

40.729.1
8-81

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



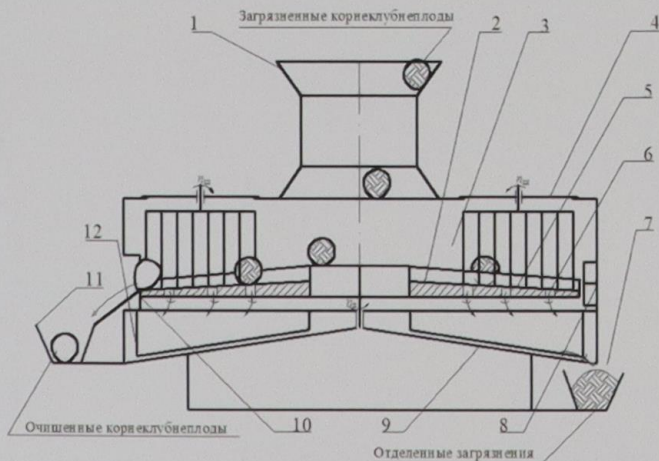
ZHANGIR KHAN
UNIVERSITY

ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКИЙ АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ЖАНГИР ХАНА

М.К. Дусенов

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ ЖИВОТНЫМ

МОНОГРАФИЯ



Уральск
2025

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



**Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет имени Жангир хана**

М. К. Дусенов

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ
ЖИВОТНЫМ**

МОНОГРАФИЯ

**Уральск
2025**

УДК 631.362.334: 631.363.2

ББК: 40.729.1

Д84

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Рекомендовано к изданию Ученым советом Западно-Казахстанского
аграрно-технического университета имени Жангир хана
(протокол №6 от 31.01.2025 г.)**

Рецензенты: Айтиалиев Е.С., доктор технических наук, профессор Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана
Омаров А.Н., PhD, и.о. доцента Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета

Дусенов М.К.

Д84 Устройство для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию животным : монография / М.К. Дусенов. – Уральск: ЗКАТУ имени Жангир хана, 2023. - 123 с.

ISBN 978-601-319-568-1

В монографии изложены результаты исследований по поиску и изучению устройств для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию животным, приведены конструкции современных устройств по очистке от загрязнений и измельчению корнеклубнеплодов. Проведен анализ устройств по очистке корнеклубнеплодов от загрязнений с их недостатками и преимуществами, а также пути их усовершенствования. Обоснован и разработан очиститель корнеклубнеплодов от загрязнений работающий на безводном принципе. Рассмотрена конструктивная схема измельчителя корнеклубнеплодов основанная на двухпорном измельчении продукта. Безводная очистка корнеклубнеплодов от загрязнений позволит снизить расход воды при приготовлении кормов и невозвратные потери плодородного слоя почвы, а также загрязнение окружающей среды. Применение устройств с двухпорным измельчением позволит снизить обильное соковыделение при воздействии рабочих органов на корнеклубнеплоды.

Предназначена студентам, магистрантам и докторантам агроинженерного направления занимающихся вопросами разработки и совершенствования сельскохозяйственной техники.

УДК 631.362.334: 631.363.2

ББК: 40.729.1

ISBN 978-601-319-568-1

© М.К. Дусенов, 2025

©НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Анализ устройств по очистке и измельчению корнеклубнеплодов.....	6
1.1 Исследования процесса подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию животным	6
1.2 Обзор существующих средств и способов сухой очистки корнеклубнеплодов	9
1.3 Исследование средств и способов механизации процесса сухой очистки корнеклубнеплодов	15
1.4 Выбор перспективного направления в разработке устройств для сухой очистки корнеклубнеплодов	23
1.5 Устройства для измельчения корнеклубнеплодов	25
Глава 2. Разработка устройств для приготовления корнеклубнеплодов к скармливанию животным	30
2.1 Анализ и обоснование рациональной схемы устройства по приготовлению корнеклубнеплодов к скармливанию.....	30
2.2 Разработка конструктивного расположения рабочих органов устройств по приготовлению корнеклубнеплодов к скармливанию	35
2.3 Взаимодействие рабочих органов с корнеклубнеплодом	37
2.4 Кинематика и динамика корнеклубнеплода в зоне воздействия рабочих органов	44
2.5 Кинематические параметры роторной щетки	56
2.6 Технологические параметры роторно-щеточного устройства	63
Глава 3. Планирование и методика проведения экспериментальных исследований устройства для очистки корнеклубнеплодов	66
3.1 Выбор критерия оптимизации процесса очистки корнеклубнеплодов.....	66
3.2 Определение факторов	67
3.3 Методика экспериментальных исследований	70
Глава 4. Анализ математической модели технологического процесса очистки корнеклубнеплодов	75
4.1 Отличительные особенности физико-механических свойств при очистке корнеклубнеплодов от загрязнений	75
4.2 Эффективность технологического процесса от конструктивно- режимных параметров устройства	89
4.3 Математическая модель технологического процесса устройства	92
4.4 Сходимость теоретических и экспериментальных исследований	99
Глава 5. Эффективность использования роторно-щеточного устройства при приготовлении кормов	104
5.1 Техническая спецификация роторно-щеточного устройства	104
5.2 Методика определения эффективности применения устройства	107
Выводы.....	112
Список использованной литературы	113

ВВЕДЕНИЕ

Развитие животноводства — одна из важных стратегических направлений, направленное на развитие экономики страны и благополучие населения. Животноводство поставляет населению продукты питания, а промышленности сырье. Одним из направлений по устойчивому развитию животноводства является создание, поддержание и улучшение кормовой базы. Себестоимость кормов влияет на конечную цену продукции животноводства. В себестоимость кормов входят затраты на заготовку, хранение, переработку и раздачу кормов животным. И одним из путей снижения себестоимости кормов является минимизация энергозатрат на приготовление кормов [1,2]. При этом необходимо соблюдать полноценность кормов, качество приготовления и рациональное использование.

В качестве полноценности кормов используют сочные корма — корнеклубнеплоды, так как они обладают многими питательными веществами и молокогонными свойствами. Корнеклубнеплоды в основном хранятся на открытом воздухе в кагатах и перед скармливанием завозятся в кормоцехах, очищаются от загрязнений и измельчаются.

При подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию животным возникают две проблемы. Первая проблема загрязненные корнеклубнеплоды. За счет адгезионных сил зацепления почва с растительными остатками прилипают к поверхности корнеклубнеплода, тем самым создавая загрязнения. По зоотехническим требованиям загрязненные корнеклубнеплоды перед скармливанием должны быть очищены от загрязнений в виде почвы с растительными остатками. Когда корнеклубнеплоды поступают с поля их первоначальная загрязненность составляет 7...30%, а по зоотехническим требованиям для скармливания животным допускается 2% [3, 4]. При закладке на хранение загрязненных корнеклубнеплодов, при плохой аэрации и вследствие жизнедеятельности микроорганизмов, возникает поражение и гниение продукта. Для решения проблемы по уменьшению загрязненности корнеклубнеплодов перед скармливанием и закладкой на хранение необходимо проводить их предварительную очистку от загрязнений в виде связанной почвы с растительными остатками.

Существует два вида очистки корнеклубнеплодов от загрязнений: водный и безводный. Водный способ сопровождается большим расходом воды, нарушением экологии и большой трудоемкостью процесса очистки. Для очистки загрязненных корнеклубнеплодов устройствами на безводном принципе проблемы, связанные применением воды (подвод и отвод, подогрев воды, канализация и т.д.), отпадают [5, 6].

В устройствах, работающих на безводном принципе, также наблюдаются недостатки, такие как накручивание остатков растительности на рабочих органах, наличие между очищающими элементами чужородных

инертных материалов и повреждение рабочими элементами поверхности корнеклубнеплодов, что приводит к снижению качества очистки.

Вторая проблема это измельчение промерзших корнеклубнеплодов. В зимний период при довольно низких температурах, из-за большого содержания влаги наблюдается промерзание корнеклубнеплодов, что вызывает трудности при их измельчении. Решением данной проблемы будет размораживание промерзших корнеклубнеплодов, что удлиняет время подготовки, так как промерзшие корма могут вызвать заболевания животных. Также одним из решений данной проблемы может быть измельчение промерзших корнеклубнеплодов, так как измельченные частицы быстрее оттаивают, что уменьшает время подготовки. Измельчение промерзших корнеклубнеплодов вызывает перекачивание, заклинивание в рабочей зоне, смятие и энергетические затраты на измельчение [7, 8].

Для решения вышеуказанных проблем необходимо разработать новое эффективное устройство для безводной очистки загрязненных и измельчению замерзших корнеклубнеплодов.

В данной работе представлена разработка перспективных устройств по сухой очистке и измельчению корнеклубнеплодов в хозяйствах по выращиванию крупного рогатого скота. Представленная информация позволит правильно выбрать устройства для приготовления кормов, а также оценить эффективности их использования при производстве животноводческой продукции.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ПО ОЧИСТКЕ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЮ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

1.1 Исследования процесса подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию животным

Корнеклубнеплоды – ценный молокогонный корм. Особенно необходимы они для коров в зимнее время, когда в рационе отсутствует свежая зеленная трава. Корнеклубнеплоды богаты витамином С, обладают молокогонным действием и благоприятно влияют на перевариваемость и усвояемость питательных веществ сухих кормов в зимних рационах, богатых сухими веществами, белком и зольными элементами. Органическое вещество корнеклубнеплодов переваривается на 85...95%.

Корнеклубнеплоды по своему составу состоят из углеводов, пектиновых веществ и клетчатки (табл. 1.1) [8].

Таблица 1.1 – Содержание питательных веществ в корнеклубнеплодах

Корма	В 1 кг корма содержится				
	корм. ед.	перевар. протеина, г	сахара, г	кальция, г	фосфора, г
Кормовая свекла	0,12	9	50	0,4	0,4
Сахарная свекла	0,24	14	180	0,5	0,5
Картофель	0,31	15	8	0,2	0,9
Морковь	0,14	10	50	0,6	0,3

Корнеклубнеплоды улучшает вкусовые качества кормосмеси и ее скармливают в зависимости от рациона и группы животных. Но особенно важно давать этот корм новотельным и высокопродуктивным коровам.

При скармливании корнеклубнеплодов в сыром виде животным следует давать сено, мякину, соломенную сечку, белковые корма и минеральную подкормку.

Влажная кормовая смесь (монорацион) – это однородная высокопитательная смесь нескольких видов кормов, обогащенных минерально-витаминными добавками, полностью удовлетворяющая физиологические потребности животных. Для получения полноценных смесей обычно используют многие виды кормов и добавок: сено, сенаж, солому, концентраты, корнеклубнеплоды, жом, зеленные корма искусственной сушки, белковые и минерально-витаминные добавки.

Влажные кормовые смеси, приготовленные на основе сенажа, силоса, корнеклубнеплодов и других сочных кормов, хранению в условиях животноводческих помещений, практически не подлежат. Рыхлая масса, не обработанная химическими консервантами, в течение нескольких часов разогревается в результате резкой активизации жизнедеятельности

различных аэробных микроорганизмов, в том числе плесневых грибов. Поэтому максимальный срок хранения влажных кормовых смесей при температуре 10...15⁰С и выше не должен превышать 5...6 часов после их приготовления.

Проблема очистки корнеклубнеплодов от почвы и других примесей возникла со времён создания механизированных средств уборки урожая [9,10].

Рабочие органы кормоуборочных машин и очистительных устройств для очистки корнеклубнеплодов от почвы при уборке на влажных почвах и засоренных полях имеют низкую почвоотделяющую способность, а также повреждают значительное количество корнеклубнеплодов (от 1,3 до 12%), которые при длительном хранении сгнивают и заражают гнилью здоровые корнеклубнеплоды [11, 12].

К выполнению технологического процесса очистки корнеклубнеплодов от почвы при механизированной уборке предъявляются следующие требования: процесс должен осуществляться с минимальными потерями мелких корнеклубнеплодов и их отбитых частей; минимальным количеством поврежденных корнеклубнеплодов при воздействии рабочих органов; высокая производительность при полноте отделения загрязнений 97...99%; высокое качество очистки и малой энергоемкость; отсутствие залипаемости и забиваемости в условиях работы с влажной почвой рабочих органов.

Особенностью корнеклубнеплодов по отношению к другим кормам, является то, что расположение их над поверхностью почвы значительно отличается от других, и возделываются они на участках повышенной влажности, имеющих повышенную засоренность растительностью [13].

Наличие на корнеклубнеплодах неровностей, отростков и мелких корешков предопределяет наличие прилипшей на их поверхности почвы и растительных остатков. Степень же загрязнения ими зависит от влажности, структуры почвы, сроков и способов уборки.

Помимо слипшейся с поверхностью корнеклубнеплодов почвы, в буртах корнеклубнеплодов могут находиться примеси в виде комков почвы, камней, ботвы, металлических предметов и т. д.

Если примеси можно отделить различными сепарирующими устройствами (рис. 1.1), то отделение прилипшей почвы представляет определенную трудность.

Процесс отделения слипшейся почвы от корнеклубнеплодов и очистительные устройства для его осуществления, в основном, изучены применительно к машинам для первичной очистки во время их уборки и в погрузочно-разгрузочных устройствах [14, 15].

Так как очистка корнеклубнеплодов осуществляется воздействием какого-либо очистительного органа силой, превышающей связи почвы с поверхностью корнеклубнеплода, то вышеуказанные машины из-за

требований минимума повреждений не обеспечивают качественную очистку. Поэтому корнеклубнеплоды перед скормливанием обязательно подвергают повторной очистке.

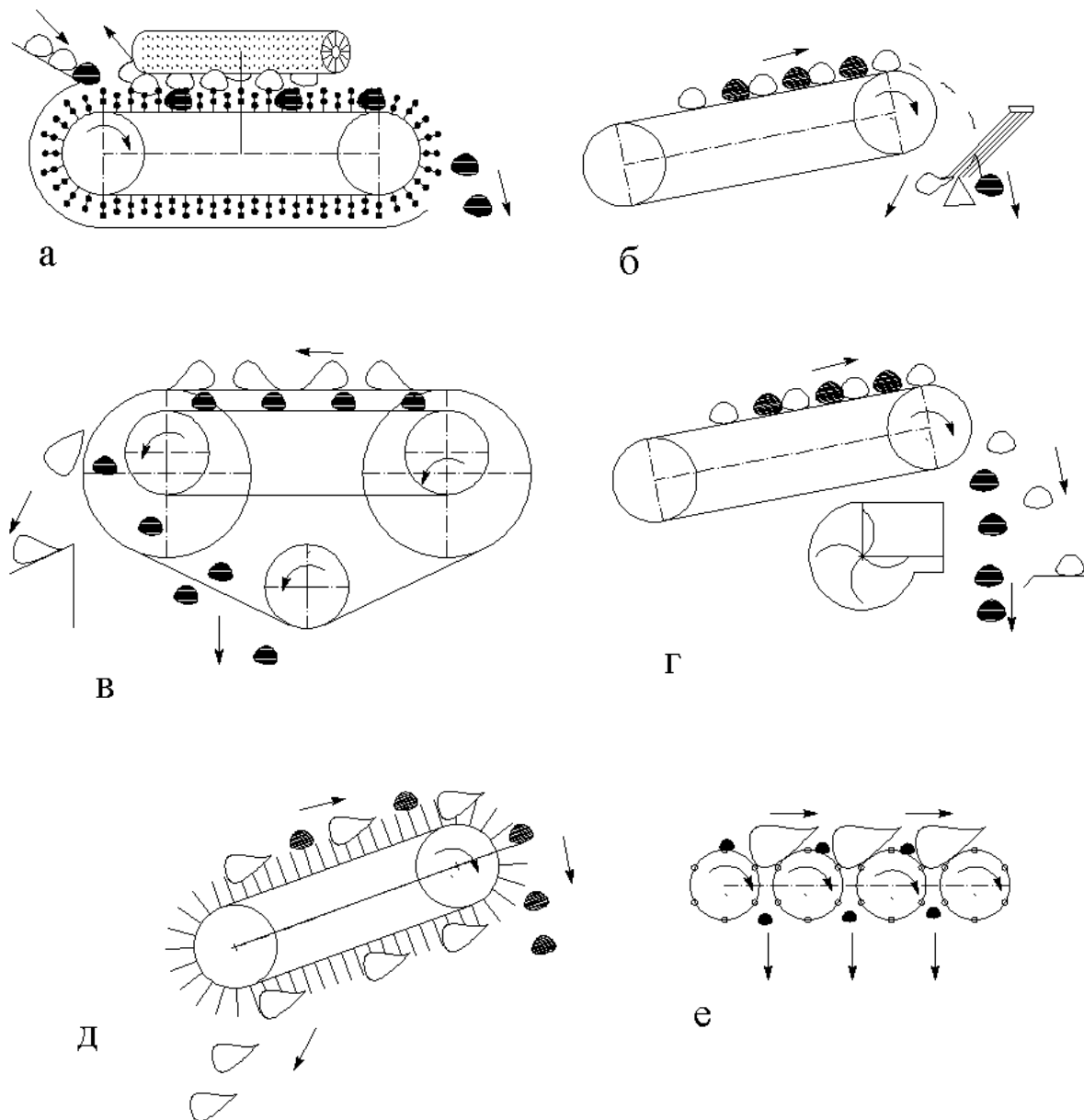


Рисунок 1.1 – Устройства для отделения примесей: а – транспортерно-щеточный; б – с отражательным экраном; в – ячеистый двухконтурный; г – пневматический; д – игольчатый; е – роликовый

В настоящее время в нашей стране и за рубежом ведутся изыскания по разработке новых технологий и технических средств механизации сухой очистки корнеклубнеплодов [16-23].

К машинам для очистки корнеклубнеплодов предъявляются следующие требования [24 - 26]:

- машина должна быть универсальной, т. е. обрабатывать любые виды корнеклубнеплодов;
- качество очистки при любой начальной загрязненности корнеклубнеплодов должно быть высоким, при котором остаточная загрязненность не должна превышать 3 %;
- потери корма в процессе очистки не должны превышать 1 %;
- часовая производительность устройства должна соответствовать применяемым в комплексе машинам.

1.2 Обзор существующих средств и способов сухой очистки корнеклубнеплодов

Во многих странах много внимания уделяется изучению механической сухой очистки корнеклубнеплодов, созданию и совершенствованию устройств, работающих на безводном принципе.

В странах СНГ большое распространение получили очистительные устройства корнеклубнеплодов как в кормоприготовительных комплексах, так и автономно.

Так, в ВИЭСХе разработан и изготовлен барабанный очиститель корнеклубнеплодов с щеточным рабочим органом (рис. 1.2).

Загрязненные корнеклубнеплоды из загрузочного бункера 3 поступают в рабочее пространство, образованное эксцентрично установленной щеткой 2 и спиральной обрешеткой барабана 4. Вращающаяся щетка 2, воздействуя ворсинами на слипшуюся почву, обеспечивает их отделение от поверхности корнеклубнеплода. Вращение барабана 4 и ее наклонное расположение способствует продвижению корнеклубнеплодов к выгрузному лотку 5. Направления вращений щетки 2 и барабана 4 очистителя не совпадают

Работоспособность данной машины, по проведенным испытаниям признана хорошей. Так, при очистке корнеклубнеплодов с начальной загрязненностью в 12,5% эффективность очистки составила 97,7% и потери массы при этом не превышало 0,38%.

Недостатком очистителя является то, что продвижение корнеклубнеплодов в нем осуществляется за счет подпора поступающей из бункера порций продукта, что и предопределяет повышенную энергоемкость рабочего процесса (0,4...0,6 кВт·ч/т) [27].

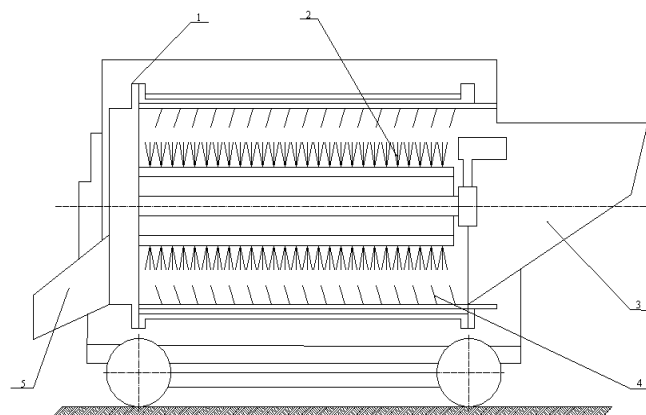


Рисунок 1.2 – Барабанно-щеточный очиститель (ВИЭСХ): 1 – барабан; 2 – щетка; 3 – загрузочный бункер; 4 – спиральная обрешетка; 5 – выгрузной лоток

Аналогичная конструкция барабанно-щеточного очистителя создана в СибНИИСХозе (рис. 1.3). В отличие от предыдущей машины направления вращений щетки 3 и барабана 2 совпадают, и она дополнительно оборудована винтовым конвейером 5 для отвода сметенной почвы.

За счет разности скоростей барабана и щетки, корнеклубнеплод непрерывно поворачивается, что способствует ее повсеместной очистке щеткой 3. Общими недостатками машин данной конструкции являются то, что в процессе очистки их барабанные грохоты забиваются растительными остатками и некачественная очистка рельефных корней. Из-за длинного ворса щеток, воздействия на загрязнения происходит боковой поверхностью, что не способствует очистке почвы из углублений и неровностей на поверхности корнеклубнеплода.

В УНИИМЭСХе была разработана вибрационная машина для сухой очистки [23]. Она характеризуется следующими основными параметрами режима работы (частота вращения до $6,66 \text{ с}^{-1}$, амплитуда до 50мм, угол направления возвратно-поступательных колебаний стола к вертикали -15°) (рис. 1.4).

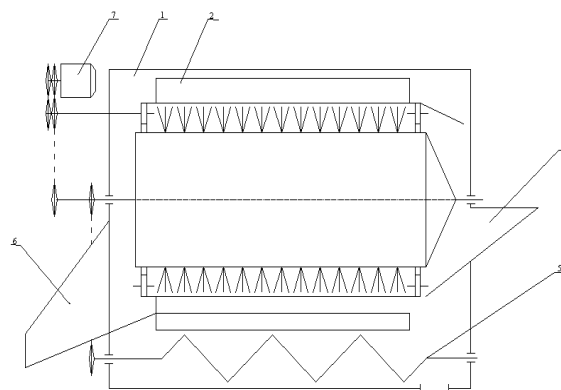


Рисунок 1.3 – Устройство для очистки корнеклубнеплодов (СибНИИСХоз): 1 – кожух; 2 – решетка; 3 – щетка; 4 – загрузочный бункер; 5 – винтовой конвейер; 6 – выгрузной лоток; 7 – привод

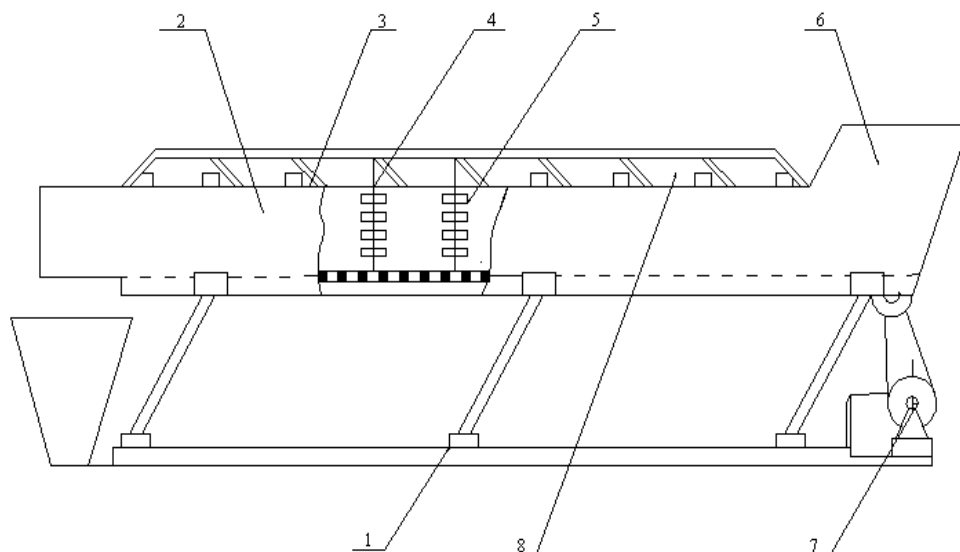


Рисунок 1.4 – Вибрационный очиститель корнеклубнеплодов (УНИМЭСХ): 1 – рама; 2 – виброжелоб; 3 – поддон; 4 – стержень; 5 – упругие элементы; 6 – загрузочный бункер; 7 – привод; 8 – каркас

Эффективность очистки вибрационной машины составляет в среднем 33% и наибольшая начальная загрязненность корнеклубнеплодов, при которой обеспечивается качество очистки, соответствующее зоотехническим требованиям, составляет до 4% [24].

Известно устройство состоящего из горизонтального диска и решетчатых ограждений [25]. Ограждения выполнены в виде секций, каждая из которых располагается на своей вертикальной оси, закрепленной на раме с радиальным смещением относительно центра диска. Эффективность очистки достигается тем, что каждая секция решетчатого ограждения выполнена поворотной вокруг своей оси и связана с приводом посредством механизма для горизонтальных колебаний секций на этой оси (рис. 1.5).

Рабочий процесс протекает следующим образом. В цилиндр транспортером на вращающийся диск непрерывно подаются корнеклубнеплоды. Под действием центробежной силы и горизонтальных колебаний секции происходит интенсивное перемешивание и трения продукта на одной секции, в последующей секции рабочий процесс повторяется заново.

Недостатком данного устройства является низкое качество разделения смеси из-за значительного колебания размеров компонентов и различия упругих свойств.

По результатам проведенных исследований о возможности использования ротационного сепаратора для очистки корнеклубнеплодов было предложен сепаратор для очистки корнеклубнеплодов (рис. 1.6) [22-24].

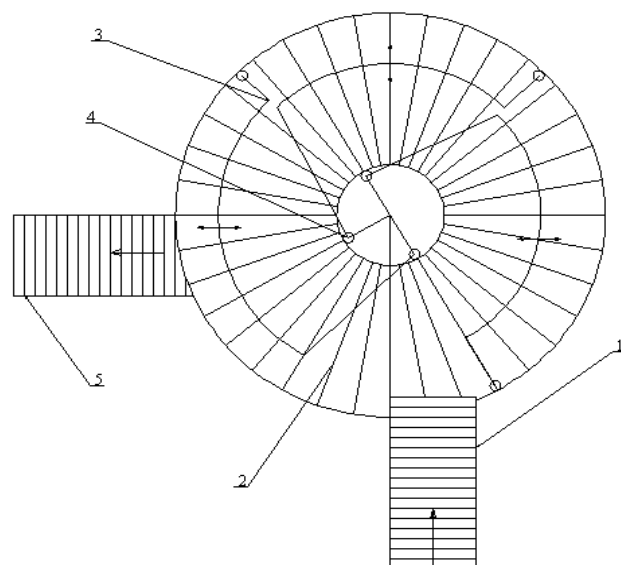


Рисунок 1.5 – Устройство для отделения примесей: 1 – падающий транспортёр; 2 – горизонтальный решетчатый диск; 3 – поворотные секции; 4 – колебательный механизм; 5 – выгрузной транспортёр

Очистительный орган в данном сепараторе выполнен в виде панелей из валов с укрепленными на них сепарирующими дисками. Одноименные точки смежных лопастей соседних дисков расположены по многозаходной винтовой линии. За счет активного воздействия кулачков, частичного перемещения и рассредоточения корнеклубнеплодов по ширине сепаратора происходит отделение примесей.

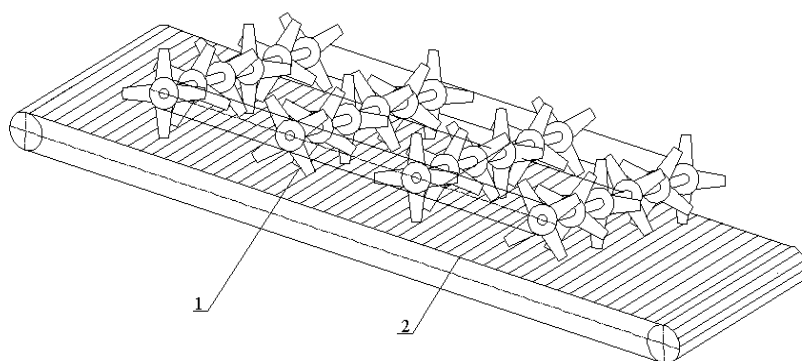


Рисунок 1.6 – Ротационный сепаратор для очистки кормовых корнеклубнеплодов: 1 – сепарирующие диски; 2 – транспортирующий орган

Преимуществом машины данной конструкции является хорошее отделение свободных примесей и особенно ботвы. Повреждаемость и неспособность очищать загрязнения из углублений и неровностей является существенными недостатками очистителя.

Создано устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей [26]. Очистка в нем производится эластичной бесконечной лентой, которые за счет встречного движения относительно корнеклубнеплодов, подвергают их очистке (рис. 1.7).

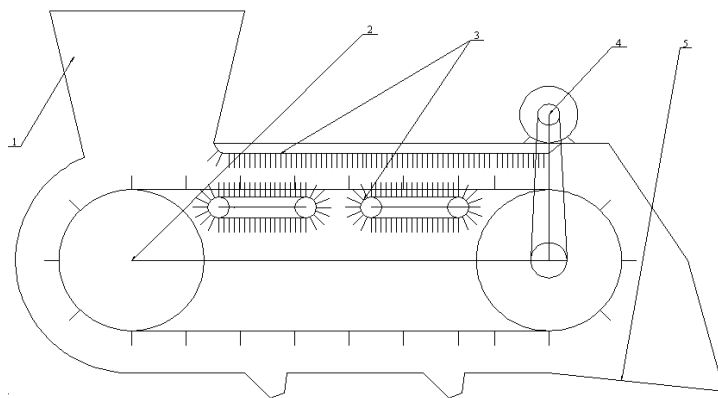


Рисунок 1.7 – Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей :
1 – загрузочный бункер; 2 – тяговый механизм; 3 – эластичная лента; 4 – приводной механизм 5 – выгрузной лоток

Важным преимуществом очистителя данной конструкции является то, что в машине совмещены операции транспортировки и очистки, что делает ее компактной и удобной для использования в линиях приготовления кормоцехов. Недостатком является то, что рабочие органы эластичной ленты забиваются растительными остатками, некачественно очищают загрязнения из ямок и неровностей на поверхности корнеклубнеплода. К тому же, при очистке почвы повышенной влажности (более 24%) эффективность очистки резко снижается [24].

Из зарубежных конструкций очистителей корнеклубнеплодов можно отметить машину «F-160» (рис. 1.8) [17].

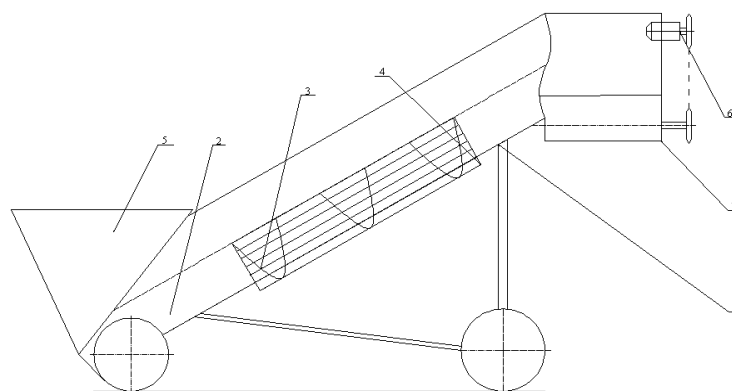


Рисунок 1.8 – Машина для очистки корнеклубнеплодов (F – 160): 1 – рама; 2 – кожух; 3 – транспортирующий орган; 4 – очистительная решетка; 5 – загрузочный бункер; 6 – привод; 7 – выгрузная горловина

Рабочий процесс ее заключается в следующем. Корнеклубнеплоды из бункера 6 транспортирующим органом 3 продвигаются вверх и они, проходя по планкам 4, очищаются ими. Обладая высокой производительностью, машина неработоспособна при высокой влажности слипшейся почвы и при большом загрязнении корнеклубнеплодов.

На рисунке 1.9 показан очиститель корнеклубнеплодов от налипшей почвы. Корнеклубнеплоды попадают в межваликовые промежутки под батарею колец 2. Прижимаемые кольцами, имеющими свободу перемещения в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости щеток, корнеклубнеплоды деформируются. Налипшая почва при этом разрушается, щетки и кольца легко удаляют ее с поверхности объекта. Недостатками этого изобретения является большая повреждаемость корнеклубнеплодов и остаток загрязнений между корешками [24].

Наиболее перспективным из разработанных в настоящее время очистителей является машина конструкции НИИСХ Северо-Восток, МСОК-10 и МСОК-18 на базе машины ИКУ-Ф-10 (рис. 1.10) [27].

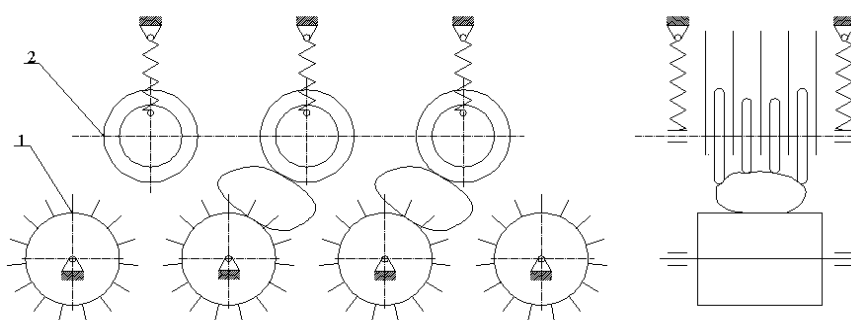


Рисунок 1.9 – Очиститель корнеклубнеплодов от налипшей почвы: 1 – щетки; 2 – батарея колец

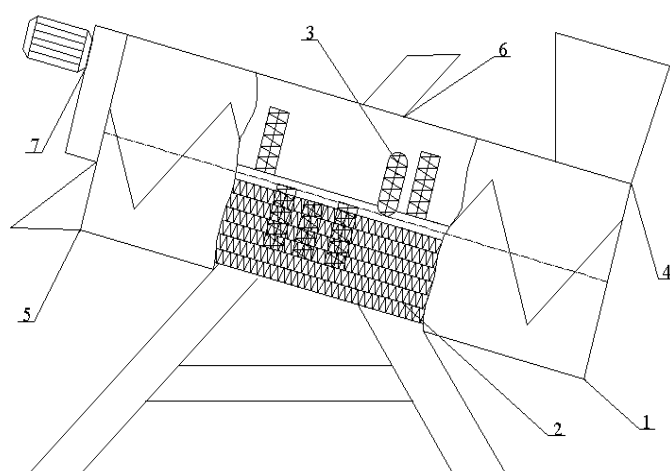


Рисунок 1.12 – Машина для очистки корнеклубнеплодов МСОК (НИИСХ Северо-Восток): 1 – кожух; 2 – ошетиленные валки; 3 – транспортирующий орган; 4 – загрузочный бункер; 5 – выгрузной лоток; 6 – рама; 7 – привод

Рабочий процесс заключается в следующем. Корнеклубнеплоды из загрузочного бункера 4 шнековым конвейером 3 перемещаются по желобу, образованному вращающимися общетиненными валками. Валки 2, воздействуя ворсинами, счищают слипшуюся почву.

Машина обеспечивает хорошую степень очистки загрязнений, но ее существенным недостатком является неспособность отделять примеси. По данным остаточная загрязненность при влажности до 30 % и загрязненности до 24 % составляет менее 3 %, а потери не превышают 4,3 % [24]. Недостатком машины является неспособность отделять камни и мелкие включения размером более 25х25х30 мм, повышенная энергоемкость процесса очистки (0,7...0,8 кВт·ч/т).

1.3 Исследование средств и способов механизации процесса сухой очистки корнеклубнеплодов

Многие типовые технологические схемы кормоцехов имеют мойку-измельчитель корнеклубнеплодов при подготовке их к скармливанию. Но учитывая то, что в последние годы многокомпонентные смеси в подавляющем большинстве случаев не готовят, зоотехническая служба рекомендует после очистки выдавать корнеклубнеплоды в неизмельченном виде, так как при этом не теряется клеточный сок—основной компонент этого корма. В связи с этим технологическая линия приготовления кормов может использоваться как с измельчителем, так и без него.

Специалисты Северо-Западного НИИМЭСХ разработали технологическую линию приема, мойки и измельчения корнеклубнеплодов [28]. Она представляет собой комплект стационарного оборудования и состоит из питателя, мойки-камнеуловителя и измельчителя корнеклубнеплодов (рис. 1.11). Питатель обеспечивает прием корнеклубнеплодов от загрузочных устройств и равномерную подачу их в мойку-камнеуловитель. Его верхнее днище выполнено решетчатым из прутков, что позволяет отделять от корнеклубнеплодов до 12% «свободной» почвы.

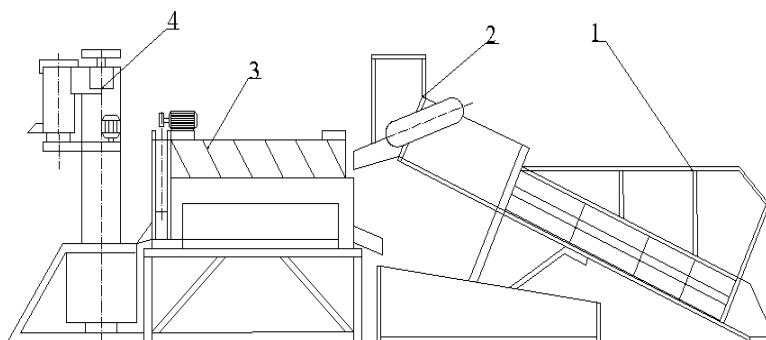


Рисунок 1.11 – Технологическая схема линии приема, мойки и измельчения корнеклубнеплодов: 1 – питатель-очиститель корнеклубнеплодов; 2 – шкаф управления; 3 – мойка-камнеуловитель; 4 – измельчитель

Основная машина линии—мойка-камнеуловитель, в которой для полного отделения камней от корнеклубнеплодов используется различие их физико—механических свойств (в частности, плотности). По конструкции —это водяная ванна объемом 1 м³ с вращающимся перфорированным барабаном. Мойка—камнеуловитель обеспечивает очистку корнеклубнеплодов до 2%-й остаточной загрязненности (при исходной загрязненности до 30% и более).

Недостатком в данной схеме является применение для сухой очистки корнеклубнеплодов пруткового очистителя, который обладает низкой почвоотделяющей способностью и повреждаемостью продукта [43].

Рассмотрим, какие машины применяют в линиях кормоцехов для очистки корнеклубнеплодов на безводном принципе.

