с диаметром 30мм и 25 мм. Тогда сводные данные по крупным агрегатам при разной влажности представим в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Сводные данные по крупным почвенным комкам

Влажность почвы, %	Удельный вес, %		
	Количество колец - 2 шт.	Количество колец - 3 шт.	Количество колец - 4 шт.
21,3	29,93	17,36	27,54
18,4	34,16	23,77	26,83
15,6	32,98	26,15	28,44

На основе априорной информации влияние опорного катка на процесс измельчения почвенной корки изучалось с учетом 2-ух факторов:

X_1 – влажность почвы, % (V);

X_2 – количество колец на катке, шт. (n).

Уровни и интервалы варьирования факторов эксперимента приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Показатели	Кодирование значения факторов	X ₁	X ₂
		Натуральные значения факторов	
		%	шт.
Верхний уровень	+1	21,3	4
Основной уровень	0	18,4	3
Нижний уровень	-1	15,6	2
Интервал варьирования	ε	2,9	1

Для обработки полученных данных экспериментальных исследований на почвенном канале опорно-опрессовывающего катка была использована программа STATISTICA 10. STATISTICA - это система для статистического анализа данных, включающая широкий набор аналитических процедур и методов.

Большинство функций программы STATISTICA, используемых при обработке данных и выполнении анализа (классификации и регрессионные деревья, выявления связей, общие линейные модели и т.д.), оптимизированы с помощью многопоточной технологии. Таким образом, стало возможным их параллельное использование на многоядерных процессорах и достижение высочайшего быстродействия для многомерных задач.

Адекватность полученной модели характеризуется высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,89$ и коэффициентом регрессии $R = 0,95$. Полученное уравнение регрессии выражает зависимость удельного веса крупных агрегатов почвы от влажности почвы и количества колец, закрепленных на цилиндрической части катка.

$$Y_{\text{кк}} = 74,616 + 3,8856 * V - 51,234 * n - 0,1411 * V * V + 0,1925 * V * n + 7,5517 * n * n \quad (3.11)$$

где $Y_{\text{кк}}$ – удельный вес крупной почвы, %

V – влажность почвы, %

n – количество колец на катке, шт.

Также по результатам исследования данных в программе STATISTICA 10

была построена поверхность отклика варьируемых факторов (рисунок 3.11).

Анализ рисунка показал, что эффективность крошения почвенной корки на грядке зависит от влажности почвы и количества колец. Оба фактора являются значимыми. Установлено, что высокая эффективность крошения почвенной корки наблюдается при влажности почвы около 16%.

На эффективность крошения почвенной корки также влияет количество колец, закрепленных на цилиндрической части катка. Рациональным значением числа колец, закрепленных на цилиндрической части катка, является $n=3$. Таким образом рационально на цилиндрической части катка устанавливать 3 кольца, наибольшая эффективность крошения почвенной корки $Y_{\text{кк}} = 24,17\%$ достигается при влажности почвы 16%.

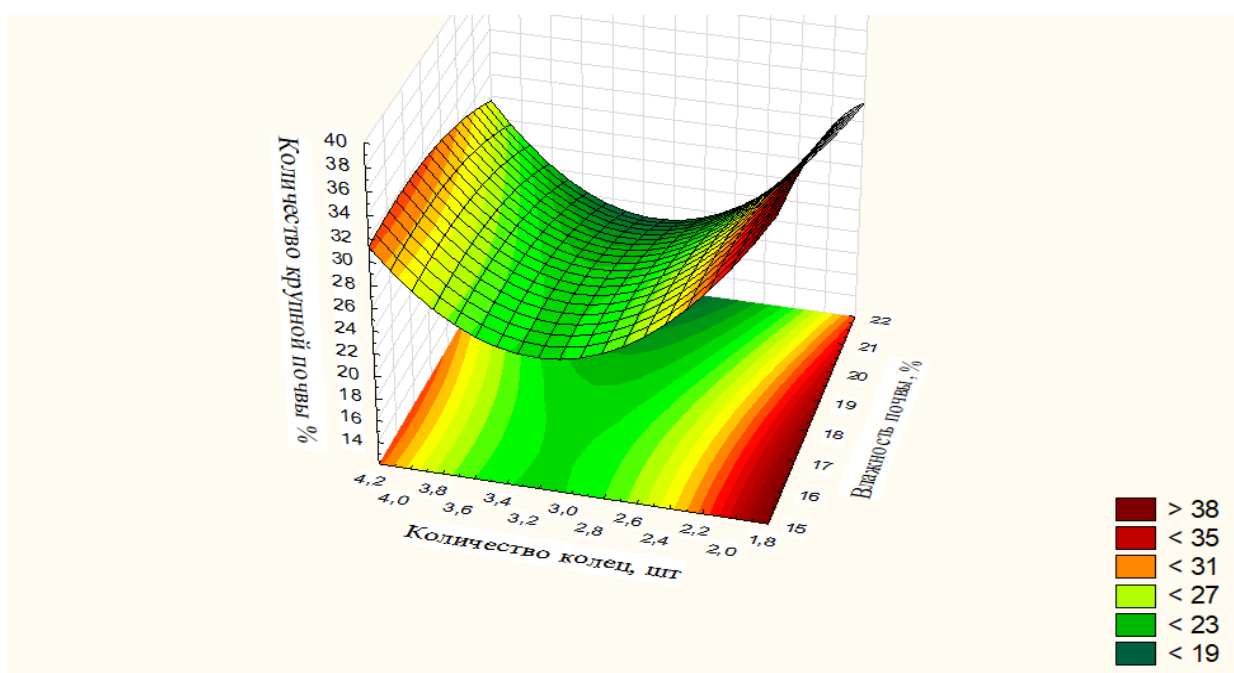


Рисунок 3.11 – График зависимости удельного веса крупных агрегатов почвы от ее влажности и количества колец закрепленных на цилиндрической части катка

3.7. Выводы по главе 3

1. Разработана программа лабораторных исследований опорного катка картофелеуборочной машины.

2. Получена математическая модель влияния модернизированного опорного катка на эффективность сепарации почвы на элеваторе с учетом повреждаемости клубней картофеля.

3. Экспериментально определено, что для того, чтобы эффективность сепарации не была ниже 79% и исходя из конкретных условий необходимости обеспечения уровня повреждения картофеля не более 1,3%, окончательную высоту кольца при количестве 3 штук принимаем 8 мм.

4. Экспериментально определено, что наименьшее количество почвенных комков $Y_{\text{кк}} = 24,17\%$ достигается при установке 3 колец на цилиндрической части катка и влажности почвы 16%.

ГЛАВА 4. ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМ КАТКОМ

4.1. Программа испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна

Проведению хозяйственных испытаний модернизированного (усовершенствованного) картофелеуборочного комбайна предшествовало изучение физико-механических и размерно-весовых параметров выращиваемых сортов картофеля при заданных географической зоной почвенно-климатических условиях. Данные параметры выступают основным фактором, влияющим на работу комкоразрушающих рабочих органов, в том числе опорного катка.

Программа хозяйственных испытаний состояла из следующих этапов:

1. Изучение свойств почвы и возделываемых сортов картофеля.
 - 1.1 Универсальная агротехническая оценка свойств культуры картофеля.
 - 1.2 Исследования свойств почвы, состоящие из двух этапов, в частности:
 - определение влажности почвы;
 - определение твердости почвы.
2. Хозяйственные испытания картофелеуборочного комбайна, оснащенного серийным и разработанным опорным катком.

4.2. Методика хозяйственных испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна

Исследования проводились в ООО «Солнечные луга» Луховицкого района Московской области и ООО «Верея» Клепиковского района Рязанской области в период массовой уборки картофеля (сентябрь - начало октября) 2019 - 2020 гг.

Выращиваемые сорта картофеля в ООО «Верея» (Рэд Скарлет, Лабелла,

Инноватор) и ООО «Солнечные луга» (Гала, Кроне) имеют достаточно широкое распространение на территории Рязанской области и в Целом по Российской Федерации [103, 110]. Хозяйственные исследования физико-механических свойств картофеля данных сортов проводились с целью их уточнения в конкретных агроклиматических условиях.

4.2.1. Изучение физико-механических свойств культуры картофеля и ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОЧВЫ

Агротехническую оценку и оценку повреждений картофеля, а также исследования механических свойств почвы, производили в полевых и лабораторных условиях (рисунок 4.1.) [102].

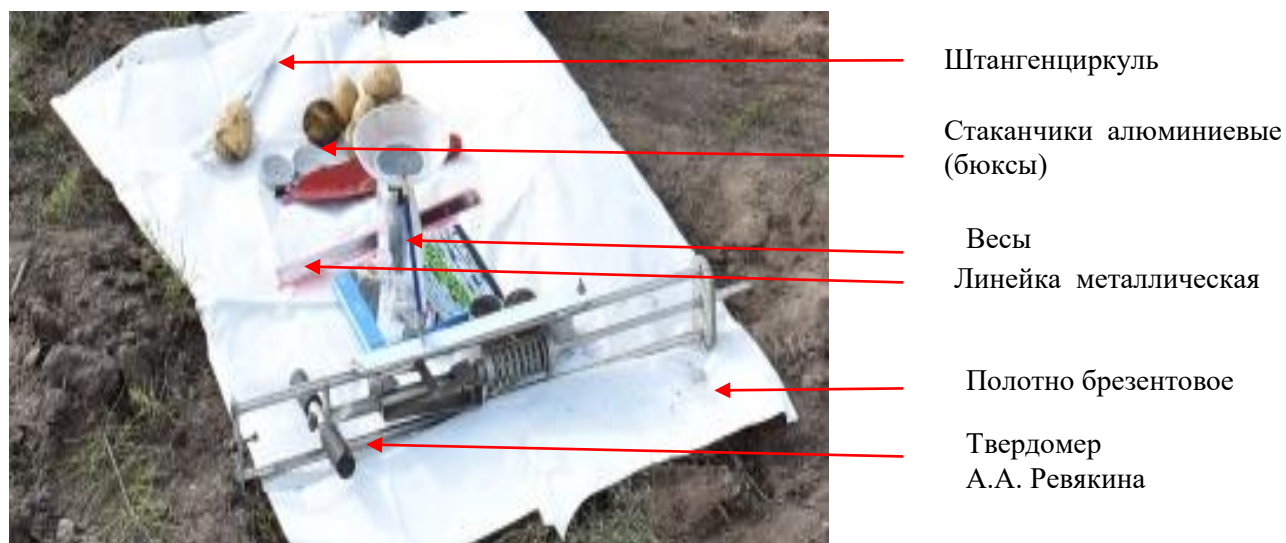


Рисунок 4.1 - Приборы для полевых исследований физико-механических свойств картофеля

Для определения заданных показателей использовались различные средства измерений и оборудование:

- Стаканчики алюминиевые (бюксы).
- Весы с погрешностью измерений ± 10 мг.

- Линейка металлическая 50 см с погрешностью измерений ± 1 мм.
- Рулетка 10 м с погрешностью измерений ± 1 мм.
- Вешки 150 см.
- Мешочки хлорвиниловые для хранения проб.
- Полотно брезентовое.
- Секундомер с погрешностью измерений ± 1 с.
- Твердомер почвенный Ревякина с погрешностью измерений $\pm 5\%$.
- Штангенциркуль.

В целях проведения агротехнической оценки физико-механических свойств выращиваемого картофеля предварительно определяется 5 учетных делянок шириной захвата картофелеуборочного комбайна (2 грядки) – 1,5м. Длина опытной делянки берется в пределах 20м.

По каждой характеристике картофеля осуществлялось от 50 до 100 измерений для получения надежного результата.

Для измерения высоты гребня определяли расстояние по вертикали от дна борозды до измерительной рейки, которая располагалась на двух гребнях соседних рядков. Число измерений - не менее 10 на одном из рядов каждой делянки.

Наличие колец на цилиндрической части опорного катка допускает возможность возникновения дополнительных повреждений за их счет. Для анализа данной вероятности рассмотрим в фактическом ракурсе строение и размерные параметры картофельного гнезда. Сформируем продольный разрез картофельного гнезда с целью определения следующих характеристик: ширина гнезда, глубина залегания верхнего клубня, глубина залегания нижнего клубня. Для выявления параметров гнезда осторожно подкапывали куст. Затем измеряли линейкой расстояние между наружными точками крайних клубней чтобы узнать ширину гнезда. Глубину залегания нижнего (верхнего) клубня определяли измерением расстояния от нижнего обреза рейки, положенной на гребень, до верхней точки нижнего (верхнего) клубня (рисунок 4.2)[80]. Опыт проводили на 7

участках, подкапывая по 5 кустов картофеля на каждом.



