

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»**  
**Институт механизации и технического сервиса**

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе  
Направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия  
Магистерская программа: Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства

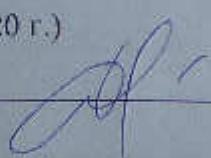
**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

Тема: Разработка и исследование измельчителя сочных кормов

Студент магистратуры \_\_\_\_\_  Замалдинов Н.М.

Научный руководитель,  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_  Лукманов Р.Р.

Рецензент  
д.т.н., профессор \_\_\_\_\_  Адигамов Н.Р.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите  
(протокол № 12 от «17» июня 2020 г.)  
Зав. кафедрой, доцент \_\_\_\_\_  Халиуллин Д.Т.

Казань - 2020 г.

## **АННОТАЦИЯ**

К магистерской диссертации Замалдинова Нияза Минахметовича на тему «Разработка и исследование измельчителя сочных кормов».

Магистерская диссертация состоит из введения, 4 разделов, выводов и включает 28 рисунков и 3 таблицы. Список использованной литературы содержит 48 наименований.

В первой главе рассмотрены состояние вопроса и определены задачи исследований.

Во второй главе приведены теоретические исследования измельчителя сочных кормов.

В третьей главе приведена методика экспериментальных исследований.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Диссертация завершается общими выводами по работе.

## **ABSTRACT**

To master thesis of Zamaldinov Niyaz Minakhmetovich on the topic "Development and study of succulent fodder chopper".

The master's thesis consists of an introduction, 4 sections, conclusions and includes 28 drawings and 3 tables. The list of references contains 48 names.

The first chapter discusses the state of the issue and identifies research objectives.

In the second chapter, theoretical studies of the juicy feed chopper are presented.

The third chapter presents a method of experimental studies.

The fourth chapter presents the results of experimental studies and their analysis.

The thesis concludes with general conclusions on the work.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Кормовая ценность корнеклубнеплодов, их значение в рационах животных.....	7
1.2 Эффективность использования корнеклубнеплодов.....	9
1.3 Анализ способов измельчения корнеклубнеплодов.....	13
1.4 Классификация и анализ конструкций измельчителей корнеклубнеплодов .....	17
1.5 Цель и задачи исследования.....	36
<b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....</b>	<b>37</b>
2.1 Обзор теоретических исследований рабочего процесса измельчения корнеклубнеплодов .....	37
2.2 Теоретическое исследование рабочего процесса измельчения корнеклубнеплодов .....	40
2.2.1 Скользящее резание при измельчении корнеклубнеплодов.....	40
2.2.2 Условия резания клубня ножом тарелки .....	45
2.3 Выводы по разделу.....	50
<b>3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СОЧНЫХ КОРМОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ.....</b>	<b>51</b>
3.1 Программа и цель исследования .....	51
3.2. Методика экспериментальных исследований физико-механических свойств корнеплодов.....	52
3.3. Реализация плана эксперимента .....	57
3.3.1 Экспериментальный измельчитель кормов.....	57
3.3.2. Методика определения угла защемления.....	60
3.3.3 Методика определения усилия резания .....	61
3.3.4. Методика оценки качества измельчения корнеплодов .....	62

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	65
4.1 Результаты определения физико-механических свойств корнеплода.....	65
4.2 Результаты испытаний по определению удельной работы .....	65
4.3 Результаты испытаний по изучению условий защемления клубня.....	66
4.4 Результаты испытаний по изучению процесса резания клубней.....	70
4.5. Выводы .....	72
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	73
ЛИТЕРАТУРА .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	79

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем является обеспечение населения продуктами животноводства. Для успешного удовлетворения потребностей в мясо-молочных продуктах необходимо развивать скотоводство, что, в свою очередь, связано с созданием прочной кормовой базы. Обеспечение животных полноценными кормами, сбалансированными по питательности в соответствии с запланированной потребностью - одно из решающих условий увеличения продуктивности животных и улучшения качества продуктов животноводства, а также повышения его эффективности.

Для производства животноводческой продукции используются различные виды кормов: грубые, сочные, концентрированные. В силу некоторых преимуществ (высокая урожайность, легкая усвояемость, хорошая поедаемость, благотворное влияние на физиологическое состояние животных) ценным видом сочных кормов являются корнеклубнеплоды. При переработке корнеплодов, в том числе подготовке к скармливанию, обязательным является их измельчение.

Согласно зоотехническим требованиям корнеклубнеплоды измельчают до частиц 10...15 мм для крупного рогатого скота, 5...10 мм для свиней и 4...5 мм - для птицы. Однако анализ существующих на сегодняшний день измельчителей показал, что они отличаются большой энергоемкостью, сложностью конструкции, невысокой производительностью. Измельченный в большей части таких машин корм, не соответствует зоотехническим требованиям из-за фракции, близкой к каšeобразной, что ведет к потере сока и питательных веществ.

Промышленностью выпускаются кормоизмельчающие машины, имеющие все еще высокую энергоемкость и металлоемкость, низкую

технологичность, а качество измельченного материала не всегда полностью отвечает зоотехническим требованиям. До сих пор нет полного обоснования как конструктивных параметров, так и наиболее эффективных режимов работы измельчителей, не учитывается разнообразие физико-механических характеристик исходных кормовых материалов.

Наиболее энергоемкий и вместе с тем распространенный процесс подготовки кормов - измельчение.

Поэтому предлагаемая работа, направленная на разработку и исследование измельчителя корнеклубнеплодов, позволяющего получать корм, соответствующий зоотехническим требованиям, для всех групп животных с минимальными энергозатратами, является актуальной.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Кормовая ценность корнеклубнеплодов, их значение в рационах животных

Кормовые корнеклубнеплоды (свёкла, морковь, картофель, топинамбур, турнепс, брюква) - ценный сочный корм. Их используют для кормления всех видов животных и птиц. Корнеклубнеплоды, скармливаемые в холодный период года во время, отсутствия зелёной массы, способствуют лучшему усвоению и большему потреблению животными других кормов, занимая важное место в рационе животных. Установлено, что корнеклубнеплоды положительно влияют на репродуктивную способность животных и качество приплода. Многие авторы [6] считают, что корнеклубнеплоды представляют собой особый вид диетического корма, который способствует большей продолжительности жизни животных и их хозяйственного использования. Они занимают одно из лидирующих мест среди кормовых культур по продуктивности [13]. При высоком уровне агротехники по сбору питательных веществ с единицы площади корнеклубнеплоды часто в 2...3 раза превосходят зерновые культуры и травы. Например, в Германии урожай с одного гектара ячменя, картофеля, сахарной свёклы обеспечивал производство свинины соответственно 0,5 тонны, 1 тонну, 1,5 тонны [14]. По сравнению с кукурузой, выращиваемой на силос, выход на 25 % выше [5]. Так, при урожайности зерна 35 ц/га (с учетом соломы и мякины) выход составит около 0,45 кормовых единиц, а по корнеклубнеплодам при урожайности 280 ц/га - свыше 100 кормовых единиц (к. ед.) с гектара. Кроме того, корнеклубнеплоды характеризуются высокой и устойчивой урожайностью, питательностью и хорошей поедаемостью животными. За вегетационный период в них накапливается большое количество питательных веществ. По питательной ценности 1 кг корнеклубнеплодов оценивается в 0,3 к. ед. и содержит до 0,15 г переваримого протеина. Большая часть питательных веществ находится в

растворимой, легкоусвояемой форме, поэтому переваримость органического вещества корнеклубнеплодов жвачными и свиньями достигает 85...90 %.

По химическому составу корнеклубнеплоды характеризуются большим содержанием воды (70...80 %), малым содержанием клетчатки, жира и протеина. Более половины протеина представлено в виде свободных аминокислот, определяющих его высокие диетические свойства. Содержание в корнеклубнеплодах минеральных солей с преобладанием щелочных металлов способствует поддержанию в организме животного кислотно-щелочного равновесия. Главная масса сухого вещества корнеклубнеплодов - углеводы, сахара, крахмал, пектиновые вещества, велико содержание калия, жёлтые сорта содержат каротин, особенно много его в моркови (104...250 мг/кг) [15]. Исследованиями установлено, что один килограмм сухого вещества корнеклубнеплодов равен примерно одной кормовой единице [15]. Питательность, химический состав отдельных корнеклубнеплодов и коэффициенты переваримости их питательных веществ представлены в табл. 1.1, 1.2 [18].

Таблица 1.1 - Питательность и химический состав корнеклубнеплодов, г/кг

Показатель	Морковь	Свекла		Брюква	Картофель
		сахарная	кормовая		
Кормовых единиц	0,14	0,12	0,24	0,13	0,3
Обменная энергия для КРС, МДж	2,2	1,65	2,84	2,07	2,82
Сухое вещество	120	120	230	120	220
Сырой протеин	12	13	16	12	18
в т.ч. переваримый	8	9	7	9	10
Сырой жир	2	1	2	2	1
Сырая клетчатка	11	9	14	13	8
БЭВ	87	87	188	86	182
в т.ч. сахар	35	40,0	120,0	50,0	10,5
крахмал	7	3	6	8	140

Таблица 1.2 - Коэффициенты переваримости питательных веществ корнеклубнеплодов

Корма	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ
Морковь	64	40	92	94
Капуста кормовая	81	47	68	51
Картофель: вареный	70	54	59	91
сырой	95	54	95	46
Свекла: кормовая	61	45	76	95
полусахарная	61	74	60	92
сахарная	41	2	83	95
Брюква	60	22	76	93
Турнепс	60	—	73	95
Клубни топинамбура	34	57	34	92

Эти корма обладают высокими диетическими и молокогонными свойствами, поэтому их чаще всего используют для кормления лактирующих животных, птиц, при раздое коров и т.п.

## 1.2 Эффективность использования корнеклубнеплодов

Несмотря на все выше перечисленные преимущества корнеклубнеплодов, высокое содержание воды и преобладание в сухом веществе легкорастворимых углеводов при недостатке протеина и клетчатки не позволяет использовать корнеклубнеплоды в качестве основного корма, поэтому их скармливают в составе кормосмесей.

Одним из способов сохранения питательных веществ корнеклубнеплодов для животных является приготовление из них комбинированного силоса. Комбисилос представляет собой смесь нескольких видов кормов, взаимно дополняющих друг друга [1]. Основными его компонентами могут являться свекла, морковь, картофель, початки кукурузы, тыква и др. По данным отечественных и зарубежных учёных,

комбисилос усиливает секреторную и моторную деятельность желудочно-кишечного тракта животных, благодаря наличию в нем органических кислот.

По сравнению с силосом, приготовленным из одной культуры, комбисилос содержит значительно больше питательных веществ, имеет меньшую кислотность [6]. Включение его в рацион всех видов животных способствует более эффективному использованию питательных веществ, поддержанию на высоком уровне процесса пищеварения, повышению плодовитости и получению здорового потомства [6].