В Курганском сельскохозяйственном институте разработана машина для сухой очистки корнеклубнеплодов в кормоприготовительных комплексах (рис. 1.12) [29]. По конструкции — это бункер с вращающимися щеточными барабанами. В начале камеры корнеклубнеплоды за счет разности скоростей нижних щеточных барабанов приобретают хаотическое вращение. Встречаясь с верхними щеточными барабанами, вращающимися с иной частотой и в ином направлении, корнеклубнеплоды изменяют направление вращения. В результате обеспечивается активный динамический контакт поверхности корнеклубнеплодов с барабанами, благодаря чему очищается налипшая почва и другие загрязнения.

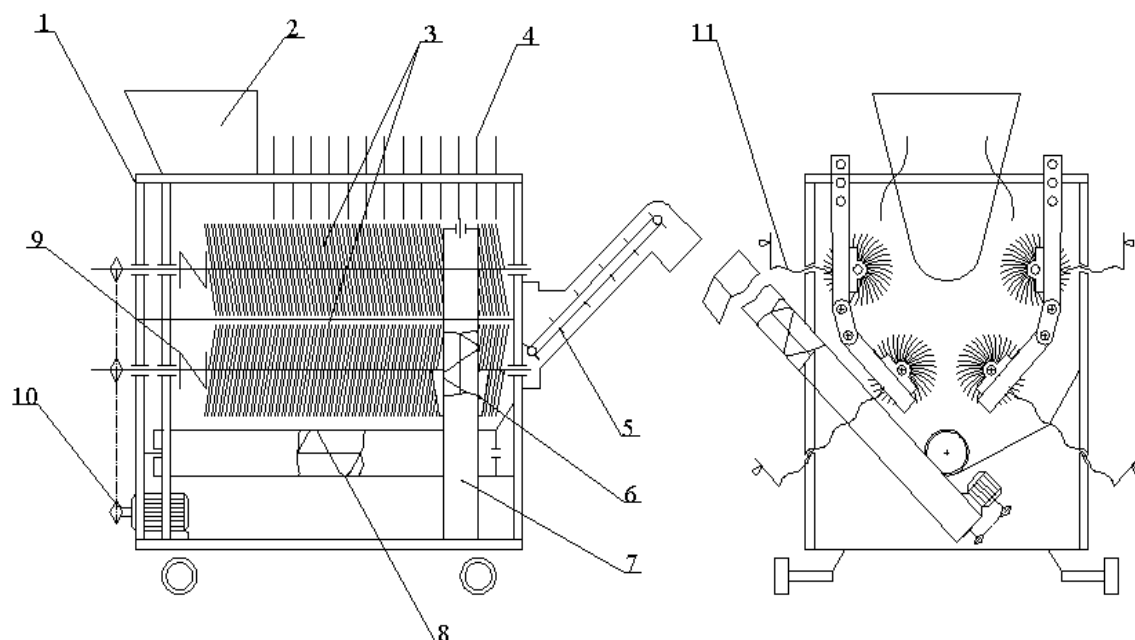


Рисунок 1.12 – Щеточный очиститель корнеклубнеплодов: 1 – рама; 2 – загрузочный бункер; 3 – щеточные барабаны; 4 – отражатели; 5 – выгрузной транспортер; 6 – лоток; 7,8 – шнеки; 9 – муфта; 10 – механизм привода; 11 – регулировочный механизм

Для безводной очистки сахарной свеклы на сахарных заводах, а также для очистки корнеклубнеплодов в кормоцехах животноводческих ферм разработана очистительная машина (рис. 1.13) [30].

Очистительная машина представляет собой полуцилиндр, внутри которой вращаются ошетиенные вальцы. Вдоль его оси установлен транспортирующий шнек, представляющий собой вал с приваренными к нему по винтовой линии металлическими стержнями. На стержни надеты синусоидальные щетки. Разделение компонентов происходит по различию физико-механических свойств (в частности, коэффициента трения).

Достоинством сухой очистки корнеклубнеплодов то, что: нет чрезмерного расхода воды, порчи корнеклубнеплода, потери и снижение качества кормов. Также необходимо подчеркнуть, что приготовленные в процессе сухой очистки корнеклубнеплоды пригодны к длительному хранению, не теряют свежести и качества.

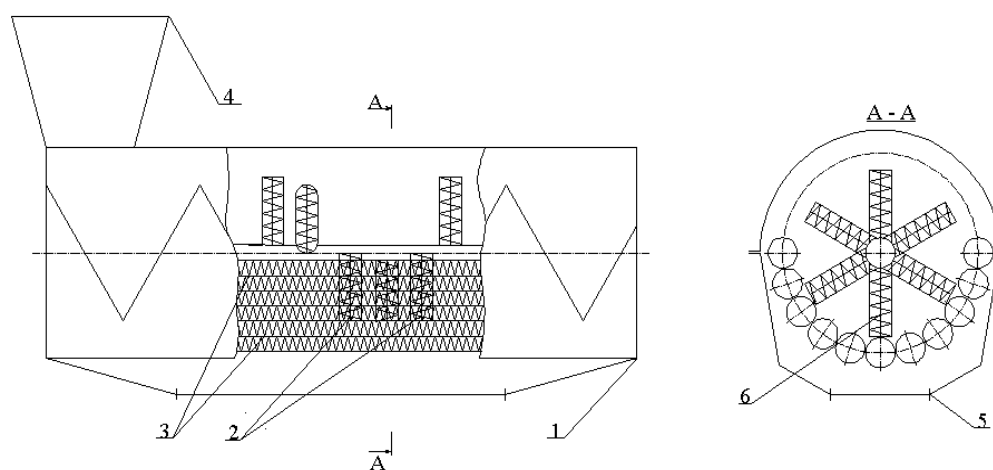


Рисунок 1.13 – Очистительная машина: 1 – кожух; 2 – щетки; 3 – вальцы; 4 – загрузочная горловина; 5 – выгрузное окно; 6 – шнек

Исследования существующих конструкций очистителей и способов очистки корнеклубнеплодов от загрязнений позволяет нам сравнивать их по основным техническим показателям (табл. 1.2).

Для очистки корнеклубнеплодов от загрязнений существует множество устройств различных конструкций. Такие устройства имеются в сельскохозяйственном машиностроении и пищевой промышленности, применяются в кормоуборочной технике, кормоприготовительных комплексах и овощехранилищах при закладке корнеклубнеплодов на хранение. Вопросами, связанными с очисткой корнеклубнеплодов от загрязнений, занимались отечественные ученые В.П. Горячкин, В.Н. Синявский, Н.Г. Соминич, С.А. Герасимов, М.Е. Мацепуро, В.Г. Коба, зарубежные ученые А. Роберт, Х. Пиркельман, Ф. Нейман, А. Вебер, М. О'Брайн, У. Риз, Р. Феллер, А. Шпехт и др. [30 – 35].

Таблица 1.2 – Технические показатели машин для сухой очистки корнеклубнеплодов

№	Тип машины	Остаточная загрязненность, %	Удельная энергоёмкость, кВт·ч/т	Повреждаемость, %
1	Барабанно-щеточный	<3	0,4	3
2	Вальцово-щеточный	<3	0,8	4,3
3	Барабанно-прутковый	3-5	0,5	3
4	Вибрационный	3-6	0,6	-
5	Кулачковый	4-6	0,3	4
6	Ротоционные	4-7	0,3	3
7	Прутковый	4-8	0,7	4

В последнее время вопросами, связанными с разработкой машин и устройств для очистки корнеклубнеплодов занимались Л.П. Карташов, Н.Н. Колчин, Б.В. Кононов, И.А. Уланов, Н.П. Волосевич, Г.П. Юхин, Б.П. Шабельник, Ч-С. Е. Арданов, В.М. Мартынов, А.А. Катков, С.П. Зайцев, А.А. Фёдоров, В.А. Мухин, А.А. Овчинников [36 – 38]. Ими разработаны устройства для измельчения и очистки корнеклубнеплодов от загрязнений, широко применяемые в стационарных и мобильных пунктах по приготовлению кормов.

Анализ конструкций и технических характеристик (таблица 1.2) свидетельствуют, что очистители по воздействию на корнеклубнеплоды имеют различные результаты.

Ротационный сепаратор (рис. 1.14 а) представляет собой панель, набранный из валов с укрепленными на них сепарирующими дисками, одноименные точки смежных лопастей соседних дисков каждого вала расположены по многозаходной винтовой линии. Разрушение почвы на корнеклубнеплодах осуществляется за счет их частичного перемещения, рассредоточения ее по ширине сепаратора и ворошения, направление навивки на сепараторах взаимно противоположное. В результате многократного контакта материала с лопастями, происходит отделение примесей, которые затем попадают в сборную емкость.

Достоинство – простота конструкции, снижение повреждаемости корнеклубнеплодов.

Недостаток - большой остаток загрязнений между отростками корней и прохождение твердых комков в сборную емкость для очищенных корнеклубнеплодов.

Сепарирующие устройства с вальцовыми рабочими органами (рис. 1.14 б), представляет собой несколько вращающихся вальцов, со спиральной навивкой для придания вороху корнеклубнеплодов поступательного движения. Принцип действия сцепление вальцов с

корнеклубнеплодом и ее очистка в процессе движения по вальцам, за счет сил трения, а отделенные в процессе трения примеси в связи с недостаточным сцеплением с вальцами, выпадают в сборный отсек.

Достоинством является простота конструкции, компактность, высокая степень истирания почвы и способность отделения растительных остатков.

Недостатками вальцовых очистителей являются: снижение работоспособности и повышение энергоемкости при работах на влажных почвах, недостаточная степень очистки вороха корнеклубнеплодов от прочных почвенных комков, повышенное количество повреждений хвостовой части корнеклубнеплодов из-за защемления между вальцами.

Каскадный прутковый сепаратор (рис. 1.14 в) состоит из бесконечной прутковой ветви. Ворох корнеклубнеплодов поступает на прутковую ветвь и сбрасывается при ее изгибе. Очистка вороха корнеклубнеплодов происходит в результате просеивания почвы между прутками и за счет эффекта ударного взаимодействия компонентов с прутками.

Достоинством прутковых сепараторов являются: высокая транспортирующая способность, возможность перемещения вороха на значительные расстояния.

К недостаткам относят следующие: неспособность отделения от корнеклубнеплодов прочных почвенных комков, большая остаточная загрязненность между корнями, плохое отделение растительных примесей.

Барабанные сепараторы (рис. 1.14 г), представляют собой полуцилиндрическую поверхность, выполненную из деревянных планок вдоль образующих. Процесс очистки осуществляется путём интенсивного перетирания продукта о планки барабана и друг о друга. Корнеклубнеплод под действием сил веса, трения и центробежной силы, увлекается вверх в направлении вращения. Дойдя до некоторой верхней точки, выходят из под слоя и скатываются вниз по наружному склону продукта. Отделённые примеси проходят через планки барабана.

Преимуществами барабанных очистителей являются: небольшая степень повреждаемости корнеклубнеплодов, повышенная просеивающая способность на легких почвах.

Недостатком является то, что происходит лишь частичная очистка корнеклубнеплодов, громоздкость конструкций, значительная материалоемкость и энергоемкость машины.

Вибрационно-плоскостные сепараторы (рис. 1.14 д) представляет собой решетчатые плоскости, снабженных приводом для создания направленных колебаний с определенной частотой и амплитудой.

Сепарирование осуществляется в процессе ворошения компонентов, осуществляемое вращением диска и горизонтальным колебанием решётчатых секций дек.

К достоинствам данных очистителей относятся: компактность, простота конструкции, надежность работы, высокая просеивающая способность на легких супесчаных почвах.

Недостатками являются: плохое отделение прочных почвенных комков и растительных примесей.

Роторные очистители (рис. 1.14 е) представляют собой прутковые диски, установленные на конце вала и приводимые в движение посредством системы передач. Прутки, образующие диск, обычно крепятся на валу фланцами. Ворох корнеклубнеплодов поступает на вращающуюся поверхность пруткового диска, отбрасывается центробежными силами к периферии и одновременно освобождается от почвенных примесей.

К преимуществам роторных очистителей относятся: компактность, простота конструкции, высокая интенсивность отделения примесей почвы.

Недостатками являются: повышенное количество поврежденных корнеклубнеплодов более 4 %, наматывание сорной растительности на вращающиеся элементы конструкции.

Шнековые очистители (рис. 1.14 ж) состоят из шнека и кожуха. Кожух может быть решетчатым или образованным ошетиенными валиками. Сепарация осуществляется путём перемещения корнеклубнеплода по шнеку и за счёт трения между продуктом и поверхностью валика и перекатывания клубня.

К достоинствам шнековых очистителей относятся: простота устройства и обслуживания, высокая просеивающая способность, высокая транспортирующая способность.

Недостатками являются: повреждаемость корнеклубнеплодов, плохое отделение твердых почвенных комков и растительных примесей.

Разновидности конструкций ленточных сепараторов (рис. 1.14 з). Единственное что их объединяет это тяговый механизм в виде ленточного транспортера. А рабочие органы очистки выполнены в разной конструкции.

а) Ленточный сепаратор с отражателем представляет собой наклонный транспортер, с пальчиковой поверхностью, под которым расположен отражатель, соединенный с виброприводом. Корнеклубнеплодный ворох, поступая на вибрационный отражатель, под вибрацией отделяет корнеклубнеплоды от комков.

Недостатком является то, что он отделяет в основном комковатые примеси.

б) Ленточный сепаратор, рабочий орган которого состоит из барабана с винтовой навивкой и размещенный за ним экрана из упругих эластичных нитей. Технологический процесс заключается в следующем продукт, двигаясь по транспортеру в поступательном движении, подвергается воздействию навивок барабана в смещении по плоскости разрушая тем самым инородные примеси, оставшиеся загрязнения разрушаются экраным очистителем.

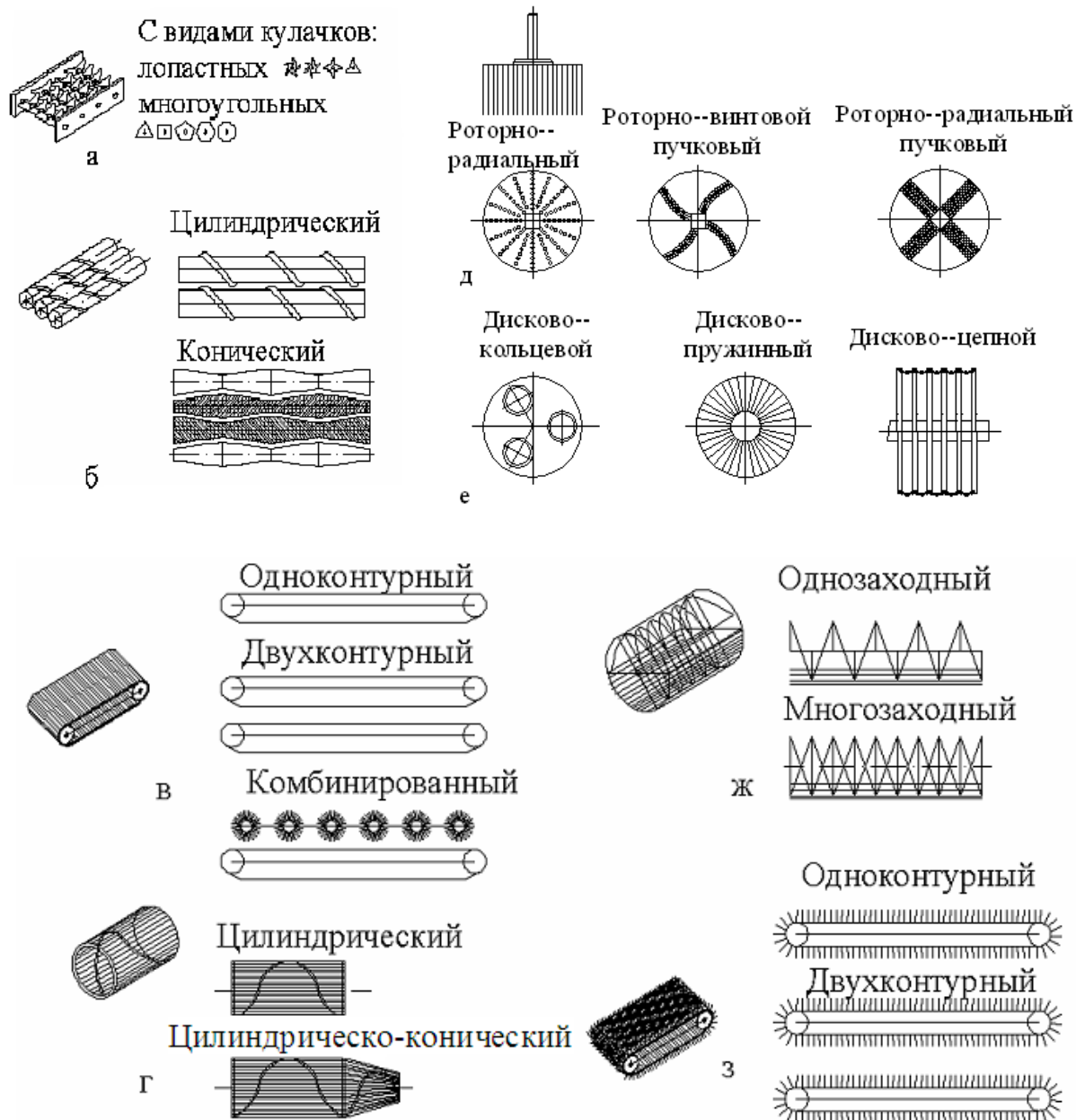


Рисунок 1.14 – Основные типы конструкций очистителей корнеклубнеплодов:
а – ротационные кулачковые; б – вальцовые; в – прутковые; г – барабанные;
д – роторные с вертикальной осью вращения; е – роторно-дисковые с горизонтальной осью вращения; ж – шнековые; з – ленточные

Недостатком данного сепаратора является забивание экранного очистителя.

в) Ленточный сепаратор – тяговый механизм которого выполнен в виде скребков, а очищающие рабочие органы в виде бесконечной эластичной ленты. Технологический процесс очистки происходит путём трения эластичной ленты с корнеклубнеплодом. Недостатком является большой травматизм корнеклубнеплодов.

г) Ленточный сепаратор представляющий собой горизонтальный транспортёр с рабочими органами в виде параллельно расположенных над ним барабанов с сепарирующими элементами. Технологический процесс осуществляется за счёт упругого скольжения сепарирующих элементов барабана с корнеклубнеплодом. Недостатком является односторонняя очистка корнеклубнеплода.

д) Ленточный сепаратор представляющий собой падающий транспортёр с пальчиковой поверхностью и установленный над ним сбрасыватель, выполненный в виде транспортёра со скребками, образованного пучками ворса. Технологический процесс очистки осуществляется путём колебательного движения сбрасывателя на корнеклубнеплод.

Щёточные очистители представленные на рисунке 1.14: вальцово-щеточные (рис. 1.14 б), барабанно-щеточные (рис. 1.14 г), роторно-щеточные (рис. 1.14 д, е) и шнеково-щеточные (рис. 1.14 ж).

Данные щеточные очистители ворсинами копируя неровности на поверхности корнеклубнеплода, осуществляют наиболее качественную очистку. Но из-за своего расположения наматывает растительность на рабочие органы и защемляют инертные материалы между ворсинами, что в дальнейшем снижает качество очистки (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Растительные остатки и комки почвы в вальцово-щеточном очистителе

Анализируя данные очистительные устройства можно прийти к следующему выводу.

Все выше рассмотренные типы очистителей имеют как свои преимущества, так и недостатки, поэтому в конструкциях очистителей обычно комбинируются несколько видов рабочих органов

Наиболее полно требованиям качества очистки и сохранности корнеклубнеплодов соответствуют машины для очистки, оборудованные щеточными рабочими органами. Хорошо копируя неровности на поверхности корнеклубнеплода, они осуществляют наиболее качественную очистку.

1.4 Выбор перспективного направления в разработке устройств для сухой очистки корнеклубнеплодов

Проведя анализ литературных источников, авторских свидетельств, патентов и ранее проведенных исследований была предложена классификация очистителей корнеклубнеплодов от почвенных примесей (рис. 1.16) наглядно отражающая многообразие типов и конструкций очистителей корнеклубнеплодов.

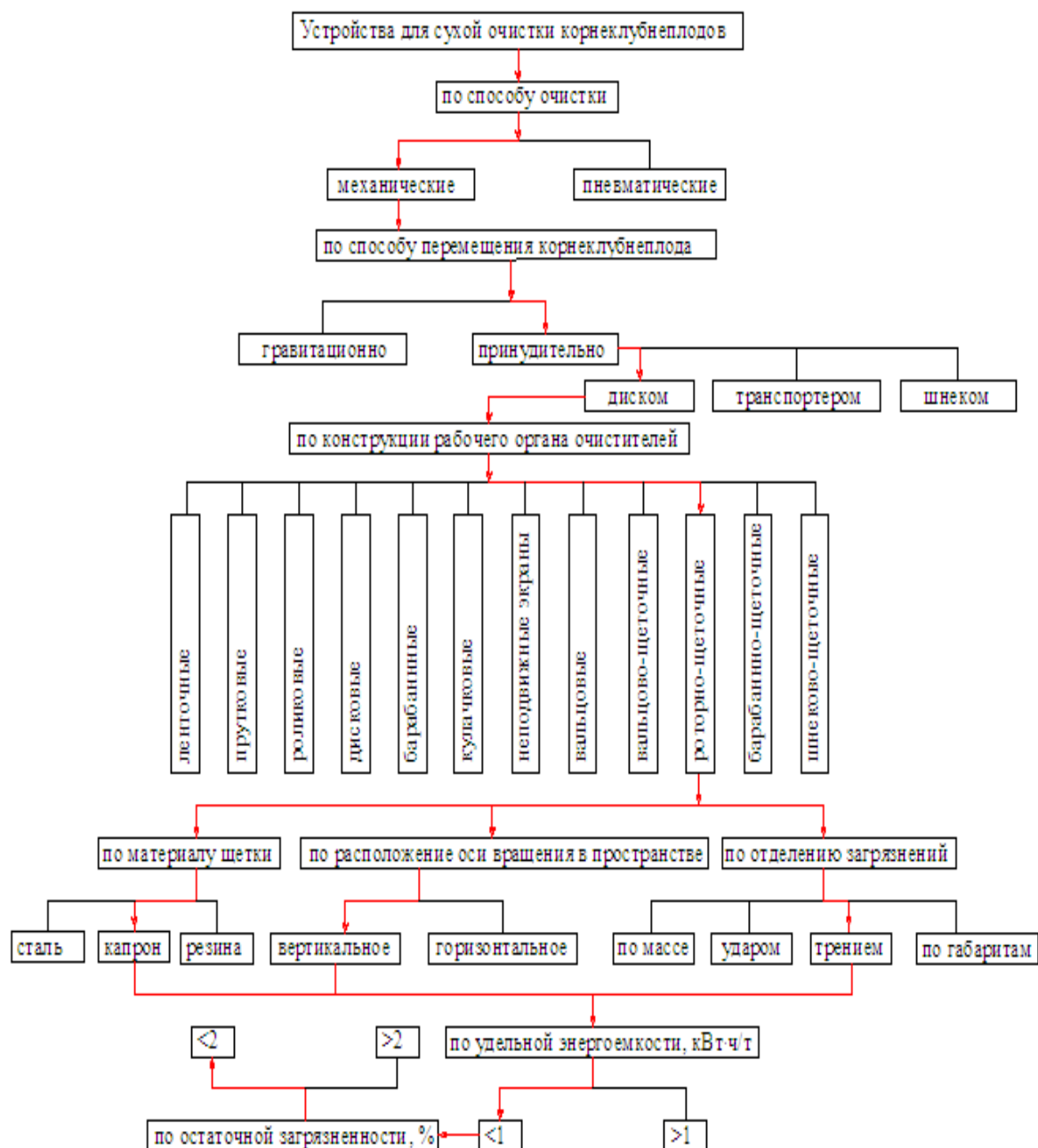


Рисунок 1.16 – Классификация устройств для сухой очистки корнеклубнеплодов

Классификация очищающих устройств на безводном принципе проведена по характеристикам, которые оказывает влияние на качество

очистки. Классификационные различия были проведены по следующим составляющим: по способу отделения загрязнений; по продвижению продукта в зоне очистки; по конструктивным признакам рабочего органа; по материалу воздействующих элементов очистки; по способу очистки; по взаимному расположению оси вращения рабочего органа; по удельной энергоемкости процесса очистки; по остаточной загрязненности корнеклубнеплодов [38].

По способу отделения загрязнений от корнеклубнеплодов очистительные устройства могут подразделяться на механические и пневматические.

По способу перемещения корнеклубнеплода машины подразделяются на принудительные и гравитационные. С принудительным принципом перемещения корнеклубнеплода относятся машины, имеющие транспортирующие органы (транспортеры, шнеки, диски). Гравитационные машины, в которых перемещение продукта производится при помощи сил гравитаций и инерций, в основном барабанные.

Очистительные устройства следует классифицировать по конструкции рабочего органа на вращающиеся и неподвижные, виброплоскостные, ячеистые, барабанные, дисковые, экранные, ленточные (с ворсистым покрытием), роторные, ротационные, сопловые и т.д. [64].

Очистители с активным рабочим органом отделение загрязнений от корнеклубнеплодов осуществляется отделителями, совершающими, как правило, вращательное или поступательное движение. Отличительной особенностью очистительных устройств с пассивным рабочим органом является то, что они оборудованы неподвижными отделителями.

По расположению в пространстве оси вращения рабочего органа бывают горизонтальные и вертикальные. Данное разделение в основном связано с определением результирующей силы очистки корнеклубнеплодов от загрязнений.

Рабочие органы машины могут быть изготовлены из стали, резины или капрона.

Все перечисленные способы очистки можно классифицировать по используемым физико-механическим свойствам разделяемых компонентов: намагничиваемости, упругости, коэффициента трения, габаритов (формы), объёмного веса, плотности. Упругие свойства разделяемых компонентов используют в рабочих органах ударного взаимодействия. Различие коэффициентов трения разделяемых компонентов о поверхности используют в рабочих органах динамического характера. Свойства разделение компонентов по форме и объёмному весу используют в рабочих органах сортировочного характера. Рабочие органы с использованием разницы в плотности разделяемых компонентов могут осуществлять процесс очистки как в водной, так и в воздушной среде.

Критерием выбора перспективного направления развития очистительных устройств является удельная энергоемкость технологического процесса очистки и остаточная загрязненность корнеклубнеплодов. Применение устройств с малой удельной энергоемкостью технологического процесса очистки ведет к снижению себестоимости конечной продукции животноводства производства молока. Минимальная остаточная загрязненность корнеклубнеплодов ведет к снижению порчи кормов, заболевания животных и к снижению себестоимости молока.

На основе анализа приведенной классификации устройств для сухой очистки корнеклубнеплодов от загрязнений согласно выбранным критериям. Определено перспективное направление развития очистительных устройств – щеточные очистители роторного типа с дисковым рабочим органом.

Представленным требованиям в полной мере удовлетворяет очиститель, содержащий в своей конструкции дисковый и роторный рабочие органы, причем их плоскости вращения должны располагаться параллельно, а направление противоположно друг другу. Преимуществом является то, что щетка роторного типа с вертикальной осью вращения, располагаясь над поверхностью транспортирующего диска, интенсивно воздействует на загрязненную поверхность корнеклубнеплода, Эластичность и упругость ворсин щетки способствуют отделению загрязнений с труднодоступных местах корнеклубнеплода и способность не загрязняться растительными остатками, почвой.

1.5 Устройства для измельчения корнеклубнеплодов

Один из основных операций в кормоприготовлении сочных кормов является измельчение корнеклубнеплодов, измельченные корнеклубнеплоды лучше поедаются и степень усвоения питательных веществ у них высокая. На степень перевариваемости и усвоения кормов влияют размеры измельченных частиц корнеклубнеплодов. Корнеклубнеплоды измельчают в зависимости от зоотехнических требований [15, 39]. Измельчение корнеклубнеплодов проводят непосредственно перед скармливанием животным так как при измельчении происходит обильное соковыделение и порча кормов при длительном хранении. Каждый вид измельчаемого корма имеет свои физико-механические свойства (вес, размеры плотность, объем и т.д.). С учетом физико-механических свойств корма и зоотехнических требований для измельчения применяются различные рабочие органы устройств по измельчению [40-42]. Ранее в разделах 1.2-1.3 мы рассмотрели, что корнеклубнеплоды перед измельчением очищают от загрязнений и загрязненность не должна превышать 2%. Согласно зоотехническим

требованиям размер измельченных частиц корнеклубнеплодов составляет для крупно-рогатого скота 8...35 мм [5, 6, 14]. Можно измельчать и меньше, но требуется дополнительное оборудование для сохранения клеточного сока корнеклубнеплодов. Конструкция измельчителей корнеклубнеплодов состоит из рабочих органов по измельчению корнеклубнеплодов и вспомогательных элементов, выполняющих роль подвода и отвода измельчаемого продукта, а также их ориентации в область измельчения. В технологических процессах, в зависимости от производительности, в основном применяются промышленные устройства и измельчители разработанные организациями высшего и послевузовского образования. Какой из измельчителей применять в технологических линиях зависит от объективной оценки и выбранного критерия оптимизации. Объективная оценка устройств по измельчению корнеклубнеплодов будет проведена в виде анализа известных измельчителей с их характеристиками, достоинствами и недостатками. Оптимальным критерием выступит тот показатель, который показывает эффективность применения данной конструкции в существующих условиях.

Предварительные исследования существующих конструкций измельчителей корнеклубнеплодов позволило нам провести классификацию данных устройств. В основу классификации определили теорию измельчения материала. Конструкции существующих измельчителей корнеклубнеплодов в основном используют три способа – это рубка пуансоном, резания лезвием и скоблением. Рассмотрим устройства по измельчению корнеклубнеплодов основанных на рубке, резании и скоблении материала, с их преимуществами и недостатками по минимизации потери сока.

Устройства по измельчению корнеклубнеплодов основанных на рубке материала это роторные ножи и молотки, к ним относятся ИСК-3, МРК-5 и т.д. [42]. Измельчитель ИСК-3 и другие работающие по принципу рубки, промышленного производства, применяется на крупных фермах в технологических линиях по приготовлению кормов и работает вместе с другим оборудованием для смешивания, транспортировки и раздачи. На вертикальном роторе устройства горизонтально располагаются в несколько рядов ножи разной длины и разной формы исполнения, а по периферии рабочей камеры смонтированы противорезы, обеспечивающие упор для резания продукта (рис. 1.17). Процесс измельчения протекает следующим образом - корнеклубнеплоды под силой тяжести попадая в рабочую камеру, зацепляются ножами и попадают в зону резания между ножами и противорезами. Измельченный и неизмельченный продукт под силой тяжести попадают в следующий ряд ножей и противорезов, где подвергаются дальнейшему измельчению.

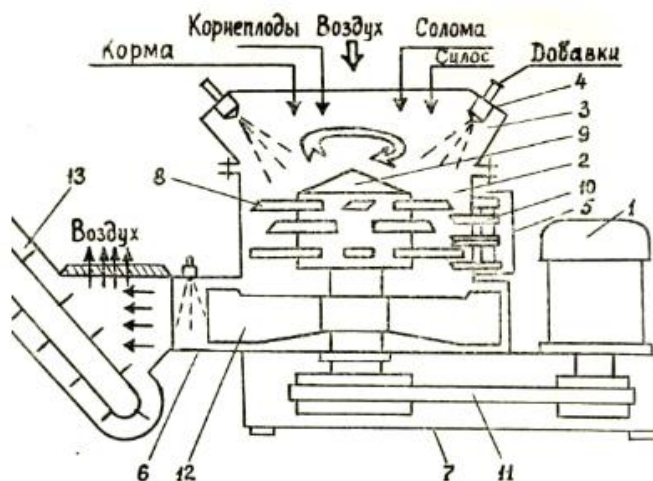


Рисунок 1.17 – Схема технологического процесса измельчителя-смесителя ИСК-3: 1 – электродвигатель; 2 – камера рабочая; 3 – камера приёмная; 4 – форсунка; 5 – кожух деки; 6 – камера выгрузная; 7 – рама; 8 – нож; 9 – ротор; 10 – дека (противорезы); 11 – передача клиноремённая; 12 – швырялки; 13 – транспортёр выгрузной

При измельчении корнеклубнеплодов рабочими органами данного типа, при многократном воздействии на продукт наблюдается обильное соковыделение.

К устройствам принцип измельчения которых основан на скоблении относятся в основном зарубежные КПСК-1000 и его отечественные аналоги типа КПИ-4 (рис. 1.18).

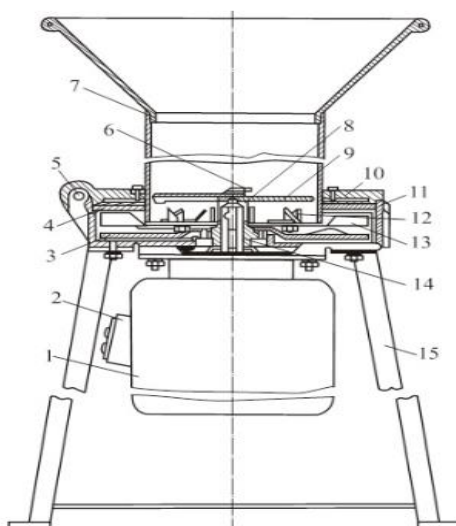


Рисунок 1.18 – Схема корнерезки КПИ-4: 1 – электродвигатель; 2 – магнитный пускатель; 3 – выбрасыватель; 4 – дека; 5 – палец шарнира; 6 – специальный болт; 7 – бункер; 8 – ступица верхнего диска; 9 – верхний диск с ножом; 10 – крышка камеры измельчения; 11 – корпус камеры измельчения; 12 – вертикальные ножи; 13 – лопасти нижнего диска; 14 – ступица выбрасывателя; 15 – станина.

В конструкции измельчителей по принципу скобления или снятия стружки заложен принцип среза частиц. Поэтому рабочим органом является диск или нож, прикрепленный к диску. Основной процесс измельчения протекает в следующей последовательности. Корнеклубнеплоды через загрузочную емкость попадают на вращающийся горизонтальный диск, упирается в подпор и ножом диска срезается и измельченные частицы выбрасывателем выносятся в сборную емкость. Соковыделение при измельчении корнеклубнеплодов в таких устройствах меньше, чем при рубке или ударе, но производительность уменьшается. Рабочими органами в таких устройствах являются горизонтальные диски [41-43].

Рабочие органы устройств, основанных на принципе удара материала, внедряются в материал лезвием и давлением боковых граней отделяют частицы откалыванием. В конструкции измельчителей работающих на принципе рубки материала рабочими органами являются молотки с роторным расположением вокруг вала. Процесс измельчения корнеклубнеплодов в дробилках роторного типа происходит за счет удара по продукту во время провижения его в рабочей камере под действием сил тяжести и инерционного вращения. У данных устройств в начальной стадии удара нож внедряется в материал при этом потери сока минимальны, но при дальнейшем давлении продукт сжимается и происходит выделение сока. Рабочие органы представляют собой ножи без заточки.

На основании ранее проведенного анализа конструктивных и технологических схем работы рабочих органов измельчителей корнеклубнеплодов была разработана классификация измельчителей корнеклубнеплодов по следующим особенностям:

- по применяемому рабочему органу;
- по способу измельчения;
- по качеству измельчения;
- по числу этапов измельчения;
- плоскости резания;
- расположению рабочего органа.

Предложенная классификация (рис.1.19) и анализ с учетом выявленных недостатков и преимуществ измельчителей корнеклубнеплодов поможет в проектировании и конструировании устройств для измельчения продуктов и совершенствовать рабочие органы существующих конструкций [43]. Правильно выбирать основное направление для выбора рациональной схемы и конструктивно-режимные параметры устройства. Одним из признаков правильного выбора будет определения критерии оптимизации, который разделен на качество измельчения (размер частиц), удельный расход энергии и удельные потери клеточного сока.

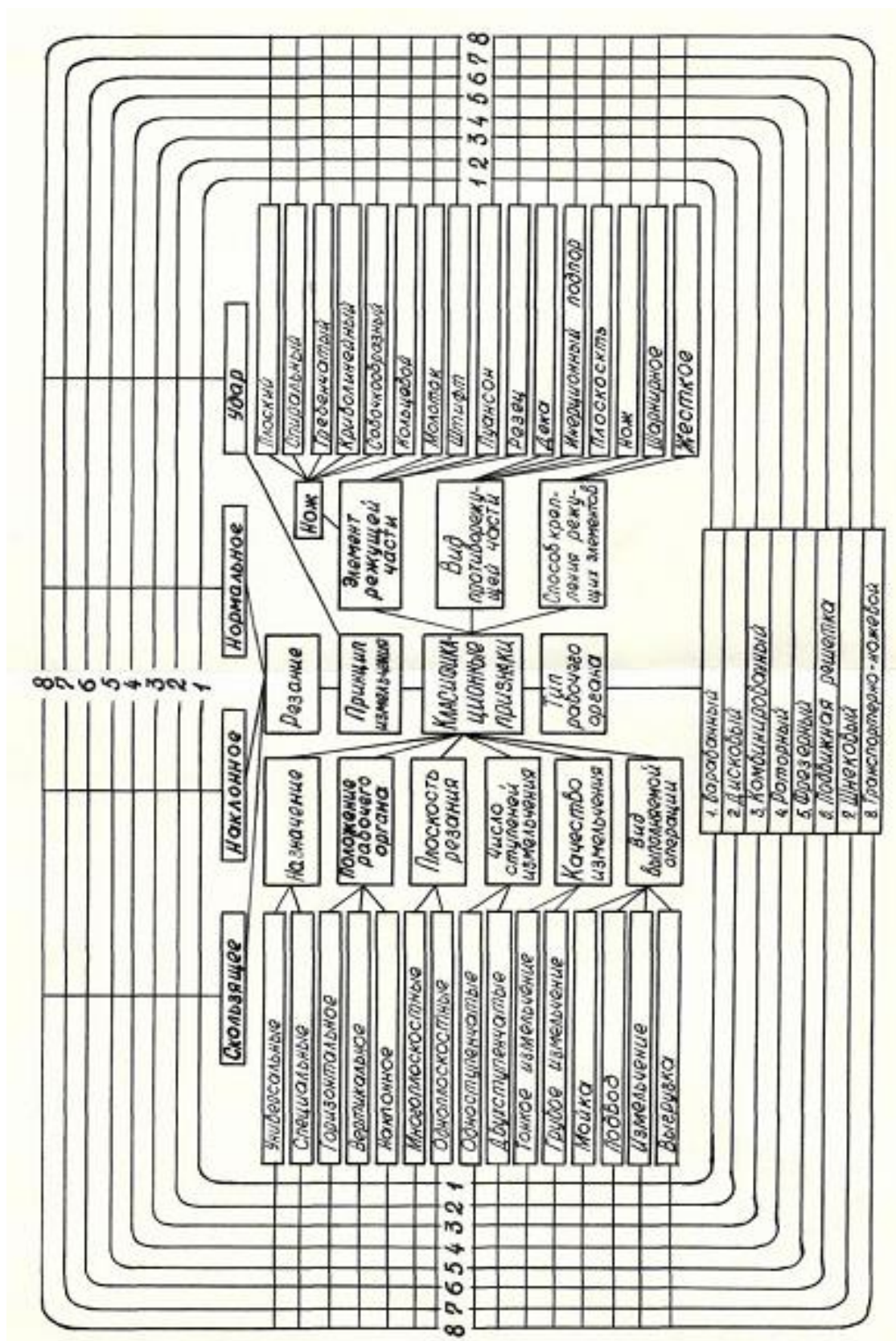


Рисунок 1.19 – Классификация измельчителей корнеклубнеплодов

Глава 2. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ ЖИВОТНЫМ

Задачей теоретического исследования является: разработка конструктивно-технологической схемы устройства для очистки корнеклубнеплодов от загрязнений; теоретическое исследование технологического процесса очистки корнеклубнеплодов от загрязнений роторно-щеточным устройством; определение оптимальных конструктивно-режимных и технологических параметров рабочих органов роторно-щеточного устройства

2.1 Анализ и обоснование рациональной схемы устройства по подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию

Анализ разработок в области очистки и измельчения корнеклубнеплодов показывает, что на данный момент разработано множество устройств по приготовлению кормов [14, 15, 22, 27, 29, 32, 33, 35, 39, 41 – 43]. Данные конструкции в основном были выпущены в 20 веке и обладают рядом преимуществ и также недостатков связанных с изменившимися современными требованиями к измельченным кормам, в частности сохранения всех полезных свойств и минимизации негативных сторон воздействия рабочих органов. На основе анализа ранее разработанных устройств по приготовлению кормов было проведено обоснование разработанных конструктивно-технологических схем очистителя и измельчителя корнеклубнеплодов с учетом всех параметров, влияющих на повышение эффективности очистки корнеклубнеплодов от загрязнений, а также требований, предъявляемых к разработке очистительных и измельчающих устройств.