Рисунок 4.2. – Картофельное гнездо в разрезе

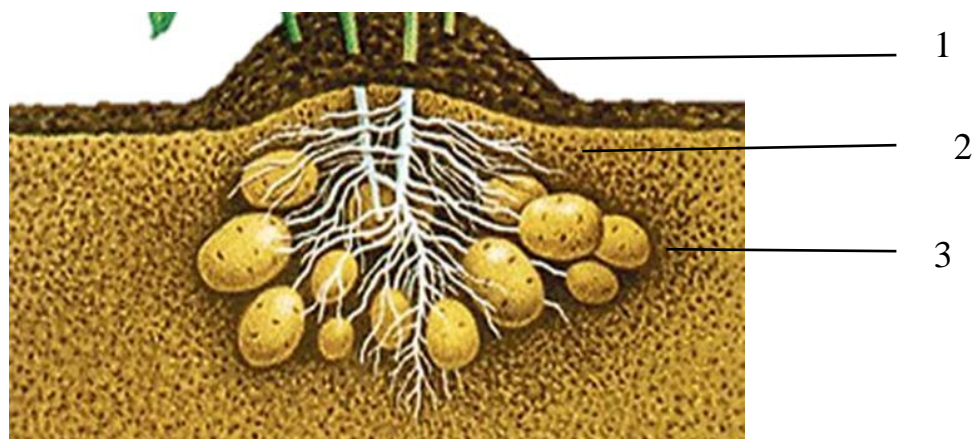
Мониторинговые данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Размерные характеристики картофельного гнезда

№ участка	Характеристика гнезда: сорт картофеля «Гала», см		
	ширина гнезда	глубина залегания верхнего клубня	глубина залегания нижнего клубня
1	18,1	2,1	18,3
2	17,8	1,9	18,0
3	17,8	2,0	17,8
4	17,9	1,7	18,0
5	18,2	1,7	17,9
6	17,8	2,0	17,9
7	17,9	1,8	18,1

Схема взаимодействия катка опорного с кольцами с картофельным гнездом представлена на рисунке 4.3.

С целью оценки вероятности дополнительных повреждений картофеля за счет усовершенствования опорно-копирующего катка 3 кольцами на цилиндрической части барабана необходимо определить объем картофельного гнезда. Для упрощения дальнейших расчетов форма картофельного гнезда может быть аппроксимирована в форму шара.



1 – грядка; 2 – картофельное гнездо; 3 – картофель

Рисунок 4.3 – Схема контакта модернизированного катка с картофельным гнездом

Объем картофельного гнезда:

$$V_{\text{гнезда}} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} * 3,14 * 90^3 = 3052080 \text{ мм}^3$$

Объем вдавленной почвы кольцами в картофельное гнездо

$$V_{\text{колец}} = (30 * 8 * 180) * 3 = 129600 \text{ мм}^3$$

Удельный вес объема вдавленной почвы кольцами в объеме картофельного гнезда

$$U_{\text{дв}} \text{ объема} = 129600 / 3052080 * 100 = 4,25 \%$$

Кольца, находящиеся на цилиндрической части катка, из всех видов повреждений картофеля могут оказать влияние только на трещины. Все остальные повреждения возникают в результате подкопа и перемещения картофельного вороха по элементам картофелеуборочного комбайна и в результате его перегрузки и транспортировки. Поэтому, исходя из условия, что удельный вес объема вдавленной почвы в объеме картофельного гнезда всего 4,25 %, то усовершенствованный каток в условиях прогноза максимального взаимодействия колец на катке и картофеля может увеличить потемнения на 0,03%, что является совсем незначительной величиной.

С каждой учетной делянки выкопали клубни картофеля (не менее 100 шт.). После их тщательного перемешивания делался отбор средней пробы. После этого

определялись размерно-массовые характеристики клубней картофеля: длина, ширина, толщина и масса (рисунок 4.4) [47].

Влажность почвы определялась ежедневно во время эксперимента, пробы на влажность брались на глубине 0-25 см с интервалом каждые 2 см в трехкратной повторности в местах, расположенных по диагонали участка. Влажность пробы определялась весовым методом. При определении влажности путем высушивания устанавливают потери массы после данной процедуры. Все показатели определяли согласно ГОСТ 28268-89 [36].



Рисунок 4.4 - Полевые исследования физико-механических свойств культуры картофеля

Отобранная проба почвы массой 50-80г помещалась в металлические стаканчики и закрывалась плотно крышкой. На крышке бюкса имеется номер. Номер заполненного стаканчика с почвой записывался в таблицу и отправлялся в лабораторию для взвешивания и определения влажности.

Твердость почвы при механизированной обработке является важным показателем для обоснования основных параметров рабочего органа почвообрабатывающих машин. Для определения твердости почвы использовался твердомер А.А. Ревякина. Замеры производились на глубине 18...22 см в местах забора почвы (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 - Полевые исследования физико-механических свойств почвы

Твердость почвы (P) в килограммах на квадратный сантиметр определяется по формуле:

$$P = \frac{h_{cp} * q}{10S}, \quad (4.1)$$

где h_{cp} – величина средней ординаты диаграммы твердости, см;

q – масштаб пружины, кг/см;

$10S$ – площадь поперечного сечения плунжера, см².

4.2.2. Агротехническая оценка работы картофелеуборочного комбайна, оснащенного усовершенствованным катком с кольцами

Следующим этапом проводим исследования функционирования картофелеуборочного комбайна, оснащенного усовершенствованным катком с кольцами (рисунок 4.6). Качество работы картофелеуборочных комбайнов оценивают по четырём показателям: потерям и повреждениям клубней, наличию резаных клубней и чистоте собираемых комбайном клубней. В потери включают только клубни, оставленные на поверхности почвы и не полностью засыпанные просеянной землёй. Агрегатирование данной машины осуществляется с помощью трактора МТЗ Беларусь-82.1.



Рисунок 4.6 - Общий вид серийного полунавесного картофелеуборочного комбайна ККР-2

Испытания полунавесного картофелеуборочного комбайна ККР-2 и GRIMME SE 150-60 проводились с целью проверки эффективности работы усовершенствованного опорного катка с кольцами по сравнению с серийной комплектацией (рис. 4.7., 4.8.).



Рисунок 4.7 - Общий вид серийного и усовершенствованного катка с кольцами комбайна ККР – 2

Агротехническая оценка работы картофелеуборочного комбайна включала:

- выбор режимов работы картофелеуборочного комбайна;
- определение показателей качества работы и их анализ.



Рисунок 4.8. - Общий вид серийного и усовершенствованного картофелеуборочного комбайна GRIMME SE 150-60

При агротехнической оценке по качеству работы комбайна определялись следующие показатели с различными опорными катками: скорость движения, км/ч; полнота уборки, %; потери картофеля, %; количество и характер повреждений.

Испытания проводились на полях с нескошенной ботвой. Участок для испытаний картофелеуборочной машины разбивали на учетные делянки, границы которых отмечали специальными вешками. Размер учетной делянки выбирался из расчета того, чтобы длина была не менее 10 метров, ширина равнялась ширине захвата испытываемых машин, то есть 1,50 м при ширине междурядий 75 см.

Пробы на качество работы картофелеуборочного комбайна отбирали со второго смежного прохода без предварительной очистки рабочих органов. Первую делянку намечали на расстоянии 50 м от начала гона.

Отбор проб от комбайна производился с учетных делянок при безостановочном движении агрегата на установившемся режиме [45].

После прохода картофелеуборочного комбайна на учетных делянках учитывались:

- клубни, убранные в тару;
- свободные клубни на поверхности почвы;
- клубни на поверхности, но не оторванные от ботвы;

- клубни, оставленные в почве (неподкопанные и присыпанные).

Потери клубней определяли в процентах от общего урожая картофеля на учетной делянке.

Оценка состава картофельного вороха и повреждения клубней является следующим шагом эксперимента. Полученный картофельный ворох сортируется на следующие составные части: чистые клубни, почвенные камни, клубни с остатками ботвы, ботва, прочие примеси. Каждую часть взвешивали с точностью до 4 г.

Далее для оценки клубней на повреждения от каждой повторности чистых клубней отбирали клубни массой более 50 г. Сортировка клубней картофеля осуществлялась по двум признакам: поврежденный и неповрежденный картофель.. Клубни сортировались на две группы: неповреждённые клубни и повреждённые. На повреждённых клубнях в день испытания учитывались следующие виды повреждений:

содрана кожура от 1/4 до 1/2 поверхности; содрана кожура более 1/2 поверхности; вырывы мякоти глубиной более 5 мм; трещины длиной более 20 мм; разрезы и надрезы; раздавленные клубни.

Масса средней пробы была в пределах 15 кг. Виды повреждений учитывались по количеству случаев (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 - Повреждения картофеля при уборке картофелеуборочным комбайном ККР-2 с усовершенствованным катком

В результате хозяйственных испытаний определяли следующие характеристики картофеля, почвы и работы картофелеуборочного комбайна: урожайность, ц/га; влажность почвы, %; твёрдость почвы по ширине и глубине между серединами смежных грядок, кг/см²; температура окружающего воздуха и почвы, °С; полнота уборки клубней и потери, видимые повреждения клубней, %; скорость движения агрегата, км/ч; глубина хода подкапывающих рабочих органов, м.

4.3. Результаты испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна

В процессе хозяйственного эксперимента конкретизированы массовые и количественные параметры картофельных кустов, а так же размерные границы клубней картофеля сортов Рэд Скарлет, Лабелла, Инноватор. Полученные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристика культуры картофеля

Наименование показателей	Значение показателей				
	ООО «Верёя»			ООО «Солнечные луга»	
1	2	3	4	5	6
Сорт картофеля	Рэд Скарлет	Лабелла	Инноватор	Гала	Кроне
Дата снятия характеристики (средневзвешенная величина)	сентябрь – октябрь 2019-2020	сентябрь – октябрь 2019-2020	сентябрь – октябрь 2019-2020	сентябрь – октябрь 2019-2020	сентябрь – октябрь 2019-2020
Фактический урожай клубней, т/га	18,5	20,2	22,4	19,9	21,1
Количество кустов, тыс. шт/га	36,9	36,8	36,9	36,8	36,7
Среднее количество клубней на кусте, шт.	8,7	8,9	7,3	7,4	7,9
Средняя масса клубня, г	73,4	75,8	77,1	87,3	77,8
Средняя масса клубней на кусте, г	594,1	674,6	562,8	646,0	614,6
Средние размеры клубней:					
длинна, мм	66,3	63,6	68,5	63,6	70,1
ширина, мм	50,2	54,2	48,9	48,9	54,4
толщина, мм	41,6	40,4	42,3	42,3	52,6

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
Высота гребней, см	19,5	19,5	19,5	19,8	19,7
Характеристика гнезда:					
ширина гнезда, см	18,1	17,1	18,1	17,7	18,2
глубина залегания нижнего клубня, см	17,3	18,3	17,3	17,8	17,9

Проведенные испытания позволили конкретизировать характеристики агрофизических свойств почвы под картофелем. Полученные данные представлены в таблице 4.2. [8].

Таблица 4.2 - Характеристика агрофизических свойств почвы

Наименование показателей	Значение показателей	
	ООО «Солнечные луга»	ООО «Верея»
Дата снятия характеристики (средневзвешенная величина)	сентябрь – октябрь 2019-2020	сентябрь – октябрь 2019-2020
Тип почвы	Дерново-подзолистая	Дерново-подзолистая
Наименование почвы по механическому составу	средний суглинок	средний суглинок
Влажность почвы, %	16,2 – 21,3	15,6 – 20,0

Результаты сравнительных хозяйственных исследований серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2 и GRIMME SE 150-60 приведены в таблице 4.3 (Приложение Б).

Таблица 4.3 - Результаты исследований серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2, GRIMME SE 150-60

Наименование показателей	Картофелеуборочный комбайн			
	ККР-2		GRIMME SE 150-60	
	Серийный	Усовершенствованный	Серийный	Усовершенствованный
1	2	3	4	5
1. Сроки проведения испытаний	сентябрь – октябрь 2019 сентябрь – октябрь 2020		сентябрь – октябрь 2019 сентябрь – октябрь 2020	
2. Температура воздуха, °С	11 – 17°С		12 – 16°С	
3. Температура почвы на глубине залегания клубней, °С	9°С		9°С	
4. Рабочая скорость агрегата, км/ч	3,8	3,8	4,2	4,2

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5
5. Полнота уборки клубней, %:				
5.1. Собрано в тару	96,7	97,0	96,9	97,05
5.2. Потери	3,30	3,00	3,10	2,95
6. Состав вороха клубней:				
6.1.Клубни	94,6	96,1	95,8	97,0
6.2.Почвенные комки	4,3	2,7	3,3	2,1
6.3.Растительные остатки	1,3	1,2	0,9	0,9
7. Повреждения клубней, всего по массе, %:	3,71	3,49	3,62	3,45
7.1. Содрана кожа от 1/4 до 1/2 поверхности клубня	0,71	0,63	0,69	0,67
7.2. Содрана кожа более 1/2 поверхности клубня	-	-	-	-
7.3. Срезы мякоти глубиной более 5 мм	0,25	0,24	0,24	0,23
7.4. Трещины длиной более 20 мм	0,80	0,80	0,76	0,74
7.5. Раздавленные клубни	-	-	-	-
7.6. Резаные клубни	1,17	1,04	1,16	1,04
7.7. Потемнение мякоти от удара глубиной более 5 мм	0,78	0,78	0,77	0,77

Установлено снижение количества почвенных комков в 1, 60 раза при работе ККР-2М и в 1,57 раза при работе GRIMME SE 150-60М. Также процент потерь снизился на 0,3%; повреждения клубней уменьшились на 0,22% по ККР - 2М; по GRIMME SE 150-60 процент потерь снизился на 0,15%; повреждения клубней уменьшились на 0,17%.