В настоящее время доказана возможность замены части концентрированных кормов сочными и зелёными кормами, как в свежем, так и в силосованном виде, в качестве компонентов комбинированных силосов [19]. Организация их производства радикально решила бы проблему длительного хранения сочных кормов, позволила создать специфический комбинированный корм из корнеклубнеплодов, кукурузы, бобовых, трав, бахчевых, концентратов и других компонентов. Питательность килограмма комбинированного силоса составляет 0,24...0,32, а килограмма сухого вещества в них - 0,8...0,9 к. ед., переваримого протеина в расчёте на эту единицу приходится не менее 70...80 г [19].

Питательные вещества корнеклубнеплодов в таком силосе сохраняются значительно лучше и дольше, чем при хранении в буртах [23].

Опыты по приготовлению и скармливанию свиньям комбинированного силоса свидетельствуют о целесообразности широкого его использования для повышения качества рационов в свиноводстве. Концентрированные корма в рационах свиней можно заменить комбисилосом по питательности: при откорме на 35...40 %, для супоросных и подсосных свиноматок на 20...25 %, для холостых свиноматок - 60 %. При даче комбинированного силоса в указанных количествах продуктивность животных не снижается, в большинстве случаев отмечается некоторое увеличение выхода поросят в расчёте на свиноматку. При откорме на таких

рационах затраты концентратов в расчёте на одну свинью живой массой 80...120 кг снижаются на 105...110 кг [19, 23].

Морковь - наиболее ценный витаминный корм из всех корнеклубнеподобных. Содержание каротина в одном килограмме жёлтой моркови в зависимости от сорта может достигать 50 миллиграммов, а в красной - 250 миллиграммов. В 1 кг моркови содержится 0,14 кормовых единицы, 3 г переваримого протеина, 0,9 г кальция, 0,6 г фосфора, 35 г сахара. Морковь охотно поедается животными всех видов. При кормлении коров морковью молоко обогащается каротином и витамином А; сливки и масло, выработанные из такого молока, имеют приятный желтоватый цвет и нежный вкус. Скармливается морковь измельчённой в свежем виде, засыпавшей или высушенней всем видам сельскохозяйственных животных.

Картофель в свежем, запаренном или высушенном виде может быть с успехом использован всеми видами животных. В одном килограмме картофеля содержится до 0,3 кормовых единиц, 12 г переваримого протеина, 0,14 г кальция, 0,68 г фосфора. Химический состав картофеля в зависимости от сорта и условий выращивания изменяется в широких пределах.

Картофель предпочтительнее скармливать свиньям ввареном виде, по вследствие быстрого закисания его следует скармливать сразу же после варки. нормы скармливания картофеля (кг): дойным коровам - 10...15; откормочному скоту 12...17; овцам 1...2; рабочим лошадям до 5...6 в сыром и до 10...15 ввареном виде. При достаточном обеспечении рационов протеином откармливаемым свиньям хорошо использовать до 6...8 кг картофеля на 100 кг живой массы.

Для свиней готовят силос из предварительно запаренного или вареного картофеля. Затраты, связанные с запариванием картофеля, полностью окупаются дополнительным приростом свиней. Кроме того, одноразовое запаривание картофеля перед силосованием экономит значительное количество топлива (20...30 %) и труда (до 40 %) по сравнению

с ежедневной варкой и запарживанием. По усредненным данным массового анализа один килограмм свёклы из варёного картофеля содержит около 230 граммов сухого вещества [22].

Кормовая свёкла по содержанию сухого вещества (7... 16 %) значительно уступает картофелью. Сухое вещество состоит в основном из углеводов, среди которых преобладают сахар и пектиновые вещества. Кормовая свёкла - один из основных углеводистых компонентов в рационах крупного рогатого скота, овец, частично свиней. Жвачные и свиньи переваривают сухое вещество свёклы на 85...87 %. В одном килограмме кормовой свёклы содержится 0,12 кормовых единиц, 9 г переваримого протеина, 0,53 г кальция, 0,33 г фосфора и 40 г сахара. Крупному рогатому скоту, лошадям и овцам её скармливают сырой цельными корнями, но предпочтительнее ее использовать в виде резки. Коровам можно давать до 35 килограммов и более в день на одну голову. Не следует длительно (более 5 часов) охлаждать запаренную или вареную свёклу, так как в ней образуются нитраты, которыми можно отравить животных.

Сахарная свёкла наряду с другими корнеклубнеплодами используется как кормовая культура. При высоком уровне агротехники на плодовых участках урожай сахарной свёклы может быть не ниже урожая кормовой. Однако, сахарная свёкла по содержанию сухого вещества в 1,5...2 раза превосходит кормовую. Недостатками сахарной свёклы по сравнению с кормовой являются более трудоемкая уборка и худшая отмываемость корней от загрязняющих частиц. В килограмме сахарной свёклы содержится 0,24 кормовые единицы, 7 г переваримого протеина, 0,5 г кальция, 0,5 г фосфора, 120 г сахара. Скармливание крупному рогатому скоту 20...25 кг сахарной свёклы, особенно плохо вымытой, может привести к тяжелым расстройствам пищеварения. Поэтому молочному скоту суточная дача такого корма ограничивается 6...8 кг при равномерном её распределении на каждое кормление. Высушенную резку сахарной свёклы широко используют при приготовлении гранулированных кормов для крупного рогатого скота, овец и

свипей. Сахарная свёкла - отличный компонент для приготовления комбинированного сноса, хорошие результаты получают при использовании химических препаратов, ограничивающих интенсивность бродильных процессов (бензойной кислоты, бензоата натрия и др.).

Топинамбур - хороший корм для всех видов сельскохозяйственных животных. В одном килограмме содержится 0,2..0,25 к. ед. Он богат сахаром и крахмалом. По уровню переваримого протеина он значительно превосходит другие корнеклубнеплоды - 15 граммов по сравнению с 6..12 граммами в других представителях этой группы кормов.

Турнепс - самая водянистая и скороспелая культура. В одном килограмме турнепса содержится 0,1 кормовых единиц, 6 г переваримого протеина, 0,5 г кальция, 0,4 г фосфора, а также 9 % сухого вещества. Турнепс скармливают крупному рогатому скоту, овцам и свиньям. Коровам дают до 30..40 кг, овцам - до 4..5 кг.

Брюква - несколько богаче турнепса сухим веществом (около 12 %). Её питательная ценность составляет 0,12 кормовых единиц. Максимальная норма скармливания в сутки достигает 30 кг.

### **1.3 Анализ способов измельчения корнеклубнеплодов**

Соответствие качества готового корма зоотехническим требованиям - основной параметр для оценки степени совершенства конструкций измельчителей корнеклубнеплодов. Качество измельчения зависит от многих факторов: способов измельчения, конструкций рабочих органов, кинематических характеристик технологического процесса и т.д.

Теорию резания лезвием разработал акад. В. П. Горячев. Дальнейшее развитие она получила в трудах акад. В.А. Желиговского и проф. Н. Е. Резника, а также в работах других ученых.

В зависимости от способа воздействия рабочего органа на материал и вида вызываемой в нем деформации измельчение кормов может осуществляться ударом, размолом и резанием. Первые два принципа измельчения при механической обработке корнеклубнеплодов не получили

достаточного распространения в связи с высокой энергоемкостью процесса и большими потерями сока. Например, применение в технологических линиях измельчения корнеклубнеплодов агрегата АПК-10А с ударными разрушающими элементами приводит к резкому увеличению себестоимости готового продукта вследствие высокой энергоемкости процесса, достигающей 4,1...5,6 кВт·ч/т. Поэтому в большинстве средств механизации измельчения корнеклубнеплодов заложен принцип измельчения резанием.

В зависимости от способа воздействия разрушающего элемента на материал различают три способа резания: пuhanсоном (штампом), резцом (клином) и лезвием (ножом).

Измельчение пuhanсоном характеризуется воздействием на корнеклубнеплоды рабочих граней подвижных и неподвижных ножей. Такой способ резания реализован во второй ступени измельчителя ИКВ-Ф-5А «Волгарь-БА».

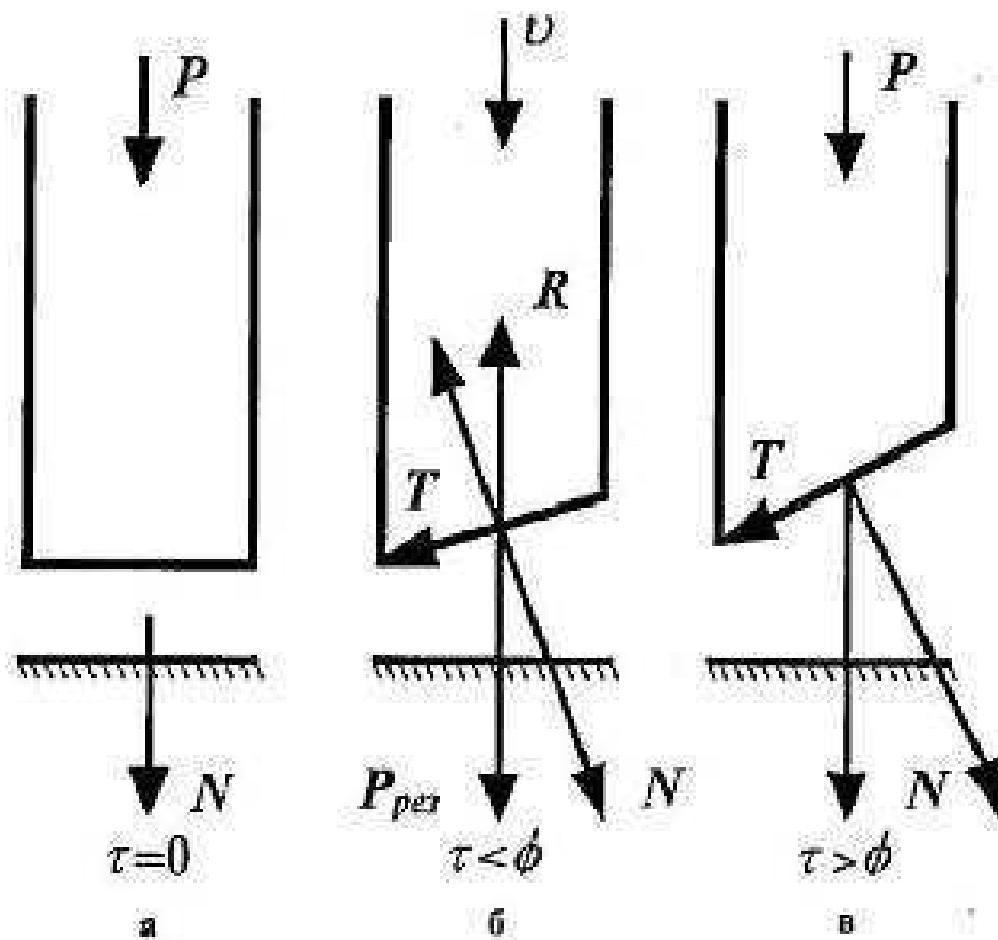
При резании лезвием, которое используют в соломоситосорезках, материал разрушается в основном под действием давления непосредственно вершины двухгранныго угла рабочей части ножа, называемой лезвием. По линии контакта лезвия со слоем перерезаемого материала возникают весьма высокие контактные (местные) нормальные разрушающие напряжения. В этом случае грани клина, называемые фасками, существенного влияния на процесс резания не оказывают, а сам процесс резания происходит без снятия стружки.