Сами корнеклубнеплоды и располагающиеся на них загрязнения, обладают особенными параметрами и свойствами, необходимых для очистки и измельчения. Среди большого разнообразия загрязнений корнеклубнеплодов рассмотрим загрязнения в виде почвы, связанной с растительными остатками, как остаточные загрязнения после предварительной очистки уборочными машинами [34, 38].

Анализируя обзор конструкций очистителей корнеклубнеплодов от загрязнений, мы пришли к выводу, что наиболее эффективными по зоотехническим требованиям будут устройства щеточного типа.

Очистители щеточного типа были изучены в трудах многих ученых, в которых отражены в основном преимущества разработанных устройств [26-38]. Изучая труды ученых и проблемные вопросы по очистке корнеклубнеплодов, был определен тип устройства торно-щеточный очиститель для очистки корнеклубнеплодов от связанной почвы с

растительными остатками. В обоснование выбора конструкции роторно-щеточных очистителей были учтены основные рабочие требования:

- элементы щетки должны обладать физикомеханическими свойствами для удаления загрязнений с труднодоступных мест поверхности корнеклубнеплода;

- расположение щеток должно быть таким, чтобы воздействия щетки приходилось на всю поверхность корнеклубнеплода;

- загрязнения, которые окажутся на щетках в процессе очистки, не должны к ним прилипать;

- загрязненные корнеклубнеплоды должны перемещаться в зоне очистки без дополнительных усилий и оборудования.

С учетом изложенных требований, анализа процесса сухой очистки, а также физико-механических характеристик загрязнений и корнеклубнеплодов, были определены средние размеры и местоположение связанной почвы в труднодоступных зонах. В частности, это касается хвостовой части, углублений и промежутков между корнями, где наблюдается наиболее значительное накопление уплотненной почвы [75].

Для достижения более эффективной очистки корнеклубнеплодов необходимо, чтобы ворсины щеточного очистителя воздействовали на всю поверхность корнеклубнеплода. Это возможно, если каждый корнеклубнеплод, перемещаясь в зоне очистки, подвергается обработке со всех сторон. Однако щетки по своему геометрическому расположению не может в полной мере охватить очищаемую поверхность корнеклубнеплода. Кроме того, увеличение размеров щетки приводит к увеличению габаритов очистительного устройства, что затрудняет перемещение корнеклубнеплодов от загрузочного окна до выгрузного лотка из-за их большого количества. Также одним из вариантов увеличения площади действия щеток является использование длинных ворсин, что приводит к их сжатию и скольжению по поверхности корнеклубнеплодов. Это, в свою очередь, снижает упругую силу и ухудшает качество очистки.

Рассмотрим влияние геометрических и кинематических параметров ворса щетки на загрязнения (рис. 2.1). Когда ворсина взаимодействует с поверхностью корнеклубнеплода, вектор силы упругости F направляется под определенным углом θ . Небольшой угол θ уменьшает силу внедрения, что приводит к минимальным разрушениям загрязнений. В то время как увеличение угла θ от 0 до 90 градусов увеличивает энергозатраты, так как вектор упругости становится перпендикулярным к очищаемой поверхности, что приводит к прижатию и скольжению деформированной ворсины по поверхности корнеклубнеплода.

Для обеспечения необходимой жесткости и эффективного очищающего действия необходимо либо сократить длину ворсин L_v , либо увеличить их диаметр d_v . Сокращение длины ворса приведет к уменьшению его деформации, однако это снизит копирующие свойства ворсин щетки и

повысит риск повреждения поверхности корнеклубнеплода. В свою очередь, увеличение диаметра ворса снижает удельную плотность ворсин к площади щетки, уменьшает воздействие ворсин на поверхность корнеклубнеплода и негативно сказывается на качестве очистки. Частота вращения щетки является одним из ключевых параметров: при низкой частоте силы сдвига F_t оказываются незначительными, что приводит к снижению очищающей способности. В то же время высокая частота может увеличить риск повреждения поверхности корнеклубнеплода.

Таким образом, при определении параметров ворсин важно учитывать оптимальные величины значимых прогибов и, исходя из этого, подбирать жесткость ворсин так, чтобы создаваемое усилие превышало силу сопротивления загрязнений сдвигу.

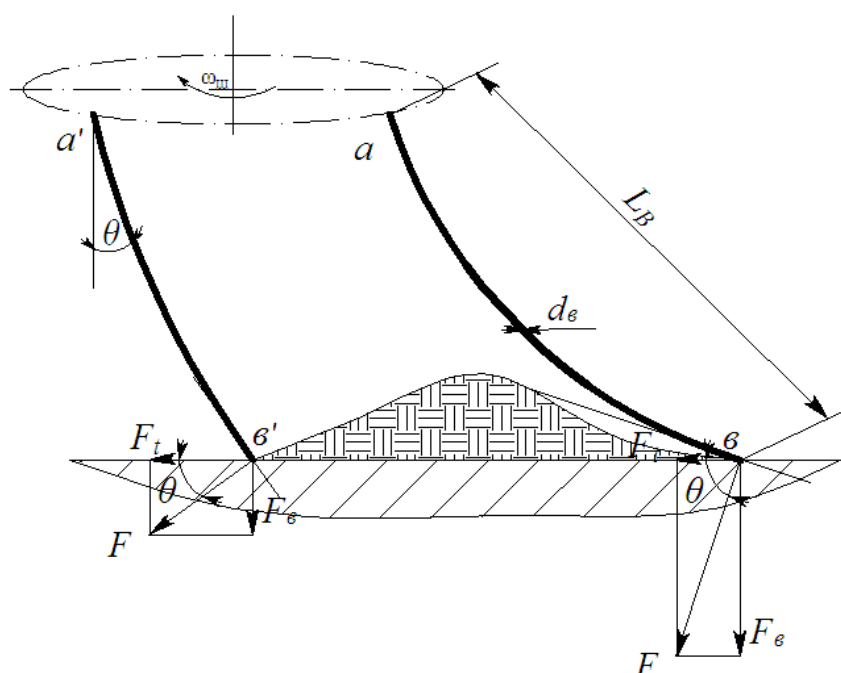


Рисунок 2.1 – Взаимодействие ворса роторной щетки с загрязненной поверхностью корнеклубнеплода

Также, уменьшение площади, которую охватывает щетка, приводит к снижению количества корнеклубнеплодов, очищаемых одновременно. Поэтому при разработке конструкции и выборе режимных параметров важно обеспечить соответствие требованиям к качеству очистки. Необходимо роторно-щеточные очистители расположить над диском с крыльчатками, который используется для транспортировки. В этом случае корнеклубнеплоды будут размещены продольной осью вдоль крыльчатки между диском и роторно-щеточным очистителем. При попадании на вращающийся горизонтальный диск корнеклубнеплоды будут постоянно перемещаться от центра к периферии, преодолевая силу трения, возникающую на диске. Пока продукт перемещается по криволинейной

крыльчатке, он начинает изменять свое положение, что позволяет ворсинкам роторной щетки активно воздействовать на все части корнеклубнеплода. В результате совмещения этих двух движений продукт испытывает трение как о диск, так и о ворсины роторной щетки. Поскольку роторная щетка вращается, а движение корнеклубнеплода по крыльчатке не прямолинейное, то траектория движения ворса будет представлять собой кривую линию (рис. 2.2).

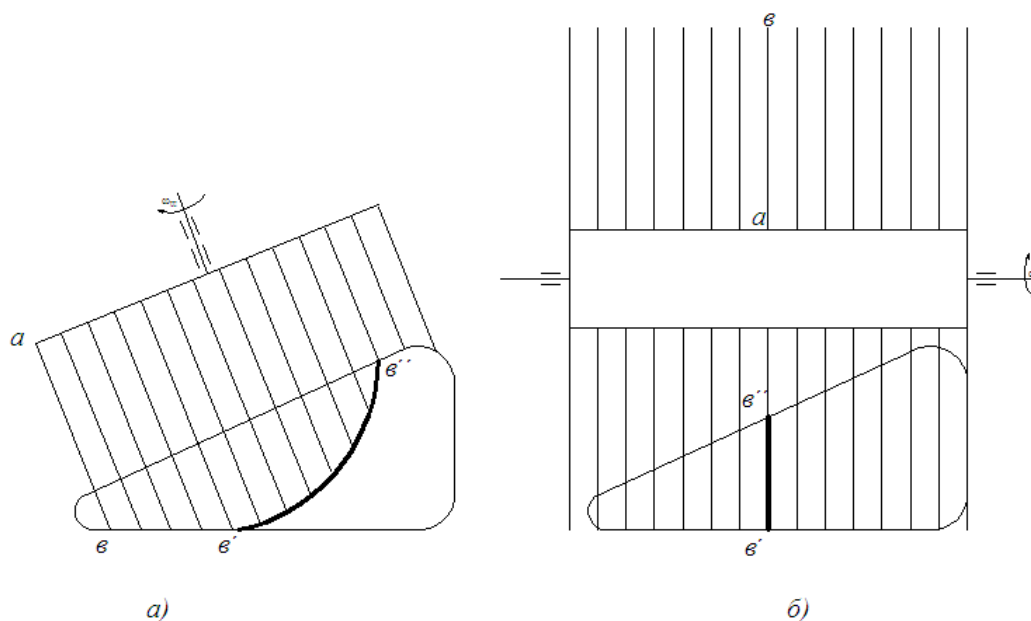


Рисунок 2.2 – Сравнение траекторий ворса щетки: а – роторная щетка; б – вальцовая щетка; аа – ворс щетки; а'а' – траектория ворса.

Это обеспечивает несколько преимуществ по сравнению с щетками вальцевого типа (рис. 2.2). Во-первых, увеличение длины контакта ворса способствует большей площади взаимодействия щетки с поверхностью корнеклубнеплода, что, в свою очередь, улучшает качество очистки. Во-вторых, скользящее движение ворса по кривой предотвращает накопление загрязнений, тем самым снижая энергоемкость очищающего процесса. В-третьих, криволинейное скольжение ворсин роторной щетки помогает переориентировать продукт в зоне очистки.

Эффективность очистки будет определяться наличием качения и скольжения корнеклубнеплода, а также воздействием ворсин роторно-щеточного очистителя. Это связано с конструктивно-режимными параметрами, поскольку их изменение влияет на упругую силу ворсин, момент вращения корнеклубнеплода и продолжительность процесса очистки.

Процесс очистки продукта в очистительном устройстве должен осуществляться в канале, созданном транспортирующим органом и выбранной роторной щеткой. Выбор транспортирующего органа зависит от

характеристик продвижения очищаемого продукта, технологических параметров, размеров и материалоемкости устройства. Анализ конструкций очистительных устройств показывает, что транспортирующий орган, представляющий собой горизонтальный диск с крыльчатками, соответствует вышеперечисленным требованиям (рис. 2.3).

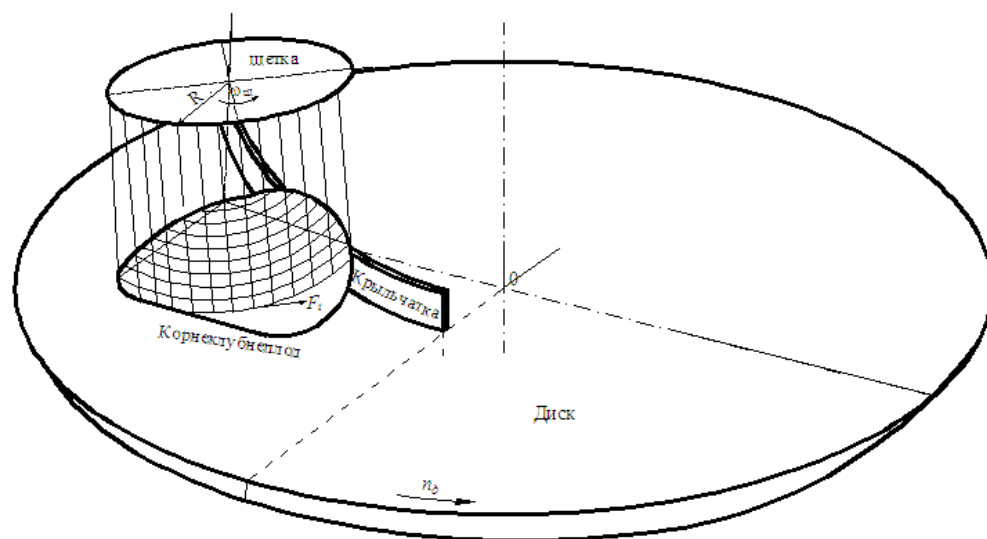


Рисунок 2.3 – Рациональная схема транспортирующего органа

Чтобы обеспечить эффективное функционирование канала очистки и достижения необходимой производительности очистителя необходимо принудительное перемещение корнеклубнеплодов в зоне очистки. Эту задачу можно решить с помощью установки крыльчаток на диске и выбора оптимальных конструктивно-режимных параметров диска.

Когда диск вращается в одном направлении, а роторная щетка — в противоположном, корнеклубнеплоды будут перемещаться вдоль крыльчатки диска по строго определенной траектории. При таком движении происходит плавное увеличение крутящего момента диска, что способствует снижению энергозатрат, необходимых для очистки.

При имеющейся схеме расположения рабочих органов очистителя удаление загрязнений осуществляется посредством просеивания через отверстия в диске. Наличие крыльчатки на диске, расположение щеток над зоной очистки и их установка с некоторым перекрытием ворсин создают эффект самоочистки рабочих органов очистителя от загрязнений.

С учетом проведенных исследований предлагаемая схема очистки корнеклубнеплодов от загрязнений с помощью роторной щетки и горизонтального диска является рациональной.

2.2 Разработка конструктивного расположения рабочих органов устройств по приготовлению корнеклубнеплодов к скармливанию

Проведенный анализ действующих конструкций очистительных устройств свидетельствует о том, что на сегодняшний день имеется ограниченное количество эффективных средств для очистки корнеклубнеплодов от загрязнений. Более того, использованные оной устройства не обладают универсальностью в отношении различных кормов. Наилучшие результаты при очистке корнеклубнеплодов достигаются устройствами, в которых процесс отделения компонентов осуществляется благодаря физико-механическому воздействию.

После оценки плюсов и минусов описанных устройств, аргументируя выбранную схему очистителя и учитывая физико-механические параметры разделяемых компонентов, было разработано устройство для удаления загрязнений с корнеклубнеплодов, на конструкцию которого получен патент РФ на полезную модель № 104815 (RU) от 15.12.2010 г. и авторское свидетельство РК № 51624 на изобретение № 18356 (KZ) от 01.11.2004 г. (рис. 2.4) [38].

Устройство предназначено для очистки корнеклубнеплодов от почвенных примесей перед скармливанием сельскохозяйственным животным. Устройство может быть использовано в качестве рабочего органа корнеклубнеплодоуборочного комбайна, в составе линии подготовки корнеклубнеплодов кормоцехов, а также автономно.

Устройство функционирует следующим образом (рис. 2.4а). Корнеклубнеплоды, которые помещаются в загрузочный бункер 1, попадают на вращающийся горизонтальный диск 2, где получают вращательное движение и начинают двигаться от центра к краям. Изогнутая крыльчатка 3 помогает изменять положение корнеклубнеплодов и их перемещение. Двигаясь по изогнутой крыльчатке 3 и горизонтальному диску 2, корнеклубнеплоды изменяют свое расположение, что позволяет вращающимся ворсинкам щеток 4 активно воздействовать на все поверхности корнеклубнеплодов. В результате комбинирования этих движений, корнеклубнеплоды испытывают трение об рифы 5 горизонтального диска 2 и щеток 4. Загрязнения, удаленные с поверхности корнеклубнеплодов, через рифы 5 попадают в отверстия 6 под горизонтальный диск 2, а затем, при помощи лопатки 12, направляются в сборную емкость 7. Устройство очищения дополнительно обеспечивается отражателем 8, выполненным из изогнутой полосы резины, установленным на корпусе 9. Очищенные корнеклубнеплоды изогнутой крыльчаткой 3 перемещаются сквозь окно 10 в сборную емкость 11.

Существенным преимуществом устройства для очистки корнеклубнеплодов с горизонтальным диском является рациональная

форма крыльчатки, которая обеспечивает скольжение корнеплода по диску, постепенное увеличение крутящего момента на валу и вследствие этого – снижение энергоемкости. Использование вращающихся щеток с верхним расположением над диском позволит повысить эффективность качества очистки, улучшить эксплуатационные характеристики, а также снизить энергоемкость рабочего процесса. Наличие крыльчатки на диске, расположение щеток над зоной очистки и установка их с некоторым перекрытием ворсин дает эффект самоочистки рабочих органов очистителя от почвы и растительных остатков.

Применение устройства с роторным щеточным очистителем позволит повысить качество очистки, улучшить эксплуатационные характеристики, а также снизить энергоемкость рабочего процесса.

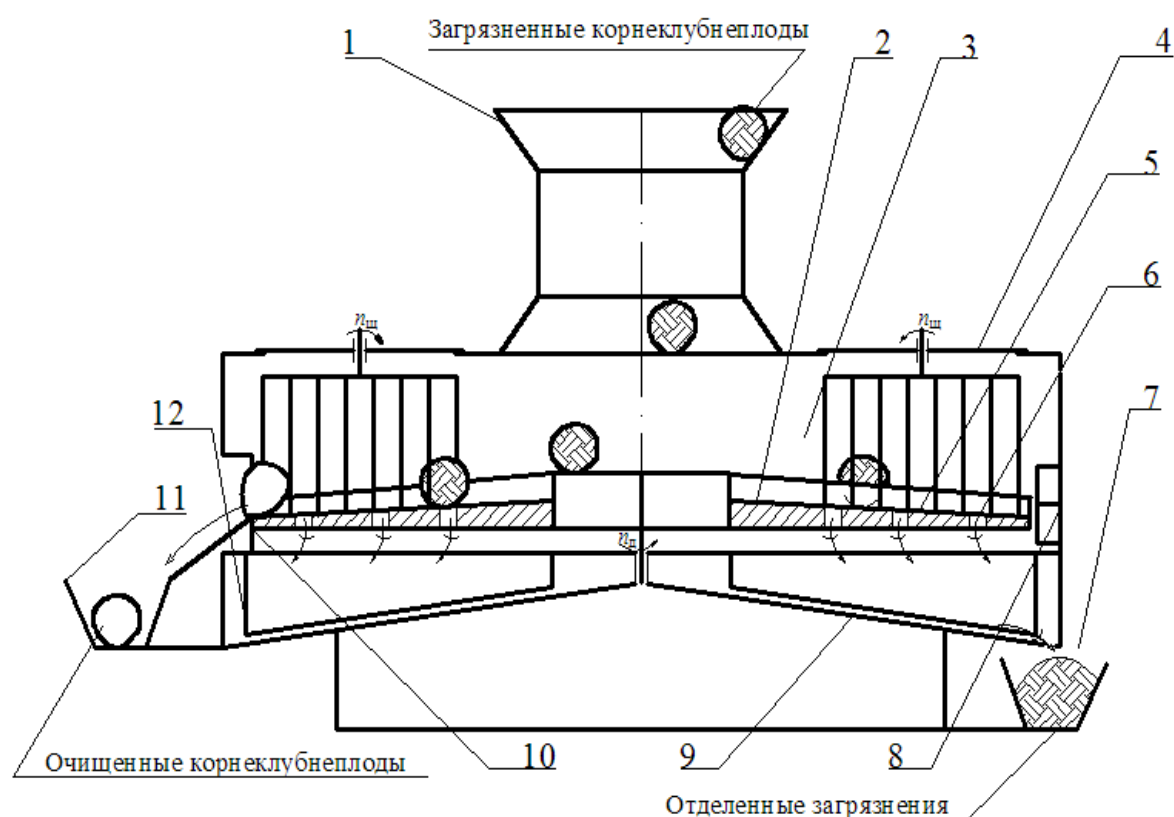


Рисунок 2.4а – Конструктивно-технологическая схема очистителя корнеклубнеплодов от загрязнений на безводном принципе

Для изучения процесса измельчения корнеклубнеплодов было разработано устройство, которое функционирует на основе принципа резания с помощью ножа и противорезов. Оно включает вращающиеся роторные ножи и прямолинейные противорезы. Схематическое изображение измельчителя корнеклубнеплодов представлено на рисунке 2.4б.

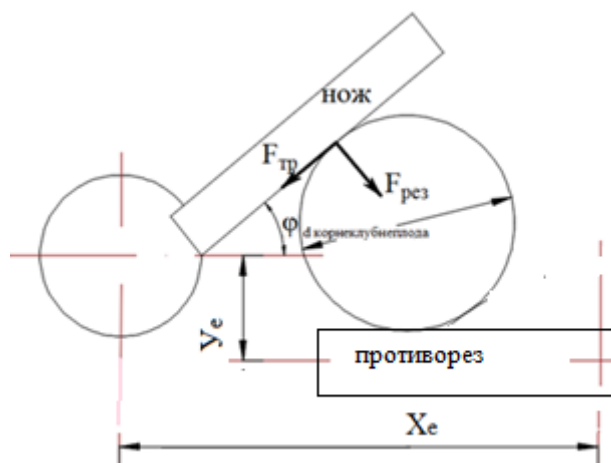


Рисунок 2.4б – Конструктивно-технологическая схема измельчителя корнеклубнеплодов

Процесс измельчения на устройстве (рисунке 2.4б) основан на двуопорном резании в котором роторные ножи закрепленные на приводном валу могут свободно перемещаться между противорезами 2 (рисунок 2.4б). Противорезы закреплены под углом к корпусу и имеют острые кромки. Вращение ножей осуществляется с помощью электродвигателя.

Принцип работы предложенного устройства следующий. После включения электродвигателя очищенные от земли корнеплоды загружаются через горловину в корпус, откуда они под действием силы тяжести движутся по направляющим перегородкам в зону резания ножей 1 и противорезов 2 (рисунок 2.4б) [43].

При перемещении корнеплоды разрезаются с одной стороны ножами 1 и с другой — острыми кромками противорезов 2. Это обеспечивает резание корнеплодов с двух сторон, что позволяет снизить неравномерность нагрузки на приводной вал ножей измельчителя. Отрезанные кусочки проходят между противорезами, при этом буртики ножей захватывают дольки корнеплодов, освобождая пространство между дисками для измельчения новой порции.

2.3 Взаимодействие рабочих органов с корнелубнеплодом

Особенностью щеточных рабочих органов является то, что их взаимодействие с поверхностью загрязнений происходит через упругие стержни малой жесткости.

Многочисленные исследования показали, что при взаимодействии поверхности загрязнений с ворсинами рабочего органа очистителя можно наблюдать сложные процессы, в ходе которых прилипшие загрязнения разрушаются [28, 38]. Существующие данные дают возможность представить общую физическую концепцию этого явления:

- действуя на поверхность загрязнений, ворсина рабочего органа изгибается и под воздействием силы упругости материала ворсина проникает в грунт, и вызывает разрушение;

- поверхность грунта азрушается, и изогнутый ворс, контактирующий с ней, стремится вернуть свою исходную форму. При выходе из контактной зоны он выпрямляется, вытаскивая с собой элементы (агрегаты или отдельные части), связь которых с основным массивом грунта нарушена. Этот процесс прекращается после формирования гладкой поверхности корнеклубнеплода, обладающего коэффициентом трения скольжения, меньшим, чем у загрязнений;

- в дальнейшем, по мере увеличения числа активно действующих ворсин, связь между агрегатами постепенно ослабевает, и в итоге, когда результирующая «активных» сил превышает результирующую «пассивных» (силы сцепления между агрегатами и массу агрегата), агрегат счищается с поверхности.

Интенсивность этого процесса зависит от адгезионных и когезионных связей между агрегатами и материалами, а также от количества макро- и микротрещин. Ворсины, проникая в трещины и поры, формируют так называемое расклинивающее давление.

Рассмотрим общий случай взаимодействия вращающейся ворсины с корнеклубнеплодом цилиндрической формы. Для упрощения анализа мы рассмотрим явление в одной плоскости, предполагая, что плоскость вращения рабочего органа параллельна плоскости движения корнеклубнеплода. Результирующая сила, отделяющая загрязнения от корнеклубнеплода, будет перпендикулярна радиусу вращения. При этом область влияния напряжений значительно меньше поверхности корнеклубнеплода, которая представлена массивом.

Удаление почвенных загрязнений с поверхности корнеклубнеплода связано, прежде всего, с затратами, необходимыми для разрушения этих загрязнений (преодоление прочностных и когезионных сил) и для их удаления с поверхности (преодоление адгезионных сил).

Процесс отделения загрязнений можно рассматривать как совокупность двух операций. Это, во-первых, внедрение стержня в загрязнение от действия силы упругости $F_{упр}$, и во-вторых, сдвигание его в результате воздействия усилия щетки $F_{щ}$ преодолевая силы сопротивления сдвигу загрязнений F_{τ} [44-48]. Тогда необходимо выполнение условий для осуществления процесса отделения загрязнений от поверхности корнеклубнеплода:

- сила внедрения стержня в загрязнения должна быть больше ее механической характеристики, которая зависит от прочностных свойств материала ворса;

$$F_{внедр} > cAh_v,$$

$$A = \frac{\pi d_B}{2} \left(\frac{h_B}{\cos(\theta + \psi')} - \frac{d_B}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right),$$

$$\frac{2EI \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_B^2} > cAh_B, \quad (2.1)$$

где c – коэффициент объемного смятия почвы, Н/мм³;

h_B – глубина внедрения ворса, мм;

d_B – диаметр ворса, мм;

A – площадь внедрения стержня, мм²;

E – модуль Юнга, Н/мм²;

I – инерционный момент, мм⁴;

θ – угол внедрения, град.;

ψ' – наклон щетки, град.;

L_B – длина ворса, мм;

- тангенциальная сила сдвига загрязнений должна быть больше суммы сил трения и сопротивления;

$$F_\tau = F_{\text{сопр}} + F_{\text{тр}}, \quad (2.2)$$

где $F_{\text{сопр}}$ – сила сопротивления, Н;

$F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н.

Согласно известной теории Кулона и Мора, разрушение и вынос материала происходят из-за преодоления силы сопротивления сдвигу $F_{\text{сопр}}$, одной из составляющих которой является касательное напряжение τ .

Под действием касательного напряжения τ происходит скольжение верхней части по нижней. Разъединение верхней части от нижней произойдет по той плоскости, для которой величина напряжения τ достигнет максимума. Эта величина представляет собой чистый сдвиг или скалывающее напряжение τ , которое определяется в соответствии с условиями сдвига:

$$\tau = \frac{F_{\text{сопр}} \sin 2\alpha}{2A}, \quad (2.3)$$

Угол α , есть угол разрушения материала, т. е. угол между минимальным и максимальным напряжением. По данным Голугорского для почв он равен $2\alpha = 40-50^\circ$.

Из данного выражения (2.3) определим силу необходимую для преодоления сил сопротивления счищаемого материала:

$$F_{\text{сопр}} = \frac{2A\tau}{\sin 2\alpha}. \quad (2.4)$$

Учитывая уравнения (2.1) преобразуем выражение (2.4) и получим силу сопротивления, которая воспримет ворсу при очистке корнеплода от загрязнений:

$$F_{\text{сопр}} = \frac{\tau \pi d_{\text{в}} \left(\frac{h_{\text{в}}}{\cos(\theta + \psi')} - \frac{d_{\text{в}}}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right)}{\sin 2\alpha}. \quad (2.5)$$

Принимая значения скалывающего напряжения, коэффициента трения стержня о почву по литературным источникам, и задавшись численными значениями диаметров, определим численное значение величины сил сопротивления $F_{\text{сопр}}$ и внедрения $F_{\text{внедр}}$. С учетом физико-механических свойств почвы и ворса для почв ($\tau = 0,5\text{--}1,5$ кПА, $h_{\text{в}} = 5\text{--}8$ мм, $d_{\text{в}} = 3$ мм, $2\alpha = 40\text{--}50^\circ$, $E = 560$ Н/мм², $L_{\text{в}} = 150$ мм,) составляющие $F_{\text{сопр}}$ и $F_{\text{внедр}}$ будут равны ($F_{\text{сопр}} = 0,16$ Н < $F_{\text{внедр}} = 0,22$ Н) условие сила внедрения стержня в загрязнение больше механической характеристики почвы выполнимо.

Значение силы трения определяется по выражению:

$$F_{\text{тр}} = \frac{2E \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_{\text{в}}^2} f_1, \quad (2.6)$$

где f_1 – коэффициент трения ворса по загрязнению.

Как в технике, так и в обиходе сдвиг материала производится при помощи двоякого рода: одного основного – сравнительно медленного и затруднительного надвигание по направлению разреза, другого – вспомогательного – быстрого вбок, вдоль разреза. При движении в грунте вертикально установленного ворса, рабочая грань сжимает почву впереди движения, что вызывает её нагромождение. Движение ворса вбок дает возможность избежать нагромождение почвы и всплывания его над очищаемой поверхностью корнеклубнеплода. Также данное движение способствует очищению загрязнений с поверхности корнеклубнеплода путем их сдвига и кручения (рис. 2.5).

Рассмотрим работу ворса исходя из теории резания, предложенной акад. ВАСХНИЛ В. А. Желиговским.

При движении ворса по загрязненной поверхности происходит местная деформация сдвига загрязнений и разрушение связи между агрегатами.

Ворс установлен так, что сила нормального давления N образует с направлением движения угол θ , больший угла трения ворса о загрязненную поверхность φ , т. е. $\theta > \varphi$, (рис. 2.5).

Разложим возникающую силу нормального давления на составляющие силы $F_{\text{н}}$, $F_{\text{упр}}$, $F_{\text{тр}}$. Необходимая касательная сила $F_{\text{ш}}$, стремится продвигать почвенную частицу вперед и перемещать её вместе с ворсом. Касательная сила $F_{\text{т}}$ направлена на то, чтобы вынудить её скользить вдоль ворса. Сила упругости ворса $F_{\text{упр}}$ стремится прижать ворс к

загрязненной поверхности корнеклубнеплода. Помимо этих сил, на эту загрязненную поверхность также воздействует сила трения $F_{тр}$.

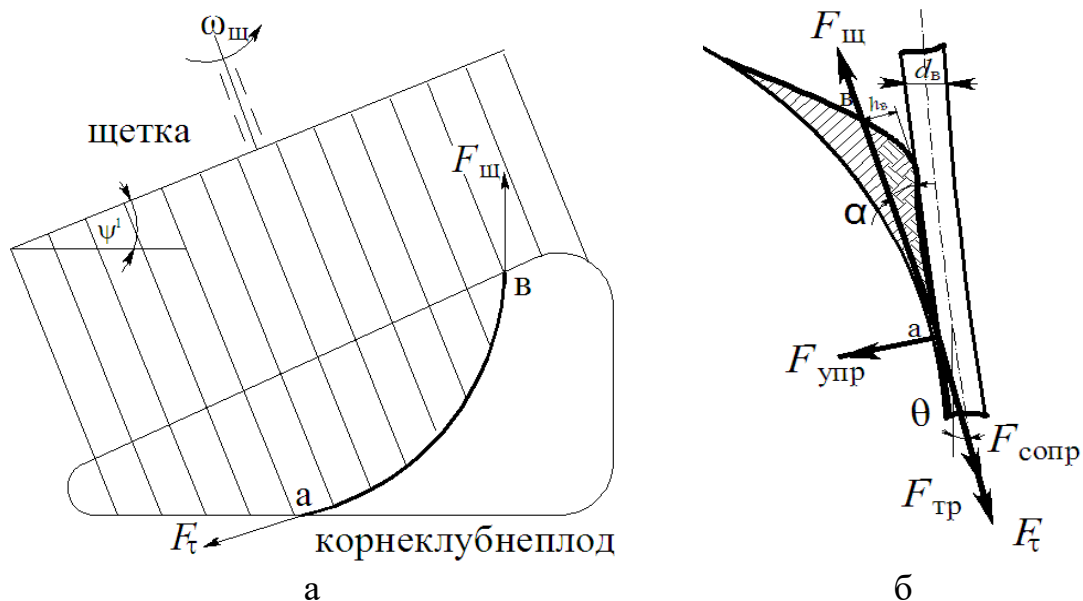


Рисунок 2.5 – Схема сил при воздействии ворса на загрязнения: а – линия воздействия ворса (ав) по поверхности корнеплода; б – воздействия сил на загрязнения

Тяговое сопротивление согласно условию (2.2) можно определить из следующего выражения:

$$F_{\tau} = \frac{\tau \pi d_b}{\sin 2\alpha} \left(\frac{h_b}{\cos(\theta + \psi')} - \frac{d_b}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right) + \frac{2 f_1 E l \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_b^2}. \quad (2.7)$$

Из формулы (2.7) видно, что с увеличением угла внедрения θ при скольжении ворса, толщина которого не изменяется, временное сопротивление загрязнений сдвигу остается постоянным, сопротивление сдвигу возрастает при изменении коэффициента трения (рис. 2.6).

Так как давление ворсин равномерно распределяется по всей площади контакта, то результирующее значение силы воздействия $F_{щ}$ ворсины в процессе очистки определяем по следующему выражению [49-54]:

$$F_{щ} = m_b R_{cp} \omega_{щ}^2, \quad (2.8)$$

где $\omega_{щ}$ – угловая скорость щетки, с^{-1} ;

m_b – масса ворса, кг.;

R_{cp} – средний радиус расположения ворсин, мм.

Учитывая зависимости (2.7) и (2.8) согласно условию $F_{щ} \geq F_{\tau}$, определяем минимально допустимую частоту вращения щетки $n_{щ}$:

$$n_{щ} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{j A_k \left[\frac{\tau \pi d_b}{\sin 2\alpha} \left(\frac{h_b}{\cos(\theta + \psi')} - \frac{d_b}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right) + \frac{2 f_1 E l \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_b^2} \right]}{m_b R_{cp}}}, \quad (2.9)$$

где j – плотность набивки щетки, шт./мм²; $n_{щ}$ – частота вращения вала щетки, мин⁻¹; A_k – опорная площадь ворсин щеточного очистителя с поверхностью корнеклубнеплода, мм².

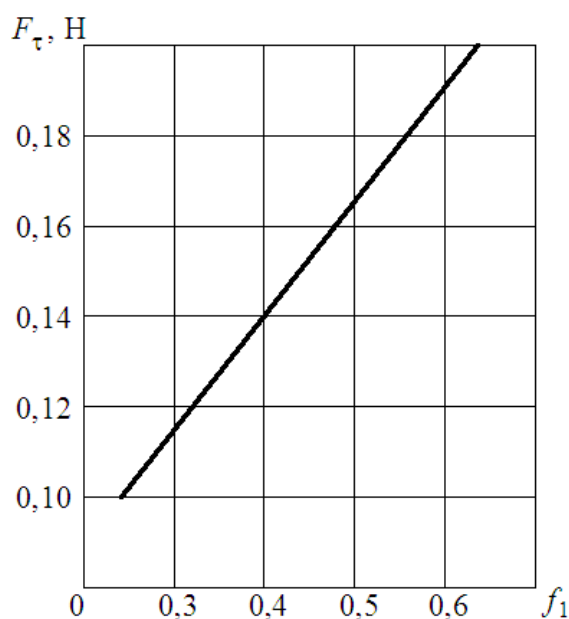


Рисунок 2.6 - Зависимость силы сопротивления сдвигу загрязнений F_τ от коэффициента трения f_1

Построим зависимость частоты вращения щетки от сопротивления сдвигу загрязнений (рис. 2.7). Частота вращения щетки при подстановке известных ранее параметров в формулу (2.9) составляет $n_{щ}=150-250$ мин⁻¹.

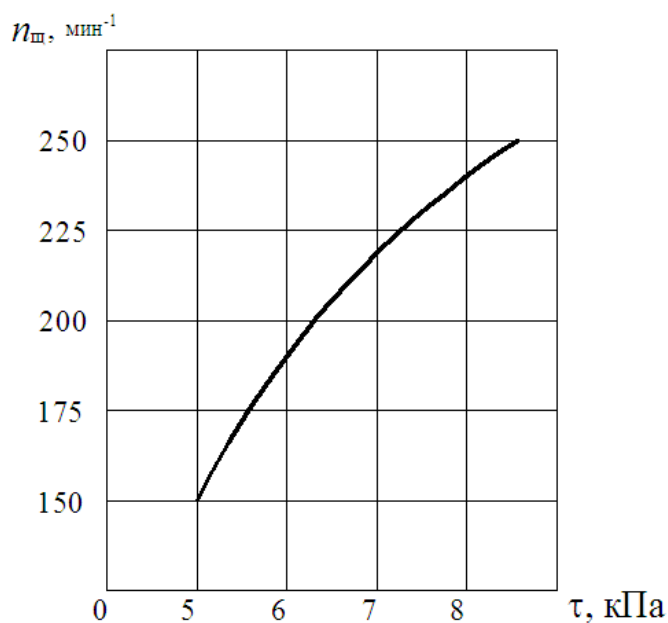


Рисунок 2.7 – Зависимость частоты вращения щетки $n_{щ}$ от сопротивления загрязнений сдвигу τ

Рассмотрим влияние формы ворса на загрязнения, сечение ворса цилиндрическое (рис. 2.8).

При движении ворса по загрязненной поверхности на участке ab (рис. 2.8) сдвиг загрязнений в направлении перемещения ворса, а на соседних участках расклинивание.

При движении по загрязненной поверхности на участке ворса ab образуется так называемое ядро уплотнения, которое в сечении будет иметь форму клина.

Частицы загрязнений, соприкасающиеся с ворсом в пределах дуги ab , будут перемещаться по направлению скорости, и не будут скользить по поверхности ворса, так как углы между скоростью и нормальными к поверхности будут меньше угла трения.