4.4. Выводы по главе 4

1. Результаты полевых опытов картофелеуборочного комбайна ККР-2 и GRIMME SE 150-60 подтвердили результаты проведенных ранее теоретических и лабораторных исследований, в том числе более высокую эффективность разработанного опорного катка с кольцами по сравнению с серийным аналогом.

2. Установка усовершенствованных опорно-копирующих катков позволяет в сравнении с серийными катками увеличить крошение пласта.

3. На основании проведенных хозяйственных испытаний серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2М и GRIMME SE 150-60М можно сделать вывод, что имеются преимущества использования разработанного катка с кольцами в конструкции уборочных машин. Установлено снижение количества почвенных комков в 1,60 раза при работе ККР-2М и в 1,57 раза при работе GRIMME SE 150-60М. Также процент потерь снизился на 0,3%; повреждения клубней уменьшились на 0,22% по ККР -2М; по GRIMME SE 150-60 процент потерь снизился на 0,15%; повреждения клубней уменьшились на 0,17%.

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

5.1. Обоснование выбора использования картофелеуборочных машин методом экспертных оценок

Современные условия хозяйствования и экономические предпосылки привели к перераспределению площадей возделывания картофеля, наблюдается тенденция к их уменьшению крупными сельскохозяйственными товаропроизводителями и увеличению в личных подсобных хозяйствах. При этом потребление картофеля населением остается на высоком уровне, являясь практически ежедневным продуктом питания. Сложившаяся ситуация создает определенные проблемы как крупным, так и мелким картофелепроизводителям. У крупных – парк картофелеуборочной техники, как правило, устаревшей и требующей обновления. У мелких – отсутствие необходимых агрегатов для уборки картофеля в увеличившихся объемах. В связи с этим у производителей картофеля возникает необходимость приобретения картофелеуборочных машин и агрегатов [4].

На современном рынке картофелеуборочной техники конкурируют производители разных стран: немецкие производители картофелеуборочных комбайнов «Grimme»; польские производители картофелеуборочных комбайнов «Анна», Volko; американские производители картофелеуборочных комбайнов «John Deere»; бельгийские производители картофелеуборочных комбайнов AVR; российские производители картофелеуборочных комбайнов ККР, КПК, AVR (Колнаг); белорусские производители картофелеуборочных комбайнов «ПАЛЕССЕ» и др. [7].

Картофелеуборочный комбайн – многофункциональный технический комплекс, предназначенный для механизированной уборки картофеля,

возделываемого по интенсивной технологии, отделения клубней от ботвы картофеля, растительных и других примесей, с накоплением клубней картофеля в бункере и выгрузкой их в транспортное средство. Наряду с картофелеуборочными комбайнами при уборке урожая до сих пор применяются картофелекопатели. Картофелекопатель – это техническое приспособление, которое механизмирует труд по обработке картофельных полей для выкапывания урожая и очищения его от налипшей земли [100].

На российском рынке картофелеуборочной техники наибольший спрос имеют следующие марки: картофелекопатель КТН-2В, прицепной комбайн ККР – 2, прицепной комбайн Grimme SE 150-60, прицепной комбайн AVR 220BK Variant, которые будут участвовать в выборе картофелеуборочной машины посредством математического аппарата.

В условиях эксплуатации усовершенствование отдельных рабочих органов картофелеуборочных машин несет важное значение для улучшения агротехнических показателей их работы. Наибольший интерес вызывают подкапывающие рабочие органы: каток копирующий, диски, лемех, так как от качества их работы напрямую зависит производительность машины в целом [6, 23, 30, 32, 49]. Немаловажное значение отводится катку, который обеспечивает заданную глубину подкапывания грядки и эффективно разрушает поверхностные комки почвы, так как именно он первым вступает в уборочный процесс. Имеющие конструкции катков не учитывают особенности их использования в изменяющихся агроландшафтных условиях, имеют высокий уровень унификации. К недостаткам конструкции катков можно отнести:

- существующие способы очистки от налипания почвы, особенно на переувлажненных почвах;
- значительная металлоемкость;
- использование только механического воздействия статической нагрузкой;
- недостаточное количество исследований по обоснованию формы рабочей поверхности катков [77].

В связи с этим расширим перечень исследуемых машин модернизированным прицепным комбайном ККР – 2М с усовершенствованным катком, у которого на цилиндрической части в виде барабана закреплены кольца, выполненные из полуколец. Каждый каток, снабжен чистиками и закреплен на боковинах с подшипниковыми опорами, причём каждый каток крепится к раме с помощью кронштейнов, а между кронштейном и шарнирной рамкой установлен винтовой механизм, снабженный рукояткой. В сложившейся ситуации перед предприятиями стоит проблема выбора картофелеуборочной техники: дешево, но низко производительно или дорого, но высокотехнологично.

Приоритетными критериями выбора техники для предприятий являются:

- технологичность, как комплексная характеристика картофелеуборочной техники, которая определяет совокупность оптимальных технических и качественных характеристик;
- производительность, как показатель объема выполненной работы (убираемая площадь картофеля) в единицу времени с учетом конструктивных особенностей, технической характеристики и производственной квалификации рабочих;
- стоимость – дешевизна, как минимально возможная стоимость при заданных характеристиках техники [42].

Соотношение выбранных критериев определяет ключевые характеристики процесса уборки картофеля: дорого, медленно, потери (рисунок 5.1).

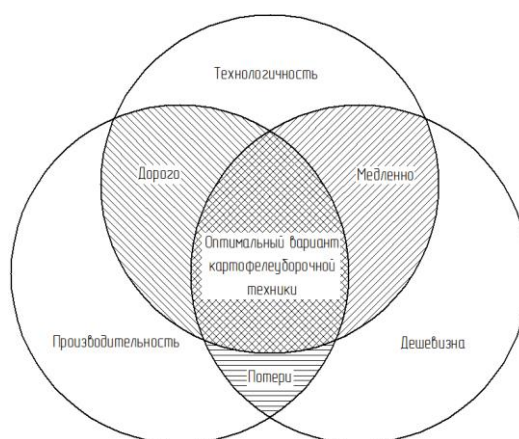


Рисунок 5.1 – Соотношение критериев выбора картофелеуборочной техники

Каждый критерий раскрывается посредством ряда технических характеристик картофелеуборочных машин:

технологичность определяется следующими показателями:

- количество убираемых рядков, шт.;
- ширина захвата, м;
- глубина подкапывания, см;
- количество обслуживающего персонала, чел.;
- вместимость бункера, т;
- потери клубней, %;
- повреждение клубней, % и др.
- производительность определяется следующими показателями:
- производительность за час чистой работы, га/час;
- рабочая скорость движения агрегата, км/час и др.
- стоимость определяется следующими показателями:
- стоимость агрегата, руб.;
- затраты на 1 га, руб./га и др [81].

Данные технические характеристики являются наиболее существенными при выборе картофелеуборочной машины. Однако, количество убираемых рядков и глубина подкапывания у рассматриваемых объектов совпадают и составляют 2 шт. и 22 см соответственно. В связи с чем из дальнейшего сопоставления выбывают. Для сравнения характеристик параметров картофелеуборочных машин взяты их усредненные значения (таблица 5.1).

Для обоснования выбора использования машин при уборке картофеля воспользуемся методом экспертных оценок, который предполагает определенную последовательность совокупности методов: диагностика проблемы; формирование критериев оценки; решение проблемы методом Черчмена-Акофа; решение проблемы методом «таблицы оценок»; решение проблемы методом «полигон альтернатив» [107].

Таблица 5.1 – Сравнительная характеристика технических параметров картофелеуборочных машин

Техническая характеристика комбайна	Типы картофелеуборочных машин				
	Картофелекопатель КТН-2В [19]	Прицепной комбайн ККР-2	Прицепной комбайн <i>Grimme SE 150-60</i>	Прицепной комбайн <i>AVR 220BK Variant</i>	Прицепной комбайн ККР-2М
Производительность за час чистой работы, га/час	0,35	0,54	0,60	0,52	0,54
Рабочая скорость движения агрегата, км/ч	2,3	4,7	4,9	4,7	4,7
Количество убираемых рядков, шт.	2	2	2	2	2
Ширина захвата, м	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
Глубина подкапывания, см	22	22	22	22	22
Количество обслуживающего персонала, чел. :					
тракторист-машинист,	1	1	1	1	1
ручной труд	4	2	2	2	2
Вместимость бункера, т	-	2	6	5,5	2
Стоимость агрегата (новый), млн. руб.	0,31	2,71	13,40	6,58	2,78
Затраты на 1 га тыс. руб.	58,76	65,50	84,35	72,63	65,51
Потери клубней, %	5,7	3,3	3,1	3,4	3,0
Повреждение клубней, %	2,83	3,71	3,62	4,0	3,49

Для проведения выбора необходимо осуществить ранжирование критериев по предпочтительности, то есть влиянию на выбор [27]. Использование математического аппарата MS Excel позволяет оценить относительное положение ранга среди всех результатов тестирования. Процентная норма переопределяется в нормированное значение в долях единицы, таким образом, формируется весовой коэффициент для каждого критерия (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Ранжирование критериев по степени их важности

Критерии	Ранг	Процентная норма	Оценка (a_i)	Нормированное значение (весовой коэффициент)
Производительность за час чистой работы, га/час	5	0,444	0,556	0,11
Рабочая скорость движения агрегата, км/ч	8	0,777	0,223	0,04
Ширина захвата, м	7	0,666	0,334	0,07
Количество обслуживающего персонала, чел.	6	0,555	0,445	0,09
Вместимость бункера, т	9	0,888	0,112	0,02
Стоимость агрегата (новый), млн. руб.	1	0,000	1,000	0,20
Затраты на 1 га	2	0,111	0,889	0,18
Потери клубней, %	3	0,222	0,778	0,16
Повреждение клубней, %	4	0,333	0,667	0,13
Сумма	-	-	5,004	1,00

Метод Черчмена-Акофа позволяет оценить качество оценок путем сопоставления предпочтительности альтернативного вариант a_1 и сумму остальных альтернативных вариантов (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Сравнение оценок по методу Черчмена-Акофа

Выражение	Вывод о выполнении
1	2
$1 < 0,889 + 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223 + 0,112$	выполняется
$1 < 0,889 + 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223$	выполняется
$1 < 0,889 + 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334$	выполняется
$1 < 0,889 + 0,778 + 0,667 + 0,556$	выполняется
$1 < 0,889 + 0,778 + 0,667$	выполняется
$1 < 0,889 + 0,778$	выполняется
$0,889 < 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223 + 0,112$	выполняется
$0,889 < 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223$	выполняется
$0,889 < 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334$	выполняется
$0,889 < 0,778 + 0,667 + 0,556 + 0,445$	выполняется
$0,889 < 0,778 + 0,667 + 0,556$	выполняется
$0,889 < 0,778 + 0,667$	выполняется
$0,778 < 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223 + 0,112$	выполняется
$0,778 < 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223$	выполняется
$0,778 < 0,667 + 0,556 + 0,445 + 0,334$	выполняется
$0,778 < 0,667 + 0,556 + 0,445$	выполняется
$0,778 < 0,667 + 0,556$	выполняется

Продолжение таблицы 5.3

1	2
$0,667 < 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223 + 0,112$	выполняется
$0,667 < 0,556 + 0,445 + 0,334 + 0,223$	выполняется
$0,667 < 0,556 + 0,445 + 0,334$	выполняется
$0,667 < 0,556 + 0,445$	выполняется
$0,556 < 0,445 + 0,334 + 0,223 + 0,112$	выполняется
$0,556 < 0,445 + 0,334 + 0,223$	выполняется
$0,556 < 0,445 + 0,334$	выполняется
$0,445 < 0,334 + 0,223 + 0,112$	выполняется
$0,445 < 0,334 + 0,223$	выполняется
$0,334 < 0,223 + 0,112$	выполняется

Для сопоставления характеристик разных видов техники используем безразмерную шкалу кодированных единиц от 1 до 10. В качестве наилучших значений принимаем наибольшую величину кодированных единиц. За основу построения кодированной шкалы берутся табличные значения (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Шкала кодированных характеристик

Критерии	Кодированная шкала									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность за час чистой работы, га/час	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61
Рабочая скорость движения агрегата, км/ч	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0
Ширина захвата, м	1,4	1,412	1,424	1,436	1,448	1,460	1,472	1,484	1,496	1,508
Количество обслуживающего персонала, чел.	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
Вместимость бункера, т	0	0,67	1,34	2,01	2,68	3,35	4,02	4,69	5,36	6,03
Стоимость агрегата (новый), млн. руб.	13,78	12,28	10,78	9,28	7,78	6,28	4,78	3,28	1,78	0,28
Затраты на 1 га	94	90	86	82	78	74	70	66	62	58
Потери клубней, %	5,7	5,29	4,88	4,47	4,06	3,65	3,24	2,83	2,42	2,01
Повреждение клубней, %	5,4	5,03	4,66	4,29	3,92	3,55	3,18	2,81	2,44	2,07