В корнерезах и пастонизготовителях разрушающим элементом является резец. При резании резцом его рабочая кромка непосредственного воздействия на материал не оказывает. Резец действует как клин, и давление со стороны обрабатываемого материала сосредоточено главным образом на передней грани. Резание происходит со снятием стружки.

Процесс резания бывает трех видов: нормальным, наклонным и скользящим.

Отмеченные виды резания отличаются друг от друга величиной угла  $\tau$ , заключенного между направлением движения рассматриваемой точки лезвия и нормалью к лезвию, проходящей через эту точку. Угол  $\tau$  называют углом скольжения.

При нормальном резании (рисунок 1.1 а) материал разрезается под действием только нормальной силы  $N$  без бокового перемещения ножа, т. е. без участия боковой силы  $T$ . Имеет место «рубка» материала. Угол скольжения  $\tau=0$ . Такой вид резания используется в машинах КПИ-4, ИКМ-5.



а - нормальное, б - наклонное, в - скользящее

Рисунок 1.1 - Виды резания

Однако еще акад. В. П. Горячкин установил, что в процессе резания лезвием решающее значение имеет скользящее (боковое) движение ножа, так как оно заметно понижает предел нормального давления на материал, необходимого для возбуждения процесса резания, и обеспечивает более

чистый срез. Более легкое проникновение ножа в слой материала при наличии бокового движения объясняется влиянием ряда факторов, среди которых важнейшим является кинематическая трансформация угла заточки лезвия. Этому же способствует и перепиливающее действие неровностей (микровыступов) на лезвии ножа, которые всегда на нем имеются. Этими неровностями нож захватывает волокна материала, в результате между смешаемыми и соседними частицами возникают напряжения растяжения или сдвига, для которых предел прочности меньше, чем при деформации сжатия, вызываемой действием нормального давления.

В случае наклонного резания (рисунок 1.1б) кроме нормального давления  $N$ , имеет место и боковая сила  $T$ , но она еще не может вызвать скользящего движения частиц материала по лезвию, так как угол скольжения меньше угла трения  $\phi$ , т.е.  $0 < \tau < \phi$ . Резание также производится только нормальным давлением, но с изменившимся углом заточки. При этом наблюдается уменьшение требуемого удельного давления вследствие уменьшения фактического угла заточки при перемещении косо поставленного клина - лезвия. Это явление открыто проф. Н. Е. Режником [24] и получило название кинематической трансформации угла заточки. Принцип наклонного резания применяется в машинах КДУ-2 [1-я ступень], Волгарь-5 [1-я ступень] и др.

При скользящем резании (рисунок 1.1 в) угол скольжения больше угла трения ( $\tau > \phi$ ). Резание производится нормальным давлением с участием боковой силы, которая в этом случае обуславливает скользящее движение частиц материала вдоль по лезвию (или лезвия по материалу). Вследствие недостаточности силы сцепления (трения) частицы материала при перемещении отстают от бокового движения ножа, возникшее относительное движение обеспечивает перепиливающее действие микровыступов лезвия, вызывая тем самым разрушение материала.

Исходя из всего выше сказанного, следует отметить, что скользящее резание наименее энергоемко, но трудно осуществимо при измельчении

корнеклубнеплодов вследствие больших значений угла трения корнеклубнеплодов о грани металлического клина ( $30\ldots40^\circ$ ). Поэтому в конструкциях современных измельчителей корнеклубнеплодов, как правило, применяется наклонное резание, которое обеспечивает сравнительно низкую энергоемкость процесса измельчения и хорошее качество получаемого продукта.

#### **1.4 Классификация и анализ конструкций измельчителей корнеклубнеплодов**

Необходимость механизации процесса измельчения корнеклубнеплодов привела к созданию большого числа самых разнообразных измельчителей: от корнерезок с ручным приводом до современных высокопроизводительных машин. Большое разнообразие этих устройств объясняется запатентованными особенностями кормов, различными зоотребованиями к процессу измельчения для разных видов животных, а также поисками эффективных и рациональных конструкций измельчителей.

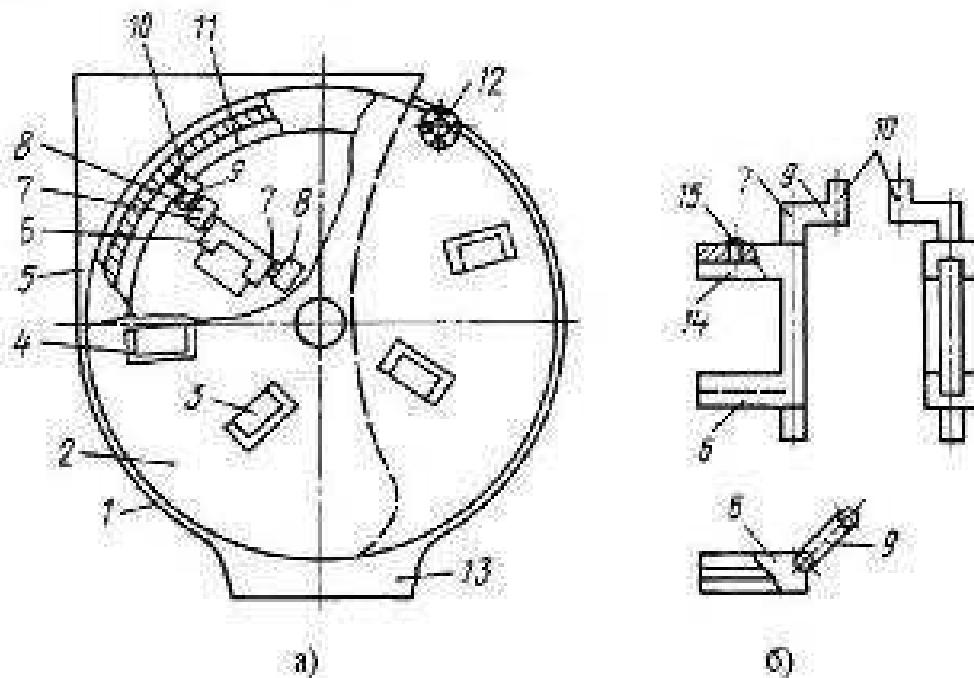
Однако на сегодняшний день задача качественного измельчения кормов при малой удельной энергоёмкости измельчителей остается до конца нерешённой, несмотря на многообразие конструкций рабочих органов и в целом машин, предназначенных для переработки кормовых материалов [15, 39]. Это приводит к тому, что энергозатраты на измельчение составляют до 38 % от совокупных энергоатрат на приготовление кормов [12].

Известен измельчитель корнеклубнеплодов (Патент РФ № 2232495). Технической задачей конструкции является достижение качества измельчаемого продукта в соответствии с заявленными социальными, зоотехническими и технологическими требованиями обработанного продукта [14].

Повышение качества технологического процесса достигается путем расположения смешных ножей в лотках U-образных рамок, которые жестко закреплены на оси, а оси через подшипники на диске, при этом ножи закреплены в рамках с возможностью перемещения по ним на заданную

величину выступания из прорезей диска и быть зафиксированными в них на определенную длину резки, причем поворотные рамки в своем основании крепятся к осям, а оси через подшипники на диске со стороны кожуха. Оси поворотных рамок на наиболее удаленных концах от оси вращения вала диска оснащены кривошипами, которые размещены с возможностью кругового скольжения в пазу направляющего кольца, изготовленного в виде обечайки внутри кожуха, имеющего возможность перемещаться в кожухе, параллельно оси вращения диска регулировочными винтами, а через них задавать угол поворота рамки с ножом и соответственно угол резания, т.с. управлять дистанцией, без остановки машины, качеством технологического процесса.

На рисунке 1.2 а изображена принципиальная схема измельчителя, на рисунке 1.2 б изображены основные проекции поворотной рамки для крепления сменных ножей.



а – принципиальная схема измельчителя, б – основные проекции поворотной рамки для крепления сменных ножей

Рисунок 1.2 – Измельчитель корнеклубнеплодов (Патент РФ № 2232495)

Предлагаемое изобретение состоит (рисунок 1.1) из рамы, на которой в подшипниках установлен вал с диском 2, закрытый кожухом отражения 1,

внутри которого на валу закреплен диск 2 со сменными ножами 3, выступающими через радиальные прорези 4 диска 2 внутрь загрузочной воронки 5; U-образной рамки 6, закрепленной на оси 7 посредством подшипников 8, жестко закрепленных на диске 2; кривошипа 9 с осью 10, входящей в паз направляющего кольца 11 в виде подвижной обечайки регулировочного винта 12 для перемещения направляющего кольца 11 параллельно оси вала диска 2 и установки угла резания.

Поворотная U-образная рамка 6 (рисунок 1.1 б) состоит из рамки с желобом 14 для установки и возможного перемещения ножа 3; стопорного винта 15 для фиксации величины выступания ножа из прорези 4 диска 2 на заданную толщину резания продукта.

Установка работает следующим образом:

Исходное сырье (рисунок 1.2) загружается произвольно в загрузочную воронку 5. При вращении диска 2 с прорезями 4 через них выступают из U-образных рамок сменные ножи на зоотехнически обоснованную величину, причем ножи зафиксированы в них стопорным винтом 15. Ножи 3 повернуты совместно с рамками 6 на угол от 0 до 90° с помощью регулировочного винта 12 в соответствии с требованиями технологии на качество поверхности отрезаемых частичек.

Корнеевлубнепилоды, находящиеся в загрузочной воронке 5, отрезаются ножами 3 в виде частичек (стружка, ломтики, мезга и т.д.), проходят в прорезь 4 в диске 2, падают вниз на стенки кожуха ограждения 1 и скатываются по выходному лотку 13 из измельчителя.

#### **Регулировки измельчителя**

- замена ножей плоских, рефленых, гребенчатых и др. форм или износоустойчивых производится путем их введения в желоб 14 (рисунок 1.1 б) или извлечения из поворотных U-образных рамок 6 и фиксацией или расфиксацией их с помощью стопорного винта 15;

- регулировка толщины стружки достигается перемещением ножа 3 в желобе 14 по прорези 4 (рисунок 1.2 б) на требуемую величину над

плоскостью диска 2 (рисунок 1.2 а) и защепление ножа 3 в поворотной рамке 6 стопорным винтом 15 на зоотехнически обоснованную величину;

- настройка ножей 3 на требуемую технологическую шероховатость поверхности отрезаемых частичек производится вращением регулировочного винта 12 (рисунок 1.2 а), который переместит направляющее кольцо 11, имеющее паз с размещенными в нем осями 10 кривошипов 9 (рисунок 1.2 б). Поворот кривошипа 9 приведет к повороту оси рамок 7 (рисунок 1.2 б), задаст, таким образом, угол поворота U-образных рамок 6, в которых находятся ножи 3. Поворот ножа 3 на угол 0 обеспечивает гладкую поверхность среза частиц; поворот ножа на угол 16 обеспечивает шероховатую поверхность; поворот ножа на 31 - соответственно рваную и при 71 - от поверхности со множеством сколов и трещин до мезги.