На участках ворса cb и ad , где угол между нормальными к поверхности и направлением скорости больше угла трения φ , соприкасающиеся с ворсом частицы загрязнений, будут скользить по поверхностям, перемещаясь к точкам c и d . Элемент ворса ab будет сдвигать загрязнения по ходу движения, а элементы cb и ad раздвигать ее в стороны.

Зависимость рабочей части ворса от угла трения можно выразить следующим выражением:

$$2b_1 = \frac{d_b}{\sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \varphi \cos^2 \varphi}}} . \quad (2.10)$$

При наличии скольжения, т. е. когда $\alpha > \varphi$, в слоях b_1 загрязнения уплотняются силой $F_{уп}$ и перемещаются с ворсом под действием силы $F_{ш}$. В этих слоях возникают напряжения k_{max} , равные временному сопротивлению загрязнений разрушению. Часть загрязнений переходит в слои b_2 , увеличивая напряжения в точках a и b до k_a . Далее поверхностями bc и ad загрязнения из слоев b_2 вдавливаются в слои, расположенные ниже точки a и выше точки b , за счет уплотнения этих слоев в точках c и d возникают напряжения k_d .

Тогда сопротивление сдвигу слоев загрязнений b_1 и b_2 можно выразить следующим образом:

$$\begin{cases} F_1 = 2hb_1k_{max} \cos^2 \varphi (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi) \\ F_2 = hb_2(k_a + k_d) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \beta}\right) \end{cases} , \quad (2.11)$$

где b_1 – толщина ворса на участке 1, мм;

b_2 – толщина ворса на участке 2, мм;

k_c – временное сопротивление загрязнений сдвигу в точке c , Н/мм²;

k_d – временное сопротивление загрязнений сдвигу в точке d , Н/мм².

Полное сопротивление скольжению ворса будет равно:

$$F = h \left[2b_1 k_{\max} \cos^2 \varphi (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi) + b_2 (k_a + k_d) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \beta} \right) \right]. \quad (2.12)$$

Опытами проведенными акад. В. П. Горячкиным и акад. ВАСХНИЛ В. А. Желиговским [53] доказано, что при скользящем резании усилие резания уменьшается. Это происходит потому, что при скользящем резании в материале возникают, помимо напряжений сдвига, напряжения разрыва, скалывания, тем больше, чем больше угол α . Такие результаты были получены при резании связанных почв.

Исследованиями [54-58] доказано, что около 99% тягового сопротивления расходуется на деформацию загрязнений в слоях $2b_1$ и только около 1% – на смятие почвы в слоях $2b_2$.

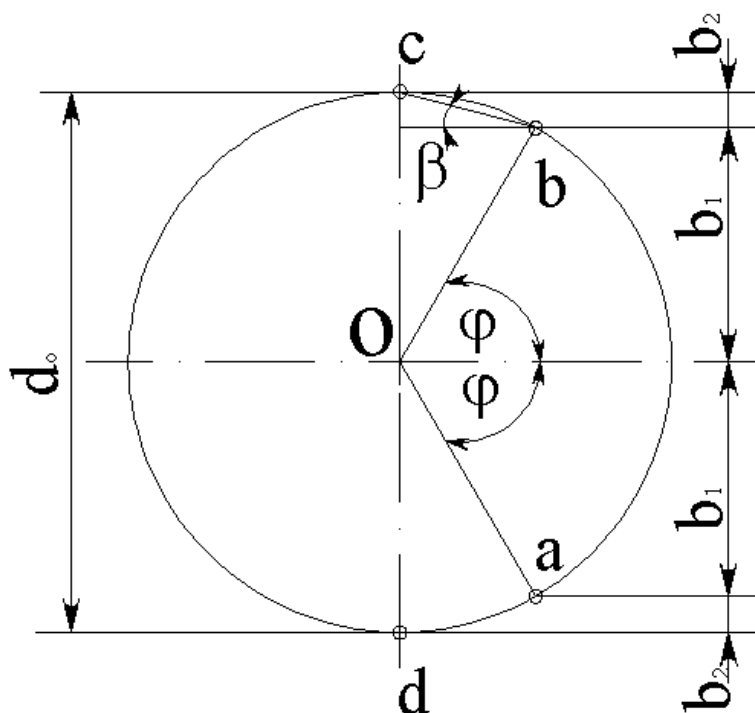


Рисунок 2.8 – Схема к определению толщины режущей части ворса

2.4 Кинематика и динамика корнеклубнеплода в зоне воздействия рабочих органов

Для качественной очистки корнеклубнеплода необходимо, чтобы на его поверхность со всех сторон была оказана интенсивное воздействие ворсин щеток, с достаточным усилием для очистки загрязнений.

Данная задача при транспортировке корнеклубнеплода от центра к периферии в одной плоскости трудно выполнима. В связи с вышеуказанными обстоятельствами возникла необходимость в решении данной проблемы.

Предлагаемая конструкция предусматривает решение данной проблемы. А именно криволинейная крыльчатка способствует скольжению корнеклубнеплода по ней, а наклон горизонтального диска дает возможность переориентированию им своего положения, тем самым, помогая ворсинам роторной щетки интенсивно воздействовать на всей поверхности продукта [38].

При перемещении корнеклубнеплодов по рабочим органам очистительных машин различают следующие виды движений: качение, скольжение, качение с одновременным проскальзыванием. Часто имеет место качение–скольжение корнеклубнеплодов, например на распределительных горках, наклонных ленточных транспортерах, винтовых конвейерах и в других устройствах. Особенности качение–скольжение тел рассматривались В.П. Горячкиным в трудах земледельческой механики [44]. Также при скольжении поверхность загрязнений подвергается трению, что способствует очистке от них корнеклубнеплодов.

Для этого рассмотрим движение корнеклубнеплода под действием силдвигающих продукт от центра к периферии и сил, препятствующих данному движению. При этом должно соблюдаться условие, при котором корнеклубнеплод будет менять свое положение относительно своей большой оси. Данное условие согласно теории качения запишется в следующем виде:

$$\sum F_{\text{дв}} > \sum F_{\text{пр}} , \quad (2.13)$$

где $\sum F_{\text{дв}}$ — силы способствующие качению-скольжению корнеклубнеплода, Н;

$\sum F_{\text{пр}}$ — силы препятствующие качению-скольжению корнеклубнеплода , Н.

Корнеклубнеплоды в зависимости от вида имеют различные геометрические формы, такие как например эллипсоид, шар, конус, цилиндр. Для установления процесса вращения наиболее приемливо принять для дальнейшего исследования корнеклубнеплод в форме цилиндра.

Согласно проведенным исследованиям качения-скольжения клубней определим условия движения для нашего случая, а именно вращение корнеклубнеплода [59, 60]. Рассмотрим движение корнеклубнеплода по поверхности горизонтального диска перемещающегося вдоль криволинейной крыльчатки.

Расчетная схема качения корнеклубнеплода показана на рисунке 2.9. Качение корнеклубнеплода по диску и крыльчатке происходит в результате воздействия силы ворсин щетки $F_{\text{ш}}$. Силами сопротивления движению будут являться силы трения корнеклубнеплода $F_{\text{тр}}$ о поверхность диска и крыльчатки.

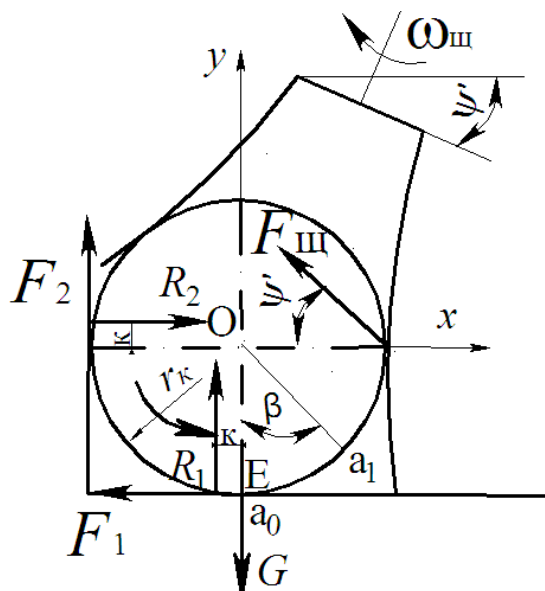


Рисунок 2.9 – Расчетная схема вращения корнеклубнеплода

Уравнение плоского движения для случая вращения корнеклубнеплода по поверхности диска имеет вид:

$$\begin{cases} \sum X = R_2 - F_1 - F_{\text{ш}} \cos \psi' = 0 \\ \sum Y = R_1 - G + F_2 + F_{\text{ш}} \sin \psi' = 0 \\ \sum m_E = (F_{\text{ш}} \sin \psi' - F_2) r_k - k R_1 - (k + r_k) R_2 = 0 \end{cases}, \quad (2.14)$$

где $F_1 = f_2 R_1$ – сила трения продукта о поверхность диска, Н;

R_1 – реакция диска, Н;

R_2 – реакция крыльчатки, Н;

$G = mg$ – сила тяжести корнеклубнеплода, Н;

$F_2 = f_2 R_2$ – трение продукта о поверхность крыльчатки, Н;

r_k – радиус корнеклубнеплода, м;

f_2 – коэффициент трения продукта о поверхность диска и крыльчатки;

ψ' – угол между силой и направлением качения, град.;

k – коэффициент качения продукта, мм.

Решая уравнение (2.14) с учетом общеизвестных математических зависимостей получим коэффициент трения качения:

$$k = \frac{m_k g f_2 r_k (1 + f_2) - (r_k \sin \psi + 3 r_k f_2^2 \sin \psi - 2 f_2 r_k \cos \psi) m_b \omega_{\text{ш}}^2 R_{\text{ср}}}{(1 + f_2) [m_k g + (\sin \psi - \cos \psi) m_b \omega_{\text{ш}}^2 R_{\text{ср}}]}, \quad (2.15)$$

где m_k – масса корнеклубнеплода, кг;

Полученное уравнение (2.15) аналогично выражению для случая качения тела, известного из теории зерноочистительных машин. Данное уравнение (2.15) показывает, что при случае качения корнеклубнеплода длина пути будет кратно длине её окружности, которое необходимо определить для качественной очистки продукта.

Данное уравнение после подстановки конструктивно-режимных параметров (коэффициент трения $f_2 = 0.4 \dots 0.7$, угол между направлением силы и движения $\psi' = 20 - 35^\circ$) показывает, что при качении корнеклубнеплода величина пройденного пути будет равна $k = 4,7$ мм. Данная величина соответствует теоретическому коэффициенту качения для корнеклубнеплодов по стали $k = 4 - 7$ мм [60]. Для проверки условия качения сравним силу трения качения и силу трения скольжения.

$$F_{\text{ш}} \cos \psi < f_2 (R_1 + R_2) \quad (2.16)$$

После подстановки известных величин и решения зависимости (2.15) сила трения качения будет меньше силы трения скольжения. Следовательно корнеклубнеплод будет качаться без скольжения. Сравнение уравнения (2.16) с аналогичным выражением для случая скольжения тела, известного из теории зерноочистительных горок, показывает, что вращение тела увеличивает величину пути на 40% по сравнению со скольжением тела без вращения [61].

Необходимым условием качественной очистки корнеклубнеплодов от загрязнений является проворачивание продукта вокруг длинной оси, что становится возможным только в том случае, если ворсины щеточного очистителя будут генерировать момент вращения вокруг этой оси [62, 63].

Для определения моментов рассмотрим систему сил, действующих на корнеклубнеплод во время его продвижения по диску (рис. 2.7). Согласно представленной схеме, вращение корнеклубнеплода по диску и крыльчатке происходит в результате воздействия сил ворсин щетки $F_{\text{ш}}$ на продукт. Силами сопротивления движению будут являться силы трения корнеклубнеплода $F_{\text{тр}}$ о поверхность диска и крыльчатки.

Для создания эффекта поворота корнеклубнеплода на некоторый угол β (рис. 2.7) расположим действующие силы ворсин на различных расстояниях от малой оси. Так как ворсины щетки располагаются на одной плоскости, разность в расстояниях мы можем достигнуть, располагая щетку под некоторым углом ψ' к поверхности диска. Решаем зависимость (2.14) с помощью математических преобразований относительно угла ψ' наклона щетки:

$$\psi' = \arctg \left(\frac{m_k g (k + k f_2 + r_k f_2^2 + r_k f_2) + (k f_2 + 2 r_k f_2 + k) m_b \omega_{ш}^2 R_{ср}}{(r_k + 3 r_k f_2^2 + k + r_k f_2) m_b \omega_{ш}^2 R_{ср}} \right). \quad (2.17)$$

Данное уравнение после подстановки известных параметров позволяет определить необходимый угол наклона щетки ($\psi'_{пред} = 26^0$), который будет влиять на качество очистки корнеклубнеплодов.

Установление щетки меньше предельного угла $\psi'_{пред}$ снизит качество очистки корнеклубнеплодов.

Анализируя вышеизложенное можно сказать, что необходимые для качественной очистки корнеклубнеплода условия качения и поворота корнеклубнеплода будут зависеть от коэффициента трения корнеклубнеплода, начальной скорости, угла наклона щетки, а также конструктивно-режимных параметров устройства. После подстановки известных конструктивно-режимных параметров в уравнения (2.15, 2.17) получим оптимальные значения пути движения корнеклубнеплода и угла наклона щетки, необходимые для качественной очистки корнеклубнеплодов. Для случая качения–скольжения, длину пути корнеклубнеплода придется увеличить, что повлечет за собой изменение конструктивно-режимных параметров устройства.

Скольжение материала как твердого тела конусообразной формы по вращающейся крыльчатке рассмотрено в работе [60-64].

Так как силы приложенные к корнеклубнеплоду в момент его перемещения по крыльчатке различны по направлению, то при движении корнеклубнеплода будет наблюдаться эффект скольжения.

Для совершенствования методов расчета теоретически проанализируем скольжение корнеклубнеплода, как материальной частицы по вращающейся шероховатой наклонной плоскости с переменным углом наклона.

В соответствии с теорией движения частиц по шероховатым поверхностям траекторией относительного движения частиц является логарифмическая спираль [63].

Рабочий процесс в очистителях с горизонтальным диском имеет своеобразную технологию. И конечный результат очистки, качество и энергозатраты, во многом зависят от того, как протекает рабочий процесс очистки корнеклубнеплодов. Рабочий процесс очистки корнеклубнеплодов состоит из приема, захвата, движения в зоне очистки и выход из очистителя.

Одним из важных звеньев рабочего процесса является захват продукта и время его продвижения в зоне очистки, так как если продукт будет накапливаться на диске, то будут возрастать энергозатраты и падать производительность машины.

Одним из решений является усовершенствование форм крыльчатки диска, который захватывал бы продукт, и продвигала его в зоне очистки.

А именно придать ей такую форму, которая способствовала бы скольжению продукта по крыльчатке и плавному наращиванию крутящего момента на валу диска. Такой формой является саблевидная или точнее логарифмическая спираль, которая характеризуется постоянством угла, образованного касательной с радиусом текущей точки [62]. Это свойство логарифмической спирали позволяет придать крыльчатке такую форму, при котором угол между касательной в любой точке крыльчатки и направлением движения сохраняется постоянным и должен быть больше или равен по величине углу трения продукта f на крыльчатке диска.

Для построения линии крыльчатки используем вышесказанное условие, а именно, чтобы заданный угол ε_0 между касательной к этой линии в любой точке и перпендикуляром к радиусу – линии, соединяющей данную точку крыльчатки с осью вращения диска – везде был постоянным (рис. 2.10).

Угол ε_0 выбирают из условия скользящего движения:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_0 > f, \quad (2.18)$$

где ε_0 – угол между крыльчаткой и касательной к ней, град.

Из треугольника ABC на рисунке 2.8 имеем:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_0 = \frac{BC}{AB} = \frac{\partial r}{r \partial \alpha}, \quad (2.19)$$

где r – радиус расположения крыльчатки, мм.

После интегрирования получаем угол α кривизны и текущее значение r_i радиуса расположения крыльчатки:

$$\alpha = \frac{1}{\operatorname{tg} \varepsilon_0} \ln r - \ln r_0, \quad r_i = r_0 \exp(\alpha \operatorname{tg} \varepsilon_0), \quad (2.20)$$

где r_0 – начальное значение радиуса расположения крыльчатки, мм.

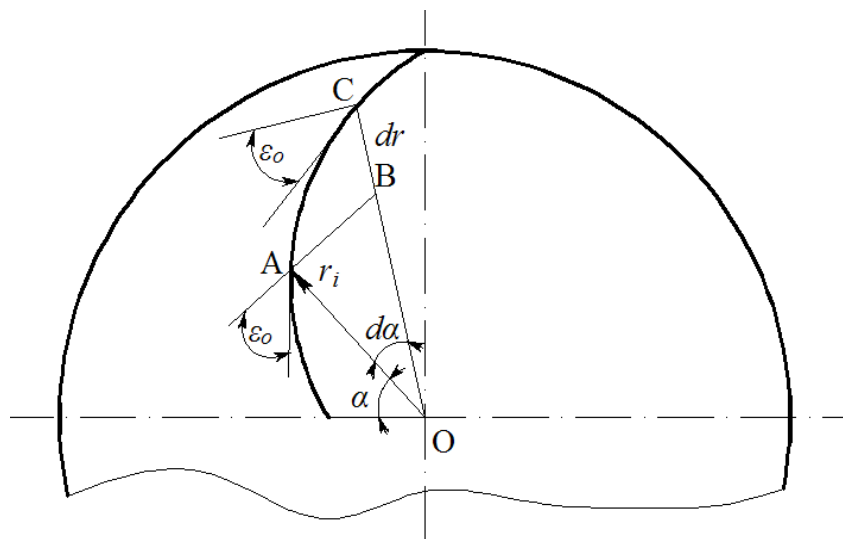


Рисунок 2.10 – Схема для вывода уравнения линии крыльчатки диска

Формула (2.20) позволяет с помощью заданного начального радиуса r_0 и угла ε_0 между касательной к крыльчатке и перпендикуляром к направлению движения спроектировать криволинейную форму линии крыльчатки.

Расчетная схема движения корнеклубнеплода показана на рисунке 2.11. Перемещение частицы A_1A_2 – относительное, A_1A_3 – абсолютное, переносное движение (вместе с диском) определяется переходом частицы из A_2 в A_3 . Угол $\angle A_1OA_3 = \theta_a$ показывает, что частица сойдет с диска под углом θ_a к её начальному положению. Этот угол можно назвать углом схода или рабочим углом. Угол $\angle A_2OA_3 = \theta_e$ является углом поворота диска за время нахождения на нем частицы. Он определяет время нахождения частицы на диске.

$$\theta_e = t\omega, \quad (2.21)$$

где t – время нахождения частицы на диске, с;
 ω – угловая скорость диска, с^{-1} .

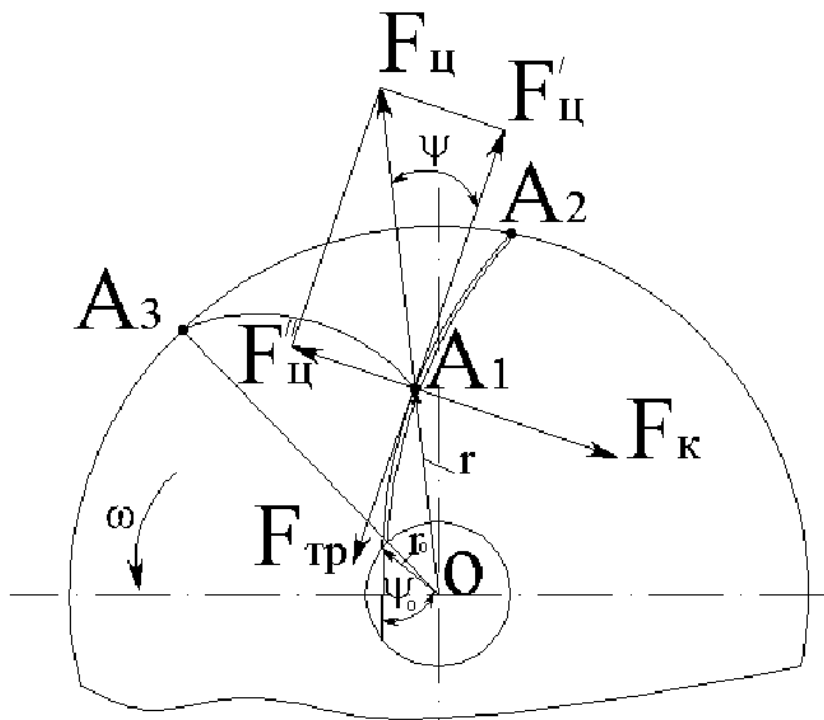


Рисунок 2.11 – Расчетная схема движения корнеклубнеплода по поверхности горизонтального диска с криволинейной крыльчаткой

При практических расчетах необходимо знать угловое перемещение продукта в абсолютном движении от момента подачи до момента схода ее с крыльчатки. Для этого надо конечное значение радиуса диска подставить в уравнение (2.21) и найти время $t_{пр}$, в течении которого продукт продвигается

по крыльчатке. За это время диск повернется на угол $\beta = \omega t_{\text{пр}}$ и продукт переместится по крыльчатке в относительном движении на угол α .

Значение угла α определяется по теореме косинусов:

$$\cos \alpha = \frac{r^2 + r_o^2 - \rho^2}{2rr_o}. \quad (2.22)$$

Следовательно, угловое перемещение продукта в абсолютном движении будет равно:

$$\theta_{\text{сх}} = \omega t_{\text{пр}} - \alpha. \quad (2.23)$$

Значение угла $\theta_{\text{сх}}$ при установившемся режиме работы зависит от начального радиуса r_o , с уменьшением которого угол $\theta_{\text{сх}}$ увеличивается.

Во всех существующих устройствах центробежного типа, предназначенных для очистки корнеплодов, применяются дисковые рабочие элементы с вертикально расположенной осью. Чтобы определить конструктивные и режимные параметры диска, проанализируем воздействие сил на продукт в процессе его движения по диску (рис. 2.12) [63]. Продукт продвигается по горизонтальному диску и криволинейной крыльчатке, который вращается с постоянной угловой скоростью, вокруг оси. Продукт двигаясь по криволинейной крыльчатке обеспечивает определенную траекторию движения и постепенное увелечение крутящего момента на валу, а также сохранность постоянного угла трения между направлением движения от центра к периферии и касательной к крыльчатке.

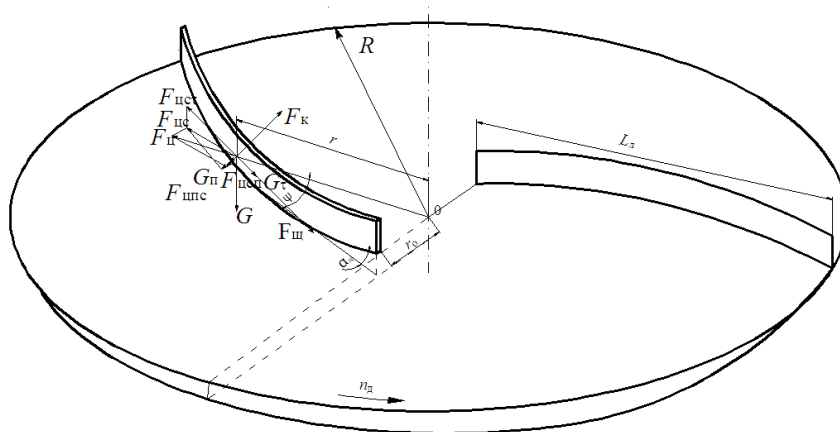


Рисунок 2.12 – Расчетная схема сил действующих при очистке корнеклубнеплода от загрязнений

Корнеклубнеплод массой m перемещается по днищу диска и стенкам криволинейной крыльчатки. Крыльчатка вместе с днищем образует угол $\alpha_{\text{лд}}$. Наклон угла $\alpha_{\text{лд}}$ определяется для того, чтобы снизить угол φ_k защемления корнеклубнеплода, который, согласно теоретическим исследованиям, находится в пределах $\varphi_k = 12-24$ градуса [62]. Крыльчатка располагается под наклоном против направления вращения диска. В процессе вращения диска корнеклубнеплод перемещается по жесткой крыльчатке к периферии.

Предполагаем, что сопротивление движению остается постоянным и не зависит от относительной скорости корнеклубнеплода.

Проектируя все силы на ось по направлению движения определим результирующую силу:

$$F_p = F_{\text{цст}} - G_\tau - f_2(G_n + F_{\text{цсп}} + F_{\text{цпс}} + F_k) - f_3 F_{\text{ш}}, \quad (2.24)$$

где $F_{\text{цст}}$ – проекция силы $F_{\text{цс}}$ по ходу движения корнеклубнеплода, Н; G_τ – касательная силы тяжести корнеклубнеплода, Н; G_n – нормальная силы тяжести корнеклубнеплода, Н; $F_{\text{цсп}}$ – нормальная центробежной силы к диску, Н; $F_{\text{цпс}}$ – нормальная центробежной силы к крыльчатке, Н; F_k – сила Кориолиса, Н; f_3 – коэффициент трения ворса по корнеклубнеплоду.

Преобразуем уравнение сил (2.24) с учетом его составляющих:

$$\begin{aligned} \partial^2 L_{\text{л}} / \partial t^2 = & r\omega^2 \cos\psi \cos\alpha_{\text{лд}} - g f_2 \sin\alpha_{\text{лд}} - f_2(g \cos\alpha_{\text{лд}} + \\ & + r\omega^2 \sin\psi \sin\alpha_{\text{лд}} + r\omega^2 \sin\psi + 2\omega \partial L_{\text{л}} / \partial t \cos\alpha_{\text{лд}}) - f_3 k_m r_{\text{ш}} \omega^2 \cos\varphi, \end{aligned} \quad (2.25)$$

где k_m – геометрический коэффициент корнеклубнеплода.

В процессе движения корнеклубнеплода по крыльчатке радиус изменяется от r_o до R , а угол ψ остается постоянным. Из анализа треугольника АВО (рис. 2.8) вытекает, что $r = r_o e^{\alpha \text{tg}\epsilon}$, $L_{\text{л}}^2 = r_o^2 + r^2 - 2rr_o \cos\alpha$,

$$r = \frac{L_{\text{л}}}{\sqrt{1 - \frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} - 2\frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} \cos\alpha}}, \text{ где } r_o - \text{ начальное удаление корнеклубнеплода от}$$

оси диска и расстояние от оси до крыльчатки.

Также учитывая начальные параметры и постоянные коэффициенты уравнение (2.25) запишем в новом виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 L_{\text{л}}}{\partial t^2} + 2f_2 \omega \cos\alpha_{\text{лд}} \frac{\partial L_{\text{л}}}{\partial t} - \frac{\omega^2 (\cos\alpha_{\text{лд}} \cos\psi - f_2 \sin\alpha_{\text{лд}} \sin\psi - f_2 \sin\psi - f_3 k_m c_1 \cos\varphi)}{\sqrt{1 - \frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} - 2\frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} \cos\alpha}} L_{\text{л}} = \\ = -g(f_2 \cos\alpha_{\text{лд}} + f_2 \sin\alpha_{\text{лд}}) \end{aligned} \quad (2.26)$$

Преобразуем уравнение (2.26) в характеристическое с корнями и получим общее решение:

$$\begin{aligned} \lambda^2 + 2f_2 \omega \cos\alpha_{\text{лд}} \lambda - \frac{\omega^2 (\cos\alpha_{\text{лд}} \cos\psi - f_2 \sin\alpha_{\text{лд}} \sin\psi - f_2 \sin\psi)}{\sqrt{1 - \frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} - 2\frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} \cos\alpha}} = 0 \\ \lambda_1 = \omega \cos\alpha_{\text{лд}} \left(-f_2 + \sqrt{f_2^2 - f_2 \text{tg}\alpha_{\text{лд}} + 1} \right), \quad \lambda_2 = \omega \cos\alpha_{\text{лд}} \left(-f_2 - \sqrt{f_2^2 - f_2 \text{tg}\alpha_{\text{лд}} + 1} \right), \\ L_{\text{л}} = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \Theta, \end{aligned} \quad (2.27)$$

С учетом интегрирования,

$$\Theta = \frac{[-g(f_3 \cos\alpha_{\text{лд}} + f_3 \sin\alpha_{\text{лд}})] \sqrt{1 - \frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} - 2\frac{1}{e^{\alpha \text{tg}\epsilon}} \cos\alpha}}{\omega^2 (\cos\alpha_{\text{лд}} \cos\psi - f_2 \sin\alpha_{\text{лд}} \sin\psi - f_2 \sin\psi - f_3 k_m c_1 \cos\varphi)}.$$

где c_1 – показатель кинематического режима работы щетки.

Поскольку корнеклубнеплоды поступают на крыльчатку непрерывным потоком, их движение вдоль поверхности крыльчатки можно считать безотрывным, имеющие при этом начальную скорость:

$$v_{он} = \omega r_0 \cos \alpha_{лд} \cos \psi. \quad (2.28)$$

Следовательно, при $t_{л} = 0$, $L_{л} = 0$, $\partial L_{л} / \partial t_{л} = v_0$

$$C_1 = (\pm v_{он} - \lambda_2 \Theta) / (\lambda_2 - \lambda_1), C_2 = (\pm v_{он} + \lambda_1 \Theta) / (\lambda_2 - \lambda_1),$$

Уравнение (2.27) будет иметь вид:

$$L_{л} = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} [(\pm v_{он} - \lambda_2 \Theta) e^{\lambda_1 t_{л}} - (\pm v_{он} - \lambda_1 \Theta) e^{\lambda_2 t_{л}}] + \Theta. \quad (2.29)$$

Дифференцируя уравнение (2.29) определим относительную скорость v_0 движения корнеклубнеплода по поверхности крыльчатки:

$$v_0 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} [(\pm v_{он} - \lambda_2 \Theta) e^{\lambda_1 t_{л}} - (\pm v_{он} - \lambda_1 \Theta) e^{\lambda_2 t_{л}}]. \quad (2.30)$$

Максимальное значение относительная скорость v_0 корнеклубнеплода достигает в момент ее схода с диска: $\lim_{r \rightarrow R} v_0 = v_{oc}$. Для расчета времени движения частицы вдоль крыльчатки и ее относительной скорости в момент схода с диска v_{oc} составим систему уравнений с использованием зависимостей (2.28)–(2.30). Окончательно после преобразований получим:

$$v_{oc} = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\left(\pm \frac{\omega R \cos \psi \cos \alpha_{лд}}{e^{\alpha t_{лг}}} - \lambda_2 \Theta \right) \lambda_1 e^{\lambda_1 t_{л}} - \left(\pm \frac{\omega R \cos \psi \cos \alpha_{лд}}{e^{\alpha t_{лг}}} - \lambda_1 \Theta \right) \lambda_2 e^{\lambda_2 t_{л}} \right]. \quad (2.31)$$

Из системы уравнений (2.28–2.32) можно получить частные решения, учитывающие форму диска. Подставляя известные параметры в формулы (2.28–2.31), мы можем вычислить требуемую длину крыльчатки и скорость движения корнеклубнеплода в текущий момент времени. Применяя известные параметры ($f_2 = 0,55$; $f_3 = 0,27$; $\alpha_{лд} = 17^\circ$; $\psi = 27^\circ$; $\omega = 1,64 \text{ с}^{-1}$; $k_m = 1,8$; $c_1 = 0,75$; $t = 5 \text{ с}$) скорость скольжения корнеклубнеплода по днищу диска составит $v_{oc} = 0,76 \text{ м/с}$, оптимальная длина крыльчатки в пределах $L_{л} = 0,327\text{--}0,411 \text{ м}$, данные параметры не противоречат предъявляемым конструктивным требованиям очистителей [64].

Также стоит отметить, что увеличение радиуса диска связано с значительным ростом металлоемкости устройства. В то же время, при небольшом радиусе диска необходимо более тщательное изготовление устройства, чтобы оно соответствовало заданной форме крыльчатки и основным параметрам диска.

С учетом того, что при движении корнеклубнеплода от центра к выходному окну центробежная сила будет больше препятствующего ему

сил трения уравнение движения корнеклубнеплодов вдоль крыльчатки будет выглядеть следующим образом:

$$r\omega^2 \cos \alpha_{\text{лд}} \cos \psi \geq \frac{\partial^2 L}{\partial t^2} + g \sin \alpha_{\text{лд}} +$$

$$+ f_2 (g \cos \alpha_{\text{лд}} + r\omega^2 \sin \alpha_{\text{лд}} \sin \psi + r\omega^2 \sin \psi + 2\omega \frac{\partial L}{\partial t}) - f_3 k_m r_{\text{щ}} \omega_{\text{щ}}^2 \cos \varphi \quad (2.32)$$

Для определения кинематики корнеклубнеплода рассмотрим относительное перемещение корнеклубнеплода и используем теорему о кинетической энергии материальной точки в относительном движении [101].

Рассмотрим систему сил совершающих работу (рис. 2.13). Для этого введем подвижную систему координат Ox_1y_1 и спроецируем центробежную силу инерции на подвижные оси Ox_1y_1 , связанные с крыльчаткой, получим:

$$F_{\text{цх1}} = m\omega^2 x_1, \text{ и } F_{\text{цы1}} = m\omega^2 y_1. \quad (2.33)$$

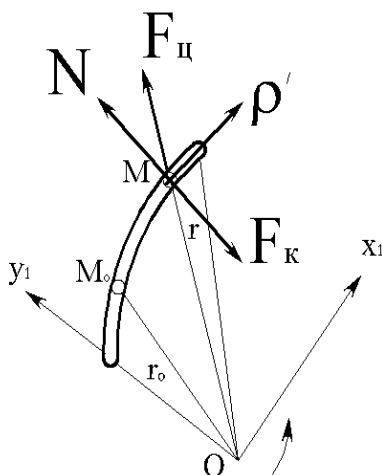


Рисунок 2.13 – Схема сил к определению частоты вращения диска

Элементарная работа центробежных сил инерции в относительном движении будет равна:

$$F_{\text{цх1}} \partial x_1 + F_{\text{цы1}} \partial y_1 = \frac{m\omega^2}{2} \partial (x_1^2 + y_1^2) = \frac{m\omega^2}{2} \partial r^2. \quad (2.34)$$

Работа кориолисовой силы в относительном движении равна нулю, так как она перпендикулярна к относительной скорости.

Работа от центробежных сил на пути M_0M , интегрированием уравнения (2.35), будет равна:

$$A = \frac{m\omega^2}{2} (r^2 - r_0^2). \quad (2.35)$$

Согласно теореме о кинетической энергии в относительном движении относительная скорость будет равна [98]:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \omega \sqrt{r^2 - r_o^2} = \frac{\pi n}{30} \sqrt{r^2 - r_o^2}. \quad (2.36)$$

Произведя замену в уравнении (2.32) условие перемещения корнеклубнеплода запишется в следующем виде:

$$\frac{\pi^2 n_d^2}{30^2} \left(\sqrt{r^2 - r_o^2} \right) (\cos \psi \cos \alpha_{\text{лд}} - f_2 \sin \psi \sin \alpha_{\text{лд}} - f_2 \sin \psi + f_3 k_m c_1 \cos \varphi + 3) \geq g(\sin \alpha_{\text{лд}} + f_2 \cos \alpha_{\text{лд}}). \quad (2.37)$$

Решив зависимость (2.37) относительно n_d , определим число оборотов диска:

$$n_d = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin \alpha_{\text{лд}} + f_2 \cos \alpha_{\text{лд}})}{\sqrt{r^2 - r_o^2} (\cos \psi \cos \alpha_{\text{лд}} - f_2 \sin \psi \sin \alpha_{\text{лд}} - f_2 \sin \psi + f_3 k_m c_1 \cos \varphi + 3)}}. \quad (2.38)$$

Формула (2.38) определяет минимальную частоту вращения диска, при дальнейшем снижении которого корнеклубнеплод не сможет преодолеть сопротивление трению, и не будет перемещаться по поверхности диска. По известным данным построим зависимость частоты вращения диска от коэффициента трения (рис. 2.14) [64-67]. Частота вращения диска при подстановке известных ранее параметров в формулу (2.38) составляет $n_d = 11 \text{ мин}^{-1}$, если сравнить с условием, когда $\alpha_{\text{лд}} = 0^\circ$ $n_d = 18 \text{ мин}^{-1}$. Очевидно, что при $\alpha_{\text{лд}} = 0^\circ$ наблюдается рост энергозатрат очистительного устройства. С возрастанием коэффициента трения корнеклубнеплода о поверхность диска скорость продвижения продукта уменьшается тем самым уменьшая производительность устройства.

На основе полученных уравнений можно рассчитать и выбрать наиболее рациональные конструктивные параметры и режима их работы, которые соответствуют ранее проведенным теоретическим исследованиям [60-68].

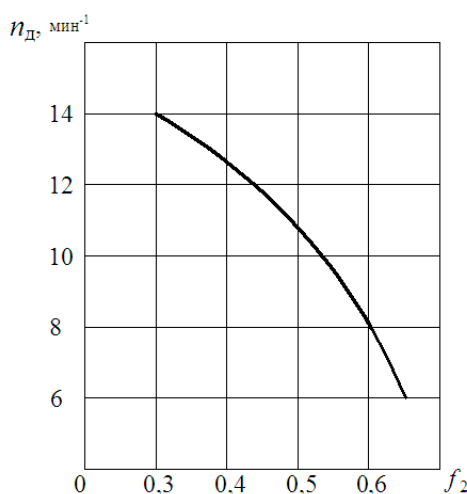


Рисунок 2.14 – Зависимость частоты вращения диска n_d от коэффициента трения f_2

2.5 Кинематические параметры роторной щетки

Основные показатели качества работы и технические данные (энергозатраты и производительность) очистительных машин зависит от их кинематических и конструктивных параметров, а именно от соотношения угловой скорости вращения рабочих органов и скорости поступательного движения продукта, от диаметра диска, числа рабочих органов, скорости скольжения и других факторов.

Корнеклубнеплод в процессе работы воспринимает две фазы движения, характеризующиеся наличием или отсутствием контакта очищаемой поверхности со щеточным очистителем. При контакте корнеклубнеплода со щеточным очистителем происходит процесс очистки, поэтому длина линии контакта ворса с очищаемой поверхностью и предопределяет очищаемую способность щетки.

Определение длины линии контакта является одним из основных расчетов при определении качества очистки.

Схема к расчету траектории движения единичного ворса роторной щетки по поверхности корнеклубнеплода приведена на рисунке 2.15. Направление оси X совпадает с направлением движения продукта, а ось Y перпендикулярна к горизонтальной плоскости. За начало координат принято крайнее (исходное) положение фиксированной точки ворса щетки.

Введем следующие обозначения:

R_i – текущий радиус расположения ворсины на диске (расстояние от геометрической оси вала до оси ворса $OO_{\text{ц}}=R$), мм;

$\alpha = \omega t$ – угол поворота, текущее значение углового перемещения ворса, град;

ω – угловая скорость щеточного очистителя, рад/сек;

$v_{\text{п}}$ – поступательная скорость продукта, м/с;

v_o – окружная скорость конца рабочего органа щеточного очистителя, м/с;

$c_2 = v_{\text{п}} / v_o$ – режимный показатель работы очистителя;

В относительном движении за время t точка конца рабочего органа из точки О (начальное положение) переместится в точку O_1 с координатами $x_1=a$, $y=b$.