Создание таблицы соответствия кодированных (размерных и безразмерных) характеристик позволяет неравноценные критерии привести к единой шкале, использование которой дает возможность оценить разные варианты (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Оценка вариантов по сумме кодированных единиц

Критерии	Весовой коэффициент	Типы картофелеуборочных машин									
		Картофелекопатель КТН-2В		Прицепной комбайн ККР – 2		Прицепной комбайн <i>Grimme SE 150-60</i>		Прицепной комбайн <i>AVR 220BK Variant</i>		Прицепной комбайн ККР – 2М	
Усл. обозначение	V_k	P	V_k^*P	P	V_k^*P	P	V_k^*P	P	V_k^*P	P	V_k^*P
Производительность за час чистой работы, га/час	0,11	1,33	0,15	7,67	0,84	9,67	1,06	7,00	0,77	7,67	0,84
Рабочая скорость движения агрегата, км/ч	0,04	1,33	0,05	9,00	0,36	9,67	0,39	9,00	0,36	9,00	0,36
Ширина захвата, м	0,07	1	0,07	9,33	0,65	9,33	0,65	9,33	0,65	9,33	0,65
Количество обслуживающего персонала (ручной труд), чел. :	0,09	2	0,18	6	0,54	6	0,54	6	0,54	6	0,54
Вместимость бункера, т	0,02	1,00	0,02	3,99	0,08	9,95	0,20	9,21	0,18	3,99	0,08
Стоимость агрегата (новый), млн. руб.	0,20	9,67	1,93	8,38	1,68	1,25	0,25	5,8	1,16	8,38	1,68
Затраты на 1 га, руб./га	0,18	9,81	1,77	8,13	1,46	3,41	0,61	6,34	1,14	8,12	1,46
Потери клубней, %	0,16	1,67	0,27	6,67	1,07	7,00	1,12	9,33	1,49	7,33	1,17
Повреждение клубней, %	0,13	7,68	1,00	1,25	0,16	9,5	1,24	4,75	0,62	1,75	0,23
Сумма			5,43		6,85		6,06		6,92		7,01

Наибольшее значение V_k^*P соответствует пятому варианту, то есть при выборе альтернативы методом оценки кодированных единиц оптимальным типом картофелеуборочных машин является прицепной комбайн ККР-2М. Для наглядности решения целесообразно использование возможностей MS Excel в построении лепестковой диаграммы, осями которой являются кодированные значения критериев сравнения (рисунок 5.2). Так как в качестве наилучших значений была выбрана наибольшая величина кодированных единиц, то

наилучшим вариантом решения является многоугольник, имеющий максимальную площадь.

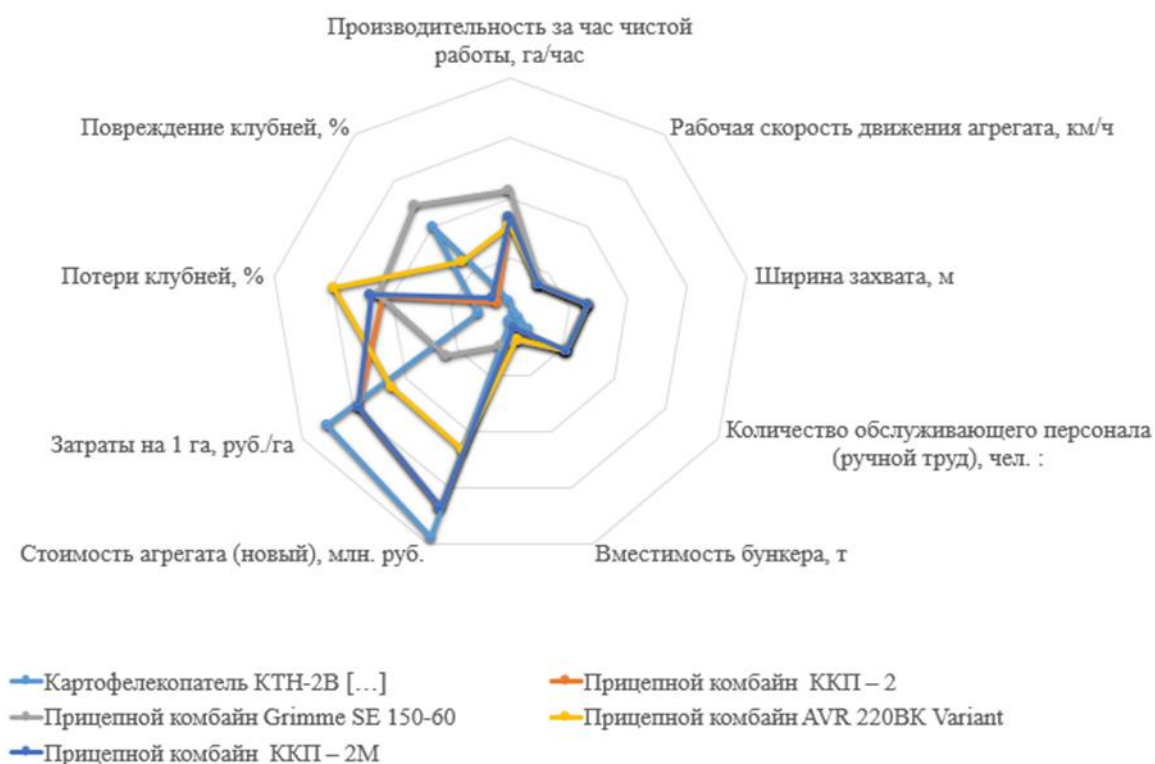


Рисунок 5.2 – Лепестковая диаграмма выбора типа картофелеуборочной техники

Лепестковая диаграмма наглядно отражает характеристики 5 сравниваемых вариантов картофелеуборочной техники, при этом максимальная площадь многоугольника соответствует пятому варианту. Для подтверждения графического решения, целесообразно осуществить расчет площади многоугольников по формуле: $S_{\text{общ}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9$, где $S_n = 1/2 * A * B * \sin 40^\circ$ ($40^\circ = 360/9$ – угол между осями).

Невозможность математической формализации процесса обоснования выбора использования картофелеуборочных машин потребовало прибегнуть к помощи метода экспертных оценок, который позволяет осуществить выбор среди множества альтернатив, каждая из которых обладает различными преимуществами. Оценка проблемы выбора картофелеуборочной техники происходила на основе мнения специалистов (экспертов) с целью последующего

принятия решения. Использование математического аппарата позволило провести сравнение по критериям, несопоставимым в физических единицах, за счет их приведения к безразмерной шкале.

В результате исследования наиболее распространённых прицепных картофелеуборочных комбайнов по критериям: часовой производительности, рабочей скорости стоимости агрегата, потерь и повреждений клубней и др., оптимальными соотношениями обладает прицепной комбайн ККР-2М. Хорошие технические характеристики прицепного комбайна Grimme SE 150-60 перекрываются его высокой ценой, что не дает возможности выйти на лидирующие позиции в сравнении с отечественными комбайнами.

5.2. Оценка экономической эффективности и результаты внедрения картофелеуборочного комбайна с усовершенствованным катком

Технико-экономические исследования и оценку экономической эффективности внедрения картофелеуборочного комбайна с усовершенствованным опорным катком проводили путем сравнения серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2.

Для проведения технико-экономических оценки модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2 с усовершенствованным копирующе-опорным катком были использованы нормативно-справочные материалы для экономической оценки сельскохозяйственной техники, нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве, технические характеристики комбайна из руководства по эксплуатации, показатели результатов хозяйственных испытаний 2019...2020 гг. [68, 69].

Оценка экономической эффективности внедрения картофелеуборочного комбайна осуществлялась по методике ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки», расширенной

элементами методики, предложенной А.В. Шпилько [37, 66].

Исходные данные и отдельные положения технико-экономических расчетов представлены в приложениях В и Г.

Внедрение модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2 с усовершенствованным комкоразрушающим рабочим органом направлено на изменение 3 основных характеристик: объема произведенных затрат, потери и повреждение клубней картофеля. Годовой экономический эффект от использования модернизированного картофелеуборочного комбайна определяется совокупным влиянием данных факторов [48].

«Экономический эффект от снижения приведенных затрат при использовании усовершенствованных картофелеуборочных агрегатов по сравнению с серийными аналогами определяется по формуле:

$$Z_{YE1...N} = Z_{Y1} - Z_{Y2}, \quad (5.1)$$

где $Z_{YE1...N}$ – экономический эффект от снижения приведенных затрат при использовании усовершенствованных картофелеуборочных агрегатов по сравнению с серийными аналогами, руб.;

Z_{Y1}, Z_{Y2} - приведенные затраты при использовании, соответственно, серийных и усовершенствованных уборочных агрегатов, руб.» [19].

«Экономический эффект от снижения приведенных затрат при использовании усовершенствованных картофелеуборочных агрегатов по сравнению с серийными аналогами в расчете на 1 га рассчитывают по формуле:

$$Z_{YEGA1...N} = \frac{Z_{YE1...N}}{S_P}, \quad (5.2)$$

где $Z_{YEGA1...N}$ – экономический эффект от снижения приведенных затрат при использовании усовершенствованных картофелеуборочных агрегатов по сравнению с серийными аналогами в расчете на 1 га, руб./га;

S_P - площадь убранного поля с картофелем, га» [19].

Для осуществления последующих расчетов по определению экономической эффективности работы картофелеуборочного комбайна с усовершенствованным

опорным катком показатель S_p берем равным 24 га.

На рисунке 5.3 представлена группировка приведенных затрат.



Рисунок 5.3 – Состав приведенных затрат

Математическая формула приведенных затрат имеет вид:

$$Z_{Y1,2} = (Z_{AY1..N} + Z_{TOPX1Y..N} + Z_{ГСМ Y1..N} + Z_{OY1..N} + H_{PY1..N}) \cdot V_{OP1..N} + S_{MY1..N}, \quad (5.3)$$

где $Z_{AY1..N}$ – сумма начисленной амортизации, руб./га;

$Z_{TOPX1Y..N}$ – совокупные расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт, руб./га;

$Z_{ГСМ Y1..N}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб./га;

$Z_{OY1..N}$ – затраты на оплату труда механизаторам и вспомогательным работникам, руб./га;

$H_{PY1..N}$ – нормативная прибыль от капитальных вложения, руб./га;

$V_{OP1..N}$ – объем работы по операции, га.

В соответствии с проведенными хозяйственными испытаниями показатель $V_{OP1..N}$ берем равным 24 га.

$S_{MY1..N}$ – совокупные расходы на основные и вспомогательные материалы, руб.

При осуществлении расчетов нами делается допущение, что на стадии уборки картофеля не происходит использование основных и вспомогательных материалов. В этой связи показатель $S_{MY1..N}$ берем равным 0.

Для подсчета размера эксплуатационных затрат необходимо осуществить калькуляцию по основным статьям затрат в разрезе серийного и модернизированного сельскохозяйственных агрегатов (формулы 5.4 – 5.9).

Эффективность эксплуатации картофелеуборочной техники зависит от исправности и ритмичности ее работы, для чего необходимо осуществлять своевременное и надлежащее техническое обслуживание и текущий ремонт, затраты на который вычисляются следующим образом:

$$Z_{TOPXY1..N} = \frac{H_{TOPXY1..N} \cdot B_{Tr}}{100 \cdot T_{1..N} \cdot W_{1..N}} + \frac{H_{TOPXY1..N} \cdot B_{CX1..N}}{100 \cdot T_{1..N} \cdot W_{1..N}}, \quad (5.4)$$

где $H_{TOPXY1..N}$ - норма отчислений на техническое обслуживание и текущий ремонт по соответствующей технике, %.

Основываясь на справочных данных и сложившихся условий хозяйствования предприятий $H_{TOPXY1..N}$: для трактора МТЗ Беларус-1221 – 22,0%; для уборочных машин ККР-2, ККР-2М – 15 %.

$$Z_{TOPXC} = \frac{22 \cdot 2403500}{100 \cdot 1200 \cdot 0,46} + \frac{15 \cdot 3122121}{100 \cdot 200 \cdot 0,46} = 6048,33$$

$$Z_{TOPXM} = \frac{22 \cdot 2403500}{100 \cdot 1200 \cdot 0,46} + \frac{15 \cdot 3206136}{100 \cdot 200 \cdot 0,46} = 6185,31$$

Оплата труда является важной составной частью себестоимости картофеля. В условиях механизированной уборки картофеля принимают участие, как минимум, 3 человека: механизатор и 2 вспомогательных работника. Картофелеуборочный комбайн с усовершенствованным опорно-копирующим комкоразрушающим катком способствует уменьшению количества крупных

земляных комков, попадающих на переборочный стол. В этой связи количество вспомогательного персонала на данном участке технологического процесса сокращается до 1 человека. Расчет затрат на оплату труда (в т.ч. отчисления на социальные нужды) осуществляется по формуле:

$$Z_{OY1..N} = Z_{M1..N} + Z_{BP1..N}, \quad (5.5)$$

где $Z_{M1..N}$ - расходы на оплату труда механизаторов, руб./га, (выражение 5, приложение Г);

$Z_{BP1..N}$ - расходы на оплату труда вспомогательных рабочих, руб./га, (выражение 6, приложение Г).

$$Z_{OC} = 297,65 + 476,43 = 774,08$$

$$Z_{OM} = 297,65 + 238,22 = 535,87$$

Стоимость картофелеуборочной техники переносится на производимый продукт в виде амортизации. Затраты на амортизацию и капитальный ремонт рассчитываются по формуле:

$$Z_{AY1..N} = \frac{H_{A1..N} \cdot B_{tr}}{100 \cdot T_{1..N} \cdot W_{1..N}} + \frac{H_{A1..N} \cdot B_{cx1..N}}{100 \cdot T_{1..N} \cdot W_{1..N}}, \quad (5.6)$$

где $H_{A1..N}$ – норма амортизационных отчислений по соответствующей технике, %.