Использование изобретения позволит:

- расширить функциональные назначения устройства от операций, выполняемых измельчителем, по производству ломтиков, стружек до операций, выполняемых терочными аппаратами, по производству крошки, мезги из корнеклубнегплодов;
- повысить эксплуатационные показатели устройства, упростить схему управления технологическим процессом, что снижает себестоимость конечной продукции и создает комфортные условия труда оператора;
- цель изобретения достигнута.

Вызывает интерес устройство для мойки и резки корнеклубнегплодов (Патент РФ № 2073474) [16]. Целью настоящего изобретения является повышение качества очистки клубней, ускорение процесса и повышение производительности моющего устройства, обеспечение бактерицидного эффекта процесса мойки и сокращение расхода воды и потребной мощности.

Для достижения этой цели используется действие ультразвуковых колебаний воды. Ультразвуковые колебания воды создаются дополнительной встроенным в водяную приемную ванну магнитострикционным

преобразователем ультразвуковых колебаний в механические колебания воды, заполняющей ванну.

На чертеже изображен общий вид заявляемого устройства (рисунок 1.3).

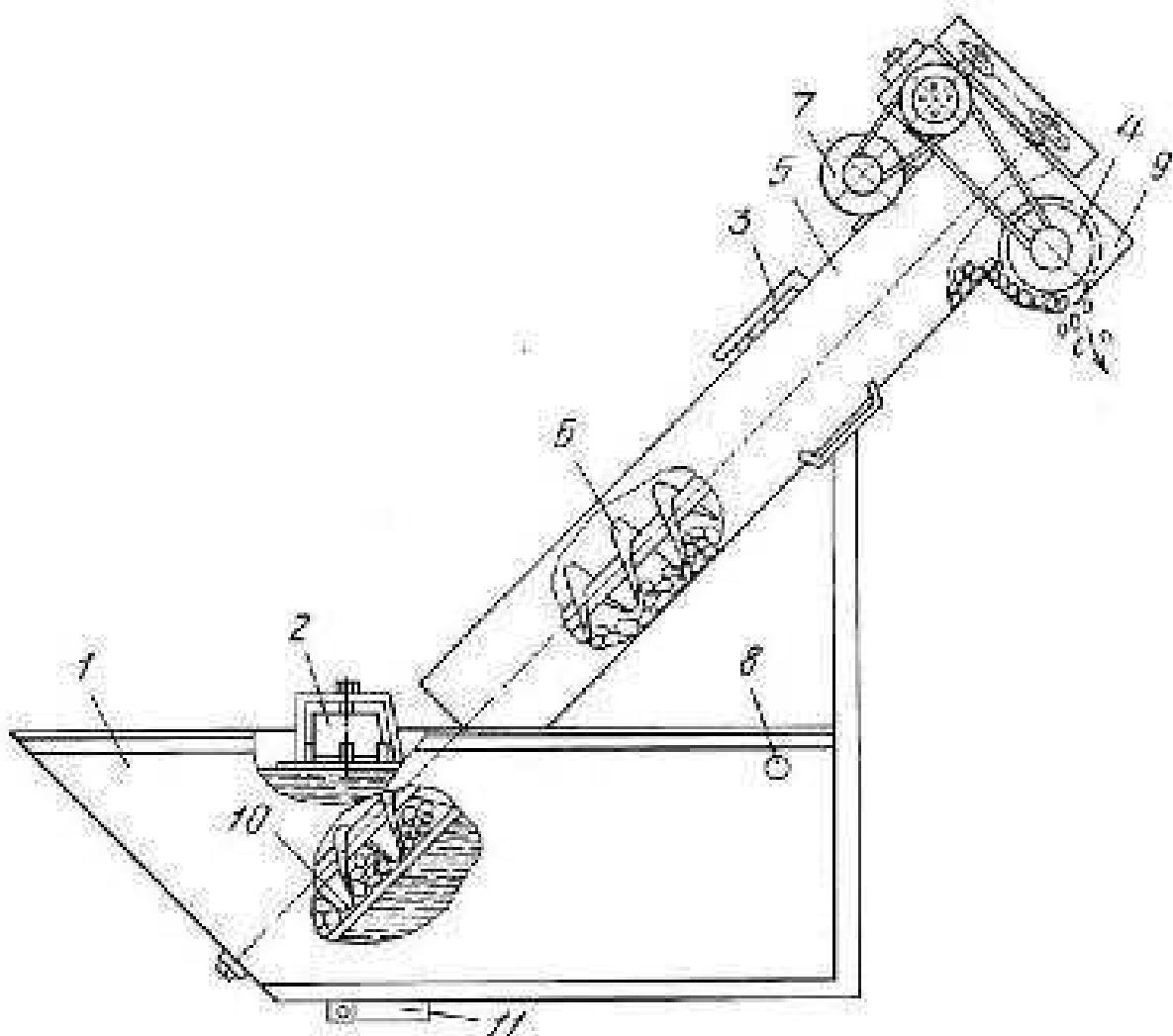


Рисунок 1.3 - Устройство для мойки и резки кормяклюбнеплодов  
(Патент РФ № 2073474)

Устройство содержит ванну 1, магнитострикционный преобразователь 2, наклонный шнек 6, распылитель воды 3, электродвигатель 7 с редуктором, измельчитель корнеклубнеплодов 4, рециркуляционный насос с патрубком 8 воды из ванны, выгрузное окно 9, сетку шнека 10 и кожух шнека 5, стальной люк грязи 11. С целью сохранения физико-механических свойств корнеклубнеплодов, исключения их повреждения в результате

соприкосновения с преобразователем 2 и с целью уменьшения потребной мощности преобразователь расположен сверху водяной ванны и выполнен плавающим на поверхности воды.

Устройство работает следующим образом.

Корнеклубнеплоды загружаются в водяную ванну 1 с помощью внешнего транспортера. В ванне 1 корнеклубнеплоды получают основную очистку благодаря высокочастотному колебанию воды, создаваемому магнитострикционным преобразователем 2. Происходит интенсивное отделение частиц грязи от корнеклубнеплодов в результате возникновения усиленного турбулентного движения воды под действием ударных волн, создаваемых колеблющейся частично ультразвукового генератора высокочастотных импульсов.

Затем из ванны 1 корнеклубнеплоды захватываются вращающимся наклонным шнеком 6 от электродвигателя 7 с редуктором и направляются к измельчителю 4, приводимому от того же электродвигателя 7, где измельчаются и выгружаются через выпускное окно 9.

В процессе движения корнеклубнеплодов по шнеку 6 они получают дополнительную, окончательную мойку с помощью распылителей 3 воды, соединенных с водопроводной сетью.

В результате частых упругих колебаний воды уменьшается время на отмокание грязи, прилившей к корнеклубнеплодам, и ускоряется ее отделение от поверхности, в результате чего уменьшается общее технологическое время пребывания корнеклубнеплодов в воде. Это увеличивает производительность устройства и позволяет выполнить электропривод шнека 6 и измельчителя 4 с меньшим передаточным числом в 2 раза (например, вместо  $i = 1500/250=6$  принять  $i = 1500/500=3$ ), т. е. увеличить общую производительность устройства в 2 раза. Уменьшение времени пребывания корнеклубнеплодов в воде сплошает вымывание питательных веществ из них.

Вода, поступающая в ванну, многократно рециркулируется с помощью приводящего рециркуляционного насоса (не показан). Грязь, смываемая с корнеклубнеплодов, накапливается в стивном люке 11, откуда она периодически удаляется открытием крышки люка 11.

Ультразвуковые колебания помимо ускорения процесса мойки и повышения качества обеспечивают обеззараживающее воздействие, губительно влияющее на микроорганизмы. Повышается бактерицидная чистота корнеклубнеплодов и моющей воды. Это позволяет увеличить многократность использования воды путем увеличения длительности ее рециркуляции (сокращение количества полных спусков воды через люк 11) в 3 раза и, следовательно, сократить общий расход воды соответственно в 3 раза.

Технико-экономическая эффективность достигается в повышенном качестве очистки корнеклубнеплодов в связи с интенсивным воздействием высокочастотных ударных волн воды, создаваемых ультразвуковым преобразователем.

Ускоряется процесс мойки и повышается производительность устройства в 2 раза в связи с уменьшением технологического времени на мойку (отмывание грязи и ее отделение от корнеклубнеплодов под действием ударных волн) и увеличением частоты вращения электропривода шнека и измельчителя.

Обеспечивается непрерывность технологического процесса обработки корнеклубнеплодов в связи с ускорением процесса мойки.

Обеспечивается бактерицидный эффект мойки продукта в связи с губительным действием ультразвуковых колебаний на микроорганизмы.

Повышается качество продукта в связи с уменьшением потери питательных веществ корнеклубнеплодов от вымывания водой в результате сокращения технологического времени пребывания их в водяной ванне.

В связи с повышением бактерицидной чистоты воды увеличивается длительность рециркуляции ее в ванне (сокращается количество спусков через люк) и снижается общий расход воды в раза.

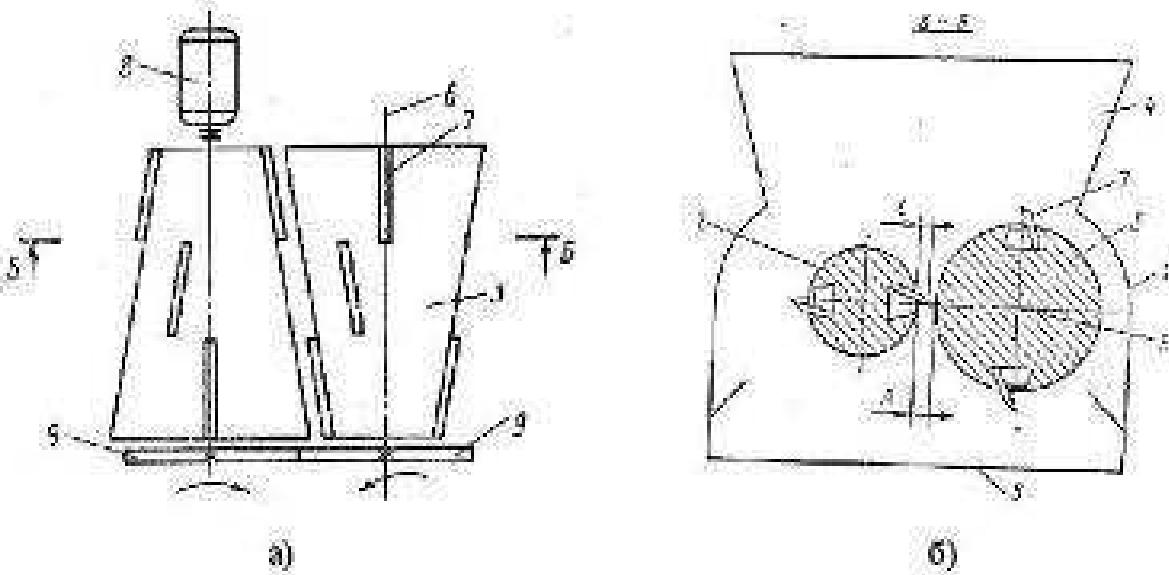
Улучшается состояние здоровья и продуктивность животных в связи с общим более высоким качеством кормов.