В переносном же движении вся система сместится вдоль абсцисс на расстояние $x_2 = v_{\text{п}}t$. Поэтому в абсолютном движении координаты траектории точки, конца рабочего органа будут равны:

$$\begin{cases} x = v_{\text{п}}ta \\ y = b \\ z = c \end{cases} \quad (2.39)$$


$$\begin{cases} x = R_i \left[\frac{\alpha}{c_2} - \sin \alpha \cos \gamma + (1 - \cos \alpha) \sin \beta \sin \gamma \right] \\ y = R_i (1 - \cos \alpha) \cos \beta \\ z = R_i [\sin \alpha \sin \gamma + (1 - \cos \alpha) \sin \beta \cos \gamma] \end{cases}. \quad (2.40)$$
$$\begin{cases} x = R_i \left[\frac{\alpha}{c_2} - \sin \alpha \right] \\ z = R_i (1 - \cos \alpha) \end{cases} \quad (2.41)$$

Длина контакта ворсины или длина скольжения – одна из важнейших характеристик очистительных машин. Величина ее в зависимости от размеров корнеклубнеплода определяет размер диска, а также удельные затраты энергии [67].

Следовательно, для определения оптимального диаметра диска надо знать наибольшую длину пути, проходимого рабочим органом, т. е. длину линии скольжения.

Помимо этого, положение ворса щетки при ее работе определяют углы отклонения: угол встречи ворса с поверхностью очистки и угол, определяющий начало выхода ворса из контакта с поверхностью корнеклубнеплода [66, 67].

Теоретическими и экспериментальными исследованиями [105, 106] установлено, что вид материала и угловые перемещения ворса не оказывают влияния на соотношение углов α_2/α_1 и $\alpha_{ш}/\alpha_1$.

Из рисунка 2.16 угол входа α_1 и угол выхода α_2 ворса с поверхностью корнеклубнеплода будет равен:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{(R_i - h_1)}{R}, \quad \alpha_2 = \arccos \frac{(R_i - h_2)}{R}, \quad (2.42)$$

где h_1 – ширина обработки, мм;

h_2 – ширина гребешка, мм.

По известным данным, длина l линии контакта (дуга плоской кривой) с учетом зависимостей (2.39 – 2.42) выражается следующим уравнением [60-67]:

$$l = R_i \sqrt{1 + c_2^2} \left[(\alpha_2 - \alpha_1) + \frac{c_2}{1 - c_2^2} (\alpha_2^2 - \alpha_1^2) - \frac{c_2^2}{6(1 + c_2^2)} (\alpha_2^3 - \alpha_1^3) \right]. \quad (2.43)$$

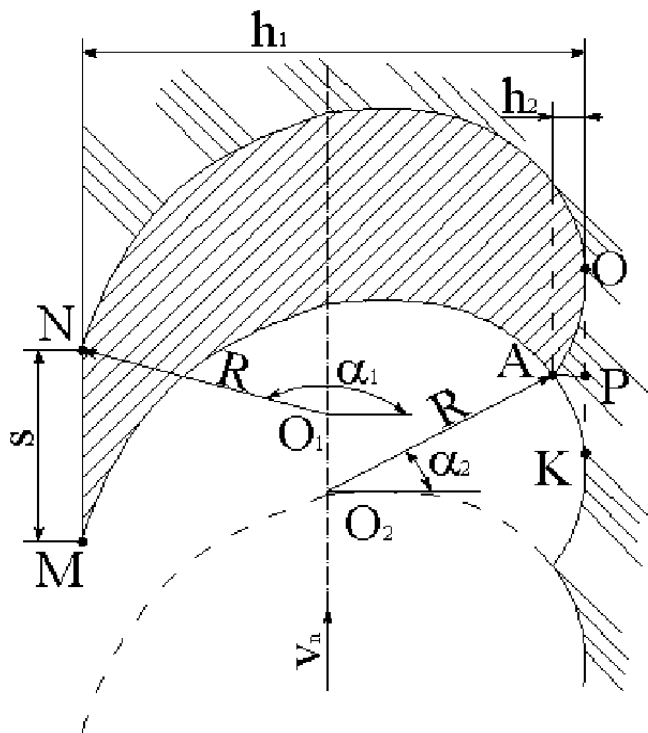


Рисунок 2.16 – Кинематика перемещения ворса

Угол $\alpha_{\text{ш}}$ контакта щетки с поверхностью корнеклубнеплода определяется из длины линии контакта и радиуса диска [108], следующим выражением:

$$\alpha_{\text{ш}} = \frac{180}{\pi} \sqrt{1+c_2^2} \left[(\alpha_2 - \alpha_1) + \frac{c_2}{1-c_2^2} (\alpha_2^2 - \alpha_1^2) - \frac{c_2^2}{6(1+c_2^2)} (\alpha_2^3 - \alpha_1^3) \right]. \quad (2.44)$$

Окружное расстояние между ворсинами является показателем учитываемое при выборе режима работы очистительной машины и определяемое в основном требованиями качеств очистки. От этого показателя существенно зависят энергетические и качественные показатели очистки. С увеличением расстояния между ворсинами возникают огрехи в работе, снижается степень очистки.

Для определения нагрузки на единичный ворс и щетку в целом, а также качества очистки необходимо определить площадь контакта корнеклубнеплода со щеткой. Площадь контакта, – также один из технологических показателей работы очистительных машин. Значение площади контакта необходимо для энергетических расчетов очистительных машин.

Допуская, что корнеклубнеплод имеет коническую форму можно принять, что погружение щетки в тело корнеклубнеплода происходит равномерно по всей длине корнеклубнеплода. Также допустим, что щетка контактирует с поверхностью корнеклубнеплода одной половиной своей окружности. Тогда площадь контакта корнеклубнеплода со щеткой определится как поверхность, траектории ворсин ограниченная дугами радиуса корнеклубнеплода, и длиной, равной длине L_k корнеклубнеплода [67, 68]. Из рисунка 2.17 видно, что площадь контакта поверхности корнеклубнеплода со щеткой (заштрихована) будет равна:

$$A_k = \frac{L_k}{2} \left(\frac{r_1 l_1}{R_1} + \frac{r_2 l_2}{R_2} \right), \quad (2.45)$$

где L_k – длина корнеклубнеплода, мм; l_1, l_2 – длина линии контакта ворса щетки с корнеклубнеплодом на начальном и конечном участке, мм; r_1, r_2 – радиус корнеклубнеплода в сечении контакта с ворсинами щетки, мм; R_1, R_2 – радиус расположения ворсины на диске щетки, мм.

Для достижения более качественной очистки корнеклубнеплода необходимо, чтобы площадь контакта продукта с поверхностью щетки была бы как минимум равна площади поверхности корнеклубнеплода. Площадь боковой поверхности корнеклубнеплода как конуса, в частности кормовой свеклы, будет равна:

$$A_{\text{п}} = \pi r_{\text{н}} L_{\text{к}}, \quad (2.46)$$

где $r_{\text{н}}$ – наибольший радиус корнеклубнеплода, мм.



Рисунок 2.17 – Расчетная схема к определению площади контакта.

Решением данного условия является поворачивание корнеулубнеплода, которое выразится коэффициентом поворота корнеклубнеплода вокруг длинной оси Δ :

$$\Delta = \frac{A_{\pi}}{A_{\kappa} \xi}, \quad (2.47)$$

где ξ – коэффициент скольжения.

По полученным уравнениям (2.43) и (2.46) с использованием известных данных построим графики длины контакта ворса l с поверхностью корнеклубнеплода, в зависимости от кинематического параметра c_2 и площади контакта щетки A_{κ} с поверхностью корнеклубнеплода в зависимости от длины контакта ворса l (рис. 2.18, рис. 2.19) [60-68]. Из уравнения (2.47) задавая параметры корнеклубнеплода можно определить коэффициент поворота корнеклубнеплода вокруг своей большой оси, который не зависит от геометрических показателей продукта. Значение этого параметра будет зависеть от системы сил действующих на корнеклубнеплод (2.16, 2.21), а частным решением будет соотношения длины окружности корнеклубнеплода и ширины контакта щетки с корнеклубнеплодом:

$$\Delta = \frac{2\pi r_{\kappa}}{b_{\pi}}, \quad (2.48)$$

где b_{π} – ширина площади контакта щетки с корнеклубнеплодом, мм.

Ширина площади контакта щетки с корнеклубнеплодом $b_{щ}$ определяется с помощью уравнения (2.44) и математических зависимостей [108].

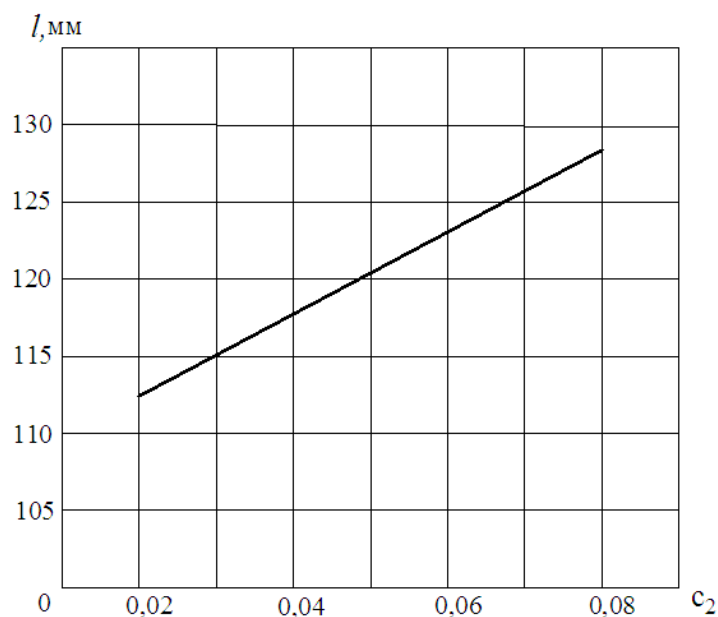


Рисунок 2.18 – Зависимость линии контакта ворса l с поверхностью корнеклубнеплода от кинематического параметра c_2

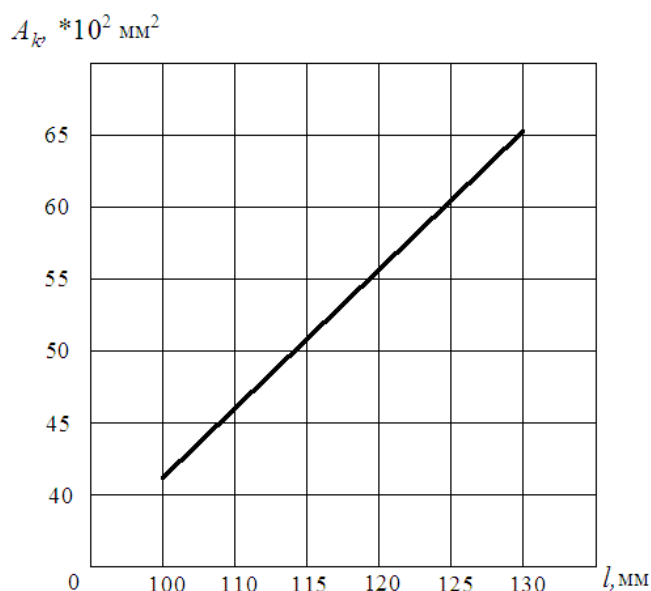


Рисунок 2.19 – Зависимость площади контакта щетки A_k с поверхностью корнеклубнеплода от длины линии контакта ворса l

Очистка корнеклубнеплодов будет качественной, если будет известно количество активнодействующих ворсин на данной площади контакта. Щетка в данном очистителе состоит из определенного количества ворсин,

жестко закреплённых на диске. Количество ворсин на диске характеризуется плотностью j набивки, которая в зависимости от назначения щетки колеблется в пределах от 0,01 до 0,03.

Чтобы определить количество ворса, участвующего в контакте с корнеклубнеплодом, необходимо знать площадь A_k контакта и плотность j набивки. Количество активнодействующих ворсин на данной площади контакта определится из выражения:

$$n'_b = jA_k, \quad (2.49)$$

где j – плотность набивки, шт/мм².

Учитывая зависимости (2.10), (2.38), (2.45 – 2.49) выразим остаточную загрязненность корнеклубнеплода через начальную и в зависимости от шероховатой поверхности:

$$\delta_{\text{ост}}^T = \delta_o + \left(1 - \frac{\Delta \xi A_k}{A_{\text{п}}}\right) \delta_{\text{нач}}, \quad (2.50)$$

где $\delta_{\text{нач}}$ – начальная загрязненность корнеклубнеплодов, %; δ_o – остаточная загрязненность, зависящая от шероховатости поверхности корнеклубнеплодов, %.

После подстановки ранее известных конструктивно-режимных параметров щеточного очистителя, физико-механических свойств корнеклубнеплода и загрязнений в выражение (2.50) с помощью программы «Mathcad» определим теоретический показатель качества очистки корнеклубнеплодов $\delta_{\text{ост}}^T = 1,5\text{--}1,8\%$ (рис. 2.20).

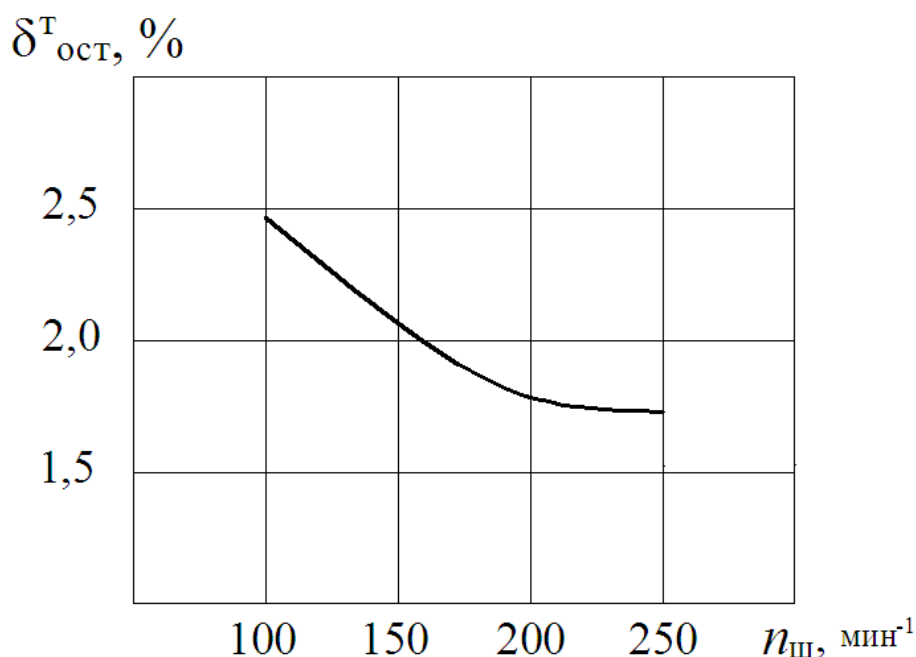


Рисунок 2.20 – Зависимость остаточной загрязненности корнеклубнеплодов $\delta_{\text{ост}}^T$ от частоты вращения щетки $n_{\text{щ}}$

2.6 Технологические параметры роторно-щеточного устройства

Основные конструктивные параметры очистителя определялись на основе проведенных экспериментов по определению размерно-весовых показателей корнеклубнеплодов п.4.1 данной работы, а также на основе анализа существующих конструкций очистительных машин корнеклубнеплодов и анализа литературных источников.

Основными факторами, обуславливающими рабочий процесс щеточным очистителем, является производительность, частота вращения диска и время пребывания корнеклубнеплодов в очистителе.

Часовую производительность очистителя Q определяют по формуле:

$$Q = 0,06\rho V_d h_k k_t k_n L n_d, \quad (2.51)$$

где V_d – ширина зоны очистки, м; ρ – насыпная плотность продукта, кг/м³; h_k – высота крыльчатки, м; k_t – коэффициент учета времени; k_n – коэффициент заполнения зоны очистки.

Анализируя зависимость теоретического значения производительности очистительного устройства (рис. 2.21) можно сказать, что пропускная способность очистителя зависит от физико-механических свойств корнеклубнеплода, конструктивных размеров и частоты вращения диска.

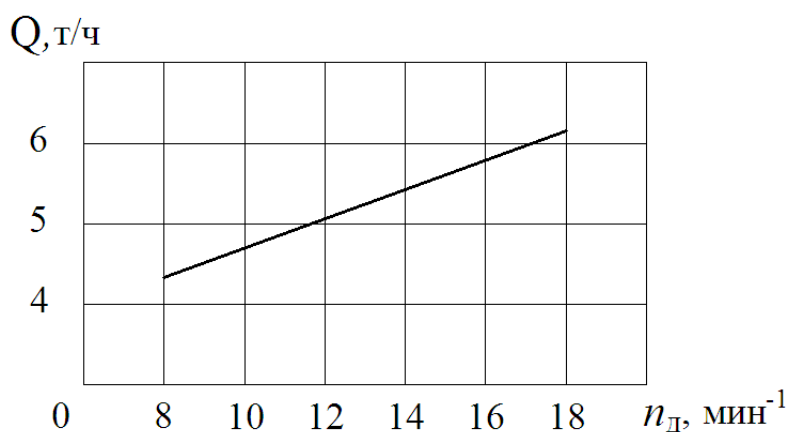


Рисунок 2.21 – Зависимость производительности очистительного устройства Q от частоты вращения диска n_d

В результате анализа рабочего процесса щеточного очистителя установлено, что он будет работать в том случае, если происходит перемещение продукта от центра к периферии. Перемещение продукта от центра к периферии возможно, когда центробежная сила больше сил сопротивления движению корнеклубнеплода.

Очиститель корнеклубнеплодов с такими параметрами будет иметь ряд существенных недостатков:

- вследствие нахождения большой массы на диске недолговечность подшипниковых узлов и как следствие ненадежность в работе;
- отрыв корнеклубнеплодов от поверхности диска и переброс через крыльчатку, что приводит к снижению качества очистки и производительности;
- высокая повреждаемость корнеклубнеплодов, что приведет к значительным потерям корма.

Таким образом, появляется необходимость в рациональном выборе конструктивно-режимных параметров процесса очистки корнеклубнеплодов в очистителе.

Энергия P , необходимая для очистительного процесса затрачивается на перемещение корнеклубнеплодов от центра к периферии, на преодоление трения продукта по стенке крыльчатки, на очистку загрязненной поверхности корнеклубнеплода ворсинками щетки (кВт):

$$P = 0.105 M_k g f_2 R n_d k_v \cos \alpha_{лд} + F_p \vartheta_o f_2 + F_{щ} \vartheta_v j z A_k, \quad (2.52)$$

где R – радиус транспортирующего органа, м; M_k – масса продукта, находящихся на транспортирующем органе, кг; k_v – коэффициент, вращательного движения продукта; v_v – скорость воздействия ворсин по поверхности продукта, м/с; F_p – сила перемещающая продукт, Н; z – количество рабочих органов, шт.

Коэффициент вращения k_v определяется из условия поворота корнеклубнеплода вокруг продольной оси с учетом всех сил действующих на продукт (рис. 2.7). Решая уравнение (2.14) относительно центра осей O определим коэффициент вращения корнеклубнеплода:

$$k_v = \frac{F_{щ} r_k \sin \psi'}{k(R_1 + R_2) + f_2 r_k (R_1 + R_2)} \quad (2.53)$$

Энергоемкость процесса очистки ϑ_n корнеклубнеплодов в роторно-щеточном очистителе определяется по формуле, (кВт·ч/т):

$$\vartheta_n = \frac{P}{Q}. \quad (2.54)$$

При определении мощности двигателя необходимо учитывать:

- защемление и дробление корнеклубнеплодов в зазорах между наружной кромкой крыльчатки и внутренней поверхностью корпуса;
- трение в подшипниках вала диска;

- трение в передаточном механизме;
- возможность пуска очистителя под нагрузкой после вынужденной остановки двигателя.

Мощность P_o на валу диска определяется как:

$$P_o = \frac{Pk_o}{\eta_{пд}}, \quad (2.55)$$

где $k_o=1,3-1,5$ – коэффициент, учитывающий защемление и дробление корнеклубнеплодов;

$\eta_{пд}$ – коэффициент полезного действия подшипников качения.

Мощность $P_{эд}$, снимаемая с вала двигателя:

$$P_{эд} = \frac{P_o}{\eta_{тр}} k_p, \quad (2.56)$$

где $\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии;

$k_p = 1.1-1.25$ – коэффициент запаса мощности.

Подставляя известные величины в уравнении (2.52, 2.53) определим значение мощности затрачиваемую на очистку корнеклубнеплодов и энергоемкости процесса очистки при различной частоте вращения диска и постоянной производительности очистителя равной 5т/ч. Анализ зависимости мощности на очистку от частоты вращения диска, при постоянных оборотах щетки (рис. 2.22) показывает, что минимальная мощность на очистку затрачивается при угле наклона диска $\alpha_d = 15^\circ$ и частоте вращения $n_d = 12 \text{ мин}^{-1}$. С увеличением производительности энергозатраты процесса очистки уменьшается. Это связано с тем, что время нахождения продукта на диске в процессе очистки уменьшается.

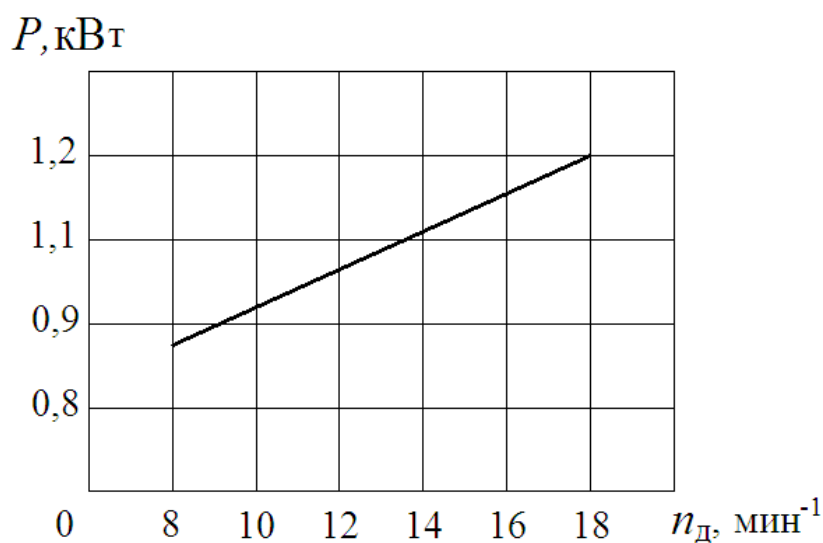


Рисунок 2.22 – Зависимость мощности очистительного устройства P от частоты вращения диска n_d

ГЛАВА 3. ПЛАНИРОВАНИЕ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

3.1 Выбор критерия оптимизации процесса очистки корнеклубнеплодов

Для определения оптимальных значений показателей технологического процесса очистки и измельчения экспериментальными исследованиями предусматривалось:

- выбор критерия оптимизации процесса очистки и измельчения корнеклубнеплодов;
- проведение анализа с целью выявления наиболее значимых факторов;
- разработка экспериментальной установки для проведения исследований;
- выбор методики обработки экспериментальных данных.

При определении условий испытаний необходимо определить основные размерно–массовые характеристики корнеклубнеплодов очищаемого вороха, а также параметры, оценивающие качество очистки и энергозатраты процесса очистки: первоначальная загрязненность $\delta_{\text{нач}}$, остаточная загрязненность $\delta_{\text{ост}}$ и потери массы П.

Для определения характеристических параметров корнеклубнеплодов из общей массы подряд с 3-х кратной повторностью отбирают 20 штук, общей массой не менее 12 кг [69]. Корнеклубнеплоды взвешивают и измеряют их длину и диаметр. Наибольшие результаты измерений вносят в таблицу.

Для определения первоначальной загрязненности корнеклубнеплодов $\delta_{\text{нач}}$ пробы отбирают аналогично приведенной выше методике и взвешивают с точностью до 0,01 кг. Затем корнеклубнеплоды тщательно очищают вручную сухим и с помощью воды, и взвешивают.

Первоначальная загрязненность $\delta_{\text{нач}}$ корнеклубнеплодов в % подсчитывают по формуле:

$$\delta_{\text{нач}} = \frac{m_1 - m_3}{m_1} 100\%, \quad (3.1)$$

где m_3 — масса чистых корнеклубнеплодов, кг; m_1 — масса корнеклубнеплодов до очистки, кг.

Включив привод питающего транспортера и диска производили отбор массы очищенных корнеклубнеплодов с выгрузного лотка за 30 секунд работы машины. Параллельно фиксировалась общая мощность и мощность холостого хода на привод устройства ваттметром–самописцем.

Качество очистки роторно-щеточного очистителя определяют по остаточной загрязненности корнеклубнеплодов $\delta_{\text{ост}}$. Величину остаточной загрязненности корнеклубнеплодов $\delta_{\text{ост}}$ в % подсчитывают по формуле:

$$\delta_{\text{ост}} = \frac{m_2 - m_3}{m_1} 100\%, \quad (3.2)$$

где m_2 — масса корнеклубнеплодов после очистки в очистителе, кг.

Для определения потерь кормов в процессе очистки устанавливают места потерь кормов и под ними устанавливают уловители. Извлекают из общей массы загрязнений обломки корнеклубнеплодов и взвешивают. Потери массы корнеклубнеплодов Π в % определяют по формуле:

$$\Pi = \frac{m_{\text{обл}}}{m_3 + m_{\text{обл}}} 100\%, \quad (3.3)$$

где $m_{\text{обл}}$ — масса обломков корнеклубнеплодов, кг.

Производительность устройства определялась по формуле, т/ч:

$$Q = \frac{m}{T} 3,6, \quad (3.4)$$

где m — масса навески корнеклубнеплодов, кг;

T — время отбора навески, с.

Общая мощность и мощность холостого на привод устройства фиксировалась ваттметром—самописцем.

Полезная мощность P в кВт определялась по выражению:

$$P = P_{\text{общ}} - P_{\text{х.х}}, \quad (3.5)$$

где $P_{\text{общ}}$ — общая энергозатраты, кВт; $P_{\text{х.х}}$ — энергозатраты холостого хода, кВт.

Удельную энергоемкость $\mathcal{E}_{\Pi}$ в кВт·ч/т технологического процесса очистки корнеклубнеплодов вычисляют по формуле:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = \frac{P_{\text{общ}} - P_{\text{х.х}}}{Q}. \quad (3.6)$$

По минимальному значению удельной энергоемкости определяем конструктивно—режимный параметр устройства.

Результаты заносятся в таблицу и подсчитывают среднее арифметическое из 3-х повторяемых экспериментов.

3.2 Определение факторов

На основе анализа ранее проведенных исследований и собственных изысканий было определено девятнадцать факторов, которые могут влиять на качество очистки корнеклубнеплодов (табл. 3.1) [27, 29, 33, 36, 39, 41, 58, 60, 61].

На качество очистки корнеклубнеплодов от загрязнений оказывают влияние целый ряд элементов. Важнейшими элементами процесса

качественной очистки являются: роторно-щеточный очиститель, корнеклубнеплод, загрязнения и транспортирующий орган, диск с крыльчатками. В свою очередь каждый из перечисленных элементов обладает параметрами, именуемые далее факторами, влияющих на качество очистки корнеклубнеплодов.

Таблица 3.1 – Факторы и уровни их варьирования

Обозначение фактора	Наименования факторов	Уровень варьирования	
		нижний	верхний
X_1	Частота вращения щетки, $n_{щ}$, мин ⁻¹	150	250
X_2	Частота вращения диска, n_d , мин ⁻¹	5	15
X_3	Угол наклона щеток, ψ' , град.	15	35
X_4	Диаметр корнеклубнеплода, d_k , мм	60	120
X_5	Длина корнеклубнеплода, L_k , мм	130	210
X_6	Влажность загрязнений, W , %	10	30
X_7	Угол прогиба ворса, θ , град.	25	35
X_8	Первоначальная загрязненность корнеклубнеплодов, $\delta_{нач}$, %	10	25
X_9	Радиус диска, R_d , мм	1200	2000
X_{10}	Радиус щетки, $r_{щ}$, мм	200	300
X_{11}	Диаметр ворса, d_v , мм	2	4
X_{12}	Длина ворса, L_v , мм	150	200
X_{13}	Плотность набивки ворсин, j , шт./мм ²	0,010	0,012
X_{14}	Угол наклона диска, α_d , град.	10	19
X_{15}	Высота крыльчатки, h_d , мм	30	70
X_{16}	Количество щеток, z , шт.	2	4
X_{17}	Количество крыльчаток, z_d , шт.	2	4
X_{18}	Коэффициент трения ворса, f_3	0,25	0,35
X_{19}	Коэффициент трения диска, f_2	0,45	0,55

Качественно и количественно оценить вклад рассмотренных факторов, в процесс очистки, можно лишь используя метод многофакторного регрессивного анализа [69].

Этот метод позволяет представить математическую модель технологического процесса по зависимостям, связывающим значение выходной величины с значениями параметров, заданными на входе.

В качестве выходной величины была принята остаточная загрязненность корнеклубнеплодов как результат очистки, продвижения корнеклубнеплода по поверхности диска и воздействия ворсин щеточного

очистителя, и оцениваемая количеством загрязнений оставшихся после их взаимодействия.

Правомерность такого выбора в качестве выходной величины определяется требованиями математической корректности, а именно тем, что эта величина является: эффективной с точки зрения достижения заданной технологической цели; количественной величиной, выражающейся числом; статически эффективной, то есть имеющей физический смысл при всех значениях входных параметров; достаточно легко определяемой; существующей при всех значениях входных параметров, то есть выполняются все необходимые и достаточные условия для выбора входной величины.

Анализ входных параметров показывает, что все факторы можно условно разделить на три группы. А именно: к первой группе отнести факторы, которые могут изменить свои параметры в широких пределах в зависимости от тех или иных условий взаимодействия корнеклубнеплода с ворсинами щеточного очистителя; ко второй – факторы, которые должны быть согласованы с другими факторами очистителя и корнеклубнеплода; и, наконец, к третьей группе отнести факторы, которые могут оставаться постоянными для выбранной схемы взаимодействия в устройстве для очистки корнеклубнеплодов.

К первой группе, согласно принятой классификации, можно отнести следующие факторы: $n_{ш}$, $n_{д}$, ψ' (3 фактора).

К второй группе – факторы: d_k , L_k , W , θ , $\delta_{нач}$; (5 факторов).

К третьей группе – факторы: R_d , $r_{ш}$, d_v , L_v , j , α_d , h_d , z , z_d , f_v , f_d (11 факторов).

Таким образом, из большого разнообразия 19 основных технологических факторов, оказывающих влияние на процесс качественной очистки корнеклубнеплодов, при проведении многофакторного регрессивного анализа можно не учитывать влияние 11 факторов отнесенных к третьей группе. Так как можно условно принять, что эти факторы остаются постоянными.

Анализ факторов, представленных во второй группе, показывает, что эти факторы также можно условно отнести к постоянным. Не изменяющие свое значение в течении одного кратковременного процесса взаимодействия, но изменяющим свои параметры в течении более длительного времени. Так, к примеру, влажность загрязнений в процессе длительной обработки и методов хранения и транспортировки может изменяться. Также это касается параметров корнеклубнеплода и других величин, которые в течении времени могут изменять свои параметры.

Таким образом из всего ряда перечисленных факторов, можно выделить основные факторы, в наибольшей степени оказывающее влияние на параметры выходных величин, это: частота вращения щетки ($n_{ш}$), частота вращения диска ($n_{д}$) и угол наклона щеток (ψ').

Таким образом, основной задачей является проведение многофакторного эксперимента и получение по его данным зависимости $\delta = t(n_{\text{щ}}, n_{\text{д}}, \psi')$. А также оценка влияния и вклада каждого фактора из указанных в отдельности и во взаимосвязи на величину выходного параметра устройства для очистки корнеклубнеплодов от загрязнений [70].

Также в качестве контролируемых параметров дополнительно внесены производительность Q , потребляемая мощность P на очистку и энергозатраты $\mathcal{E}_\text{п}$.

3.3 Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в следующем порядке, согласно общепризнанным положениям, изложенным в работах [69-70]:

- а) изготовление лабораторной установки для определения частоты вращения щетки;
- б) изготовление экспериментального образца очистительного устройства;
- в) выбор контрольно-измерительных приборов;
- г) проведение экспериментальных исследований и анализ результатов;
- д) проведение производственных испытаний очистительного устройства.

Приборы, использованные при проведении экспериментальных исследований:

- 1 Ваттметр-самописец Н-343 – для измерения и записи потребляемой мощности;
- 2 Тахометр ТМ-3-2 – для измерения частоты вращения валов;
- 3 Весы РП-100 – для взвешивания навески;
- 4 Весы МК-15.2-A11 – для определения потерь массы продукта;
- 5 Штангенциркуль ШЦ-11 – для измерения конструктивных параметров очистительного устройства;
- 6 Клубнемер – для определения геометрических параметров корнеклубнеплодов;
- 7 Угломер УМ-1 – для определения угла наклона щетки и диска;
- 8 Шкаф сушильный ШС-150 – для определения влажности;
- 9 ПОБД-12 – для обработки бумажных диаграмм;
- 10 Секундомер СДС – для определения времени опыта;
- 11 Линейка мерительная для измерения конструктивных параметров очистительного устройства.

На основе стандартной методики по экспериментальным исследованиям, была разработана лабораторная установка (рис. 3.1).

На основании теоретических исследований были определены предельные параметры: режимный параметр роторной щетки – допускаемая частота вращения $n_{щ}$ из условия очистки корнеклубнеплода от загрязнений, диаметр и длина ворса из физико-механических свойств корнеклубнеплода и загрязнений.

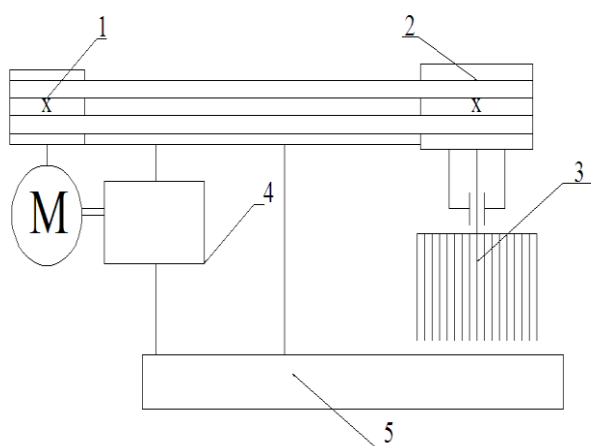
Целью лабораторных исследований является обоснование оптимальной частоты вращения $n_{щ}$ роторной щетки из условия очистки поверхности корнеклубнеплода и исключения повреждения продукта.

Привод состоит из электродвигателя постоянного тока и клиноременной передачи со шкивами. Питание электродвигателя осуществляется от выпрямителя. Аппаратура управления включает пусковой реостат и автотрансформатор ЛАТР.

Частота вращения роторной щетки изменялась в пределах от 100 до 400 об/мин посредством автотрансформатора и набора шкивов.

Свободная длина ворса для проведения для проведения эксперимента изменялась от 150 до 250 мм с шагом 25 мм.

Оценку эффективности режима работы производили по величине остаточной загрязненности и степени повреждаемости корнеклубнеплодов.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Лабораторная установка для определения режима работы щетки:
а – схема; б – общий вид; 1– электродвигатель; 2– клиноременная передача; 3– роторная щетка; 4–аппарат управления; 5– основание установки

Степень повреждаемости корнеклубнеплода определялась по отношению величины поврежденной поверхности к общей поверхности корнеклубнеплода.

Перед каждым опытом предварительно с помощью шкивов устанавливали частоту вращения роторной щетки начиная со 100 об/мин до требуемой, когда ворс становился упругим и жестким, в таком состоянии наблюдалось улучшение качества очистки корнеклубнеплодов. Затем таким же методом подбирали требуемую длину ворсин.

Исследования, предусмотренные программой для определения частоты вращения диска n_d и угла наклона ψ' , проводили на экспериментальном образце очистительного устройства, конструктивно-технологическая схема которого приведена на рисунке 2.4, а общий вид на рисунке 3.2.

Устройство предназначено для очистки корнеклубнеплодов от почвенных примесей перед скармливанием сельскохозяйственным животным. Устройство может быть использовано в качестве рабочего органа корнеклубнеплодоуборочного комбайна, в составе линии кормоцехов при подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию, а также автономно при закладке корнеклубнеплодов на хранение. Технологический процесс очистки корнеклубнеплодов от загрязнений был приведен в разделе 2.2.



Рисунок 3.2 – Экспериментальный образец устройства для очистки корнеклубнеплодов от загрязнений: 1– загрузочный бункер, 2– выгрузной лоток, 3– горизонтальный диск с криволинейной крыльчаткой, 4– роторная щетка, 5– корпус установки.

Для проведения эксперимента по определению оптимальных режимных параметров необходимо обеспечить возможность изменения

ранее определенных факторов в заданных пределах (рис. п. 3). Так частота вращения щетки $n_{щ}$ изменялась с помощью электродвигателя постоянного тока и шкивов ременной передачи, позиция 1 (рис. 3.3).

Регулирование подача корнеклубнеплодов на очистку осуществлялась питающим транспортером.

Существенным преимуществом устройства для очистки корнеклубнеплодов с горизонтальным диском является крыльчатка, выполненная в форме логарифмической спирали, которая обеспечивает скольжение корнеклубнеплода по диску, постепенное увеличение крутящего момента на валу и вследствие этого – снижение энергоемкости.

Экспериментальные исследования произведены согласно методикам ОСТ 70.19.2–83 [71, 72].

Рациональным скоростным режимом диска является та частота, при которой будет обеспечиваться требуемая производительность при минимальном значении удельной энергоемкости устройства.

Для определения производительности, мощности и качества очистки очистительного устройства ворох из корнеклубнеплодов взвешивали с погрешностью не более 10 г равномерно раскладывали на питающем транспортере.

Частота вращения диска n_d от электродвигателя изменяли с помощью червячного редуктора и шкивов клиноременной передачи в пределах от 5 до 20 об/мин с шагом 5 об/мин позиция 2 (рис. 3.3).

Угол наклона щеток ψ' изменяли подкладыванием подставок под крепление корпуса щетки позиция 3 (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Изменение конструктивно-режимных параметров на экспериментальном образце очистительного устройства: 1 – частота вращения щетки $n_{щ}$; 2 – частота вращения диска n_d ; 3 – угол наклона щеток ψ'

Включив привод питающего транспортера и щеточного очистителя, производили отбор массы очищенных корнеклубнеплодов с выгрузного

лотка за 30 секунд работы машины. Параллельно фиксировалась общая мощность и мощность холостого хода на привод устройства ваттметром–самописцем.