Годовая норма амортизации определяется на основании срока полезной службы техники с учетом амортизационных групп. На основании вышеизложенного и фактических исходных данных $H_{A1..N}$: для МТЗ Беларусь-1221 – 20 %; для ККР-2, ККР-2М – 32,43.

B_{tr} $B_{cx1..N}$ – балансовая стоимость по соответствующей технике, руб. (выражения 1 и 2, приложение Г);

100 – множитель, учитывающий перевод процентов в дополнительный коэффициент;

$T_{1..N}$ – годовая загрузка по соответствующей технике, ч.

Уборка картофеля осуществляется энергетическим средством и сельскохозяйственной машиной. В этой связи берем $T_{1..N}$: для МТЗ Беларусь-1221 –

1200 ч; для ККР-2, ККР-2М – 200 ч.

$W_{1..N}$ – производительность агрегата, га/ч (выражение 3, приложение Г).

$$Z_{AC} = \frac{20 \cdot 2403500}{100 \cdot 1200 \cdot 0,46} + \frac{32,43 \cdot 3122121}{100 \cdot 200 \cdot 0,46} = 11876,31$$

$$Z_{AM} = \frac{20 \cdot 2403500}{100 \cdot 1200 \cdot 0,46} + \frac{32,43 \cdot 3206136}{100 \cdot 200 \cdot 0,46} = 12172,46$$

В статье горюче-смазочные материалы объединяются расходы на топливо для энергетического средства, а также смазочные материалы и специальные жидкости, размер которых находится по формуле:

$$Z_{ГСМ} = \frac{N_{ГСМ} \times Ц_{ГСМ}}{W} \quad (5.7)$$

Где $N_{ГСМ}$ – норма расхода топливно-смазочных материалов, кг/ч;

$Ц_{ГСМ}$ – комплексная цена 1 кг топливно-смазочных материалов, руб.;

W – производительность агрегата, га/ч.

$$Z_{ГСМС} = \frac{10,85 \times 38,8}{0,46} = 915,17$$

$$Z_{ГСММ} = \frac{10,85 \times 38,8}{0,46} = 915,17$$

Любое капиталовложений направлено на получение прибыли. Нормативная прибыль от капиталовложений позволяет оценить эффективность использования усовершенствованного агрегата и определяется по формуле:

$$H_{PY1..N} = E_H \times K_{Y1..N}, \quad (5.8)$$

где E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

В данном проекте нормативный коэффициент эффективности капиталовложений заложен на уровне 15 % ($E_H=0,15$).

$K_{Y1..N}$ – удельные капиталовложений, руб/га, (выражение 7, приложение Г).

$$H_{PC} = 0,15 \times 38290,27 = 5743,54$$

$$H_{PM} = 0,15 \times 39203,47 = 5880,52$$

Удельные эксплуатационные затраты определяются из выражения:

$$Z_{EKCL..N} = Z_{A1..N} + Z_{TOPX1..N} + Z_{TCM1..N} + Z_{M1..N} + Z_{BP1..N}, \quad (5.9)$$

где $Z_{EKCL..N}$ - удельные эксплуатационные затраты, руб./га;

$Z_{A1..N}$ – амортизационные отчисления, руб./га;

$Z_{TOPX1..N}$ - затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт, руб./га;

$Z_{TCM1..N}$ - затраты на горюче-смазочные материалы, руб./га.

$$Z_{EKCC} = 11876,31 + 6048,33 + 915,17 + 297,65 + 476,43 = 19613,89$$

$$Z_{EKCM} = 12172,46 + 6185,31 + 915,17 + 297,65 + 238,22 = 19808,81$$

Оценка экономической эффективности применения усовершенствованного комбайна ККР-2М осуществлялась в сопоставимых ценах, за которые были приняты цены 2020 г. (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Структура эксплуатационных затрат на уборку картофеля

№ п/п	Статьи расходов	Условное обозначения	ККР-2			
			серийный		модернизированный	
			руб./га	% к итогу	руб./га	% к итогу
1	Техническое обслуживание и ремонт	Z_{TOPX}	6048,33	30,84	6185,31	31,23
2	Оплата труда механизаторов	Z_M	297,65	1,52	297,65	1,50
3	Оплата труда вспомогательных рабочих	Z_{BP}	476,43	2,43	238,22	1,20
4	Амортизационные отчисления	Z_A	11876,31	60,55	12172,46	61,45
5	Горюче-смазочные материалы	Z_{TCM}	915,17	4,66	915,17	4,62
6	Итого эксплуатационных затрат	$Z_{ЭК}$	19613,89	100,00	19808,81	100,00
7	Удельные капиталовложения	K_Y	38290,27	х	39203,47	х
8	Нормативная прибыль от капиталовложений	H_P	5743,54	х	5880,52	х

Снижение эксплуатационных затрат оказывает благоприятное влияние на экономический эффект от использования модернизированного комкоразрушающего рабочего органа. Для расчета данного экономического эффекта, используя выражение (5.10).

$$Z_{YE} = (Z_C - Z_M) \times V_{OP}, \quad (5.10)$$

где Z_C, Z_M – приведенные затраты на единицу работы, производимой с

помощью серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна, руб./га;

V_{OP} – годовой объем, выполненный модернизированным картофелеуборочным комбайном ($V_{OP} = 24$ га).

Для расчета экономического эффекта необходимо предварительно определить величину приведенных затрат, которая отражает сумму полных текущих производственных (эксплуатационных) затрат и часть капитальных вложений в виде нормативной прибыли от них (5.11):

$$Z = Z_{\text{экс}} + E_Y \times K_Y \quad (5.11)$$

$$Z_C = 19613,89 + 0,15 \times 38290,27 = 25357,43$$

$$Z_M = 19808,81 + 0,15 \times 39203,47 = 25689,33$$

Тогда, $Z_{YE} = (25357,43 - 25689,33) \times 24 = -7965,61$

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что внедрение модернизированного комкоразрушающего рабочего органа приводит к росту эксплуатационных затрат на 7965,61 рублей или в перерасчете на 1 га – 331,90 рублей.

На суммарный экономический эффект от внедрения усовершенствованной техники кроме приведенных затрат оказывают влияние качественные характеристики готовой продукции: снижение потерь и повреждений клубней картофеля.

«Экономический эффект от снижения (повышения) потерь клубней определяется:

$$E_{pot1..N} = S_p \cdot Y_K \cdot C_{PROD} \cdot \frac{a_{POTY1} - a_{POTY2}}{100}, \quad (5.12)$$

где $E_{pot1..N}$ - экономический эффект от снижения (повышения) потерь клубней, руб.;

Y_K – средняя урожайность картофеля, т/га;

C_{PROD} - цена неповрежденного картофеля, руб./т.» [19].

Для расчета экономического эффекта по данной позиции цена

неповрежденного картофеля устанавливается на уровне $C_{PROD}=11600$ руб./т [113].

$a_{POTU\ 1,2}$ - количество потерь картофеля при использовании, соответственно, серийного и модернизированного вариантов картофелеуборочных машин, %.

Полевые испытания картофелеуборочного комбайна позволили определить количество потерь картофеля при работе серийного и модернизированного агрегатов. В этой связи $a_{POTU\ C,М}$: для ККР-2 – 3,3 %, ККР-2М – 3,0 % (Приложение Б).

$$E_{pot} = 24 \cdot 20,6 \cdot 11600 \cdot \frac{3,3 - 3,0}{100} = 17205,12$$

Расчет удельного экономического эффекта от снижения (повышения) потерь клубней осуществляется на 1 га и определяется по формуле:

$$E_{potGA} = \frac{E_{pot}}{S_p}, \quad (5.13)$$

где E_{potGA} – экономический эффект от снижения (повышения) потерь клубней в расчете на 1 га, руб./га.

$$E_{potGA} = \frac{17205,12}{24} = 716,88$$

Экономический эффект от снижения (повышения количества повреждений клубней определяется: [39]:

$$E_{povr} = S_p \cdot Y_K \cdot C_{POVR} \cdot \frac{a_{POVRY1} - a_{POVRY2}}{100}, \quad (5.14)$$

где E_{povr} - экономический эффект от снижения (повышения) количества повреждений клубней, руб.;

Y_K - урожайность картофеля, т/га;

C_{POVR} - разница цен неповрежденного и поврежденного картофеля, руб./т.

На основании сложившихся рыночных цен $C_{POVR} = 11600 - 4640 = 6960$ руб./т [113].

$a_{POVRY1,2}$ - количество повреждений при использовании, соответственно, серийного и модернизированного вариантов картофелеуборочных машин, %.

Полевые испытания картофелеуборочного комбайна позволили определить количество повреждений картофеля при работе серийного и модернизированного агрегатов. В этой связи $a_{POVRYC,M}$: для ККР-2 – 3,71 %, ККР-2М – 3,49 % (Приложение Б).

$$E_{povr} = 24 \cdot 20,6 \cdot 6960 \cdot \frac{3,71-3,49}{100} = 7570,25 \text{ руб.}$$

Расчет удельного экономического эффекта от снижения (повышения) количества повреждений клубней осуществляется на 1 га и определяется по формуле:

$$E_{povrGA} = \frac{E_{povr}}{S_p}, \quad (5.15)$$

где E_{povrGA} - экономический эффект от снижения (повышения) количества повреждений клубней в расчете на 1 га, руб./га.

$$E_{povrGA} = \frac{7570,25}{24} = 315,43$$

«По результатам приведенных расчетов определяются суммарный экономический эффект от применения экспериментальной машины при выполнении операции по уборке картофеля (таблица 5.7):

$$E_{sym} = Z_{YE} + E_{pot} + E_{povr}, \quad (5.16)$$

где E_{sym} – суммарный экономический эффект от применения новой машины при выполнении операции по уборке картофеля, руб.» [19].

$$E_{sym} = -7965,61 + 17205,12 + 7570,25 = 16809,76$$

«Суммарный экономический эффект от применения экспериментальной машины ККР-М при выполнении операций по уборке картофеля в расчете на 1 га (таблица 5.7) определяется:

$$E_{symga} = \frac{E_{sym}}{S_p}, \quad (5.17)$$

где E_{symga} - суммарный экономический эффект от применения экспериментальных машин при выполнении операций по уборке картофеля в расчете на 1 га, руб./га» [19].

$$E_{symga} = \frac{16809,76}{24} = 700,41 \text{ руб./га}$$

В целях усовершенствования картофелеуборочного комбайна ККР-2 путем модернизации комкоразрушающих рабочих органов (катков опорных) необходимы инвестиционные вложения в размере 73056 (2787944-2714888) руб. При этом суммарный годовой экономический эффект от их использования (доходы – издержки) составляет 16809,76 руб.

Таблица 5.7 – Годовой экономический эффект от внедрения картофелеуборочного комбайна с усовершенствованным катком по сравнению с серийным

№ п/п	Наименование показателей	Обозначения	Единица измерения	Прибыль (+) / убыток (-)
				натуральные единицы
1	Экономический эффект в результате снижения / повышения затрат, в том числе на 1 га	Z_{YE}	руб.	-7965,61
		Z_{YEGA}	руб./га	-331,90
2	Экономический эффект в результате снижения / повышения потерь клубней, в том числе на 1 га	E_{pot}	руб.	17205,12
		E_{potGA}	руб./га	716,88
3	Экономический эффект в результате снижения / повышения повреждений клубней, в том числе на 1 га	$E_{повр}$	руб.	7570,25
		$E_{поврGA}$	руб./га	315,43
4	Суммарный экономический эффект, в том числе на 1 га	E_{sym}	руб.	16809,76
		E_{symga}	руб./га	700,41

Таким образом, через $73056 / 16809,76 = 4,35$ года инвестиции в модернизацию картофелеуборочного комбайна ККР-2 окупятся и начнут приносить доход инвестору.

5.3. Выводы по главе 5

Определено, что введение в эксплуатацию усовершенствованного опорного катка на картофелеуборочный комбайн позволит получить совокупный экономический эффект в размере 16809,76 руб. (24 га) и 700,41 руб./га. Период окупаемости внедрения – 4,35 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ известных научно-технических источников продемонстрировал значительное количество трудов, посвященных каткам картофелеуборочных машин. В современных условиях значение катков недооценено. Установлено, что катки картофелеуборочной машины способны улучшить разрушение почвенных комков, поэтому следует продолжить их модернизацию.

2. Теоретическими исследованиями установлена зависимость между нагрузкой и деформацией почвы (глубиной колеи) с учетом геометрических параметров катка и физико-механических свойств почвы. Анализ зависимости показал, что с увеличением нагрузки на каток и уменьшением количества колец на катке увеличивается воздействие на почвенные комки.