Создаются условия для получения экологически чистых продуктов животноводства без использования химических и лекарственных веществ.

Застуживает внимание измельчитель кормов (Патент РФ № 1790339) представленный на рисунке 1.4 [15]. Выполнение измельчителя кормов согласно данного изобретения позволит повысить производительность за счет выполнения горизонтально размещенных параллельно установленных валов конусными, с расположением на их поверхности по винтовой линии с постоянным шагом, имеющей в проекции на большем основании форму логарифмической спирали, режущих элементов, выполненных в виде ножей с прямолинейной режущей кромкой, ориентированной параллельно образующей усеченного конуса; интенсифицировать измельчение резанием путем равномерного распределения поступающего материала по измельчающей поверхности валов за счет расположения валов, выполненных в виде усеченные конусов, одинаковыми основаниями в противоположные стороны; уменьшить материалоемкость конструкции и ее габариты за счет совмещения в одном узле режущего и противорежущего устройств; повысить качество измельчения материала за счет взаимодействия поверхности одного вала с ножами другого вала, расположенными на валах по винтовым линиям, начала которых смешены по отношению друг к другу на половину длины окружности.

Использование всей совокупности существенных признаков, характеризующей описываемое устройство, позволяет получить малогабаритную конструкцию измельчителя (соцых) кормов с высокой производительностью. Для достижения указанного технического результата предлагаемый измельчитель кормов, также как и известный, содержит

корпус, в котором горизонтально установлены валы с ножами. Ножи расположены на валу по винтовой линии с постоянным шагом с возможностью взаимодействия с противорезами при вращении. Однако предлагаемый измельчитель отличается тем, что оба вала выполнены в виде усеченных конусов, направленных одинаковыми основаниями в противоположные стороны, а винтовые линии, по которым расположены режущие ножи на валу, в проекции на большее основание, имеют форму логарифмической спирали и смещены друг относительно друга на половину окружности. Режущие элементы выполнены в виде ножей с прямолинейной режущей кромкой, расположенной параллельно образующей конуса, а противорезы выполнены в виде поверхности противоположного вала и при их смыкании осуществляется взаимодействие всей режущей кромки с поверхностью противоположного вала.



а – вид сверху измельчителя; б – поперечное сечение измельчителя

Рисунок 1.4 – Измельчитель кормов (Патент РФ № 1790339)

Измельчитель содержит корпус 1, в котором расположено измельчающее устройство, представленное горизонтально расположенным параллельными валами 2 и 3. Корпус оснащен загрузочным 4 бункером и выгрузным отверстием 5. Валы 2 и 3, выполненные в виде усеченных конусов, направлены одинаковыми основаниями в противоположные стороны и установлены с возможностью вращения в противоположные

стороны на горизонтальных осях 6. На поверхностях валов 2 и 3 установлены режущие ножи 7, имеющие прямолинейную режущую кромку. Режущие ножи 7 расположены на валах 2 и 3 по винтовой линии с постоянным шагом. Винтовая линия имеет в проекции на большее основание усеченный конуса форму логарифмической спирали. Измельчивающее устройство снабжено приводом 8 с шестернями 9. Предлагаемый измельчитель кормов работает следующим образом. Измельчаемый материал (например, сочный корм) поступает в загрузочный бункер 4. Вращающиеся вокруг осей 6 от привода 8 и шестерен 9 валы 2 и 3 захватывают ножами поступающий из бункера 4 материал. Центробежными силами куски материала увлекаются в движение по боковой поверхности в сторону большего диаметра конусных валов 2 и 3, равномерно распределяясь по всей измельчаемой поверхности. (Поскольку валы направлены одинаковыми основаниями в противоположные стороны). Ножи 7, выступающие над поверхностью вала на величину, подают материал в заранее установленный зазор "A". В последнем каждый из режущих ножей 7, взаимодействуя с поверхностью противоположно вращающегося вала, разрезает подаваемый материал. Зазором "A" между валами 2 и 3 задают размер получаемых измельченных частиц корма. Чем больше зазор "A" между поверхностями валов 2 и 3, тем больше размер измельченных частиц. При этом выпад ножей 7 устанавливают такие, чтобы расстояние между противорезом (поверхностью противоположного вала) и режущей частью ножа 7 оставалось наименьшим.

Известен измельчитель кормов (А.С. № 1762797) состоящий из вертикально установленной камеры 1 с противорежущими элементами 2 (рисунок 1.5) [1]. Сосно с камерой 1 установлен вал 3, на котором в верхних ярусах радиально установлены ножи 4, а в нижних - чередующиеся в одной плоскости вращения радиально установленные ножи 5 и несущие элементы 6, не перекрывающие рабочую зону противорежущих элементов 2. На внутренней и наружной плоскостях каждого несущего элемента 6 посредством оси 7 закреплены режущие элементы 8, выполненные в виде

пластин и имеющие в поперечном сечении форму трапеции, при этом их меньшие основания обращены друг к другу.

Измельчитель работает следующим образом. Загружаемый в рабочую камеру 1 корм, подвергаясь воздействию ножей 4 верхних ярусов, частично измельчается и равномерно распределяется по периметру рабочей камеры 1.

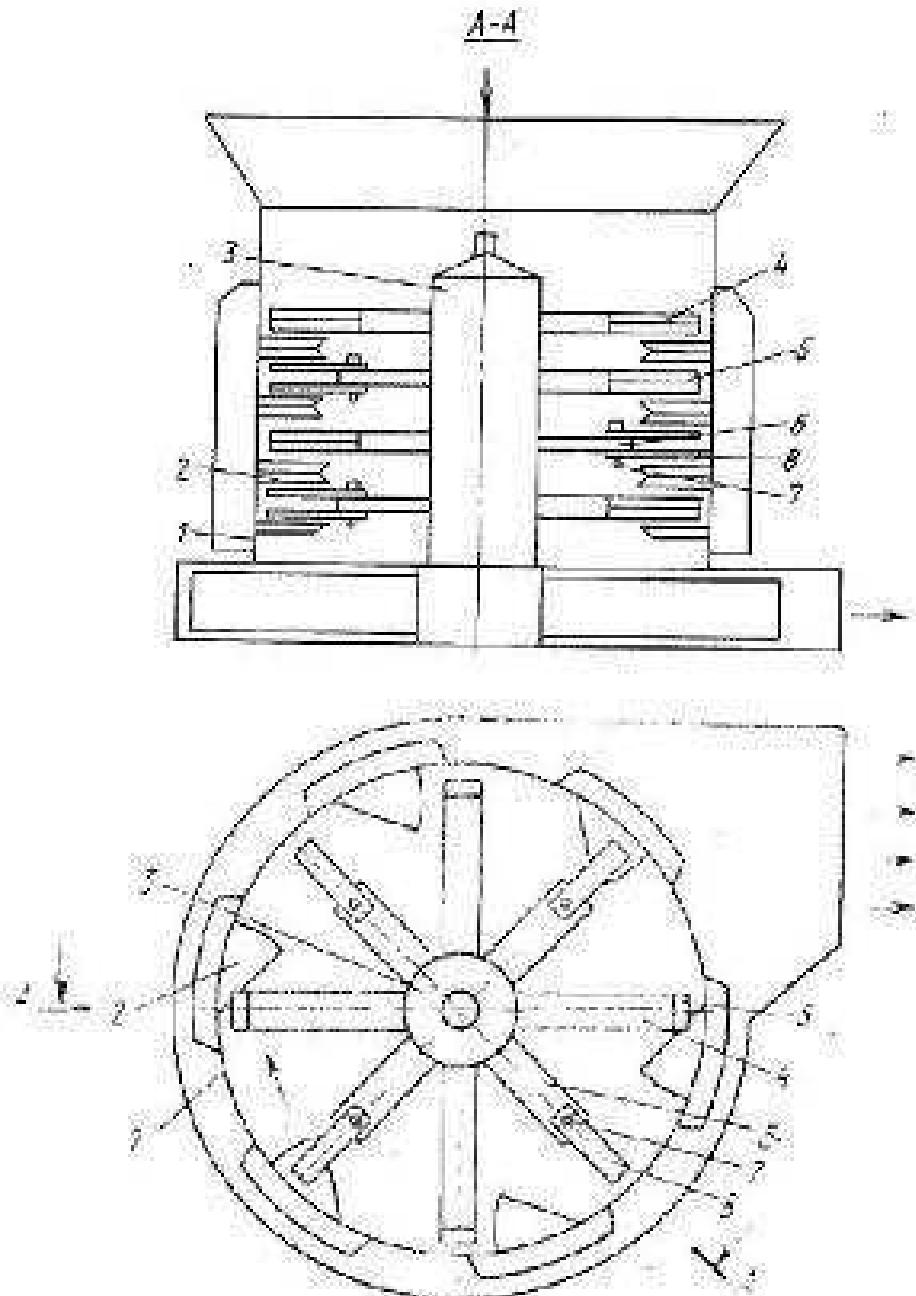


Рисунок 1.5 – Измельчитель кормов (А.С. № 1762797)

Далее, перемещаясь под действием гравитационных сил, корм поступает в зону измельчения нижних ярусов ножей 5 и режущих элементов 6. При измельчении сочных и зеленых стебельчатых кормов активно

выделяется клеточный сок, способствующий прилипанию мелких частиц на внутреннюю поверхность рабочей камеры 1. В предложенном измельчителе, жестко закрепленные на роторе ножи 5 нижних ярусов, вращаясь, захватывают напитанный корм и перемещают его до противорежущих элементов 2, при прохождении активной рабочей зоны которых они разрезаются. Таким образом, жестко закрепленные ножи 5 очищают внутреннюю поверхность рабочей камеры 1 от прилипших мелких частиц корма и осуществляют процесс его измельчения. Идущие по стеду жестко закрепленных ножей 5 шарнирно закрепленные режущие элементы 8 несущих элементов, испытывают активного сопротивления движению. В этом случае режущие элементы 8 не отклоняются от своего радиального положения, исключая тем самым возникновение резонанса частоты колебаний режущих элементов 8 и частоты вращения вала 3, увеличивая тем самым эксплуатационную надежность измельчителя. При прохождении рабочей зоны противорежущих элементов 2 шарнирно закрепленные режущие элементы 8 осуществляют процесс резания корма. Возникающая при этом сила резания вызывает торможение режущих элементов 8, в результате чего происходит их отклонение вокруг point крепления в сторону, противоположную вращению (2). Перерезанные шарнирно закрепленными режущими элементами 8 частицы корма перемещаются по их фаскам. Так как режущие фаски ножей каждого несущего элемента 6 обращены друг к другу, то потоки отрезанных частиц направляются в межножевое пространство, где внедряются в движущийся между режущими элементами 8 слой корма. Следовательно при осуществлении процесса резания в межножевом пространстве каждого несущего элемента 6 пересекаются три потока частиц корма, скорости и движения которых не совпадают по направлению. При пересечении этих потоков частиц скорость их движений несколько гасится. Кроме того, количество корма в межножевом пространстве увеличивается, что ведет к росту силы трения частиц и поверхности режущих элементов 8, а следовательно и к снижению