Чистые корнеклубнеплоды и весь бой корнеклубнеплодов взвешивали с погрешностью не более 10 г в той же емкости (чистой) и определяли массу пробы после очистки. Согласно формуле (3.2) определяли качество очистки $\delta_{\text{ост}}$ – остаточную загрязненность, а производительность Q , мощность P и энергозатраты $\mathcal{E}_{\text{п}}$ очистительного устройства по формулам (3.3), (3.4), (3.5), (3.6).

Эксперимент проводился с трехкратной повторностью с изменением каждого входного параметра (частота вращения щетки ($n_{\text{щ}}$), частота вращения диска ($n_{\text{д}}$) и угол наклона щеток (ψ')) по отдельности.

Обработка экспериментальных данных была проведена по стандартной методике с построением поверхности отклика и ее анализом.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

Для получения результатов экспериментальных исследований предусматривалось:

- исследование основных физико-механических свойств корнеклубнеплодов и загрязнений для оценки их влияния на качество очистки корнеклубнеплодов;
- исследование влияния конструктивно-режимных параметров на качество очистки корнеклубнеплодов;
- получение уравнения регрессии для показателя критерия оптимизации процесса и определение оптимальных конструктивно-режимных параметров роторно-щеточного устройства;
- проведение сравнительных экспериментов.

4.1 Отличительные особенности физико-механических свойств при очистке корнеклубнеплодов от загрязнений

Отделяемые загрязнения при взаимодействии щетки с корнеклубнеплодом отличаются формой, размерами частиц, механическими свойствами, плотностью, упругостью, коэффициентом трения, влажностью, липкостью, прочностью и т.д. Все признаки отличия определяются физико-механическими свойствами и могут быть в той или иной мере использованы для очистки корнеклубнеплодов.

Основными свойствами, по которым осуществляется существующая очистка корнеклубнеплодов, являются форма, плотность, объемный вес материала, упругость, прочностные характеристики и коэффициент трения по различным материалам.

Качество очистки корнеклубнеплодов всецело зависит от того, насколько велики различия в признаках делимости между разделяемыми компонентами. Следовательно, наибольшая эффективность очистки может быть достигнута при использовании того свойства, по которому различия проявляются наиболее резко. Для выяснения сути этого вопроса нами были проанализированы различные физико-механические свойства корнеклубнеплодов и загрязнений, встречающихся в них, с целью определения тех свойств, на основании которых очистка происходила бы наиболее качественно.

Изучением физико-механических и агрофизических свойств корнеклубнеплодов занимались многие ученые [69-73].

Свойства поверхности частиц широко используются в практике очистки и транспортировки продуктов [73]. Данное свойство используется также при очистке корнеклубнеплодов. Объективным показателем,

характеризующим свойства поверхности разделяемых компонентов, является коэффициент трения частиц по какой-либо поверхности. Значение коэффициента трения зависит не только от свойств самого материала, но и от влажности, свойств поверхности, с которым материал находится в контакте.

Коэффициент трения качения по данным исследования [74] незначительно возрастает с ростом диаметра корня D .

Одним из основных рассматриваемых элементов в технологическом процессе очистки корнеклубнеплодов является материал, подлежащий изучению. Этим материалом являются загрязнения, которые накапливаются на поверхности корнеклубнеплодов.

Состав загрязнений разнообразен: почва, стебли и корни различных трав, и т.д. [74].

Наибольшая загрязненность наблюдается у свеклы это связано наличием остатков ботвы и связанной почвы с растительными остатками. Основная масса загрязнений находится в углублениях и между отростками корней (рис 4.1). Причем при повышении влажности почвы загрязненность увеличивается. Кроме того, в ворохе корнеклубнеплодов, доставленных из буртов, присутствуют солоmistые включения. Все примеси, находящиеся в ворохе корнеклубнеплодов, не только отрицательно влияют на здоровье животных, но и приводят к порче продуктов, так как при длительном хранении они являются источником гнилостных поражений. При этом также нарушается технологический процесс, так как требуется ручная переборка испорченных корнеклубнеплодов. Трудность очистки корнеклубнеплодов заключается еще и в том, что каждая культура имеет свои физико-механические свойства.



а



б



в

Рисунок 4.1 – Загрязнение поверхности корнеклубнеплодов: а, б – кормовой свеклы; в – картофеля.

Загрязнения характеризуются физико-механическими свойствами, которые в применении к очистительным устройствам изучаются далеко не полно и не симметрично.

Для качественной очистки корнеклубнеплодов от загрязнений необходимо определить направление, в котором должно развиваться изучение физико-механических свойств загрязнений.

Одна из составляющих загрязнений почва, имеет сложное агрегатное состояние и служит объектом изучения для различных научных дисциплин: почвоведение, агрономии и агротехники, причем каждая из них рассматривает почву со своей точки зрения. Поэтому при организации очистки корнеклубнеплодов от загрязнений необходимо учитывать тип почвы, влажность и физико-механические свойства загрязнений.

Наша задача заключается в том, чтобы воспользоваться результатами других дисциплин и изучить почву как материал при работе с очистительными устройствами.

В почве изучению подлежат: материал почвы, состав, строение, коэффициент трения, состояние и вытекающее из всех перечисленных свойства почвы.

Материал почвы в основном характеризуется величиной и весом материальных частиц.

Почва по составу содержит кроме минеральных частиц, ещё и воду. Смотря по распределению крупных и мелких частиц, получают различные виды почвы (глинистые, песчаные и т.д.). А по максимальному количеству воды, которое может удерживать единица веса почвы в уплотненном состоянии в процентах, почвы обладают различной влагоемкостью.

По строению почва характеризуется расположением частиц, порозностью (скважностью), уплотненностью, комковатостью. Определением данных характеристик почвы является агрегатный анализ.

По состоянию или консистенции почва характеризуется влажностью (количеством влаги на единицу веса сухого вещества в процентах).

Таким образом, величина частиц и влажность определяют физико-механические и технические свойства почвы.

Величина частиц и строение почвы. Расположение корнеклубнеплодов в почве, а точнее глубина залегания может характеризовать величину частиц и строение почвы. Так как мельчайшие частицы почвы (0,05-0,0003 мм по Вольни) увлекаются дождевой влагой и утрамбовываются внизу пахотного слоя, а более крупные располагаются ближе к поверхности.

Вес почвы обычно учитывается, если его надо поднимать и отбрасывать в сторону. Для очистительных устройств в основном почва подвергается сдвигу, смятию. Абсолютный удельный вес почвы колеблется в пределах 2,4-2,8 г/см³.

Влажность оказывает огромное влияние на многие физико-механические свойства почвы. Так, глины вбирают влагу медленно, но много, сохнут долго. При высыхании глинистые почвы сильно сокращаются в объеме, образуют твердую поверхность с трещинами и комьями. При

значительном количестве воды глина становится пластичной, липкой и затем водоупорной, т.е. не пропускает воды, прилипает к корнеклубнеплодам, а ее очистка с поверхности корнеклубнеплодов возможна только при некоторой степени влажности.

Суглинки быстро смачиваются, но вбирают воды не так много, быстрее испаряют влагу, сокращаются при усушке меньше и менее пластичны, обрабатываются рабочими органами очистительных машин намного лучше, чем глинистые.

Влажность почвы в связи с давлением определяет степень залипания к корнеклубнеплодам. Также влажность влияет на коэффициент трения, увеличивая или уменьшая свое значение в зависимости от материала.

Влажность почвы определяется процентным содержанием влаги по весу от степени полного насыщения почвы и находится в пределах от 12% до 30%.

Пластичность – это способность почвы деформироваться под влиянием внешних воздействий рабочих органов очистительных устройств и в зависимости от влажности. При этом различают твердую, пластичную и текучую консистенцию почвы. Достигнув предела высыхания, кусочки почвы более не сокращаются в объеме и не пристаю́т к друг другу при слабом давлении – твердая (жесткая) форма. Ниже предела высыхания кусочки почвы могут сокращаться в объеме и приставать друг к другу – рыхлая твердая форма. При ещё большем количестве почва достигает нижнего предела пластичности, или предела раскатывания, когда почва способна раскатываться. А при верхнем пределе пластичности почва начинает сплываться. Разность между верхним и нижним пределом пластичности называется числом пластичности.

По Терцаги пластичность глины первого класса 15-27, второго класса (суглинок) 7-15, третьего класса 1-7 и непластичные ниже 1.

Для качественной работы щеточных очистителей наиболее предпочтительнее суглинок, так как пластичность данного материала способствует её деформации и отрыву от основной массы без значительных усилий.

Адгезия представляет собой силу сцепления двух разнородных тел, в частности влажной почвы, с поверхностью корнеклубнеплода. В этом качестве адгезия является важным бальнотехническим параметром, характеризующим одно из условий удержания загрязнений на поверхности корнеклубнеплода. Численно адгезия определяется минимальным значением силы, действующей к поверхности соприкосновения, которая достаточна для отрыва загрязнений от этой поверхности в расчете на единицу площади; поэтому адгезия измеряется в Н/м² или в Па. Адгезии почвы с поверхностью корнеклубнеплодов характерны такие факторы как влажность, дисперсность, связующиеся элементы, шероховатость поверхности корнеклубнеплода и удельного давления почвы на

поверхность корнеклубнеплода. Суглинистые почвы обладают большей адгезией так как у них дисперсность выше, чем песчаных.

Связанность загрязнений зависит от количества влаги, количества коллоидных частиц и количественно-размерных свойств растительных остатков. Также следует заметить, что результат очистки одного и того же корнеклубнеплода в зависимости от влажности разный. Так при большой влажности происходит залипание загрязнений к корнеклубнеплоду, а по мере высыхания, до определенной величины, способность крошиться и отделяться от поверхности корнеклубнеплодов возрастает.

При проведении лабораторных исследований по прочностным свойствам для суглинистого чернозема выявлено, что примерное значение временного сопротивления сдвигу $\tau = 4-8$ кПа. Большой диапазон значения временного сопротивления сдвигу τ связан с структурой и влажностью загрязнений. Для более точного определения необходимо провести лабораторные исследования.

В процессе взаимодействия ворсин щетки с загрязненной поверхностью корнеклубнеплода происходит внедрение ворса в загрязнения, трение и сдвиг загрязнений. В зависимости от материалов трения, сила сдвига загрязнений будет различной и его составляющей является коэффициент трения. Коэффициент трения в некоторой степени зависит от влажности материала [75, 76].

Большое влияние на качество очистки корнеклубнеплодов оказывает влажность почвы. По данным исследований была установлено, что в основном в момент уборки, почва находится преимущественно в нормальном и сухом состоянии [77]. Почва оставшаяся на корнеклубнеплодах заложенных на хранение в течении 1-2 недель достигает влажности 15-22% и вполне может быть удалена устройствами сухой очистки.

Учитывая, что качество очистки корнеклубнеплодов зависит от величины различия физико-механических свойств между ними и загрязнениями, можно предположить, что основными свойствами, на основе которых должно происходить очистка, является коэффициент трения и сопротивление сдвигу. Примерное соотношение по коэффициенту трения между корнеклубнеплодами и основными выделяемыми загрязнениями находится в интервале от 1,25 до 1,95, что подтверждает эффективность разделения компонентов исходного материала по коэффициенту трения.

Усилие на сдвиг загрязнений во многом будет зависеть от сопротивления сдвигу, которое в свою очередь будет определяться прочностными свойствами загрязнений, площадью сдвига и коэффициентом трения.

Физико-механические свойства загрязнений корнеклубнеплодов зависят от способа, сроков выкапывания и условий хранения.

Технологический процесс подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию включает следующие операции: уборка ботвы, выкапывание корнеклубнеплода, погрузку в транспортные средства погрузчиками, транспортирование корнеклубнеплодов в пункты хранения, выемка корнеклубнеплодов из буртов хранения, очистку, измельчение. При выкапывании корнеклубнеплода на труднодоступных местах, в хвостовой части между отростками корешков и в углублениях остаются уплотненные загрязнения, состоящие из почвы и растительных остатков. Также в процессе хранения, согласно техническим условиям, наблюдается увеличение влажности загрязнений.

Для определения физико-механических свойств загрязнений корнеклубнеплодов необходимо провести отбор проб из хранилища согласно методике, изложенной в ГОСТ 28736-90.

Методика исследования загрязнений и корнеклубнеплодов по физико-механическим свойствам включает в себя определение размеров очищаемых корнеклубнеплодов и загрязнений, их влажности, прочности, плотности, коэффициента трения, массы, структуры и состава [70-77].

Целью исследования физико-механические свойства корнеклубнеплодов является определение параметров влияющих на качество технологического процесса. По данным исследований [70-77], к таковыми относятся: длина, диаметр и масса единичного корнеклубнеплода, объемная масса, сила трения покоя и движения, прочность на смятие и плотность.

Исследованию подвергалась кормовая свекла сорта «Эккендорфская жёлтая» и картофель выращенных на полях Западно-Казахстанской области.

Размерно-массовая характеристика определялась согласно известным методикам [70-77]. Длина, ширина и диаметр определяли с точностью до 1 мм штангенциркулем (ШЦ-11). Масса корнеклубнеплодов определялась на электронных весах МК-15.2-A11 (рис.4.2). Результаты измерений внесены в таблицу 4.1-4.2.

Таблица 4.1 Размерно–массовая характеристика кормовой свеклы

Характеристика корнеклубнеплодов	длина, мм	диаметр, мм	масса, г	плотность, г/см ³
Минимальное значение	95	68	425	0,97
Максимальное значение	175	102	861	1,09
Ср. арифметическая	135	85	643	1,03

Таблица 4.2 Размерно–массовая характеристика картофеля

Характеристика корнеклубнеплодов	длина, мм	толщина, мм	ширина, мм	масса, г	плотность, г/см ³
Минимальное значение	36	28	33	58	1,07
Максимальное значение	88	52	71	114	1,19
Ср. арифметическая	62	40	52	86	1,13



Рисунок 4.2 – Определение размерно-массовой характеристики корнеклубнеплодов

Для корнеклубнеплодов и загрязнений определяли удельную плотность. Удельная плотность определяется путем замера массы и объема в воде. Далее определяли объем корнеклубнеплода путем отношения удельной плотности воды к вытесненной массе:

$$V = \frac{m}{\gamma}, \quad (4.1)$$

где m – масса вытесненной воды, кг;

γ – удельная плотность воды, кг/м³.

Площадь поверхности корнеклубнеплода A_n будет определяться отношением объема к длине.

$$A_n = \frac{V}{L_k}. \quad (4.2)$$

Для определения насыпной плотности, использовали для этого тару определенного объема с высотой стенок 0,5 м. Исследования проводились согласно известным методике [78, 79].

Насыпную плотность ρ_n (кг/м³) определяли по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_t}, \quad (4.3)$$

где m_1 – масса корнеклубнеплодов, кг;

V_T – объем тары, м³.

Целью исследования было определение характера загрязнений. Для определения применялись методики [79, 80].

Основными физико-механическими свойствами связанной почвы, оказывающим влияние на качественные показатели щеточного очистителя являются влажность загрязнений W , сопротивление почвы сдвигу $\tau_{сд}$, объемный коэффициент смятия q_0 , твердость p и коэффициент трения f .

Экспериментальные исследования проведены для суглинистой почвы плотностью 24 Н/м³.

Из вороха корнеклубнеплодов исключали свободные примеси, определялась масса m_1 загрязненных корнеклубнеплодов. Характер загрязнений (наличие почвы, растительных остатков и других примесей) определялся визуально, затем путем мытья загрязненных корнеклубнеплодов отдельно определяли массу m_3 чистых корнеклубнеплодов. Для определения характера очистки корнеклубнеплодов механически способом, вручную без воды осуществляли отделение загрязнений и взвешивали массу m_4 относительно чистых корнеклубнеплодов. По формуле (4.2) определяли площадь поверхности корнеклубнеплода и загрязнений. С целью определения глубины внедрения ворса в загрязнение, определялась наибольшая их высота.

Для определения влажности загрязнений использован сушильный шкаф ШС-150. Сама влажность загрязнений представляет собой разность масс влажного и высушенного материала по общеизвестной формуле:

$$W = \frac{G_0 - G_1}{G_0} 100\%, \quad (4.4)$$

где G_1 – масса навески после сушки, кг; G_0 – масса навески до сушки, кг.

Результаты измерений и вычислений занесены в таблицу 4.3.

Также по известной методике определяли коэффициент трения загрязнений по различным материалам, при различной влажности. Значения определенных коэффициентов трения занесены в таблицу 4.5, 4.6 [81, 82].

Таблица 4.3 – Загрязненность корнеклубнеплодов

№	Характеристика корнеклубнеплодов	Повторность опыта			Ср. знач.
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	Первоначальная масса корнеклубнеплода m_1 , кг	31,5	32,3	30,8	31,53
2	Масса абсолютно чистых корнеклубнеплодов m_3 , кг	27,4	26,7	27,2	27,1

1	2	3	4	5	6
3	Масса относительно чистых корнеклубнеплодов m_4 , кг	27,8	27,3	27,7	27,6
4	Общая загрязненность $\delta_{\text{нач}}$, %	13	18	11,6	14,2
5	Загрязненность почвой $\delta_{\text{п}}$, %	10	14	9	11
6	Загрязненность раст. остатками $\delta_{\text{р}}$, %	3	4	2,6	3,2
7	Относительная загрязненность $\delta_{\text{отн}}$, %	1,3	1,8	1,6	1,57
8	Поверхность корнеклубнеплода $A_{\text{п}}$, мм ²	66406	70611	64108	67257
9	Загрязненная поверхность корнеклубнеплода A_3 , мм ²	7511	9221	6084	7605
10	Наибольшая высота загрязнений h_3 , мм	8	12	5	8,3
11	Влажность загрязнений, %	15	22	30	22

Таблица 4.4 – Коэффициенты трения загрязнений

Наименование	Коэффициент трения		
	по стали	по дереву	по капрону
Растительные остатки	0,23-0,27	0,3-0,37	0,20-0,25
Почва	0,56-0,74	0,48-0,55	0,40-0,62

Таблица 4.5 – Коэффициент трения загрязнений в зависимости от влажности

Параметр	Влажность почвы, %		
	15	22	30
По стали почва	0,52	0,59	0,47
По стали почва с раст. остатками	0,58	0,64	0,52
По капрону почва	0,27	0,31	0,26
По капрону почва с раст. остатками	0,33	0,39	0,31

Сопротивление загрязнений смятию или твердость, характеризуется сопротивлением к вертикально приложенной силе. От величины твердости, слипшейся с поверхностью корнеклубнеплодов загрязнений, будет зависеть величина усилия внедрения ворса.

Твердость загрязнений определялась твердомером И.А. Качинского (Синеоков) согласно методикам [79, 81]. Также одним из свойств, характеризующих сопротивление почвы, является коэффициент объемного смятия – сравнительный показатель механических свойств почвы.

Коэффициент объемного смятия q_o определяется при исследовании твердости почвы по следующей формуле:

$$q_0 = \frac{F_A}{AL_A}, \quad (4.5)$$

где F_A — сила пропорциональности, Н;

A — площадь основания конуса, мм²;

L_A — глубина внедрения конуса, мм.

Сопротивление связанной почвы сдвигу $\tau_{сд}$ определяется отношением усилия сдвига $F_{сд}$ к сдвигаемой площади $A_{сд}$.

$$\tau_{сд} = \frac{F_{сд}}{A_{сд}}, \quad (4.6)$$

где $F_{сд}$ — усилия сдвига, Н;

$A_{сд}$ — площадь сдвига, мм².

Усилие сдвига загрязнений $F_{сд}$ определялась при помощи специального прибора, устройство которого показано на рисунке 4.3.

Для определения усилия сдвига загрязнений на поверхности корнеклубнеплода вырезался кусочек связанной почвы размером 10×10 мм² до чистой поверхности. К нему подводился стальной цилиндрический стержень диаметром $d = 2,2$ мм.

Корнеклубнеплод жестко фиксировался так, чтобы загрязненная поверхность располагалась параллельно плоскости сдвига.

При помощи динамометра производился сдвиг образца почвы и одновременно на шкале динамометра считывались значения усилия, при котором происходит сдвиг загрязнений.

Сопротивление почвы сдавливанию и сдвигу зависят от величины абсолютной влажности слипшейся почвы. Определение влажности производилось параллельно с определением значений сопротивлений почвы сдвигу и сдавливанию на тех же пробах.



Рисунок 4.3 – Прибор для определения усилия сдвига загрязнений

Определение липкости и пластичности производили с помощью прибора Н. А. Качинского, алюминиевые чашки, сито с диаметром

отверстий 1 мм, ложечки, пипетки, песок или мелкая дробь, ВТК-500, полотенце.

Прибор представляет собой видоизмененные технические весы, левая чашка которых заменена стержнем с диском. На правую чашку весов помещен тигель для песка. Стержень с диском и чашка с тиглем находятся в уравновешенном состоянии. Необходимо определять липкость при разных значениях влажности почвы, начиная с такой, при которой диск не будет прилипать к почве. Отпустив арретир прибора, на диск кладут гирию для более полного соприкосновения его с почвой. Через минуту гирию снимают и в тигель осторожно насыпают песок до момента отрыва диска от почвы. Почву вновь переносят в фарфоровую чашку, доводят до необходимого увлажнения и определяют липкость. По полученным данным строят график, откладывая по оси абсцисс значения влажности почвы, а по оси ординат — липкость почвы (Н/мм^2). Липкость и пластичность почвы определяют в комплексе, одновременно на нескольких образцах почвы.

1. Нижний предел пластичности. Для этого из почвы скатывают шарик диаметром 1 см, помещают его на стекло или восковую бумагу и осторожно, без нажима раскатывают в шнур диаметром 3 мм. Влажность нижнего предела пластичности определяют как среднее арифметическое из двух значений влажности — когда шнур распадается на кусочки размером 8—10 мм и когда шнур образуется.

2. Верхний предел пластичности. Почву помещают в алюминиевый стаканчик (от прибора А. М. Васильева), поверхность ее выравнивают и опускают на нее балансирный конус А. М. Васильева. Влажность почвы, при которой конус погружается точно на 10 мм (до риски), соответствует верхнему пределу пластичности. Разность между верхним и нижним пределом пластичности называется числом пластичности.

Результаты измерений и вычислений внесены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Механическая характеристика загрязнений

№	Параметр	Влажность, %		
		15	22	30
	Твердость загрязнений, Н/мм^2	0,5	0,24	0,16
	Коэффициент объемного смятия, Н/мм^3	0,01	0,02	0,01
	Усилие сдвига загрязнений, Н	0,31	0,23	0,15
	Сопротивление сдвигу загрязнений, Н/мм^2	0,008	0,006	0,004
	Липкость загрязнений, Н/мм^2	0,01	0,04	0,08
	Пластичность загрязнений	6	6,2	6,4

Анализируя полученные данные, можно прийти к выводу, что сопротивление загрязнений на сдвиг уменьшается с увеличением влажности.

Также с увеличением влажности уменьшается внедрение ворса в почву, но повышается липкость загрязнений, которая отражается на усилии сдвига и его уменьшение не пропорционально силе внедрения.

Коэффициенты трения отдельно определялись для корнеклубнеплодов и для загрязнений, с облюдением одинаковых условий. Также для корнеклубнеплодов определяли коэффициент трения качения с целью создания условия качения-скольжения продукта по поверхности диска.

Определение значения коэффициента трения качения корнеклубнеплода опытным путем осуществлялся с помощью прибора маятникового типа, схема которого показана на рисунке 4.4. Определение коэффициента трения на лабораторной установке типа наклонного маятника (рис. 4.4) основано на принципе затухающих колебаний, измерением изменений угла отклонения.

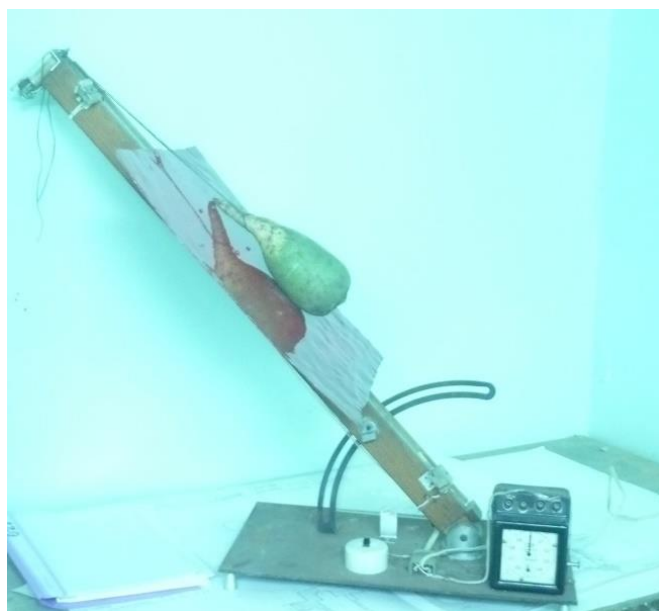


Рисунок 4.4 – Прибор для определения коэффициента трения качения корнеклубнеплода

В данной работе коэффициент трения качения может быть определен с использованием принципа сохранения механической энергии.:

$$\Pi = A_{\text{тр}}, \quad (4.7)$$

где Π – потенциальная энергия, Дж; $A_{\text{тр}}$ – работа силы трения качения, Дж.

Преобразуем формулу (4.7) с помощью известных зависимостей и определим коэффициент трения качения k корнеклубнеплода по поверхности диска:

$$k = \operatorname{rtg} \frac{(\alpha_0 - \alpha_n)}{n}, \quad (4.8)$$

где α_0 – начальный угол отклонения маятника, град.; r – радиус корнеклубнеплода, мм; α_n – максимальный угол отклонения, град.; n – колебания, шт.

Исследованию были подвергнуты образцы с заданной влажностью и размерами, при этом рабочая поверхность оставалась плоской и однородной, с предварительно установленной частотой обработки. Эксперименты проводились с десятикратным повторением в соответствии с разработанной методикой. [82-84]. Результаты опыта внесены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7– Коэффициент трения корнеклубнеплодов

№	Параметр	Коэффициент трения качения, мм
1	Корнеклубнеплод по стали	5,6
2	Корнеклубнеплод по резине	3,1

Анализ лабораторных исследований предполагает, что наличие в загрязнениях относительного большинства растительных остатков и возрастание их влажности изменяет значение коэффициента трения в различных пределах. Поэтому требуемая сила очистки загрязнений с поверхности корнеклубнеплодов будет различной. Следовательно, описание процесса очистки следует проводить с изменением значений частоты вращения и угла наклона щеточного очистителя в зависимости от коэффициента трения.

Целью исследования рабочего органа роторно-щеточного устройства является определение основных параметров ворса. К таковым относятся модуль продольной упругости материала ворса E , диаметр поперечного сечения d_v и свободная длина ворса L_v .

Ворс щетки, изготовленный из синтетических моноволокн, по своим физико-механическим свойствам (износоустойчивости, объемной массе, стойкости против коррозии) имеет явные преимущества перед другими материалами. С точки зрения наличия сырьевой базы, налаженности производства наиболее перспективным является капроновое моноволокно.

Ворсины щеточного очистителя будут отделять загрязнения лишь в том случае, если они обладают необходимой жесткостью и упругостью. Сопротивляемость материала деформациям растяжения и сжатия определяет модуль упругости E . Поэтому значение величины модуль упругости E необходимо для определения прогиба ворса как основной деформации, имеющей при работе щеточных очистителей. Исследование модуля упругости проводилось согласно методикам [83, 84]. Для этого из партии ворса отбиралось 50 ворсинок одинакового диаметра. Измерение

проводилось по двум взаимно перпендикулярным направлениям с помощью штангенциркуля.

Отобранный ворс подвергался деформации растяжения на разрывной машине РМ–30–. начальная длина ворса устанавливалась равной 100мм.

На циферблате разрывной машины фиксировалось значение нагрузки для относительного удлинения Δl , равного 3% для каждого опыта.

По известной формуле вычислялось значение модуля упругости, МПа:

$$E = \frac{\sigma l}{\Delta l}, \quad (4.9)$$

где σ – действующее напряжение, МПа;

l – размер образца до удлинения, мм;

Δl – абсолютное удлинение образца, мм.

Для полипропиленового моноволокна значение модуля упругости составили 520-650 МПа.

Целью исследования ворса щетки является проверка аналитических зависимостей по определению усилия прогиба и ее величины.

Определение прогиба ворса и усилия определяли на экспериментальном приборе (рис. 4.5) по методике, рассмотренной в работе [84, 85].

Прибор, состоит из плиты 1, на который крепится ворс 2 и двух мерных линеек с нониусами горизонтальный 3 и вертикальный 4.

Эксперимент проводился при различной длине ворса от 150 до 300 мм с градацией в 50 мм.

Задавшись допустимыми величинами усилия и прогиба ворса, из теоретических исследований мы можем определить интенсивность нагружения щетки.

$$q_n = \frac{G_n}{L_b} + \frac{EI \cos \theta}{L_b^3}, \quad (4.10)$$

где G_n – сила тяжести груза, Н.

Число повторений экспериментов устанавливалось в зависимости от коэффициента вариации рассматриваемого свойства и точности выполнения испытаний на выбранном объекте. Информация о коэффициенте вариации и уровне точности экспериментов была определена ВИСХОМ и представлена в данной работе [84]. Результаты измерений приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Параметры ворса щеточного очистителя

№	Параметр	Длина ворса, L_b , мм			
		125	150	175	200
1	2	3	4	5	6
1	Усилие на ворс, G_n , Н	5	10	15	20

2	Деформация ворса, y_B , мм	2,7	5,8	8,3	12,2
3	Прогиб ворса, x_B , мм	2,1	4,6	6,7	8,5
1	2	3	4	5	6
4	Угол прогиба ворса, θ , град.	15	21	29	31
5	Интенсивность нагружения ворса, q_H , Н/мм	0,046	0,074	0,087	0,101
6	Сила взаимодействия единичного ворса, F_B , Н	0,27	0,15	0,09	0,07

Анализ результатов проведенных исследований по определению физико-механических свойств загрязнений показал, что имеются различия по сопротивлению сдвига загрязнений, в зависимости от усилия сдвига и конструктивно-режимных параметров роторно-щеточного очистителя. Что доказывает эффективность очистки корнеклубнеплодов от загрязнений, при создании эффективной конструктивной схемы устройства.

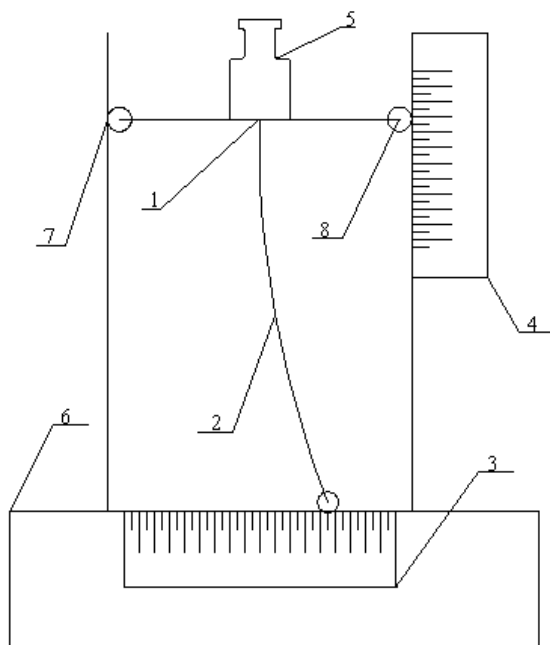


Рисунок 4.5 – Схема прибора для определения угла прогиба θ ворса: 1– плита, 2– ворс, 3– горизонтальная линейка, 4– вертикальная линейка, 5– груз, 6– корпус, 7– стойка, 8– шарнир

4.2 Эффективность технологического процесса от конструктивно-режимных параметров устройства

На основании результата экспериментальных исследований были построены зависимости (рис. 4.6, рис. 4.7, рис. 4.8) остаточной загрязненности $\delta_{ост}$ корнеклубнеплодов от конструктивно-режимных

параметров устройства: частоты вращения щетки $n_{щ}$ и угла наклона щетки ψ .

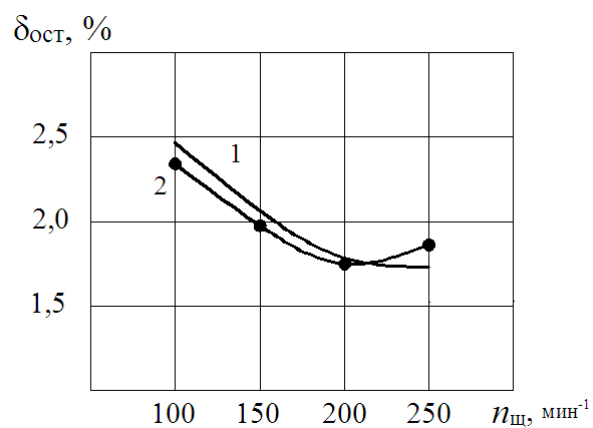


Рисунок 4.6 – Зависимость остаточной загрязненности $\delta_{ост}$ корнеклубнеплодов от частоты воздействия щетки $n_{щ}$: 1–теоретическая; 2–экспериментальная

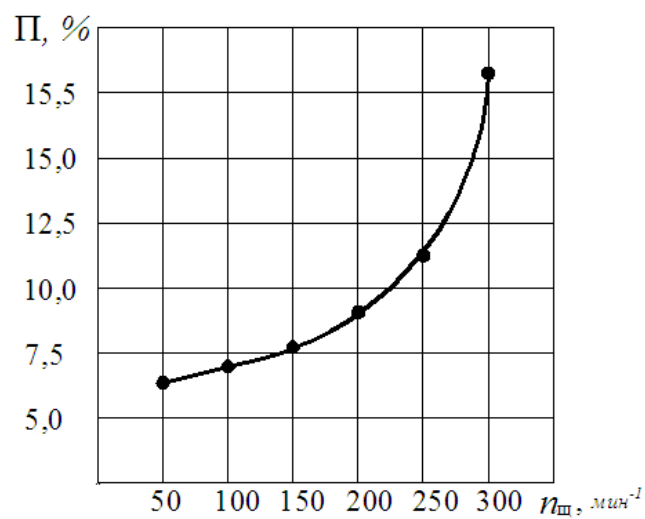


Рисунок 4.7 – Величина повреждаемости Π кожуры корнеклубнеплодов от воздействия щетки $n_{щ}$

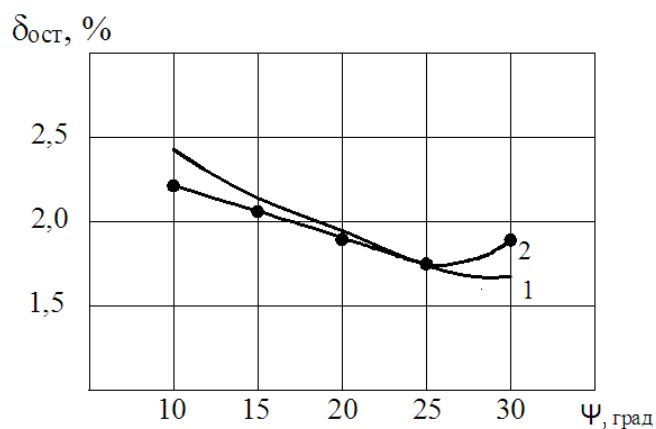


Рисунок 4.8 – Зависимость остаточной загрязненности $\delta_{\text{ост}}$ корнеклубнеплодов от угла наклона щетки ψ' : 1–теоретическая; 2–экспериментальная.

Анализ зависимости остаточной загрязненности $\delta_{\text{ост}}$ корнеклубнеплодов от частоты вращения щетки $n_{\text{щ}}$ (рис. 4.6) показал, что с повышением частоты вращения щетки $n_{\text{щ}}$ остаточная загрязненность $\delta_{\text{ост}}$ корнеклубнеплодов снижается и наилучший эффект будет достигнут при условии, что усилия сдвига загрязнений больше сил сопротивления $\delta_{\text{ост}} = 1,82\text{--}2,18\%$ при $n_{\text{щ}} = 140\text{--}260 \text{ мин}^{-1}$. Дополнительное увеличение значения частоты вращения щетки, способствует росту повреждений кожуры корнеклубнеплодов, превышающих 12 % (см. рис. 4.7). Анализ зависимости остаточной загрязненности корнеклубнеплодов от угла наклона щетки ψ' (рис. 4.8) показывает, что оптимальное качество очистки на уровне 2–3 % можно достигнуть при угле наклона щетки ψ' свыше 20 градусов. Однако при значениях более 35 градусов качество очистки начинает ухудшаться, в связи с сокращением контактной площади поверхности корнеклубнеплода с ворсинами щетки.

На рисунке 4.9 представлены зависимости производительности Q очистительного устройства от частоты вращения диска. При анализе полученной зависимости (рис. 4.9) видно, что частота вращения диска $n_{\text{д}} = 11\text{--}15 \text{ мин}^{-1}$ является приемлемой для производительности $Q = 5 \text{ т/ч}$ очистительного устройства. Это объясняется тем, что при данной частоте вращения диска режимный показатель работы очистителя c_2 является оптимальным для создания условия очистки. С уменьшением частота вращения диска качество очистки уменьшается, из-за возрастающих сил сопротивления продвижению продукта. С увеличением частоты вращения диска уменьшается время пребывания продукта в зоне очистки и качество очистки ухудшается.

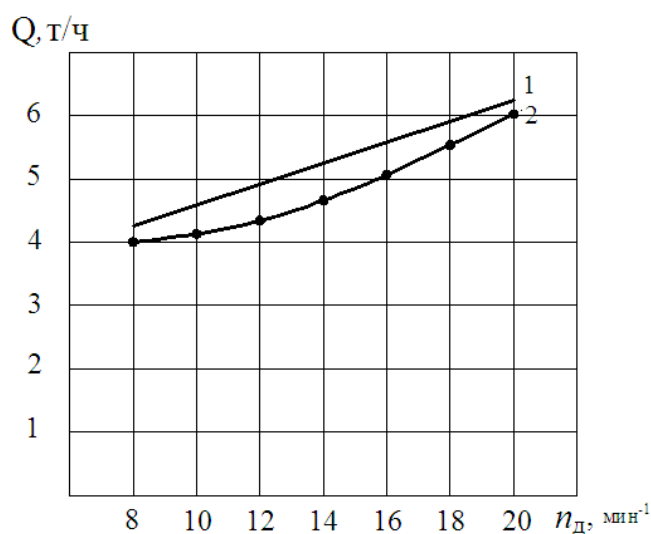


Рисунок 4.9 – Зависимость производительности Q очистительного устройства от частоты вращения диска $n_{\text{д}}$: 1–теоретическая; 2–экспериментальная

4.3 Математическая модель технологического процесса устройства

Для определения математической модели технологического процесса необходима оптимизация конструктивно-режимных параметров устройства для очистки корнеклубнеплодов от загрязнений в виде связанной почвы. Для этого необходимо провести экспериментальные исследования рабочего процесса методом активного эксперимента [86]. Исследования проводились на опытной установке по вышеописанной методике согласно 3.2. Конструктивное исполнение устройства позволяет изменять параметры в заданных пределах.

При проведении предварительных экспериментов было выявлено, что на качество очистки влияют следующие факторы: частота вращения щетки $n_{щ}$, частота вращения диска n_d и угол наклона щеток ψ' .