3. В процессе лабораторного эксперимента установлено, что для того, чтобы эффективность сепарации не была ниже 79%, а величина повреждений картофеля не более 1,3% окончательную высоту кольца принимаем 8 мм при количестве колец 3 штуки. Экспериментально определено, что наименьшее количество почвенных комков $Y_{\text{кк}} = 24,17\%$ достигается при установке 3 колец на цилиндрической части катка и влажности почвы 16%.

4. Установлено снижение количества почвенных комков в 1,60 раза при работе ККР-2М и в 1,57 раза при работе GRIMME SE 150-60-М.

5. Суммарный экономический эффект от внедрения усовершенствованного опорного катка составил 16809,76 руб. (24 га), в том числе на 1 га 700,41 руб.

Рекомендации производству

Применение катков с установленными кольцами на картофелеуборочных комбайнах позволяют эффективно разрушать почвенные комки клубненосного пласта.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе необходимо продолжить работу по совершенствованию механизмов копирования картофельных гряд с целью обеспечения оптимального давления катка на их гребень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство СССР № 231930, А 01 D 33/00. Копирующий каток картофелеуборочной машины [Текст] / Ю.И. Кириенко, Г.Д. Петров, Н.Н. Лутхов, В.И. Славкин, обладатель свидетельства ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР; заявл. 05.11.88; опубл. 30.09.90.
2. Авторское свидетельство СССР № 426618, А 01 D 33/00. Копирующий каток корнеклубнеуборочной машины [Текст] / В.В. Кононученко, И.Х. Мороз, Н.Я. Москов, обладатель свидетельства Украинский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства; заявл. 23.07.86; опубл. 15.05.88.
3. Авторское свидетельство СССР № 427666, А 01 D 17/00. Копирующие катки картофелеуборочных машин [Текст] / Л.И. Большаков, В.А. Олевский, Г.И. Семкин, обладатель свидетельства ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий; заявл. 31.07.86; опубл. 23.12.87.
4. Актуальные вопросы совершенствования картофелеуборочной техники [Текст] / А.А. Симдянкин, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2015. - № 114. - С. 985-1000.
5. Анализ использования картофелеуборочных комбайнов КПК-3 в условиях Рязанской области [Текст] / Н. В. Бышов, И. А. Успенский, Е. И. Карнадхов, В.И. Поликарпов // Вклад молодых ученых и специалистов в интенсификацию производства и перестройку работы АПК: Тезисы доклада респуб. науч. – практ. конф. – Казань, 1990. – С. 122–124.
6. Анализ конструкций почвообрабатывающих фрез с комбинированным вращением активных рабочих органов [Текст] / А.Ю. Гусев, В.Ф. Купряшкин, С.Н. Звонов, С.С. Лоскутов // Сб.: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Материалы Международной науч.-практ. конф. – Саранск:

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. - С. - 114-119.

7. Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях Рязанской области [Текст] / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, А.А. Голиков и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 1 (17). - С. 64-68.

8. Атлас Рязанской области. – Рязань: ООО «ДоМира», 2006. – 72с.

9. Байбобоев, Н. Г. Работы по совершенствованию комкоразрушающих рабочих органов картофелеуборочных комбайнов [Текст] / Н.Г. Байбобоев // Тез. докл. IX Всесоюзной науч.-техн. конф. молодых ученых. - М.:, 1982. -С. 36-37.

10. Байбобоев, Н. Г. Совершенствование и обоснование параметров опорно-копирующего комкоразрушающего устройства картофелеуборочного комбайна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Байбобоев Набижон Гуламович. - Москва, 1985. - 162 с.

11. Байбобоев, Н.Г. Оптимизация параметров опорно-копирующего устройства картофелеуборочного комбайна [Текст] / Н.Г. Байбобоев, Ж.М. Мухамедов, Ш.Б. Акбаров // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2015. - № 4 (28). - С. 45-48.

12. Безрукий, Л. П. Исследование процесса разрушения почвенных комков и повреждаемости клубней на рабочих органах картофелеуборочных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Безрукий Леонид Павлович. – Минск, 1962. - 32 с.

13. Безруков, А.В. Адаптивная почвообрабатывающая фреза [Текст] / А.В. Безруков, Н.И. Наумкин, В.Ф. Купряшкин // Сельский механизатор. - 2018. - № 1. -С. 4-5.

14. Белевич, П. К. Исследование процесса разрушения почвенных комков в условиях статического и динамического нагружения картофельной грядки:

автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] Белевич Павел Константинович. – Минск, 1967. - 26 с.

15. Бойко, А. И. Обоснование параметров и повышение надежности комкоразрушающего органа картофелеуборочных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03 [Текст] / Бойко Александр Игоревич. – Рязань, 2005. – 19с.

16. Бойко, А.И. Классификация комкодавителей картофелеуборочных машин / А.И. Бойко, Г.К. Рембалович, С.Н. Борычев // Сб. научных трудов. — Рязань: РГСХА, 2003. - С. 51-52.

17. Бойко, А.И. Перспективы совершенствования комкоразрушающих устройств картофелеуборочных машин [Текст] / А.И. Бойко, С.Н. Борычев // Вестник Московского ГАУ. - 2006. - № 5(20). - С. 87. - 88.

18. Борычев, С.Н. Технологии уборки картофеля: общие вопросы [Текст] / С.Н. Борычев, И.В. Лучкова // Сб.: Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса: Материалы 70-й Международной науч.-практ. конф. – Рязань: РГАТУ, 2019. - С. 71-75.

19. Борычев, С. Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 [Текст] / Борычев Сергей Николаевич. – Рязань, 2008. – 484 с.

20. Борычев, С.Н. Анализ комкоразрушающего устройства с активной поверхностью [Текст] / С.Н. Борычев // Тракторы и сельхозмашины. - 2006. - № 9. - С. 35-37.

21. Борычев, С.Н. Разработка опорного катка картофелеуборочного комбайна [Текст] / С.Н. Борычев, В.Д. Липин, И.В. Лучкова // Сб.: Теория и практика современной аграрной науки: Сборник III национальной (всероссийской) науч. конф. с международным участием. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. - С. 19-21.

22. Борычев, С.Н. Современные пути решения проблем

механизированной уборки картофеля [Текст] / С.Н. Борычев, Д.Н. Бышов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2010. - № 3 (7). - С. 63-65.

23. Бышов, Н.В., Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных комбайнов: Монография [Текст] / Н.В. Бышов, А.А. Сорокин. – Рязань, 1999г. -128с.

24. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – Москва: Издательство Колос, 1987. - 159 с.

25. Верещагин, Н.И. Комплексная механизация возделывания, уборки и хранения картофеля [Текст] / Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков. – М.: «Колос», 1977. – 352 с.

26. Влияние конструктивно-технологической схемы на показатели работы картофелеуборочной машины [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, М.Ю. Костенко и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2019. - № 1 (41). - С. 108-114.

27. Влияние отдельных элементов технологического процесса уборки и хранения картофеля на его сохранность [Текст] / И.В. Лучкова, Д.В. Колошеин, С.Н. Кульков, Н.В. Цыганов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2021. - № 169. - С. 110-123.

28. Влияние факторов на крошение почвы [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев, Т.Ш. Гаджиев // Сб.: Ресурсосберегающее энергетическое оборудование и машины для производства сельскохозяйственной продукции: Материалы международной заочной науч.-практ. конф. – Балашиха: Российский государственный аграрный заочный университет, 2018. - С. 21-25.

29. Гаджиев, П.И. Машины для производства картофеля в тяжелых почвах [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев // Сб.: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы X

Международной науч.-практ. Интернет-конф. – Правдинский: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. - С. 230-234.

30. Гаджиев, П.И. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, К.А. Манаенков // Наука в центральной России. - 2020. - № 4 (46). - С. 33-40.

31. Гаджиев, П.И. Пути снижения уплотняющего воздействия агрегатов на почву [Текст] / П.И. Гаджиев, М.М. Махмутов, А.И. Алексеев // Международный технико-экономический журнал. - 2018. - № 1. - С. 28-33.

32. Гаджиев, П.И. Улучшение качества обработки почвы для комбайновой уборки картофеля [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. - 2020. - № 5. - С. 46-55.

33. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст] Введ. 2013-01-01. - М.: Стандартинформ, 2020.

34. ГОСТ 23493-79. Картофель. Термины и определения [Текст] Введ. 1980-01-01. - М.: Стандартинформ, 2010.

35. ГОСТ 24055-2016. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки [Текст] Введ. 2018-01-01. - М.: Стандартинформ, 2020.

36. ГОСТ 28268-89. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений [Текст] Введ. 1990-06-01. - М.: Стандартинформ, 2006.

37. ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст] Введ. 2019-09-01. - М.: Стандартинформ, 2018.

38. ГОСТ Р 54781-2011. Машины для уборки картофеля. Методы испытаний [Текст] Введ. 2012-03-01. - М.: Стандартинформ, 2020.

39. Дорохов, А. П. Исследование технологических особенностей разрушения почвенных комков в целях более полного выделения клубней картофеля рабочими органами картофелеуборочных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Дорохов Аркадий Порфирьевич. - Челябинск, 1968. - 22 с.

40. Дорохов, А.П. Исследование катков бокового обжатия картофельной грядки [Текст] / А.П. Дорохов, В.Я. Мамин // Сб. научных трудов. - Челябинск: ЧИМЭСХ, 1970. С. 74-79.

41. Дорохов, А.П. Исследование работы передних катков картофелеуборочных машин [Текст] / А.П. Дорохов // Сб. научных трудов. - Челябинск: ЧИМЭСХ, 1970. - С. 67-74.

42. Дорохов, А.С. Исследование показателей качества работы приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц в лабораторных условиях [Текст] / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // Аграрный научный журнал. - 2020. - № 7. - С. 70-74.

43. Дорохов, А.С. Машина для уборки корнеплодов и лука с регулируемым наклоном полотна [Текст] / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // Сельский механизатор. - 2020. - № 4. - С. 4-5.

44. Дорохов, А.С. Обоснование конструктивной схемы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна машины для уборки корнеплодов и лука [Текст] / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, М.А. Мосяков // Агроинженерия. - 2020. - № 4 (98). - С. 4-9.

45. Дорохов, А.С. Результаты полевых исследований машины для уборки корнеплодов и лука с регулируемым углом наклона полотна [Текст] / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // Нива Поволжья. - 2020. - № 1 (54). - С. 118-126.

46. Дорохов, А.С. Результаты поисковых исследований сепарирующей системы при очистке корнеплодов сахарной свеклы [Текст] / А.С. Дорохов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв // Вестник Ульяновской государственной

сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 1 (53). - С. 13-18.

47. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статической обработки результатов исследования) [Текст] / Б. А. Доспехов. — М.: Колос, 1973. — 336 с.

48. Замешаев, В.В. Экономическая оценка эффективности использования нового рабочего органа вторичной сепарации с клубнесбрасывающей гребенкой [Текст] / В.В. Замешаев, С.Н. Борычев, Е.А. Жирков // Материалы международной науч.-практ. конф. — Рязань: РГСХА, 2004. — С. 172 — 173.

49. Инновационные машинные технологии в картофелеводстве России [Текст] / С.С. Туболев, Н.Н. Колчин, Н.В. Бышов и др. // Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — №10. — С.3-5.

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

51. Ищук, Д.Н. Теоретические и лабораторные исследования усовершенствованного комкоразрушающего рабочего органа картофелеуборочной машины [Электронный ресурс] / Д.Н. Ищук // Научный журнал КубГАУ. — 2010. - №61(07). - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/22.pdf>

52. Колчина, Л. М. Технологии и оборудование для производства картофеля [Текст] / Л. М. Колчина. — Москва: Издательство Юрайт, 2021.— 163 с.

53. Костенко, М.Ю. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 [Текст] / Костенко Михаил Юрьевич. - Рязань, 2011. - 41 с.

54. Купряшкин, В.Ф. Анализ конструкций почвообрабатывающих съемных модулей с активными рабочими органами для средств малой механизации [Текст] / В.Ф. Купряшкин, А.Ю. Гусев, П.В. Борисов // Сб.: Развитие

инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК: Материалы Международной науч.-практ. конф. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. - С. 113-120.

55. Купряшкин, В.Ф. Анализ рабочих органов почвообрабатывающих фрез с вертикальной осью вращения [Текст] / В.Ф. Купряшкин, М.Г. Шляпников // Машиноведение. - 2019. - № 1 (9). - С. 105-113.

56. Купряшкин, В.Ф. Обоснование параметров и режимов работы самоходной почвообрабатывающей фрезы с комбинированным вращением активных рабочих органов [Текст] / В.Ф. Купряшкин, А.Ю. Гусев // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. - 2020. - № 2. - С. 20.

57. Кусов, Т.Т. Элементы теории комкоразрушающих устройств картофелеуборочных машин [Текст] / Т.Т. Кусов // Тракторы и сельхозмашины. – 1966. - № 1 - с. 35 -37.

58. Лабораторные исследования ударных воздействий роликовой сортировальной машины на клубни картофеля [Текст] / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, Н.В. Сазонов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2021. - Т. 22. - № 1. - С. 119-127.