скорости частиц корма в их межножевом пространстве. Поскольку режущие элементы 8 в этот период поворачиваются вокруг оси крепления 7, то вместе с ними движется и корм в межножевом пространстве. Так как скорость движения режущих элементов 8 больше скорости движения потока частиц в межножевом пространстве, то последний под действием центробежных сил и воздушного потока удаляется из межножевого пространства. Следовательно, при повороте режущих элементов 8 на некоторый угол, поток частиц корма из межножевого пространства изменяя направление, движется во внутрь рабочей камеры 1. В этом случае ширина перемещающегося на внутренней поверхности рабочей камеры 1 слоя корма увеличивается. Поскольку несущие элементы 6 не перекрывают рабочую зону противорежущих элементов 2, то ширина слоя несколько больше длины их активной режущей части. Идущие по следу шарнирно закрепленных на несущих элементах 6 ножей 5 жестко закрепленные ножи 5 в этом случае осуществляют процесс резания всей длиной режущей кромки, что уменьшает удельную энергоемкость процесса измельчения. Кроме того, уменьшается трение между торцами ножей 5 и внутренней поверхностью рабочей камеры 1, и равномерно распределается нагрузка по лезвию ножа 5, а следовательно уменьшается неравномерный износ ножей 5 и увеличивается эксплуатационная надежность измельчителя. После прохождения рабочей зоны противорежущих элементов 2 закрепленные на оси режущие элементы 8 занимают под действием центробежных сил радиальное положение и сохраняют его до встречи с последующими противорежущими элементами 2. Для уменьшения вероятности залипания кормом межножевого пространства режущие элементы 8 выполнены в виде пластин с трапециодальным сечением. Такая форма режущих элементов 8 позволяет уменьшить потери давления воздуха в межножевом пространстве и за ним, так как режущие элементы 8, обращенные режущими фасками друг к другу, образуют диффузор. В этом случае отрыв воздушного потока на выходе из межножевого пространства осуществляется без завихрения, то есть воздух движется в ламинарном

режиме, и полного торможения кормового потока не происходит, а следовательно и захвата кормом межножевого пространства. Таким образом, режущие элементы 6, закрепленные посредством оси 7 на несущих элементах 6, осуществляют процесс резания кормов и увеличивают ширину перемещающегося по внутренней поверхности рабочей камеры 1 кормового слоя. Следовательно, чередование радиально закрепленных на валу 3 измельчителя ножей 5 и несущих элементов 6 с закрепленными на их наружных и внутренних плоскостях режущими элементами 6 позволяет исключить условие возникновения резонанса колебаний режущих элементов 6 и вала 3, увеличить ширину перемещающегося по внутренней поверхности рабочей камеры 1 кормового слоя и тем самым уменьшить удельную энергоемкость процесса измельчения и увеличить надежность измельчителя.

На рисунке 1 б представлен измельчитель корнеклубнегплодов (А.С. № 1611265) [2].

Измельчитель корнеклубнегплодов состоит из загрузочной горловины 1, станины 2, режущего аппарата выполненного в виде неподвижных параллельно установленных ножей 3 и прижимного механизма 4, выполненного в виде вертикально установленной на шарницах 5 толкающей плиты. Механизм 4 снабжен приводными гидроцилиндрами 7, соединенными с верхним краем плиты и станиной 2 посредством шарниров 8. Ножи 3 установлены зигзагообразно посредством штифтов на пластинах 10 которые размещены по обеим сторонам плиты с образованием У-образной камеры измельчения 11, под которой размещен лоток 12 для отвода измельченных корнеклубнегплодов.

Корнеклубнегплоды через загрузочную горловину 1 поступают в пространство между плитой и одной из ножевых стенок камеры измельчения 11. Плита под действием гидроцилиндров 7 совершает "возвратно" поступательные перемещения на шарницах 5 и продавливает корнеклубнегплоды между ножами 3, которые перерезают их на ломтики определенной толщины, последние под действием собственного веса падают

вниз и по лотку 12 отводится для последующего использования. Данное изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к машинам для резания корнеклубнеплодов, на пластинки, преимущественно на животноводческих фермах.

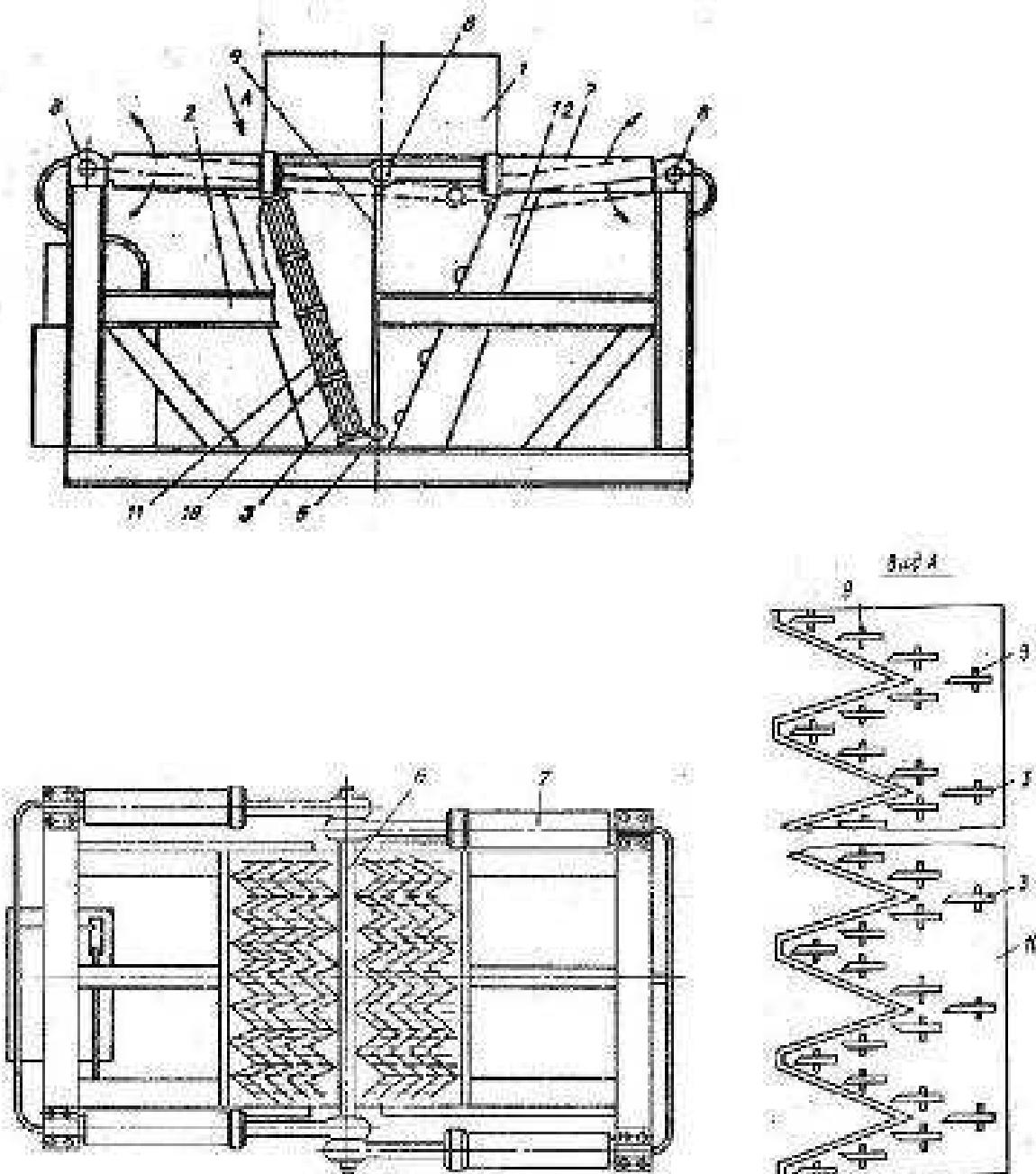


Рисунок 1.6 – Измельчитель корнеклубнеплодов (А.С. № 1611265)

Цель изобретения - повышение производительности. Измельчитель корнеклубнеплодов состоит из загрузочной горловины 1, станины 2, режущего аппарата, выполненного в виде неподвижных параллельно установленных ножей 3 и приводного механизма 4, выполненного в виде

вертикально установленной на шарнирах 5 толкающей плиты 6. Механизм 4 снабжен приводными гидроцилиндрами 7, соединенными с верхним краем плиты 6 и станиной 2 посредством шарниров 8. Позы 3 установлены зигзагообразно посредством штифтов 9 на пластинах 10, которые размещены по обеим сторонам плиты 6 с образованием U-образной камеры 11 измельчения, под которой размещен лоток 12 для отвода измельченных корнеклубнеплодов.

**Измельчитель работает следующим образом.**

Корнеклубнеплоды через загрузочную горловину 1 поступают в пространство между плитой 6 и одной из пожевых стяжек камеры 11 измельчения. Плита 6 под действием гидроцилиндров 7 совершает возвратно-поступательные перемещения на шарнирах 5 и продавливает корнеклубнеплоды между позами 3, которые перерезают их на ломтики определенной толщины. Последние под действием собственного веса падают вниз и по лотку 12 отводятся для последующего использования.

Предлагаемый измельчитель корнеклубнеплодов позволяет осуществлять процесс резания непрерывно без холостого хода на загрузку, что увеличивает производительность.

Несмотря на многие положительные характеристики существующих измельчителей корнеклубнеплодов, всегда есть перспектива улучшения их технико-экономических показателей. Основное направление в развитии конструкций - это совершенствование рабочих органов измельчителей и снижение их энергоёмкости.