Экспериментальные исследования проводились в хозяйствах Западно-Казахстанской области КХ «Десумбаев Б.К.» на картофеле и кормовой свекле, привозимой с поля после уборки. Влажность связанной почвы составляла 13...19% при начальной загрязненности корнеклубнеплодов 12...18%. Тип почвы – суглинок.

Чтобы успешно решить поставленную задачу, был разработан план эксперимента, в котором определены интервалы и уровни изменения факторов (табл. 4.7).

Таблица 4.7 – Факторы и уровни варьирования

Наименование	Уровни варьирования			Интервалы
	Нижний - 1	Основной 0	Верхний + 1	
X_1 —частота вращения щетки, $n_{щ}$, мин ⁻¹	150	200	250	50
X_2 —частота вращения диска, n_d , мин ⁻¹	5	10	15	5
X_3 —угол наклона щетки, ψ' , град.	15	25	35	10

Для разработки математической модели эксперимента была использована ортогональная центральная композиционная схема типа ВЗ. Соответствующая матрица планирования, включающая экспериментальные данные, представлена в таблице 4.8. На базе этих данных были вычислены коэффициенты регрессионных уравнений. Для проверки статистической значимости коэффициентов регрессии применили t-критерий с уровнем значимости 0,05. Итоги расчетов отражены в таблице 4.9.

Таблица 4.8 – Сводная таблица результатов опыта

№ опытов	X_1	X_2	X_3	Функция отклика Y_1 остаточная загрязненность	Функция отклика Y_2 мощность процесса очистки
				%	кВт
1	1	1	1	1,222	1,98
2	-1	1	1	1,098	1,53
3	1	-1	1	1,072	1,81
4	-1	-1	1	1,061	1,95
5	1	1	-1	1,087	1,89
6	-1	1	-1	1,069	1,67
7	1	-1	-1	1,075	1,92
8	-1	-1	-1	1,038	2,25
9	-1,4	0	0	1,097	1,95
10	1,4	0	0	1,118	2,05
11	0	-1,4	0	1,045	1,73
12	0	1,4	0	1,087	1,78
13	0	0	-1,4	1,043	1,97
14	0	0	1,4	1,045	1,87
15	0	0	0	1,084	1,64
16	0	0	0	1,084	1,62
17	0	0	0	1,084	1,61
18	0	0	0	1,084	1,63

Статически незначимыми коэффициентами считали те, которые по абсолютной величине были меньше доверительного интервала Δb (квантиля t – распределения Стьюдента $t_{\beta(f_e)}^{\text{табл}}$, который равен 2,03 при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы $f = 36$).

Таблица 4.9 – Значение коэффициентов регрессии

Коэффициенты регрессии		S_{b_i}	$t_{(36)0.05}$	Δb_i	Значимость
Обозначение	Значение				
b_0	1,825	0,01905	2.03	0,0381	+
b_1	0,0283	0,01905	2.03	0,0381	—
b_2	-0,066	0,01905	2.03	0,0381	+
b_3	-0,05	0,01905	2.03	0,0381	+
b_{12}	0,1425	0,01905	2.03	0,0381	+
b_{13}	0,0525	0,01905	2.03	0,0381	+
b_{23}	0,045	0,01905	2.03	0,0381	+
b_{11}	0,1238	0,01905	2.03	0,0381	+
b_{22}	0,0013	0,01905	2.03	0,0381	—
b_{33}	0,084	0,01905	2.03	0,0381	+

Рассматриваемый коэффициент регрессии b_1 может быть незначимым по многим причинам, в частности:

- выбрана слишком маленькая единица варьирования для данного фактора, а ошибка метода велика;
- нулевой уровень по данному фактору лежит уже в оптимуме и, следовательно, изменение данного фактора на величину может не вызывать изменения выхода.

В рассматриваемом случае нулевой уровень по третьему фактору лежит в оптимуме, а потому они и не вызывает изменения качества очистки.

Кроме этого, знак минус свидетельствует о том, что с увеличением угла наклона щеточного очистителя уменьшается качество очистки. Это происходит по всей видимости потому, что чрезмерный угол наклона щеток уменьшает площадь контакта корнеклубнеплода со щеточным очистителем.

Затем была определена дисперсия адекватности модели. Для проверки гипотезы о соответствии уравнений регрессии использовался F-критерий Фишера. Расчетное значение $F_p = 1,26$ было сопоставлено с табличным значением критерия Фишера для чисел степеней свободы: для числителя $f_1 = 14$ и знаменателя $f_2 = 36$. Модель оказалась достаточной при уровне значимости 0,05 ($F_p = 1,26 < F_{табл} = 2,05$). Таким образом, гипотезу о корректности полученного регрессионного уравнения можно считать подтвержденной с вероятностью 95 %. Значимость различия $b_0 - \bar{y}_0$ проверяем по критерию Стьюдента. В результате сравнения $t_p = 6,14 > t_{0.05} = 2.03$ заключаем, что различие $b_0 - \bar{y}_0$ незначимо с 95% вероятностью. На основании изложенного приходим к заключению, что для описания результатов эксперимента необходимо использовать планирование второго порядка, позволяющее получить представление о функции отклика с помощью полинома второй степени.

После подстановки значений коэффициентов регрессии в уравнение вида (3.16) было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_1 = 1,825 + 0,0283X_1 - 0,066X_2 - 0,05X_3 + 0,1425X_1X_2 + 0,0525X_1X_3 + 0,045X_2X_3 + 0,1238X_1^2 + 0,084X_3^2 \quad (4.11)$$

$$Y_2 = 1,083 + 0,0183X_1 + 0,024X_2 + 0,0155X_3 + 0,01175X_1X_2 + 0,01X_1X_3 + 0,018X_2X_3 + 0,0115X_1^2 - 0,02X_3^2 \quad (4.12)$$

Преобразуя уравнения (4.11), (4.12) составим систему дифференциальных уравнений. С помощью системы дифференциальных уравнений определим значения переменных, которые обеспечивают оптимальный процесс очистки. Для этого находим дифференцируем по каждому показателю с нулевым результатом:

$$\begin{cases} \frac{dY}{dX_1} = 0,1425X_2 + 0,0525X_3 + 0,276X_1 = 0 \\ \frac{dY}{dX_2} = -0,066 + 0,1425X_1 + 0,045X_3 = 0 \\ \frac{dY}{dX_3} = -0,05 + 0,0525X_1 + 0,045X_2 + 0,168X_3 = 0 \end{cases} \quad (4.13)$$

Для использования уравнений (4.11), (4.12) в качестве расчетных формул и интерпретации результатов опытов необходимо их преобразовать к именовым величинам, то есть раскодировать.

Раскодирование оптимальных значений величин факторов производим по формуле (3.7) с учетом (3.8) согласно таблице 4.7:

$$\begin{cases} X_1 = \frac{n_{\text{ш}} - 200}{50} = 0,02n_{\text{ш}} - 4 \\ X_2 = \frac{n_{\text{д}} - 10}{5} = 0,2n_{\text{д}} - 2 \\ X_3 = \frac{\psi' - 25}{10} = 0,1\psi' - 2,5 \end{cases} \quad (4.14)$$

Решив полученную систему уравнений (4.13) совместно с уравнением (4.14), находим значения оптимальных конструктивно-режимных параметров очистительного устройства (табл. 4.10).

Подставив (4.14) в зависимость (4.11), (4.12) вычисляли коэффициенты физических переменных факторов из таблицы 4.9, в результате которых получены математические модели процесса очистки корнеклубнеплодов от загрязнений в виде функциональных зависимостей качества очистки $\delta_{\text{ост}}$ и энергоемкости P от конструктивно-режимных параметров:

$$\delta_{\text{ост}} = 6,4778 - 0,028133n_{\text{щ}} - 0,1497n_{\text{д}} - 0,077\psi' + 0,00057n_{\text{щ}}n_{\text{д}} + 0,000105n_{\text{щ}}\psi' + 0,0009n_{\text{д}}\psi' + 0,00004952n_{\text{щ}}^2 + 0,00084\psi'^2 \quad (4.15)$$

$$P = 0,87745 + 0,000277n_{\text{щ}} + 0,00242n_{\text{д}} + 0,000093\psi' - 0,0000052n_{\text{щ}}n_{\text{д}} + 0,00000076n_{\text{щ}}\psi' + 0,00000752n_{\text{д}}\psi' - 0,00000027n_{\text{щ}}^2 - 0,000005\psi'^2 \quad (4.16)$$

Влияние конструктивных и кинематических параметров роторно-щеточного очистителя на величину остаточной загрязненности корнеклубнеплодов и на энергоемкость процесса очистки представлено с помощью программы «MathCad» в виде поверхности отклика (рисунок 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15).

Таблица 4.10 – Оптимальные конструктивно-режимные параметры роторно-щеточного устройства

Наименование параметров	Обозначение и значение фактора	Раскодированное оптимальное значение	Оптимальное значение критерия оптимизации
Частота вращения щетки, $n_{\text{щ}}$	$X_1 = 0,65$	185 мин ⁻¹	1,78%
Частота оборотов диска, $n_{\text{д}}$	$X_2 = 0,779$	13 мин ⁻¹	
Наклон щеток, ψ'	$X_3 = -0,059$	28°	

Анализ полученных поверхностей отклика (рис. 4.9, 4.10. 4.11) позволил установить, что наилучшие показатели качества очистки $\delta_{\text{ост}} = 1,7\text{--}1,8\%$ достигаются при частоте вращения щетки в определенном диапазоне $n_{\text{щ}} = 180\text{--}200$ мин⁻¹, частоте оборотов диска $n_{\text{д}} = 11\text{--}13$ мин⁻¹ и наклона щеток $\psi' = 28^\circ$.

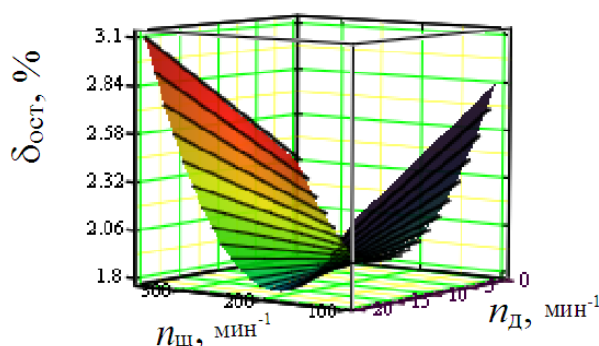


Рисунок 4.10 – Поверхность отклика $\delta_{\text{ост}}$, % от частоты оборотов щетки $n_{\text{щ}} = 150\text{--}250$ мин⁻¹ и частоты вращения диска $n_{\text{д}} = 10\text{--}30$ мин⁻¹, при угле наклона щетки $\psi' = 28^\circ$

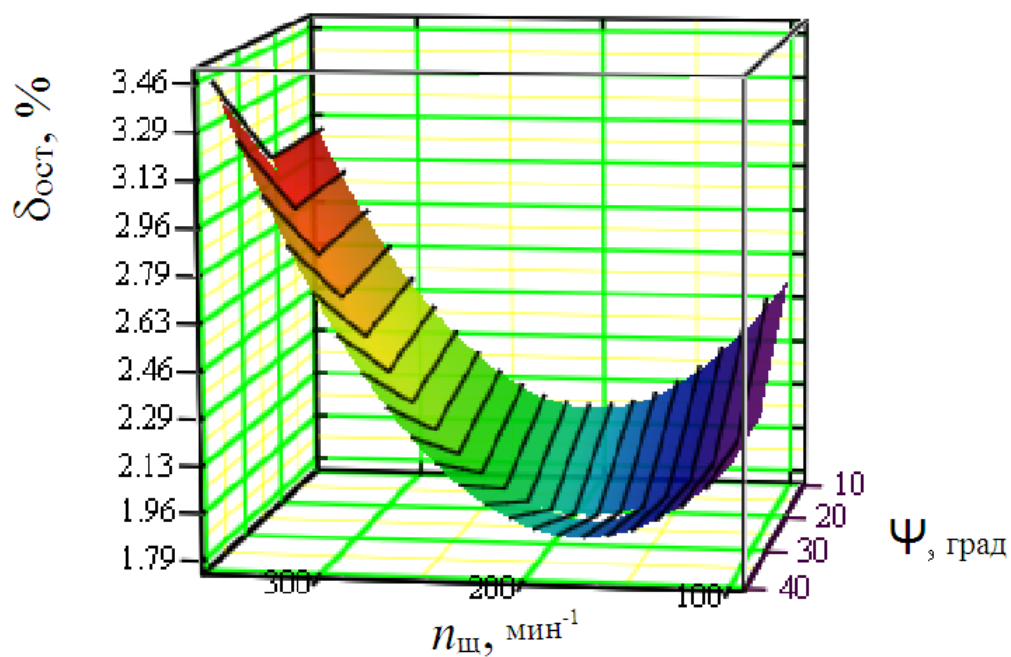


Рисунок 4.11 – Поверхность отклика $\delta_{\text{ост}}, \%$ от частоты оборотов щетки $n_{\text{щ}}=150\text{--}250 \text{ мин}^{-1}$ и наклона щетки $\psi=15\text{--}35^\circ$ при частоте оборотов диска $n_{\text{д}}=12 \text{ мин}^{-1}$

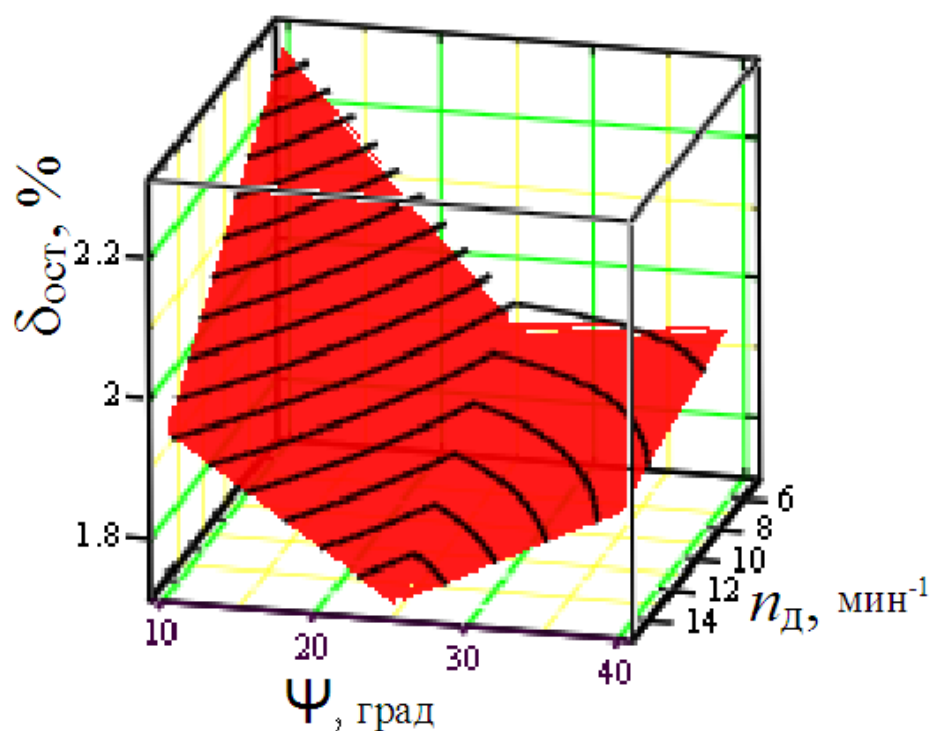


Рисунок 4.12 – Поверхность отклика $\delta_{\text{ост}}, \%$ от угла наклона щетки $\psi'=15\text{--}35^\circ$ и частоты оборотов диска $n_{\text{д}}=5\text{--}15 \text{ мин}^{-1}$, при частоте оборотов щетки $n_{\text{щ}}=200 \text{ мин}^{-1}$

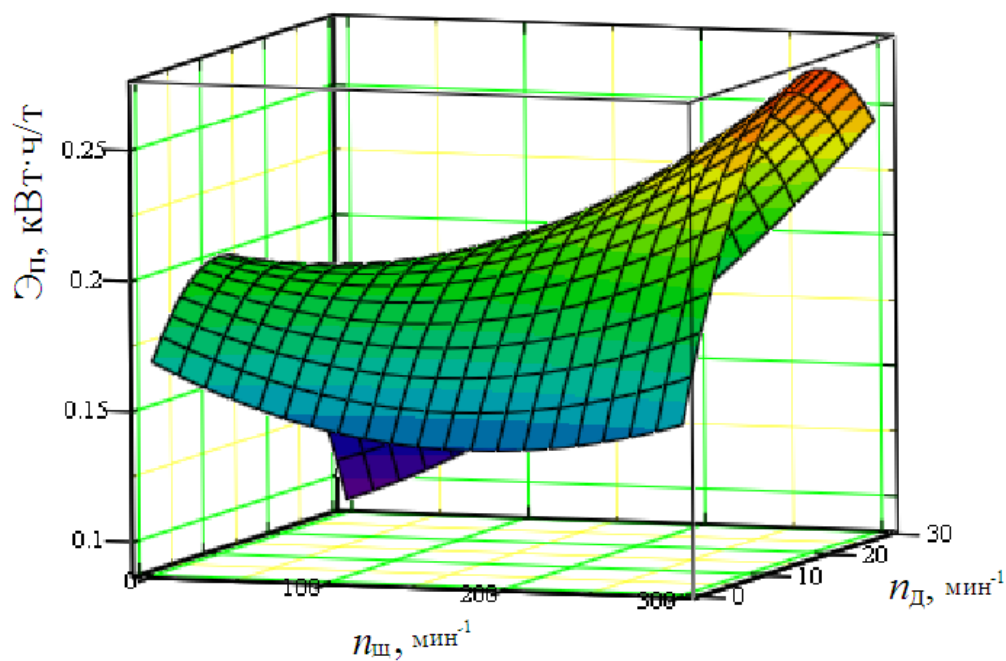


Рисунок 4.13 – Поверхность отклика удельной энергоёмкости процесса очистки $\mathcal{E}_n$, кВт·ч/т от частоты оборотов щетки $n_{ш}=150\text{--}250\text{ мин}^{-1}$ и частоты оборотов диска $n_{д}=5\text{--}15\text{ мин}^{-1}$ при наклоне щетки $\psi'=28^\circ$

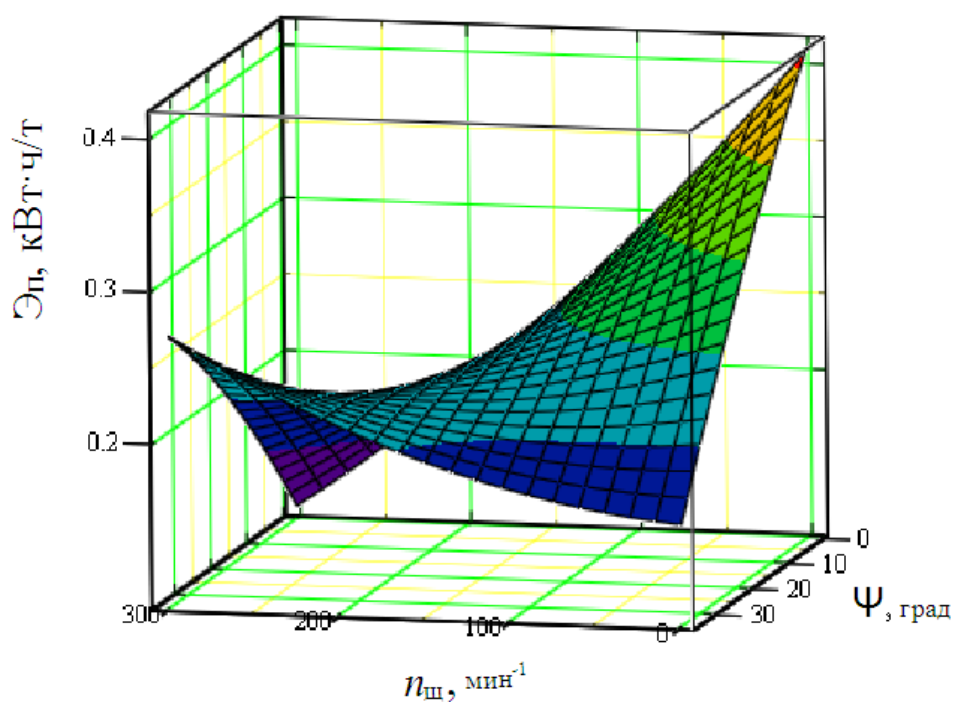


Рисунок 4.14 – Поверхность отклика удельной энергоёмкости процесса очистки $\mathcal{E}_n$, кВт·ч/т от частоты оборотов щетки $n_{ш}=150\text{--}250\text{ мин}^{-1}$ и наклона щетки $\psi'=15\text{--}35^\circ$ при частоте оборотов диска $n_{д}=12\text{ мин}^{-1}$

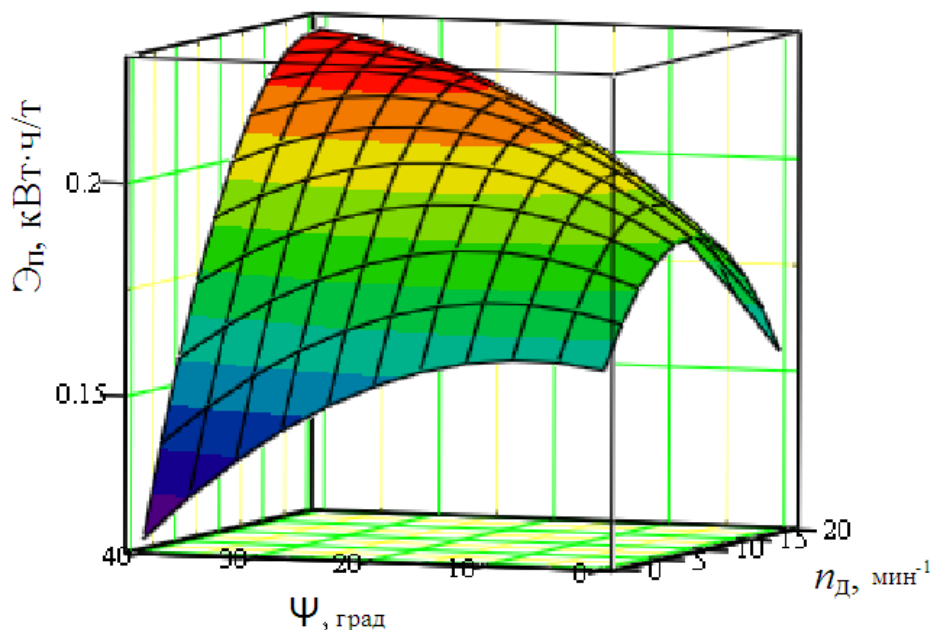


Рисунок 4.15 – Поверхность отклика удельной энергоемкости процесса очистки $\mathcal{E}_п$, кВт·ч/т от угла наклона щетки, $\psi=15\text{--}35^\circ$ и частоты оборотов диска $n_d=5\text{--}15\text{ мин}^{-1}$ при частоте оборотов щетки $n_{щ}=200\text{ мин}^{-1}$.

4.4 Сходимость теоретических и экспериментальных исследований

Для проверки теоретических исследований были проведены сравнительные экспериментальные исследования работы роторно-щеточного устройства.

У экспериментального образца конструктивно были предусмотрены изменения частот вращения щетки – 150 и 300 мин^{-1} , диска – 5 и 20 мин^{-1} .

Опыты проводились на кормовой свекле и картофеле сбуртованных на хранение. Влажность связанной почвы составляла 11...30% при начальной загрязненности корнеклубнеплодов 6...25%. Тип почвы – суглинок (таблица 4.11).

Цель исследования изучение влияние физико-механических свойств загрязнений и корнеклубнеплодов на качество очистки корнеклубнеплодов.

Теоретическими исследованиями было выявлено, что качество очистки корнеклубнеплодов зависит от сопротивления загрязнений сдвигу, коэффициента трения, размеров корнеклубнеплода и начальной загрязненности, а также влажности загрязнений [86-106]. По известным данным [86-90] на коэффициент трения и сопротивление загрязнений сдвигу оказывает влияние влажность загрязнений. Максимального значения коэффициент трения достигает при влажности $W=22\text{--}26\%$, а сопротивление сдвига при $W < 10\%$.

Таблица 4.11 – Результаты экспериментальных исследований оптимизированного очистительного устройства

№	Вид испытываемого корма	1					2				
		Начальная загрязненность, %	Остаточная загрязненность, %				Влажность, %	Остаточная загрязненность, %			
			1-оп.	2-оп.	3-оп.	Ср.		1-оп.	2-оп.	3-оп.	Ср.
1	Кормовая свекла	5	1,5	1,2	1,6	1,5	10	2,4	2,0	1,9	2,2
2		8	1,5	1,8	1,4	1,6	15	2,2	1,8	1,9	1,9
3		12	2,0	1,5	1,9	1,8	20	2,0	1,5	1,8	1,8
4		16	2,1	2,0	1,7	1,9	25	1,7	1,5	1,8	1,7
5		20	2,0	2,2	2,7	2,3	30	1,9	2,0	2,4	2,1
1	Картофель	5	1,1	1,6	1,2	1,3	10	1,7	2,2	2,1	2,0
2		8	1,5	1,2	1,6	1,4	15	1,8	2,0	1,3	1,7
3		12	1,5	1,8	1,4	1,5	20	1,6	1,2	1,7	1,5
4		16	2,0	1,5	1,6	1,7	25	1,2	1,5	1,5	1,4
5		20	2,2	2,0	1,6	1,9	30	2,2	1,8	1,9	1,9

По результатам экспериментальных исследований были построены зависимости остаточной загрязненности от исходных параметров начальной загрязненности и влажности загрязнений (рис. 4.16 – 4.19).

На рисунке 4.16, 4.17 представлены зависимости остаточной загрязненности корнеклубнеплодов $\delta_{\text{ост}}$ при различной степени начальной загрязненности $\delta_{\text{нач}}$, которые показывают, что для достижения высокого качества очистки продукта, необходимо увеличить усилие сдвига загрязнений путем правильного подбора конструктивно-режимных параметров очистителя.

На основании полученной зависимости остаточной загрязненности от начальной можно сделать вывод, что качество очистки $\delta_{\text{ост}} > 2\%$ снижается при начальной загрязненности свыше 18%. Это связано с тем, что вначале удаляются загрязнения с малой силой сопротивления сдвигу, которые располагаются в легкодоступных местах, а с труднодоступных мест, где сила адгезии корнеклубнеплода с загрязнениями больше, так как они располагаются между отростками корешков корней требуется большее усилие на сдвиг или неоднократное воздействие ворсин щетки.

При анализе зависимости остаточной загрязненности от влажности (рис. 4.18, 4.19) наблюдается увеличение остаточной загрязненности $\delta_{\text{ост}} > 2\%$ при влажности свыше 27 %. Это объясняется тем, что при большой влажности в почве увеличивается липкость ($h > 7$), она приобретает свойства легкопластичной почвы размазываясь по поверхности корнеклубнеплода.

Параллельно с экспериментальными исследованиями по определению качества очистки проводилось исследование по влиянию конструктивно-режимных параметров на энергоемкость процесса очистки.

Влияние на энергоёмкость очистки корнеклубнеплодов от загрязнений начальной загрязненности и влажности можно выразить через – частоту вращения щетки, так как они все будут связаны с преодолением сил сопротивления от данных параметров усилием щетки. Зависимость энергоёмкости от частоты вращения щетки представлены на рисунке 4.20. Анализ зависимости энергоёмкости подтверждает ранее проведенный анализ зависимостей остаточной загрязненности (рис. 4.16 – 4.19), что с возрастанием начальной загрязненности и влажности, требуется повышение частоты вращения щетки, что ведет к увеличению энергозатрат процесса очистки корнеклубнеплодов от загрязнений.

Сходимость теоретических и экспериментальных исследований составляет 93–95%.

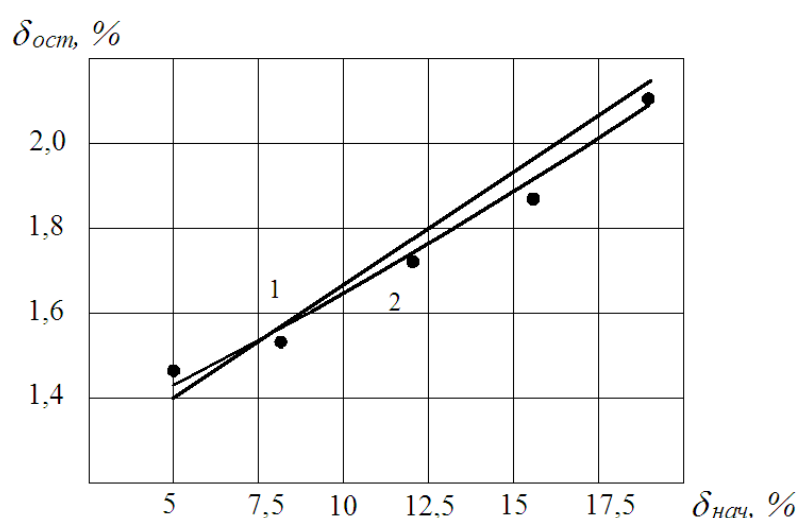


Рисунок 4.16 – Зависимость остаточной загрязненности $\delta_{ост}$ кормовой свеклы от начальной загрязненности $\delta_{нач}$: 1– теоретическая; 2– экспериментальная

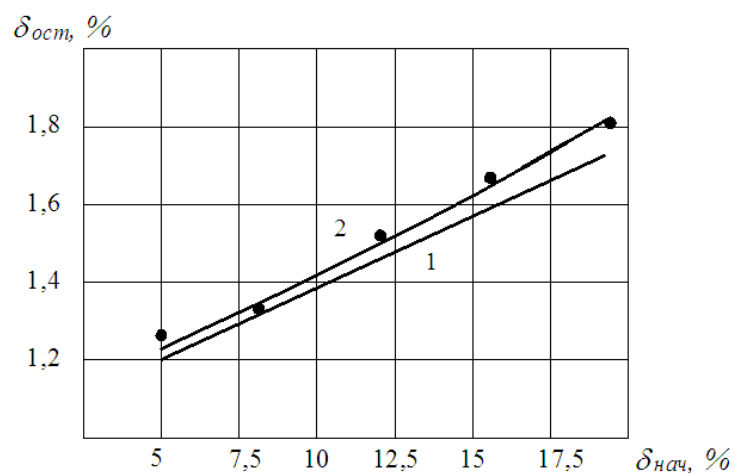


Рисунок 4.17 – Зависимость остаточной загрязненности $\delta_{ост}$ картофеля от начальной $\delta_{нач}$: 1– теоретическая; 2– экспериментальная

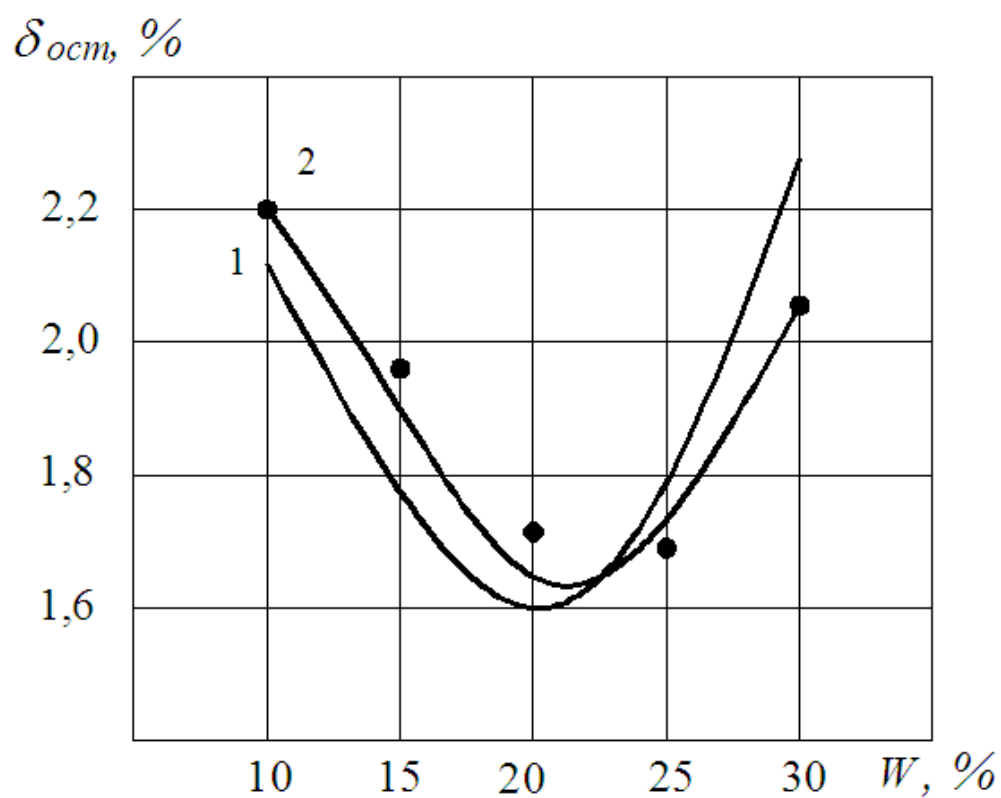


Рисунок 4.18 – Зависимость остаточной загрязненности $\delta_{ост}$ кормовой свеклы от влажности W : 1– теоретическая; 2– экспериментальная

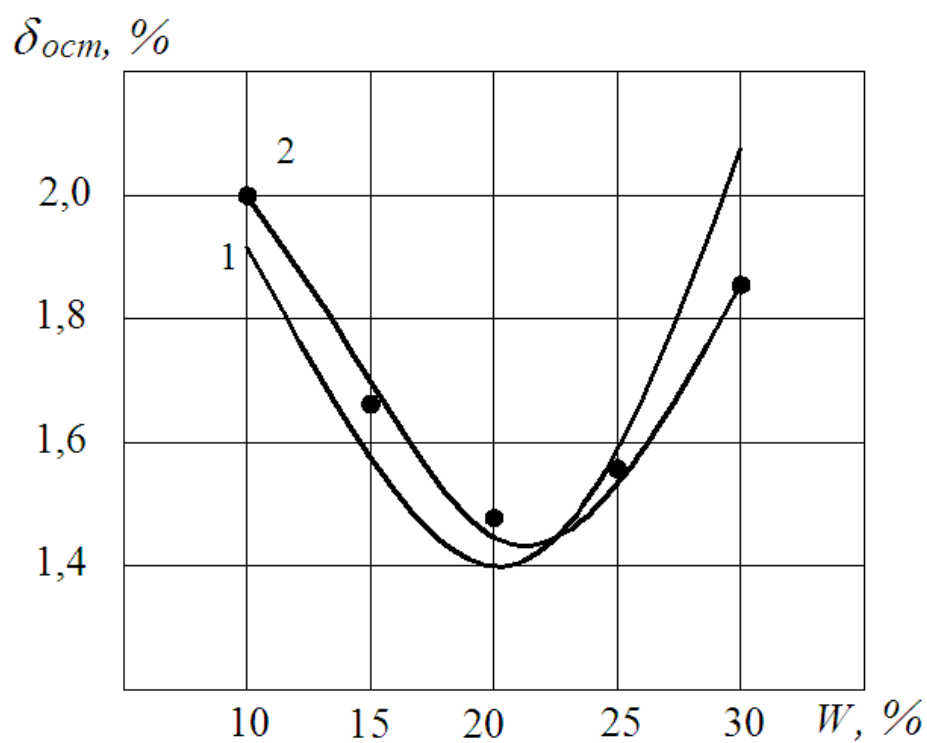


Рисунок 4.19 – Зависимость остаточной загрязненности $\delta_{ост}$ картофеля от влажности W : 1– теоретическая; 2– экспериментальная

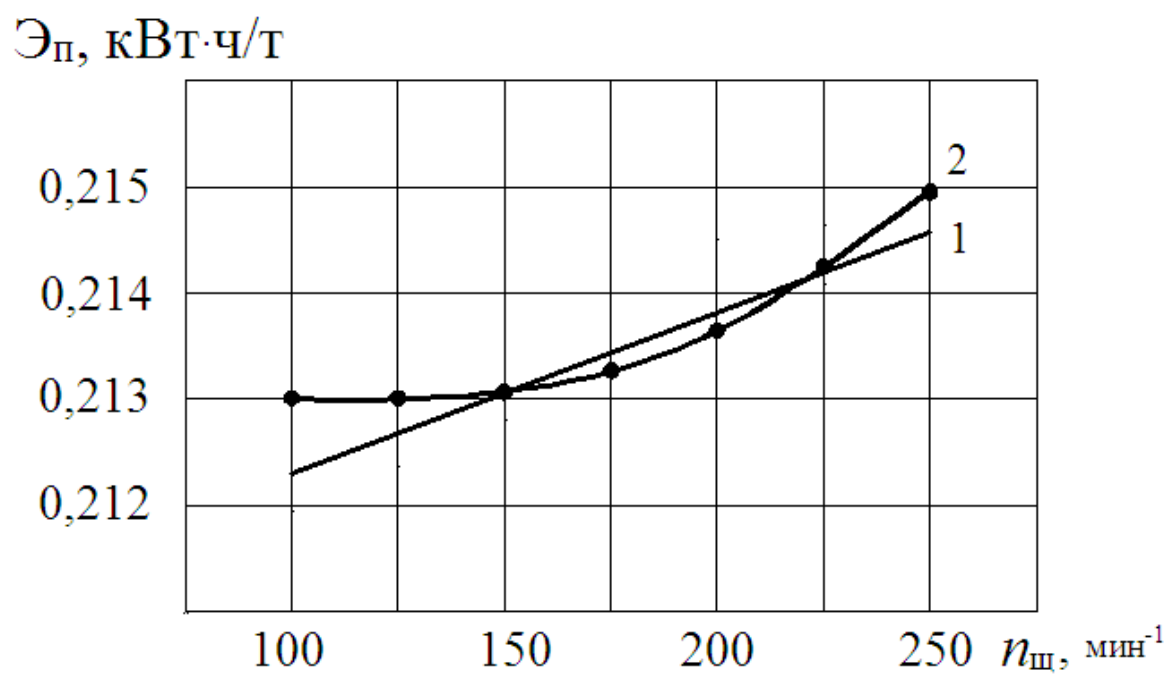


Рисунок 4.20 – Зависимость энергоёмкости процесса очистки $\mathcal{E}_n$ от частоты оборотов щетки $n_{\text{щ}}$: 1– теоретическая; 2– экспериментальная

Глава 5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ КОРМОВ

Для определения эффективности применения предлагаемого роторно-щеточного устройства в процессе подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию предусматривалось:

- производственные испытания с целью проверки теоретически и экспериментально определенных конструктивно-режимных параметров устройств в производственных условиях при соблюдении зоотехнических требований;

- экономическая оценка предлагаемого устройства по сравнению с базовой моделью.

5.1 Техническая спецификация роторно-щеточного устройства

Техническая характеристика разработанного на основании выполненных исследований роторно-щеточного устройства приведена в таблице 5.1.