59. Лучкова, И.В. Влияние технического обеспечения процесса уборки и первичной обработки картофеля на объемы его производства (на примере ООО «Верей» Клепиковского района Рязанской области) [Текст] / И.В. Лучкова, Д.В. Колошеин, В.Д. Липин // Сб.: Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации. - Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 279-282.

60. Лучкова, И.В. Развитие картофелеуборочной техники и ее современные перспективы [Текст] / И.В. Лучкова, С.Н. Борычев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - № 2 (58). - С. 419-428.

61. Лучкова, И.В. Современное состояние картофелеводства в Рязанской области [Текст] / И.В. Лучкова // Сб.: Проблемы развития современного общества: Сборник научных статей 6-й Всероссийской национальной научно-

практической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. - С. 248-250.

62. Лучкова, И.В. Теоретические и экспериментальные исследования усовершенствованного катка картофелеуборочной машины / И.В. Лучкова // Инновации. Наука. Образование. - 2021. - № 43: электронный ресурс.

63. Марченко, Н.М. Исследование систем копирования картофелеуборочных машин [Текст] / Н.М. Марченко. – Труды ВИМ. - М.: 1963. - т. 33. - с.84 – 86.

64. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве [Текст] / Гатаулин А.М., Гаврилов Г.В., Сорокина Т.М. и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 432с.

65. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, Г.М. Рошин. – Л.: Колос, 1980.-168 с.

66. Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники [Текст] / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, П.А. Тулапин и др. – М.: ВНИИЭСХ, 1998. – 219с.

67. Нестерович, Э.О. Разработка и обоснование параметров рабочих органов картофелеуборочной машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Нестерович Эдуард Олегович. – Рязань, 2018. – 128.

68. Нормативно-справочные материалы для экономической оценки сельскохозяйственной техники [Текст]. - М.: ЦНИИТЭИ, 1983. - 297 с.

69. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве: Сборник [Текст]. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 316 с.

70. Норчаев, Д.Р. Усовершенствованное опорно-комкоразрушающее устройство на картофелеуборочные машины [Текст] / Д.Р. Норчаев // Аграрная наука. - 2013. - № 12. - С. 28-29.

71. О взаимодействии клубненосного пласта с рабочими органами

копателя [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Н.Н. Якутин и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2018. - № 4 (40). - С. 161-167.

72. Обоснование параметров комкоразрушающего битерного барабана машины для предпосадочной подготовки почвы к комбайновой уборке картофеля [Текст] / П.И. Гаджиев, М.С. Шикалов, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев // Техника и оборудование для села. - 2019. - № 8 (266). - С. 15-18.

73. Обоснование подходов к созданию почвообрабатывающих машин на примере проектирования адаптивной самоходной малогабаритной фрезы [Текст] / А.В. Безруков, Н.И. Наумкин, В.Ф. Купряшкин и др. // Современные наукоемкие технологии. - 2019. - № 11-1. - С. 24-28.

74. Основные задачи и направления НИР по снижению повреждений картофеля и овощей в машинных технологиях их производства [Текст] / В.Н. Зернов, С.Н. Петухов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв // Агротехника и энергообеспечение. - 2019. - № 4(25). - С. 6-16.

75. Основные тенденции развития высокопроизводительной техники для картофелеводства [Текст] / Н. Н. Колчин, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев и др. // Тракторы и сельхозмашины. - 2012. - № 4. - С. 46-51.

76. Основы тягового расчета почвообрабатывающего агрегата на базе мотоблока с орудием имеющих вертикальную ось вращения активных рабочих органов [Текст] / В.Ф. Купряшкин, М.Г. Шляпников, В.В. Купряшкин, Н.А. Четверов // Сб.: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Материалы Международной науч.-практ. конф. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. - С. 119-124.

77. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна [Текст] И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2018. - № 1 (49). - С. 262-269.

78. Патент на полезную модель № 194510 РФ, А01D 33/00. Коток опорный картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.В. Лучкова, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, В.Д. Липин, Д.В. Колошеин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2019126717; заявл. 23.08.2019; опубл.12.12.2019.

79. Патент на полезную модель № 203491 РФ, А01D 33/00. Опорный коток картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.В. Лучкова, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Р.В. Безносок, Д.В. Колошеин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2020133542; заявл. 12.10.2020; опубл.07.04.2021.

80. Переведенцев, В.М. Обоснование параметров и режимов работы дисковых элементов подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Переведенцев Виктор Михайлович. – Рязань, 2000. – 172с.

81. Перспективные направления и технические средства для снижения повреждений клубней при машинной уборке картофеля [Текст] Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский и др. // Техника и оборудование для села. - 2013. - № 8. - С. 22-24.

82. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины СССР и США (обзор) [Текст] / Г.Д. Петров. - М.: ЦИНТИМАШ, 1962. - 64 с.

83. Планирование эксперимента и статистическая обработка данных полевого опыта [Текст] С.А. Балюк, Н.В. Лисовой, В.Н. Никоненко, Е.В. Карацуба // Почвоведение и агрохимия. - 2016. - № 2 (57).- С. 48-56.

84. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, К.Н. Дрожжин и др. – Рязань: ГОУ ВПО РГСХА, 2005. – 284с.

85. Разработка усовершенствованной конструкции картофелеуборочного комбайна ККУ-2АУ с теоретическим обоснованием технологических параметров [Текст] / Д.В. Скрипкин, М.В. Ульянов, А.В. Харлашин и др. // Вестник АПК Ставрополя. - 2020. - № 1 (37). - С. 11-15.

86. Рембалович, Г.К. Анализ динамики производства картофеля в

Рязанской области [Текст] / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, А.А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2011. - № 3 (11). - С. 67-70.

87. Сибирёв, А.В. Интеллектуальная технология уборки корнеплодов и лука [Текст] / А.В. Сибирёв // Сб.: Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: сборник трудов III Международной науч.-практ. конф. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2019. - С. 316-320.

88. Сибирев, А.В. Исследование силовой характеристики подкапывающего лемеха машины для уборки корнеплодов и лука [Текст] / А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, П.А. Емельянов, М.А. Мосяков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». - 2020. - № 1 (95). - С. 4-9.

89. Сибирёв, А.В. Методика определения частоты вращения приемного и сепарирующих вальцов роликового сепаратора отделения луковиц и корнеплодов от почвенных примесей [Текст] / А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. - 2019. - № 21. - С. 474-476.

90. Сибирёв, А.В. Обоснование конструктивных и технологических параметров подкапывающего лемеха машины для уборки корнеплодов и лука [Текст] / А.В. Сибирев, А.Г. Аксенов, М.А. Мосяков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». - 2019. - № 1 (89). - С. 9-14.

91. Сибирёв, А.В. Обоснование конструктивных и технологических параметров цилиндрического очистителя почвенных примесей лукоуборочной машины [Текст] / А.В. Сибирёв, А.С. Дорохов, А.Г. Аксенов // Тракторы и сельхозмашины. -2018. - № 2. - С. 59-64.

92. Сибирёв, А.В. Результаты теоретических исследований конструктивных параметров цилиндрического вальца катка-ложеобразователя машины для уборки лука [Текст] / А.В. Сибирев, А.Г. Аксенов, А.С. Дорохов // Аграрный научный журнал. - 2019. - № 3. - С. 90-94.

93. Сибирёв, А.В. Цилиндрический очиститель почвенных примесей [Текст] / А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // Сельский механизатор. - 2018. - № 6. - С. 18-19.

94. Сибирев, А.В. Энергосберегающая технология уборки корнеплодов и картофеля [Текст] / А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, М.А. Мосяков // Сб.: Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XVI Международной науч.-практ. конф. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2021. - С. 34-37.

95. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства [Текст] / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский, Н. Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2015. - № 3. - С. 43-47.

96. Сорокин, А. А. Комкоразрушающие катки для комбайна ККУ-2А [Текст] / А. А. Сорокин, Н. Г. Байбобоев // Техника в сельском хозяйстве. - 1984. - № 8. - С. 24-25.

97. Сухов, Ю.И. Обоснование оптимальных сроков уборки картофеля и условий работы картофелеуборочных комбайнов [Текст] / Ю.И. Сухов, В. Ф. Шемякина, Л. В. Мильцева // Тракторы и сельхозмашины. — 1980. — №4.-С. 20-22.

98. Уборка картофеля [Текст] / К.А. Пшеченков, Г.Л. Белов, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов // Земледелие. - 2018. - № 5. - С. 23-26.

99. Успенский, И. А. Совершенствование конструкции подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин [Текст] / И. А. Успенский, Н. Н. Лутхов, М. Ю. Костенко // Сборник научных трудов ВСХИЗО. – М.: ВСХИЗО, 1994. – С. 91–92.

100. Успенский, И. А. Сравнительные исследования функциональности

картофелеуборочных комбайнов ККУ-2А и КПК-3 [Текст] / И. А. Успенский, Е. И. Карнадхов, В. И. Поликарпов // Комплексная механизация возделывания сельскохозяйственных культур: сб. трудов ВСХИЗО. – М.: ВСХИЗО, 1991. – С. 83–84.

101. Юлдашев, Н. М. Исследование и усовершенствование комкоразрушающих устройств картофелеуборочных комбайнов: дис. ... канд. техн. наук: 05.06.01 [Текст] / Юлдашев Нажмитдин Махамович. - Москва, 1979. - 229 с.

102. Юхин, И.А. Результаты полевых испытаний модернизированных транспортных средств [Текст] / И.А. Юхин, И.А. Успенский, Д.С. Рябчиков, Н.М. Воронкин // Техника и оборудование для села. – 2015. - №7(217). – С. 14 – 16.

103. Brandt T.L. Storage characteristic of six potato cultivars // American Journal Of Potato Research. – 2000. - Vol. 77. – P. 393.

104. Byshov N.V., Borychev S.N., Abramov Yu.N., Uglanov M.B., Kostenko, M.Yu. Rembalovich G.K. Validating the Parameters of the Rotary Device for Potato Haulm Removal//Bioscience Biotechnology Research Communications Special Issue.– 2019.–Vol. 12 (5).–P.312-322.

105. Hrushetsky S.M., Duganets V.I., Yaropud V.M., Pryshliak V.M., Kurylo V.L. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working parts for potato harvesting machines// Agricultural Engineering. -2019. - Т. 59. - Vol. 3. -P. 101-110.

106. Kostenko, M.Y., Ruzimurodov, A.A., Byshov, D.N., Golakhov, A.A., Yakutin, N.N. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.–2020.– Vol. 422(1).– 012032.

107. Matmurodov F., Dustkulov A., Abdiyev N. Mathematical simulation of transfer mechanisms of crocheting potato harvesting machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering/ - 2020. P.

012176.

108. Orr P.H. Some interesting aspects of recent and expected developments in potato and utilization on North America // Actahortic, Wageningen. – 1987. - Т.213. - P.203-214.

109. Vinogradov, D.V., Terekhina, O.N., Byshov, N.V., Kryuchkov, M.M., Morozova, N.I., Zakharova, O.A. Features of applying biological preparations in the technology of potato growing on gray forest soils // International Journal of Engineering and Technology.–2018.–Vol 7, No 4.36. –P. 242-246.

110. Wustman R. Assesstent of new potato cultivars in Europe: a survey // Potato Research. – 2000.- Vol.43. – P.97.

111. Zhbanov N., Byshow N., Kostenko N., Rembalovich G., M.Kostenko Improving the working bodies of the harvesting machines by means of the use of composite materials// BIO Web of Conferences 2019.– Vol. 17 - 2020–№00191.

112. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru>

113. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Рязанской области [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ryazan.gks.ru>

114. ООО «АГРОТЕХМАШ» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://agrotm.ru/kartofeleuborochnyj-kombajn-kkr-2.html>

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 194510

КАТОК ОПОРНЫЙ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО
КОМБАЙНА

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Авторы: *Лучкова Инна Васильевна (RU), Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Липин Владимир Дмитриевич (RU), Колошеин Дмитрий Владимирович (RU)*

Заявка № 2019126717

Приоритет полезной модели 23 августа 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 12 декабря 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 23 августа 2029 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



**ПОДКАПЫВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

(21)(22)

Заявка:

2019126718, 2019.08.23

(24)

Дата начала отчета срока действия патента: 2019.08.23

(22)

Дата подачи заявки: 2019.08.23

(45)

Опубликовано: 2020.03.11

(19) (11) (13)
RU 196634 U1

(51)
МПК

A01D 17/00 (2006.01)

(72)

Авторы:

Даденко Владимир Анатольевич (RU)

Бышов Николай Владимирович (RU)

Борычев Сергей Николаевич (RU)

Липин Владимир Дмитриевич (RU)

Колошеин Дмитрий Владимирович (RU)

(73)

Патентообладатели:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)

(56)

Документы, цитированные в отчёте о поиске:

US 4121667 A1, 24.10.1978. SU 1376969 A1, 28.02.1988.

RU 2664292 C2, 16.08.2018. CN 108353605 A, 03.08.2018.