На основании проведенного анализа конструкций, рабочих органов и технологических схем измельчающих аппаратов предлагаем классифицировать измельчители корнеклубнеплодов по следующим признакам:

- по назначению;
- по расположению рабочего органа;
- по виду выполняемых операций;

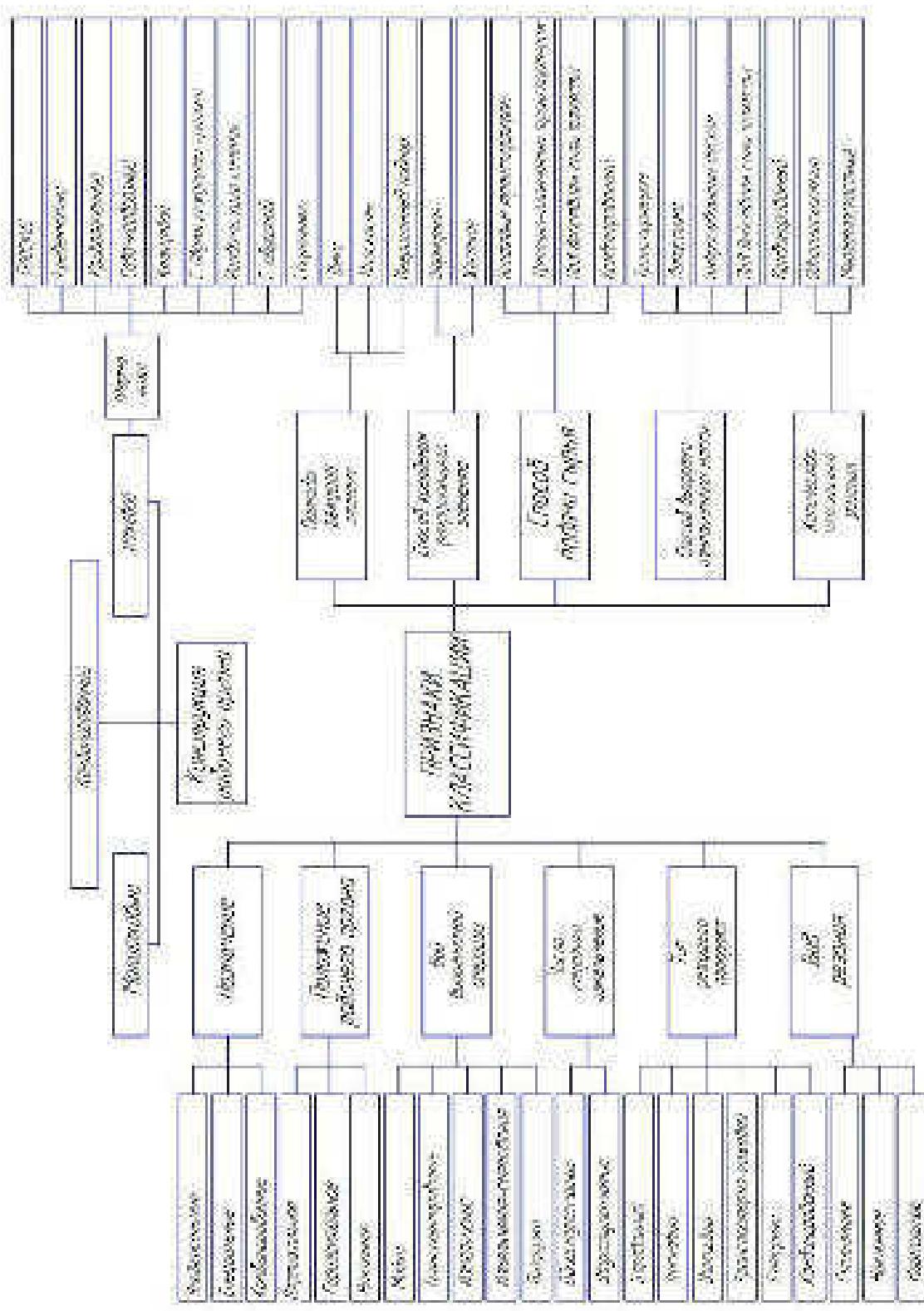
- по числу ступеней измельчения;
- по количеству плоскостей резания;
- по типу режущего аппарата;
- по виду резания;
- по конструкции рабочего органа;
- по виду противорежущей части;
- способу крепления разрушающего элемента;
- по способу подачи сырья;
- по способу выгрузки измельченной массы.

Предлагаемая классификация (рисунок 1.7) позволяет оценить конструктивные особенности измельчителей и их рабочих органов и с учетом выявленных достоинств и недостатков определить направление поиска наиболее рациональной конструктивно-технологической схемы измельчающего аппарата, обеспечивающей минимальную энергоемкость процесса измельчения при соответствии приготовленного корма зоотехническим требованиям.

В таблице 1.3 приведены характеристики существующих конструкций измельчителей.

Таблица 1.3 - Характеристика измельчителей корнеобъемплодов

Марка измельчителя	Способ измельчения	Скорость рабочих органов, м/с	Производительность, т/ч	Содержание частиц размером 0,5 мм, %	Удельный расход энергии, кВт·ч/т
РКР-2	Резание	1,2-6,3	2,9	33,1	0,35
МРК-5	Резание	4,3	3,4	35,0	0,63
КЛСК-1600	Резание	5-30	4,7	54,0	0,54
КТИ-4	Резание	4-25	4,1	84,0	1,3
ИКМ-3	Резание	4-25	6,7	86,0	1,39
ИКС-3	Удар	20	5,3	61,0	1,37
Золгарь-5	Резание	17,6	7,5	70,0	1,2
КДУ-3	Резание, удар	71,3	6,5	46,0	3,3
ИРМ-50	Удар	41,8-83,6	37,3-78	100	2,4-3,1
АПК-10А	Удар	30-50	5-12	80,3	2,1-5,6
ИКМ-Ф-10	Резание	4-25	10	80,0	0,61



### Рисунок 1.7 - Классификация немецкой корсикской биогеографии

Анализируя приведенные в таблице 1.3 данные можно отметить следующее:

- измельчители КПИ-4, ИКМ-5, ИКМ-Ф-10, КПСК-1000 приготавливают корм в соответствии с зоотехническими требованиями;
- минимальной энергоёмкостью обладают измельчители, работающие по принципу резания РКР-2, МРК-2, КПИ-4, ИКМ-5, ИКМ-Ф-10, КПСК-1000;
- минимальной энергоёмкостью при высоком качестве приготавливаемого корма обладают измельчители с ножевыми рабочими органами;
- значительной энергосъёмкой отличаются измельчители, работающие по принципу удара ИРМ-15; ИРМ-50; КДУ-2; ИКС-5М; АПК-10Л.

Кроме того, при взаимодействии молотков ротора с измельчаемым материалом выделяется в больших количествах клеточный сок корнеклубнеплодов, который теряется при транспортировании и хранении. Поэтому измельченный корм не в полной мере соответствует зоотехническим требованиям.

Проведенный анализ конструкций измельчителей корнеклубнеплодов позволит сделать следующие заключения:

- процесс измельчения корнеклубнеплодов требует больших затрат энергии и до конца не исследован, несмотря на большое количество работ, посвященных этой теме и многообразие конструкций рабочих органов, а также машин в целом, предназначенных для переработки кормовых материалов; это приводит к тому, что энергозатраты на измельчение корнеклубнеплодов могут достигать 38 % от совокупных затрат энергии на приготовление кормов;
- качественные показатели обработанного существующими измельчителями корма часто не соответствуют зоотехническим требованиям, в большинстве случаев наблюдаются перенизмельчение корнеклубнеплодов или безвозратные потери клеточного сока;

- измельчение лезвиевыми рабочими органами предпочтительнее вследствие меньших энергозатрат и лучшей сохранности в измельченном материале клеточного сока.

### **1.5 Цель и задачи исследования**

Целью настоящей работы является разработка измельчителя корнеклубнеплодов, обеспечивающего высокое качество измельчения при минимальных удельных затратах энергии.

В соответствии с целью работы поставлены следующие задачи исследования:

- на основе анализа конструкций средств механизации измельчения сочных кормов разработать конструктивно-технологическую схему измельчителя корнеклубнеплодов, обеспечивающего высокое качество измельчения при минимальных удельных затратах энергии;
- исследовать факторы, оказывающие влияние на технологический процесс измельчения корнеклубнеплодов и получить аналитические выражения для их определения;
- уточнить физико-механические характеристики картофеля и определить усилия их резания при различных углах установки ножа к направлению действующей силы;
- получить математическую модель процесса измельчения корнеклубнеплодов в измельчителе выбранного типа;
- исследовать разработанный измельчитель в лабораторных условиях.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Обзор теоретических исследований рабочего процесса измельчения кормоклубнеплодов

Проведенный анализ научных работ показал, что к основным параметрам, влияющим на энергозатраты и качество процесса измельчения кормов, относятся скорость резания, вид режущего инструмента и его расположение, геометрические параметры режущего инструмента и т.д.

На сегодняшний день не существует единого подхода о том, какой тип ножей, их расположение, способ резания применять для данного процесса. Поэтому проведем анализ основных параметров, влияющих на измельчение.

Наибольшее влияние на энергозатраты при измельчении оказывает скорость резания. Анализ научно-технической и патентной литературы показал: увеличение скорости резания приводит к снижению затрат энергии на процесс измельчения. Так, например, при измельчении Н. Е. Резником и Н. Ахметовым доказано, что удельная работа резания снижается при увеличении скорости резания.

Выбор режущего инструмента (пуансон, резец или лезвие) производят в зависимости от особенностей взаимодействия режущего инструмента и материала. Для измельчения мягких материалов наиболее эффективен вид резания лезвием [28]. При этом затраты энергии на процесс измельчения минимальны. Н. А. Барсов [14], исследуя измельчение костей сельскохозяйственных животных, показал, что более эффективен в данном случае вид резания резцом, а применение лезвия ведет к росту энергозатрат в среднем на 30 %.

Рядом ученых [15, 34] установлено, что изменение угла заточки ножа в диапазоне 30...90° ведет к увеличению усилия резания примерно в 1,4 раза. В качестве наиболее оптимального значения можно рекомендовать угол заточки ножа 12...22°.

Одним из важных параметров режущего инструмента является угол скольжения. Миения о влиянии угла скольжения на затраты энергии

неоднозначны, а порой и противоположны. Проанализировав экспериментальные данные ученых можно прийти к выводу, что оптимальный угол скольжения лезвия лежит в пределах  $25\dots60^\circ$ .

Одним из критерийских оценки работы машин для измельчения продуктов являются усилие резания либо удельные затраты. При определении усилия резания в основе лежит формула, выведенная В.П. Горячким [25]:

$$P = P_0 + P_d + P_r \quad (2.1)$$

где  $P$  - общее суммарное сопротивление резанию;

$P_0$  - некоторое постоянно действующее сопротивление;

$P_d$  - сопротивление, характеризующее усилие, затрачиваемое на деформацию стружки;

$P_r$  - сопротивление, характеризующее усилие, затрачиваемое на отделение стружки и приданье ей кинетической энергии.

Остальцев В. П. [71] предлагает использовать формулу (2.2) в виде:

$$P = P_0 + K \cdot a \cdot \Delta + c \cdot a \cdot \Delta \cdot V^2 \quad (2.2)$$

где  $K$  - коэффициент деформации, отнесенный к единице площади поперечного сечения срезанного слоя;

$a$  и  $\Delta$  - ширина и толщина срезаемого слоя соответственно, м;

$V$  - линейная скорость резания, м/с;

$c$  - коэффициент.

Согласно полученным результатам Новиков Г.И. стружка при резании корнеклубнейгодов по форме аналогична стружке, получаемой при резании хрупких металлов, либо дерева, либо задернелой почвы и т.д. Г.И. Новиков в своих исследованиях подтвердил приемлемость использования рациональной формулы В.П. Горячкина при исследовании процесса резания корнеклубнейгодов, а также показал, что форма и размеры режущего инструмента оказывают существенное влияние на силу резания.