Испытания роторно-щеточного устройства в производственных условиях проводили при очистке кормовой свеклы, а также картофеля. Длина корнеклубнеплода кормовой свеклы находилась в пределах 95–145 мм, диаметра 60–80 мм. Длина клубнеплода картофеля составила 55–77 мм, ширина 40–65 мм, толщина 35–55 мм. Начальная загрязненность корнеклубнеплодов находилась в пределах 8–21%, влажность загрязнений 14–32 %. Тип почвы – суглинок.

Таблица 5.1 – Техническая спецификация устройства

№	Показатели	Величина
1	Производительность, т/ч	4,5–5,2
2	Мощность электродвигателей, кВт	3,0
3	Масса, кг	450
4	Габаритные размеры: длина, мм ширина, мм высота, мм	1500 1100 800

Конструктивно-режимные параметры роторно-щеточного устройства брались близким к оптимальным значениям, определенным в экспериментальных исследованиях (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Оптимальные конструктивно-режимные параметры роторно-щеточного устройства при проведении производственных испытаний

№	Показатели	Размерность	Величины
1	Частота вращения щетки	мин ⁻¹	186
2	Частота вращения диска	мин ⁻¹	11,8
3	Угол наклона щеток	град.	28

Результаты производственных тестов продемонстрировали, что роторно-щеточное очистительное устройство, функционируя в оптимальных условиях, обеспечивает превосходное качество очистки корнеклубнеплодов от загрязнений (см. рис. 5.1).



а



б

Рисунок 5.1 – Производственные тесты роторно-щеточного устройства: а – очистка кормовой свеклы от загрязнений; б – очистка картофеля от загрязнений

Следует заметить, что с увеличением начальной загрязненности возрастает остаточная загрязненность корнеклубнеплодов, которая не превышало 2%, соответствующее зоотехническим требованиям. Также было установлено, что высокая влажность загрязнений снижают качество очистки и требуют изменения конструктивных и режимных параметров очистительного устройства. Предельные значения начальной загрязненности и влажности, при которых наблюдается ухудшение качества очистки, составляют начальную загрязненность в 17% и влажность на уровне 26%. Данные результатов производственных испытаний указаны в табл. 5.3.

Таблица 5.3 –Производственные тесты роторно-щеточного устройства

№	Вид операции	Объем наработки, т	Время испытания, ч	Производительность, т/ч	Остаточная загрязненность, %	Повреждения, %
1	Очистка кормовой свеклы	10	2	5	1,8	2,8
2	Очистка картофеля	10	2	5	1,5	0,7

Удельная энергоемкость экспериментальной установки – 0,21 кВт·ч/т

Производительность – 4,2–5,1т/ч

В ходе очистки не было зафиксировано повреждений корнеклубнеплодов, превышающих одну треть их объема. При этом надлом хвостовой части и повреждения кожуры оставались на уровне не более 2,75% от общего количества очищаемого продукта.

Предложенная конструкция измельчителя позволит измельчать замерзшие корнеплоды на эффекте двухопорного резания, сокращая путь и время резания (рисунок 5.2). На примере использования многофакторного эксперимента мы определили оптимальные конструктивно-режимные параметры рабочих органов измельчителя корнеплодов. На основе анализа поверхности отклика определены оптимальные конструктивно-режимные параметры измельчителя замерзших корнеплодов: частота вращения ножей $n=575$ об/мин, угол заточки противорезов $\beta=33^\circ$. При данных параметрах критерий оптимизации удельной энергоемкости процесса измельчения замерзших корнеплодов составил $q=0,702$ кВт·ч/т, что меньше допустимого при котором наблюдается перекачивание, защемление, смятие продукта и соответственно повышенные энергозатраты.

Анализ значимости отдельных эффектов выявил, что статистически значимым эффектом является только угол заточки противорезов. Увеличение и уменьшение частоты вращения ножей, вызывает незначительное снижение значения критерия оптимизации. Изменение

величины угла заточки противорезов в диапазоне от 250 до 350 приводит к повышению эффективности измельчения материалов за счет уменьшения излишнего сжатия и изгиба отрезанных частиц.

Оптимальный значение частоты вращения ножей и угла заточки противорезов создают зону резания в виде зажимающего распора. Тем самым корнеплод попадая в зону действия ножей и противорезов подвергается сжатию и резанию с минимальными усилиями.

Предлагаемая конструкция измельчителя корнеплодов (рисунок 5.2), в оптимизированном сочетании частоты вращения ножей и угла заточки противорезов, позволит измельчать замерзшие корнеплоды без перекатывания, чрезмерного защемления и смятия, что позволит снизить энергозатраты на процесс измельчения.



Рисунок 5.2 – Устройство для измельчения корнеплодов (общий вид)

5.2 Методика определения эффективности применения устройства

Расчет экономической эффективности применения роторно-щеточного устройства осуществляется на стадии экспериментального образца, с использованием литературы [107-113].

Экономический эффект будет получен за счет снижения капиталовложений на установку, снижение энергозатрат и уменьшение потери производства продукции.

Экономический эффект от внедрения роторно-щеточного устройства определяли, сопоставляя приведенные затраты базового и нового варианта техники, то есть ожидаемым годовым экономическим эффектом.

Годовой экономический эффект от использования новой машины определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_r = (Z_6 - Z_n)B_r, \quad (5.1)$$

где $\mathcal{E}_r$ – экономический эффект от внедрения, тнг;

Z_6 – приведенные затраты для базовой установки, тнг/т;

Z_n – приведенные затраты для новой установки, тнг/т;

B_r – годовой объем работ, выполненных машиной, т.

Приведенные затраты Z , представляют собой сумму эксплуатационных расходов и капиталовложения:

$$Z = U + E_n K_y, \quad (5.2)$$

где U – прямые эксплуатационные затраты, тнг/т;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, $E_n = 0,15$;

K_y – удельные капиталовложения, тнг/т.

Расходы на содержание и эксплуатацию (эксплуатационные затраты) являются комплексной статьёй затрат в себестоимости продукции.

Статьи эксплуатационных затрат в зависимости от вида и объема выполняемых за год механизированных работ, то есть годовой загрузки, подразделяются на постоянные и переменные. К постоянным расходам, не зависящим от изменения годовой загрузки, относятся амортизационные отчисления и расходы на содержание. К переменным расходам, зависящим прямо пропорционально от годовой загрузки, относятся затраты на техническое обслуживание и ремонт, энергозатраты и оплату труда операторов.

Эксплуатационные затраты U , определяются из выражения:

$$U = (A + P) + (Z_n + \mathcal{E}_s), \quad (5.3)$$

где A – амортизационные отчисления, тнг/т;

P – расходы на содержание, техническое обслуживание и ремонт, тнг/т;

Z_n – затраты на оплату труда операторов, тнг/т;

$\mathcal{E}_s$ – энергозатраты, тнг/т.

Сумму амортизационных отчислений, приходящуюся на единицу продукции, определяем как:

$$A = \frac{aB}{B_r 100}, \quad (5.4)$$

где a – норма амортизационных отчислений, %;

B – балансовая стоимость машины, тнг.

Капитальные вложения состоят из преysкурантной цены машины, транспортно-складских расходов, а также стоимости монтажа машины.

Исходной базой и основной частью цены является себестоимость серийного производства (для новых машин):

$$C = G(hk_t + C_t) + d, \quad (5.5)$$

где C – себестоимость, тнг;

G – чистая масса машины без покупных изделий, т;

h – затраты на производство без стоимости материала, покупных полуфабрикатов и изделий, находящееся на 1 т чистой массы однотипной по технологии изготовления машины, тнг/т;

k_t – коэффициент изменения h в зависимости от объема выпуска;

C_t – стоимость 1 т чистой массы материалов, входящих в машину, тнг/т;

d – стоимость покупных узлов и деталей в оптовых ценах с добавлением 7% надбавки на транспортно-складские расходы, тнг.

После определения себестоимости нового устройства рассчитаем цену исходя из средней отраслевой рентабельности:

$$\Pi_o = C(1 + P), \quad (5.6)$$

где Π_o – оптовая цена заменяемой установки, тнг;

$(1 + P)$ – средняя отраслевая рентабельность, $P = 0,14$ [154].

Транспортно-складские расходы принимаются в размере 11 % от цены машины, стоимость монтажа принимается равной 3 % [154, 155]. Отсюда капитальные вложения равны:

$$K = \Pi_o k_p, \quad (5.7)$$

где K – капитальные вложения, тнг;

k_p – коэффициент расходов на транспортно-складские работы и монтаж машин, $k_p = 1,14$.

Балансовая стоимость новой машины:

$$B = \Pi_o \eta, \quad (5.8)$$

где η – коэффициент балансовой стоимости, $\eta = 1,1$ [156].

Затраты на содержание, техническое обслуживание и ремонт определяем по формуле:

$$P = \frac{BR}{100B_r}, \quad (5.9)$$

где R – норма отчислений на техническое обслуживание и ремонт, %. Оплату труда оператора определяем из выражения:

$$З_n = \sum \left(\frac{n_i C_p}{Q} \right), \quad (5.10)$$

где n_i – количество рабочих;

C_p – часовая ставка зарплаты для каждого тарифного разряда и квалификации, тнг/ч.

Затраты на электроэнергию определяем следующим образом:

$$\mathcal{E}_э = \frac{P T \Pi_э}{Q}, \quad (5.11)$$

где P – мощность электродвигателей, кВт;

T – коэффициент использования установленной мощности;

$\Pi_э$ – отпускной тариф на электроэнергию, тнг/кВт·ч.

Удельные капиталовложения определяем как:

$$K_y = \frac{B}{B_r}. \quad (5.12)$$

Годовой объем работ определяем по формуле:

$$B_r = B_c D, \quad (5.13)$$

где B_c – суточный объем работ, т;

D – число дней работы в году.

Суммарный годовой экономический эффект складывается из годовой экономии и прироста производства продукции от использования новой техники:

$$\mathcal{E}_{\Sigma r} = \mathcal{E}_r + \mathcal{E}_{п.п.}, \quad (5.14)$$

где $\mathcal{E}_{\Sigma r}$ – общая годовая экономия, тнг/год;

$\mathcal{E}_{п.п.}$ – экономия прироста производства продукции, тнг/год.

Срок окупаемости новых капитальных вложений равен:

$$T = K / \mathcal{E}_{\Sigma r}, \quad (5.15)$$

где T – срок окупаемости, год.

Помимо упомянутой годовой экономии, достигнутой благодаря повышению технико-экономических показателей работы оборудования, имеется экономический эффект от повышения производства продукции (снижение качества) и сокращение заболевания животных. Потери массы корнеклубнеплодов во время хранения зависят от их загрязненности, степени повреждения и продолжительности хранения. Из информационных источников известно [80,113], что потери массы корнеклубнеплодов в зависимости от сроков и условий хранения составляют соответственно 0,4...2,0%. Корнеклубнеплоды в рационах животных используются в течении осенне-зимнего периода т.е. 6 месяцев, за данное время неочищенные корнеклубнеплоды могут испортиться. При приготовлении в кормоцехах кормовых смесей процесс очистки неочищенных корнеклубнеплодов осуществляется непосредственно перед измельчением. Поэтому без предварительной сортировки, подгнившие корнеклубнеплоды при попадании в корм, могут вызвать желудочные заболевания и потерю производительности животных. Поэтому предварительно перед закладкой на хранение следует очищать корнеклубнеплоды. Сокращение заболевания животных основывается на качестве продукции.

Следовательно, предварительная очистка корнеклубнеплодов перед закладкой на хранение с минимальной остаточной загрязненностью дает возможность сохранности продукта длительное время с высоким качеством тем самым, уменьшить потери массы корнеклубнеплодов и снижения кормового заболевания животных на молочно-товарной ферме. Тогда экономия прироста продукции $\mathcal{E}_{\text{п.п.}}$ будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{п.п.}} = (\Pi_{\text{м}}^{\text{б}} - \Pi_{\text{м}}^{\text{н}}) V_{\text{г}} \Pi_{\text{пр}} / 100, \quad (5.16)$$

где $\Pi_{\text{м}}^{\text{б}}$ – потери массы корнеклубнеплодов в базовой машине, 1,05 %;

$\Pi_{\text{м}}^{\text{н}}$ – потери массы корнеклубнеплодов в новой машине, 0,63 %;

$\Pi_{\text{пр}}$ – цена продукции, тнг/т.

Выводы

Анализ технологического процесса подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию и применяемого оборудования позволил определить перспективное направление для разработки устройств по очистке корнеклубнеплодов от загрязнений и их измельчению. Обоснованием для разработки очистителей, работающих на безводной очистке, является различия в физико-механических свойствах загрязнений на поверхности корнеклубнеплодов, а для измельчителей трудности связанные с измельчением замерзших корнеклубнеплодов.

Предлагаемые конструкции роторно-щеточного очистителя и двухопорного измельчителя соответствуют нормативным и зоотехническим требованиям, а также экономически эффективны по применяемому технологическому оборудованию. Правильно подобранный комплекс устройств для приготовления кормов способствует удешевлению корма, легкому усвоению и витаминному содержанию, поедаемости и безвредности, а также снижению трудоемкости рабочего процесса. Двухопорный измельчитель может работать в зимний период, когда при низких температурах корнеклубнеплоды из-за большого содержания воды обледенены и требуют дополнительных затрат.

Теоретические исследования позволяют определить расположение рабочих органов очистителя и измельчителя, получить аналитические зависимости между технологическими и конструктивно-режимными параметрами.

Методика проведения экспериментальных исследований определяет критерии оптимизации и значимые факторы на технологический процесс очистки корнеклубнеплодов от загрязнений роторно-щеточным очистителем. Результатом проведения экспериментальных исследований является математическая модель, которая определяет оптимальные конструктивно-режимные параметры роторно-щеточного очистителя.

Экономическая эффективность разработанного устройства заключается в определении удельной экономии эксплуатационных расходов от применения роторно-щеточного очистительного устройства.

Уникальность данной работы заключается в создании технологических и инженерных решений, применяемых в современном кормоприготовлении для животных. Это позволит сократить системные и производственные затраты, снизить трудоемкость процесса кормоприготовления, а также станет ценным справочным и информационным ресурсом для студентов, магистрантов и исследователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные показатели развития животноводства в Республике Казахстан / Регионы Казахстана в 2023 году // Статистический сборник. Астана 2024 С. 253-278.

2. Денисенко В. Н. Профилактика кормового травматизма у крупного рогатого скота / В. Н. Денисенко, И. Г. Рязанов, Р. В. Рогов // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии : Сборник научных трудов, посвященный 95-летию Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии имени К. И. Скрябина, Москва, 10 сентября – 10 октября 2014 года. – Москва: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, 2014. – С. 135-137. –

3. Нам А. К. Анализ средств механизации приготовления и раздачи кормов на животноводческих предприятиях / А. К. Нам, А. Э. Сабанчиев // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России : сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ю.М. Хаширова, Нальчик, 25–26 апреля 2019 года. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова", 2019. – С. 175-178.

4. Инженерная экология / Е. Е. Степаненко, В.А. Халикова, Т.Г. Зеленская [и др.]. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2023. – 140 с.

5. Долгополова Н. В. Кормовая ценность корнеплодов и их значение в рационах животных / Н. В. Долгополова, Б. М. Ковынев, А. И. Галкин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 6. – С. 121-129.

6. Долгополова, Н. В. Кормовая ценность корнеплодов и их значение в рационах животных / Н. В. Долгополова, Б. М. Ковынев, А. И. Галкин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 6. – С. 121-129.

7. Результаты камеральных исследований модуля для сепарации вороха корнеплодов и луковиц / А. В. Сибирев, М. А. Мосяков, И. А. Приходько, С. В. Лазовский // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2021. – № 4(37). – С. 64-69.

8. Мойстус В. Н. Классификация рабочих органов для очистки корнеплодов свеклоуборочных комбайнов / В. Н. Мойстус, А. Г. Абросимов, С. В. Соловьев // Сборник научных трудов, посвященный 85-летию Мичуринского государственного аграрного университета : в 4 т.. Том 2. –

Мичуринск : Мичуринский государственный аграрный университет, 2016. – С. 62-66.

9. Гайдай П. А. Сравнительный анализ устройств для безводной очистки корнеклубнеплодов / П. А. Гайдай // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3(19). – С. 65-69.

10. Башкирев А. П. Моделирование процесса выкапывания корнеплодов сахарной свеклы в различных условиях уборки / А.П. Башкирев, А. А. Колбин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 9. – С. 115-119.

11. Сабиев У. К. Обоснование конструктивно-режимных параметров безводного очистителя корнеклубнеплодов / У. К. Сабиев, И. Р. Хузин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 9(215). – С. 114-119. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-215-9-114-119.

12. Бойбобоев Н. Г. Анализ нового направления совершенствования конструкции элеваторов корнеклубнеуборочных комбайнов / Н.Г. Бойбобоев, А. К. Хамракулов, А. А. Хамзаев // Science Time. – 2016. – № 2(26). – С. 63-69.

13. Брусенков, А. В. Перспективная технология приготовления корнеплодов на молочных фермах / А. В. Брусенков // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2(38). – С. 4-8.

14. Завражнова А. И. Ресурсосберегающая технология и техника производства сахарной свеклы : монография / А.И. Завражнов, В. И. Горшенин, С. В. Соловьев [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 164 с.

15. Соловьев С. В. Использование устройств для транспортировки и очистки корнеклубнеплодов в условиях центрального Черноземья РФ: Рекомендации : учебное издание / С. В. Соловьев, В. И.

16. Свинцова О. Н. Технические средства и технологии механизации подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию / О. Н. Свинцова, Д. Н. Голубев, С. Н. Шуханов, А. Р. Сухаева // Вестник АГАТУ. – 2023. – № 3(11). – С. 40-44.

17. Брюховецкий, А. Н. Влияние конструктивных особенностей измельчителя сочных кормов на его производительность / А.Н. Брюховецкий, В. П. Лавицкий, В. Ю. Чурсин // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3-1(25). – С. 59-65.

18. Кузнецов, П. Н. Совершенствование роторного очистителя свеклоуборочных комбайнов для работы в условиях Центрального Черноземья / П. Н. Кузнецов, А. Д. Фроленков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1. – С. 169-173.

19. Фаритов, Т. А. Повышение качества кормов и эффективность их использования / Т. А. Фаритов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2015. – № 5-6. – С. 87-91.

20. ГОСТ 28736-90 Корнеплоды кормовые / технические условия М. : ЦНИИТЭН. 1990.–92 с.

21. Сборник зоотехнических и агротехнических требований на комплекты машин и оборудования для механизации, электрификации и автоматизации животноводческих ферм и комплексов. М. : ВИЭСХ. 1976. Вып. 6 – 108 с.

22. Ахмадов Б. Р. Теоретическое исследование ротационного щеточного очистителя / Б. Р. Ахмадов, С. С. Назаров, А. А. Жиздюк, М. В. Карпов // Научная жизнь. – 2020. – Т. 15, № 2(102). – С. 219-226.

23. Сабиев У. К. Безводная очистка корнеклубнеплодов вибрационным воздействием / У. К. Сабиев, И. Р. Хузин // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4(40). – С. 146-151.

24. Яковлева А. О. Анализ устройств для сухой очистки корнеклубнеплодов / А. О. Яковлева, Н. Н. Виноградов, С. В. Захаров // Актуальные вопросы науки и практики : сборник научных трудов по материалам XIX Международной научно-практической конференции, Анапа, 04 апреля 2020 года. – Анапа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2020. – С. 105-108.

25. А.с. 1308239 СССР, МКИ³ А 01 D 33/08. Устройство для очистки корнеклубнеплодов / П.Ю. Зыков, И.Г. Орел, В.Г. Орхименко (СССР). – № 3956333/30-15 ; заявл. 20.09.85 ; – Оpubл. в Б.И. 07.05.87, № 17.

26. Камалетдинов Р.Р. Разрушение почвенных частиц при сепарации картофельного вороха на просеивающих сепараторах / Р.Р. Камалетдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2006.— №12.—1. С. 7-8.

27. А.с. 1304772 СССР, МКИ³ А 01 D 33/08. Ротационный сепаратор корнеклубнеплодов / Н.И. Чипурко, И.Р. Размыслович, В.И. Растовцева (СССР). – № 3871938/30-15 ; заявл. 07.01.85 ; – Оpubл. в Б.И. 07.04.87, № 15.

28. Шаблыкин И.Н. Теоретические исследования энергоэффективности предреализационной подготовки клубней картофеля комбинированным способом / И. Н. Шаблыкин // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 1(114). – С. 64-76.

29. А.с. 13082140 СССР, МКИ³ А 01 D 33/08. Устройство для отделения примесей / В.В. Шацкий, В.В. Митков, Г.Г. Кочереженко, В.П. Лакушев, А.Ф. Шаровин, В.Н. Мумыга, И.И. Пайшус, В.А. Мартынов (СССР). – № 3976206/30-15 ; заявл. 14.11.85 ; – Оpubл. в Б.И. 07.05.87, № 17.

30. Горелышев Е. М. Повышение качества очистки корнеплодов от почвы / Е. М. Горелышев, В. И. Курдюмов // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 3(25). – С. 92-101.

31. Eben E. Verfahren zur Abtrennung von Rubenerde // Zuckerindustrie.- 2000.-Т.125, N 1.-S. 13-17.-Нем.-Рез.англ.,фр.,исп.-Bibliogr.: S.17.

32. Комаров Ю. В. Современный уровень механизированной уборки корнеплодов сахарной свеклы / Ю. В. Комаров // Проблемы и перспективы развития агропромышленного производства. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2015. – С. 125-134.

33. Сысуев В.А. Оптимизация рабочего процесса машины сухой очистки корнеклубнеплодов / В.А. Сысуев, П.А. Савиных, В.Г. Дудин // Экология и сельскохозяйственная техника : СПб. – Павловск, 2000. – Т.3.– С. 222-227

34. Катко, А.А. Некоторые результаты исследования очистителя корнеклубнеплодов в составе кормоцепа / Г.П. Юхин, В.М. Мартынов, А.А. Катков // Пути повышения эффективности АПК в условиях вступления России в ВТО: материалы международной научно-практической конференции (к XIII международной специализированной выставке «Агро - 2003»), В 2 частях. 4.1. - Уфа: БГАУ, 2003.- С. 292 - 294

35. Долбаненко В.М. Обоснование параметров устройства для сухой очистки корнеклубнеплодов Текст. / В.М. Долбаненко, А.П. Селиванов // Вестник КрасГАУ: науч.-техн. журн. Красноярск, 2008. - Вып. 1. - С. 188 - 194.

36. Белов В. П. Технологическая линия подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию / В. П. Белов, А. К. Мороз. // Тракторы и с.-х. машины. – 1999. - № 2. – С. 7.

37. Амеличев В.Т. Показатель сепарационной способности почвы / В.Т. Амеличев // Тракторы и с.-х. машины. – 2000. - № 10. – С. 35-36.

38. Дусенов М.К. Модернизированный очиститель корнеклубнеплодов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В. Г. / Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова.-Саратов, 2011.- С. 55-57.

39. Шуханов С.Н. Коваливнич В.Д., Доржиев А.С. Обзор современных конструкций измельчителей корнеклубнеплодов как основа для создания более совершенных машин [Текст]: С.Н. Шуханов, В.Д. Коваливнич, А.С. Доржиев – М.: Аграрная наука, 2016. № 1. С. 31.

40. Комбинированное устройство для мойки и измельчения корнеплодов Патент №205076 от 25.06.2021 бюл №18 Морозов А.В., Хабарова В.В, Замальдинов М. М., Исаева А. М.

41. Moos, J.A., Steel D.D., Kirkpatrick D.C. (2002) - Small-scale mechanical carrot washer for research sample preparation - Applied Engineering in Agriculture, Volume 18, Issue 2, 3/2002, ISSN 0883-8542, Pg. 235-241.

42. Джапаров Р.Р. Совершенствование рабочих органов измельчителя смесителя кормов ИСК-3 [Текст]: Р.Р. Джапаров, М.М. Константинов,

Б.Н. Нуралин, А.Ж. Нуралин – Оренбург: Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. 2020, № 2, 133 с.

43.Маёнков, В.В. Классификация и анализ конструкций измельчителей корнеплодов и бахчевых / В.В. Маёнков. - Текст : электронный // Механизация процессов производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы Всероссийской студенческой научной конференции, посвященной 55-летию кафедры сельскохозяйственных машин. 14 мая 2009 года. - Ульяновск : УГСХА, 2009. - С. 26-30.

44.Горячкин, В. П. Некоторые соображения о работе сортировок / В.П.Горячкин. – Собрание сочинений, изд. 2-ое, т. 3, – М. : Колос, 1968. – С. 179–211.

45.Roberts A. W. Performance of grain augers / A.W. Roberts, A. H. Willis. – Lond. : Proc. Instn. Mech., 1976. – S. 165-194.

46. Pirkelmann H. Endstation / H. Pirkelmann, L. Maier. Futtertrag. – Agrar Ubers, 1980. Jg 31. № 4, S. 43-45.

47. Hempel H. Zur Abscheidung übergrober Beimengungen / H. Hempel. – Agrartechnik, 1980, 30, № 8, S. 346-348.

48. Kramer S. Verfahren und Rationalisierungs mittel für die Hefefruchtaufbereitung / S. Kramer. – Agrartechnik, 1989, T38, S. 44-48.

49. Карташов Л. П. Совершенствование технологий подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию / Л. П. Карташов, Г. П. Юхин. // Техника в сельском хоз-ве. – 2005. - № 1. – С. 42.

50. Шпирук Ю. Д. Совершенствование конструкции для сухой очистки клубней картофеля от почвенных загрязнителей / Ю. Д. Шпирук, В. В. Матюшев, И. А. Чаплыгина // Проблемы современной аграрной науки : Материалы международной научной конференции, Красноярск, 15 октября 2019 года / Ответственные за выпуск: Валентина Леонидовна Бопп, Жанна Николаевна Шмелева. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – С. 352-355.

51. Арданов Ч.-С. Е. Модернизация сухого способа очистки корнеклубнеплодов [Щеточные очистные машины в кормоприготовлении]. Арданов Ч.-С.Е., Шуханов С.Н., Болоев П.А. // Тракторы и сельхозмашины. - 2014.-N 6.-С. 13-14.

52.Катков А. А. Обоснование и разработка шнеково–вальцевого очистителя кормовых корнеклубнеплодов от почвы: автореф. дис... канд. тех. наук / А.А. Катков. – Оренбург, 2003. – 20 с.

53.Федоров А. А. Разработка и обоснование барабанно–щеточного очистителя кормовых корнеклубнеплодов: дис... канд. тех. наук / А. А. Федоров. – Чебоксары, Чуваш. гос. с-х академия, 2005. – 148 с.

54.Мухин В.А. Совершенствование технологий и технических средств приготовления кормов с ресурсосбережением в животноводстве : автореф. дис... д-ра тех. наук / В.А.Мухин. – Саратов, 2005. – 40 с.

55. Дусенов М. К. Анализ принципов действия устройств для сухой очистки корнеплодов / В. А. Мухин, М.К. Дусенов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня рождения профессора В.Ф. Дубинина: сб. науч. работ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010. С. 145–148.

56. Зайцев С. П. Классификация устройств для очистки корнеклубнеплодов / С. П. Зайцев, А. А. Федоров А. А. // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2002. – С. 208–209.

57. Кузнецов Н. И. Механизированная уборка кормовых корнеклубнеплодов / Н. И. Кузнецов, С. Н. Лачигина, Н. Л. Маренков // Кормопроизводство. – 1981. – С. 29-30.

58. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет / под общ. ред. Л. В. Погорелого. – К. : Техника, 1983. – 168 с.

59. Горячкин В.П. Качение-скольжение по наклонной плоскости / В.П. Горячкин // Собр. соч.: в 3 т. – М.: Колос, 1965. –Т.2.–720 с.

60. Пайзиев Г. Исследование движения клубня картофеля на противоточной сепарирующей горке / Г. Пайзиев // Экономика и социум. – 2021. – № 6-2(85). – С. 153-156.

61. Дусенов М. К. Обоснование схемы роторно-щеточного очистителя корнеплодов / В. А. Мухин, М.К. Дусенов // Научное обозрение.– 2010.– №6.– С.49-52.

62. Устройство для очистки корнеклубнеплодов: пат. на полезную модель № 104815 Рос. Федерация: МПК А 01 D 33/08. / В. А. Мухин, А. В. Шкуратов (RU), М. К. Дусенов (KZ): заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет». – № 2010151572/21; заявл. 15.12.2010; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15.

63. Устройство для очистки корнеплодов: пат. на изобретение № 18356 Республика Казахстан: МПК6 А 01 D 33/08. / Р. Р. Джапаров, М. К. Дусенов (KZ): заявитель и патентообладатель Западно-Казахстанский аграрно-технический университет. – № 51624; заявл. 01.11.2004; опубл. 02.02.2007, Бюл. № 4.

64. Кривоногов Н. И. Совершенствование технологии и средств механизации уборки сахарной и кормовой свеклы / Н. И. Кривоногов // Техника в сельском хоз-ве. – 2004. - № 6. – С. 40.

65. Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование / А.И. Доценко. – М. : Архитектура-С, 2005. –С. 95-97.

66. Шапров М.Н. Определение динамических параметров щеточного барабана машины для удаления коры с плодов тыквы / М.Н. Шапров // Техника в сельском хоз-ве. – 2010. - № 1. – С. 35-37.

67. Дусенов М. К. Динамика воздействия щеточного очистителя на корнеклубнеплод / М.К. Дусенов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2011. – № 7. – С. 33–35.

68.Дусенов М. К. Совершенствование устройства для сухой очистки корнеплодов / Р. Р. Джапаров, М.К. Дусенов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня рождения профессора А.Г.Рыбалко: сб. науч. работ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. Ч.2 С. 52–55.

69.Брусенков А. В. Установка для исследования физико-механических свойств корнеплодов / А. В. Брусенков, А. С. Иванов // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве Сборник научных статей Международной научно-практической конференции – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2020. – С. 485-487.

70.Брусенков А.В. Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скормливания крупному рогатому скоту: моно-графия / А.В. Брусенков, В.П. Капустин. - Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. - 140 с.

71.Брусенков А.В. Экспериментальные исследования прочностных свойств корнеклубнеплодов / А.В. Брусенков, А.В. Сенько, А.С. Пилягин // Вопросы современных научных исследований: материалы Междунар. научно-практ. конф. (г. Астана, Казахстан). - Науч-но-издательский центр «Мир науки», 2017. - С.58-65.

72.Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е. С. Босой [и др.] ; под ред. Е. С. Босого. – 2 изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – С. 215-217.

73.Дусенов, М. К. Устройство для повышения эффективности щеточного очистителя корнеклубнеплодов / В. А. Мухин, М.К. Дусенов // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 5. – С. 18–20.

74.Дусенов, М. К. Обоснование движения корнеплода по криволинейной поверхности / М.К. Дусенов, Н.Р. Джапаров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 3. – С. 33–35.

75.Шварц, А. А. Обоснование конструктивных параметров лопатки роторного рабочего органа разбрасывателя твёрдых удобрений / А. А. Шварц, И. В. Коротков // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 2. – С. 133-140. – DOI 10.17816/0321-4443-105128.

76.Диевский, В. А. Теоретическая механика / В. А. Диевский. – СПб. : Лань, 2005. – 320 с.

77.Дусенов, М. К. Определение кинематических параметров устройства для очистки корнеплодов / М.К. Дусенов, Р.Р. Джапаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 2. – С. 16–17.

78.Зайцев, П. В. Определение оптимальной частоты вращения барабана для сухой очистки корнеклубнеплодов / П. В. Зайцев,

А. А. Федоров А. А, И.В. Никулин // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2003. – С. 352–356.

79. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств : Учебник / В. М. Зимняков, А. А. Курочкин, И. А. Спицын, В. А. Чугунов. – Пенза, 2013. – 358 с.

80. Выгодский, М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский. – М. : Наука, 1987. – 211 с.

81. Wustman R., Booth R.H., Rhoades R.E. (1985) – Possibilities for the application of small scale potato storage techniques in developing countries. FAO, Rome.

82. Романюк Н.Н. Оригинальное устройство для мойки корнеклубнеплодов и методика расчета ее параметров / Н.Н. Романюк, В.А. Агейчик, С.Д. Пашковский, С.О. Нукушев // «Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты». №4(72) 2015 ISSN 2304-3334-04, С. 248-253.

83. Дусенов М.К. Определение силы, действующей на единичный ворс / М.К. Дусенов, Р.Р. Джапаров // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана, 2006, – №1, С.62.

84. Карпов В.В. Анализ взаимодействия рабочих органов гофрощеточных барабанов очистителя кормовых корнеплодов с объектами очистки / Карпов В.В., Гулевский В.А. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – №2 (53) – С.121–128.

85. Дусенов М. К. Теоретическое определение параметра качества очистки роторно-щеточного очистителя / В. А. Мухин, М.К. Дусенов // Научное обозрение.– 2010.–№6.– С.53-56.

86. Дусенов М.К. Constructive-regime parameters of rotor-brush cleaner for tuberous roots dry cleaning Constructive-regime parameters of rotor-brush cleaner for tuberous roots dry cleaning / М.К. Дусенов, Б.Н. Нуралин, Ж.К. Кубашева, Н.И. Омарова, В.П. Захаров, Е.М. Джаналиев, А.А. Бакушев // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, ISSN: 1678-5878 (Print) 1806-3691 (Online), Volume 40. Issue 2, February 2018.

87. ГОСТ 17421-82. Сахарная свекла для промышленной переработки. Требования при заготовках. Технические условия. – Введ. 1982-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1982.–11 с.

88. Dabo-Niang, S. Guillas S. (2010) – Functional semiparametric partially linear model with autoregressive errors / Journal of Multivariate Analysis, Volume 101, Issue 2, 2/2010, ISSN 0047-259X, Pg. 307-315.

89. Лепеш А.Г. Методика экспериментального определения износостойкости щеточного ворса коммунальной уборочной техники // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2011, Выпуск 2(16), с. 7 – 19.

90. Высшая математика: учебник / Г. Л. Луканкин, Н. Н. Мартынов, Г. А. Шадрин, Г. Н. Яковлев; под ред. Г. Н. Яковлева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2004. – 584 с.

91. Дусенов, М. К. Оценка качества сухой очистки корнеклубнеплодов / В. А. Мухин, М.К. Дусенов // Научное обозрение.— 2010.—№5.— С.62-64.

92. Сыроватка, В. И. Методика расчета рабочих органов и выбора основных параметров барабанно-щеточных очистителей корнеклубнеплодов / В. И. Сыроватка, А. В. Дервиш // Сб. науч. тр. ВИЭСХ. – М. , 1973, т. 34 – С. 130-162.

93. Шило И. Н. Оригинальное техническое средство для уборки ботвы корнеплодов / И. Н. Шило, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик, И. А. Свирид // Научное обозрение. – 2015. – № 4. – С. 7-16.

94. Зайцев, С. П. Физическое моделирование системы «Кормовая масса – очиститель» / С. П. Зайцев, А. А. Федоров А.А. // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2002. – С. 205–207.

95. Федоров, А. А. Обоснование угла установки щеток на барабане устройства сухой очистки корнеклубнеплодов / А.А. Федоров, П. В. Зайцев, И.В. Никулин // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2003. – С. 426–429.

96. Дусенов М.К. Влияние расположения роторной щетки на качество очистки свеклы // Успехи современной науки. – 2017. - №3. – Т. 4. - С. 154-158.

97. Дудин В. Г. Совершенствование параметров рабочих органов машины сухой очистки корнеклубнеплодов: автореф. дис... канд. тех. наук / В. Г. Дудин. – Киров, 2000. – 19 с.

98. Павлов П.И. Физико-механические свойства сельскохозяйственных грузов / П.И. Павлов, Е.Е. Дёмин, О.В. Шок. – Саратов.: Поволж. межрегион. учеб. центр, 2006.–130 с.

99. Дусенов М. К. Определение коэффициента трения качения корнеклубнеплодов / М.К. Дусенов // Научное обозрение.— 2011.—№1.— С. 64.

100. Федоров А. А. Количество загрязнений корнеклубнеплодов удаленных механической очисткой / А. А. Федоров, П. В. Зайцев // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2003. – С. 424–426.

101. Зайцев П. В. Оптимизация параметров рабочего процесса устройства для сухой очистки корнеклубнеплодов / П.В. Зайцев, А. А. Федоров А. А, И.В. Никулин // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2004. – С. 56–57.

102. Юхин И.П. Влияние метеорологических факторов на формирование урожая сахарной свеклы в Предуралье Башкортостана / И.П. Юхин, Н.А. Середа // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1999. №2 с. 37-39

103. Александров А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров [и др.] ; под ред. А.В. Александрова. М. : Высшая школа, 2000 – 346 с.

104. Sun, J., Li, X., Li, S., Wang, X., & Wang, L. (2021). Design optimization and experiment of four-row potato seedling-cutting machine. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(6), 1155-1167. doi:10.13031/aea.14532
105. Moos, J.A., Steel D.D., Kirkpatrick D.C. (2002) - Small-scale mechanical carrot washer for research sample preparation - *Applied Engineering in Agriculture*, Volume 18, Issue 2, 3/2002, ISSN 0883-8542, Pg. 235-241.
106. Wang, F., Ma, S., Ke, W., Xing, H., Bai, J., Hu, J., . . . Wei, Y. (2021). Optimization of basecutter structural parameters for under-the-ground sugarcane basecutting. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(2), 233-242. doi:10.13031/AEA.14178
107. Сергеев, И.В. Экономика организации : учебное пособие / И.В.Сергеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
108. Экономика предприятия : учебник для вузов / Под ред. акад. В.М.Семенова. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Питер, 2007. – 384 с.
109. Савицкая, Г.В. Методика комплексного анализа хозяйственной деятельности : краткий курс / Г.В.Савицкая. – 3-е изд., испр. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 320 с.
110. Практикум по организации и управлению производством на сельскохозяйственных предприятиях / В.Т.Водяников [и др.]; под ред. В.Т.Водяникова. – М. : Колос С, 2005. – 448 с.
111. Практикум по организации, нормированию и оплате труда на предприятиях АПК / Ю.Н.Шумаков [и др.]; под ред. Ю.Н.Шумакова. – М. : Колос С, 2005. – 152 с.
112. Ковалев С.В. Методика определения энергоемкости процесса измельчения корнеплодов с использованием ПЭВМ: С.В. Ковалев. Материалы XXIII международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее» - Белгород: Изд-во Белгородского гос. агр. ун-та, 2019. – 142 с.
113. Булатов С.Ю. Результаты экспериментальных исследований по статистике окружающей среды заземления клубня в дисковом измельчителе корнеклубнеплодов [Текст]: С.Ю. Булатов, Р.А. Смирнов – Княгинино: Изд-во Нижегородского гос ун-та, 2018. №18. – 47 с.

Научное издание

ДУСЕНОВ МАКСУТ КАЖИАХМЕТОВИЧ,
PhD, и.о. доцента

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ
ЖИВОТНЫМ**

МОНОГРАФИЯ

Подписано к печати 19.02.2025 г.
Формат 60х84 1/16 Бумага листовая 80 м/г
Объем 7,7 п.л. Заказ №269_
Тираж 500 экз.

***Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных оригиналов***

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет имени Жангир хана»
090009, г.Уральск, Жангир хана, 51