СПРАВКА

о внедрении усовершенствованного опорного катка картофелеуборочного комбайна

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ООО «Солнечные луга» в лице генерального директора Фирсова Г.В. и представителей ФГБОУ ВО РГАТУ в лице профессора, доктора технических наук Борычева С.Н. и аспиранта Лучковой И.В., составили настоящий документ о том, что в период с 12 сентября 2020г. по 08 октября 2020г. провели хозяйственные испытания на полях организации ООО «Солнечные луга».

Место проведения, условия проведения испытаний:

Организация: ООО «Солнечные луга» расположено по адресу: Московская область, город Луховицы, деревня Плешки, строение 36. Основной вид деятельности (по коду ОКВЭД ред.2): 01.13 – Выращивание овощей, бахчевых, корнеплодных и клубнеплодных культур, грибов и трюфелей.

Картофелеуборочный комбайн для проведения испытаний - ККР-2. Модернизация – каток опорный с кольцами (патент на полезную модель RU 194510 U1, 12.12.2019г.)

Хозяйственные испытания проводились с целью определения технико-экономических показателей серийных и усовершенствованных машин, влияние модернизированного опорного катка на качественные и количественные показатели картофеля.

Результаты исследований серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2

Наименование показателей	Серийный	Усовершенствованный
1. Сроки проведения испытаний	сентябрь – октябрь 2019 сентябрь – октябрь 2020	
2. Температура воздуха, °С	11 – 17°С	
3. Температура почвы на глубине залегания клубней, °С	9°С	
4. Рабочая скорость агрегата, км/ч	3,8	3,8
5. Полнота уборки клубней, %:		
5.1. Собрано в тару	96,7	97,0
5.2. Потери	3,30	3,00
6. Состав вороха клубней:		
6.1. Клубни	94,6	96,1
6.2. Почвенные комки	4,3	2,7
6.3. Растительные остатки	1,3	1,2
7. Повреждения клубней, всего по массе, %:	3,71	3,49
7.1. Содрана кожура от 1/4 до 1/2 поверхности клубня	0,71	0,63
7.2. Содрана кожура более 1/2 поверхности клубня	-	-
7.3. Срезы мякоти глубиной более 5 мм	0,25	0,24
7.4. Трещины длиной более 20 мм	0,80	0,80
7.5. Раздавленные клубни	-	-
7.6. Резаные клубни	1,17	1,04
7.7. Потемнение мякоти от удара глубиной более 5 мм	0,78	0,78

Годовой экономический эффект от внедрения модернизированного картофелеуборочного комбайна ККР-2 с катком с кольцами составляет 700,41 рублей/га в ценах 2020 года.

Замечания и предложения по внедрению: признать усовершенствованный каток опорный с кольцами (патент на полезную модель RU 194510 U1) целесообразным, экономически эффективным и продолжить работы по усовершенствованию почвозарушающих рабочих органов картофелеуборочного комбайна ККР-2.

Генеральный директор ООО «Солнечные луга»
Научный руководитель д.т.н., профессор ФГБОУ ВО РГАТУ
Аспирант ФГБОУ ВО РГАТУ



Фирсов Г.В.
Борычев С.Н.
Лучкова И.В.

08.10.2020

СПРАВКА

о внедрении усовершенствованного опорного катка картофелеуборочного комбайна

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ООО «Верея» в лице исполнительного директора Щепелева Е.В. и представителей ФГБОУ ВО РГАТУ в лице профессора, доктора технических наук Борычева С.Н. и аспиранта Лучковой И.В., составили настоящий документ о том, что в период с 03 сентября 2020г. по 20 октября 2020г. провели хозяйственные испытания на полях организации ООО «Верея».

Место проведения, условия проведения испытаний:

Организация: ООО «Верея» расположено по адресу: Рязанская область, Клепиковский район г. Спас-Клепики. Основной вид деятельности (по коду ОКВЭД ред.2): 01.13.31 – Выращивание картофеля.

Картофелеуборочный комбайн для проведения испытаний - GRIMME SE 150-60. Модернизация – каток опорный с кольцами (патент на полезную модель RU 194510 U1, 12.12.2019г.)

Хозяйственные испытания проводились с целью определения технико-экономических показателей серийных и усовершенствованных машин, влияние модернизированного опорного катка на качественные и количественные показатели картофеля.

Результаты исследований серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна GRIMME SE 150-60

Наименование показателей	Серийный	Усовершенствованный
1. Сроки проведения испытаний	сентябрь – октябрь 2019 сентябрь – октябрь 2020	
2. Температура воздуха, °С	12 – 16°С	
3. Температура почвы на глубине залегания клубней, °С	9°С	
4. Рабочая скорость агрегата, км/ч	4,2	4,2
5. Полнота уборки клубней, %:		
5.1. Собрано в тару	96,9	97,05
5.2. Потери	3,10	2,95
6. Состав вороха клубней:		
6.1. Клубни	95,8	97,0
6.2. Почвенные комки	3,3	2,1
6.3. Растительные остатки	0,9	0,9
7. Повреждения клубней, всего по массе, %:	3,62	3,45
7.1. Содрана кожура от 1/4 до 1/2 поверхности клубня	0,69	0,67
7.2. Содрана кожура более 1/2 поверхности клубня	-	-
7.3. Срезы мякоти глубиной более 5 мм	0,24	0,23
7.4. Трещины длиной более 20 мм	0,76	0,74
7.5. Раздавленные клубни	-	-
7.6. Резаные клубни	1,16	1,04
7.7. Потемнение мякоти от удара глубиной более 5 мм	0,77	0,77

Замечания и предложения по внедрению: признать усовершенствованный каток опорный с кольцами (патент на полезную модель RU 194510 U1) целесообразным и экономически эффективным.

Исполнительный директор ООО «Верея»
Главный агроном ООО «Верея»
Научный руководитель д.т.н., профессор ФГБОУ ВО РГАТУ
Аспирант ФГБОУ ВО РГАТУ



Щепелев Е.В.
Щепелева Н.В.
Борьчев С.Н.
Лучкова И.В.

20.10.2020

**Исходные данные для технико-экономических расчетов эффективности
применения картофелеуборочного комбайна**

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Источник	ККР-2	
				серийный	модернизированный
1	Марка трактора для уборочного агрегата	х	техническое описание	МТЗ Беларусь-82.1	МТЗ Беларусь-82.1
2	Цена картофелеуборочной машины	руб.	прайс-лист	2714888	2787944
3	Количество обслуживающего персонала	чел.	техническое описание	3	2
4	Сумма часовой оплаты труда с учетом всех видов доплат механизаторов 5 разряда	руб./ч	нормативно-справочные материалы	136,92	136,92
5	Сумма часовой оплаты труда с учетом всех видов доплат вспомогательных рабочих	руб./ч	нормативно-справочные материалы	109,58	109,58
6	Урожайность картофеля	т/га	нормативно-справочные материалы	20,6	20,6
7	Годовая норма амортизационных отчислений на уборочную машину	%	нормативно-справочные материалы	32,43	32,43
8	Норма отчислений на ТР и ТО для уборочной машины	%	нормативно-справочные материалы	15	15
9	Норма расхода горюче-смазочных материалов	кг/ч	нормативно-справочные материалы	10,85	10,85
10	Комплексная цена 1 кг горюче-смазочных материалов	руб.	нормативно-справочные материалы	38,8	38,8
11	Закупочная цена картофеля: – неповрежденного (товарного); – поврежденного (фуражного)	руб./т	нормативно-справочные материалы	11600 4640	11600 4640
12	Рабочая скорость уборочного агрегата	км/ч	протокол испытаний	3,8	3,8
13	Ширина захвата уборочной машины	м	техническое описание	1,5	1,5
14	Потери клубней	%	протокол испытаний	3,3	3,0
15	Повреждения клубней	%	протокол испытаний	3,71	3,49
16	Годовой объем работ, выполненный уборочной машины (расчетный)	га	нормативно-справочные материалы	24	24

Балансовая стоимость энергетического средства определяется:

$$B_{tr} = P_{tr} \times K_p, \quad (1)$$

Где B_{tr} – балансовая стоимость энергетического средства, руб.; P_{tr} – заводская стоимость энергетического средства, руб.

Принимаем для МТЗ Беларус-1221 - $P_{tr} = 2590000$ руб.

K_p – коэффициент, учитывающий издержки на доставку машины в хозяйство при покупке.

Принимаем $K_p = 1,15$ [66].

$$B_{tr} = 2090000 \times 1,15 = 2403500 \text{ руб.}$$

Балансовая стоимость с.-х. машины определяется:

$$B_{схС,М} = P_{схС,М} \times K_p, \quad (2)$$

Где $B_{схС,М}$ – балансовая стоимость с.-х. машины, руб.; $P_{схС,М}$ – заводская стоимость с.-х. машины, руб.

Принимаем для ККР-2 - $P_{схС} = 2714888$ руб., для ККР-2М - $P_{схМ} = 2787944$ руб.

K_p – коэффициент, учитывающий издержки на доставку машины в хозяйство при покупке.

Принимаем $K_p = 1,15$ [66].

$$B_{схС} = 2714888 \times 1,15 = 3122121 \text{ руб.}$$

$$B_{схМ} = 28837944 \times 1,15 = 3206136 \text{ руб.}$$

Производительность (сменная) за 1 час основного рабочего времени для картофелеуборочных агрегатов равна:

$$W_{С,М} = 0,1 \times V_{С,М} \times B_p \times \tau_{С,М}, \quad (3)$$

где $W_{С,М}$ – производительность за 1 час основного рабочего времени, га/ч;

$V_{С,М}$ – рабочая скорость движения уборочного агрегата, км/ч.

продолжение приложения Г

Принимаем, по результатам хозяйственных испытаний, $V_{С,М}$: для ККР-2 - V_C = 3,8 км/ч, для ККР-2-М - V_M = 3,8 км/ч.

B_p – рабочая ширина захвата с.-х. машины, м.

Принимаем B_p : для ККР-2, ККР-2М – 1,5 м.

$\tau_{С,М}$ – коэффициент использования времени смены.

Коэффициент использования времени смены определяется из следующего выражения

$$\tau_{С,М} = \frac{T_{СМ}}{T_{СМ} + T_{ТО} + T_H + T_O + T_X}, \quad (4)$$

где $T_{СМ}$ – время смены, ч; $T_{ТО}$ – время технического обслуживания, ч; T_H – время простоя из-за технических неполадок, ч; T_O – продолжительность остановок по технологическим причинам, ч; T_X – время на повороты и холостые заезды, ч.

Принимаем, по результатам хозяйственных испытаний, $T_{ТО} + T_H + T_O + T_X$ для ККР-2 – 1,54 ч, для ККР-2М – 1,54 ч. Как показали проведенные сравнительные полевые испытания картофелеуборочных комбайнов, значение коэффициента времени смены τ зависит в значительной степени от величины T_O , т.е. от времени технологических остановок.

Принимаем время смены для серийного и модернизированного варианта $T_{СМ} = 7$ часов.

В нашем случае технологические остановки происходили в основном из-за налипания почвы на каток.

$$\tau_C = \frac{7}{7+1,54} = 0,82; \quad \tau_M = \frac{7}{7+1,54} = 0,82$$

$$W_C = 0,1 \times 3,8 \times 1,5 \times 0,82 = 0,46 \text{ га/ч}$$

$$W_M = 0,1 \times 3,8 \times 1,5 \times 0,82 = 0,46, \text{га/ч}$$

Величина оплаты труда механизаторов за единицу объема работ определяется:

окончание приложения Г

$$Z_M = \frac{C_{\text{ТАРМ}} \times N_M}{W}, \quad (5)$$

где $C_{\text{ТАРМ}}$ – тарифная ставка механизатора 5 разряда, руб./ч; N_M – число механизаторов, чел.

$$Z_{\text{МС}} = \frac{136,92 \times 1}{0,46} = 297,65 \text{ руб./ч}$$

$$Z_{\text{ММ}} = \frac{136,92 \times 1}{0,46} = 297,65 \text{ руб./ч}$$

Величина оплаты труда вспомогательных рабочих за выполнение 1 единицы объема работ определяется:

$$Z_{\text{ВП}} = \frac{C_{\text{ТАРВП}} \times N_{\text{ВП}}}{W} \quad (6)$$

$C_{\text{ТАРВП}}$ – тарифная ставка вспомогательных рабочих, руб./ч;

$N_{\text{ВП}}$ – число вспомогательных рабочих, чел.

$$Z_{\text{ВПС}} = \frac{109,58 \times 2}{0,46} = 476,43 \text{ руб./ч}$$

$$Z_{\text{ВПМ}} = \frac{109,58 \times 1}{0,46} = 238,22 \text{ руб./ч}$$

Удельные капиталовложения в расчете на 1 единицу объема работы равны:

$$K_y = \frac{B_{tr}}{T_{1..N} \cdot W_{1..N}} + \frac{B_{сх}}{T_{1..N} \cdot W_{1..N}} \quad (7)$$

$$K_{\text{УС}} = \frac{2403500}{1200 \cdot 0,46} + \frac{3122121}{200 \cdot 0,46} = 38290,27 \text{ руб./га}$$

$$K_{\text{УМ}} = \frac{2403500}{1200 \cdot 0,46} + \frac{3206136}{200 \cdot 0,46} = 39203,47 \text{ руб./га}$$