Для оценки энергоэффективности работы агрегата используется обобщенный показатель, называемый удельной энергоемкостью операции:

$$\vartheta = \frac{W}{Q \cdot \lambda}, \quad (2.3)$$

где  $W$  - потребляемая электродвигателем измельчителя мощность;  
 $Q$  - производительность измельчителя;  
 $\lambda$  - степень измельчения.

В.И. Липинский, исследуя процесс измельчения корнеплодов в разработанном аппарате с кольцевыми ножами, представляющим собой расположенный на раме кожух цилиндрической формы с неподвижными кольцевыми кольцами внутри, в нижней части которых установлен диск с лопастями, определил удельную энергоемкость процесса измельчения по формуле:

$$\vartheta = \frac{M_b \cdot \omega}{102 \cdot Q} \quad (2.4)$$

где  $\vartheta$  - удельная энергоемкость процесса измельчения, кВт·ч/т;

$M_b$  - момент вращения, необходимый для преодоления сопротивления в аппарате для измельчения;

$\omega$  - угловая скорость диска,  $\text{с}^{-1}$ ;

$Q$  - пропускная способность установки, т/ч.

Как показывает автор, используя полученную зависимость, можно определить составляющие энергозатрат разработанного им измельчителя с кольцевыми ножами.

И. И. Тищенко и А. П. Ядревский, разработав измельчитель корнеплодов с дисковым ножом [8] и исследовав процесс резания, предлагают общее усилие измельчения корнеклубнеплодов определять по формуле:

$$F = F_{\text{пер}} = F_1 + F_2 \cos \beta, \quad (2.5)$$

где  $F_{\text{пер}}$  - сумма сил, затрачиваемая на разрушение связей в корнеплодах и отгибание ломтиков;

$F_1$  - сила трения между опорной гранью ножа и корнеплодом;

$F_2$  - сила трения между рабочей гранью ножа и отрезаемыми ломтиками.

$\beta$  - угол заточки ножа.

Проведенный анализ научных работ, посвященных процессу измельчения корнеклубнеплодов, показывает, что усилие резания и мощность, затрачиваемая на него, зависят от большого числа факторов, и нет единого мнения о действии этих факторов на процесс резания корнеплодов.

Таким образом, процесс измельчения корнеклубнеплодов требует дополнительных исследований.

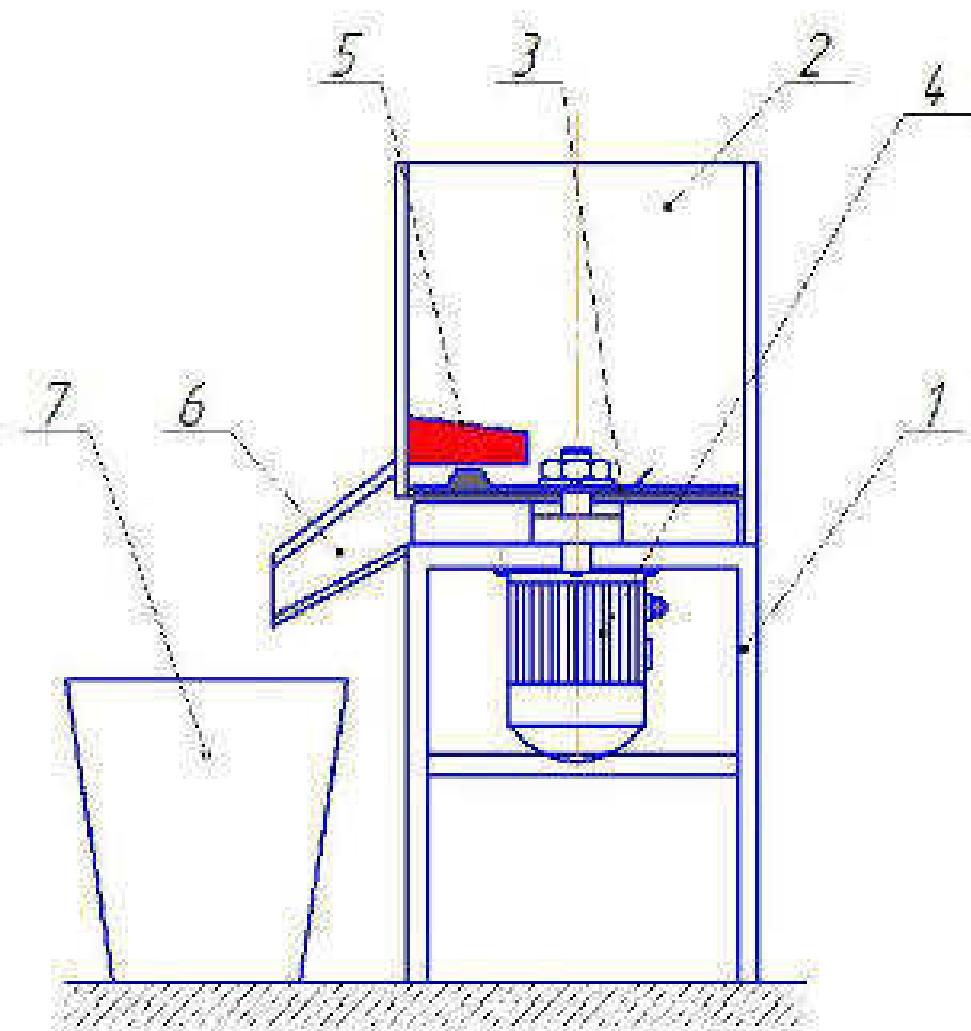
## 2.2 Теоретическое исследование рабочего процесса измельчения корнеклубнеплодов

### 2.2.1 Скользящее резание при измельчении корнеклубнеплодов

В измельчителе (рисунок 2.1) резание корнеклубнеплода осуществляется в рабочей камере, образованной противорезом и ножами. С целью исключения перекатывания клубня через нож тарелки без разрезания противорез выполнен с наклоном под углом  $\alpha$ , предотвращающим перекатывание и обеспечивающим защемление клубня. Презмерное защемление влечёт смятие корнеплода, которое более энергоёмко, чем резание, и приводит к потере сока. Поэтому необходимо найти такое значение угла наклона противореза, при котором защемление будет минимальным.

Принципиальная схема измельчителя разработана на основе анализа конструкций известных измельчителей сочных кормов. Принципиальная особенность данного измельчителя заключается в том, что он работает как терка.

Измельчитель сочных кормов (рисунок 2.1) установлен на раме 1. Он состоит из рабочей камеры цилиндрической формы 2, тарелки с ножами 3, который берет привод от электродвигателя 4 соединенную напрямую с тарелкой, противореза 5 который установлен на стене рабочей камеры. В нижней части рабочей камеры находится выгрузное окно 6. Загрузка в рабочую камеру 2 осуществляется сверху, выгрузка смеси - через выгрузное окно 6 за счет выгрузных лопаток установленных на тарелке 3.



1-рама; 2- рабочая камера; 3- тарелка с ножами; 4- электродвигатель;  
5- противорез; 6- выгрузное окно; 7- емкость для измельченного продукта

Рисунок 2.1 – Измельчитель кормклубнеглодов

Процесс измельчения происходит следующим образом. Загрузку измельчаемого корма осуществляют до определенной отметки рабочей камеры. При помощи пульта управления, включают электродвигатель 4, и крутящий момент передается на тарелку с ножами 3. Кормклубнеглоды загружают в рабочую камеру 2. При вращении тарелки ножи захватывают кормклубнеглоды и доводят до противореза, вследствие чего кормклубнеглоды оказываются в защемленном положении и в это время происходит их срезание. Срезанная часть корма уходит под тарелку через

вымку, расположенную перед ножами и выгрузные лопаты выбрасывают измельченный корм в выгрузное окно.

Рассмотрим момент защемления корнеклубнеплода между горизонтальным ножом и противорезом загрузочного бункера (рисунок 2.2).

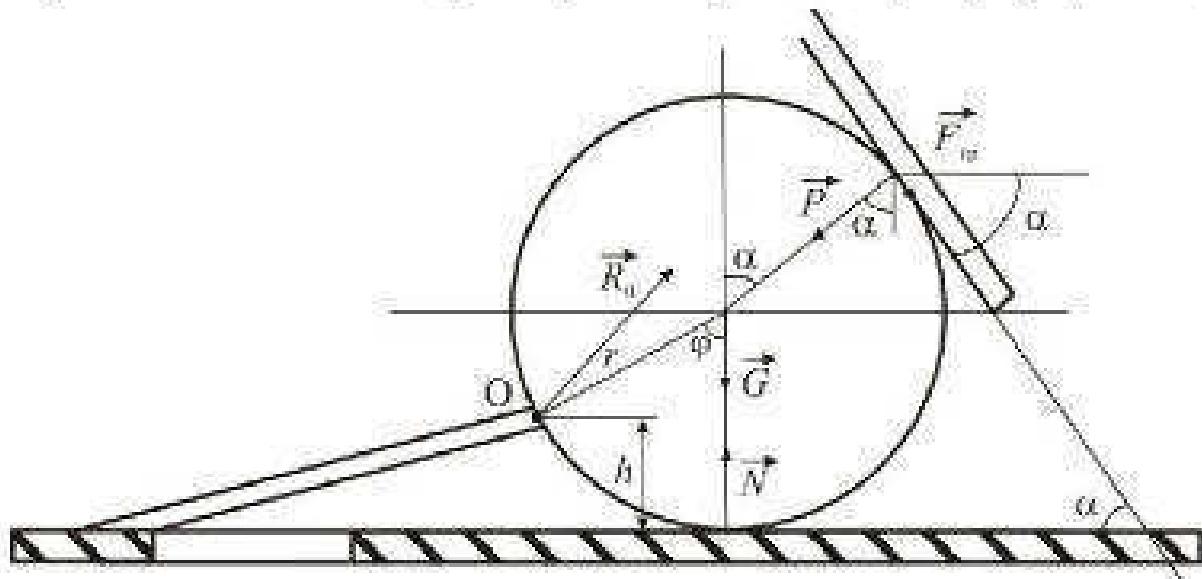


Рисунок 2.2 – Защемление клубня наклонной стенкой и ножом.

После того как корнеплод из загрузочного бункера попадает на режущий диск, он перемещается до противореза под действием ножа тарелки. В момент касания клубнем противореза возникает нормальная сила давления противореза, от действия которой возникает сила трения. Кроме того, корнеплод находится под действием силы тяжести, нормальной реакции со стороны режущей тарелки и режущей силы. Вылет ножа совместно с диаметром клубня определяет величину угла  $\phi$ . При некотором значении угла  $\phi$  перекатывание клубня через нож прекратится, и будет происходить его резание. Кроме того, на процесс защемления и резания клубня в значительной степени влияет угол наклонной противореза  $\alpha$ . Определим необходимую величину этого угла, при котором клубень уже не будет перекатываться через нож и только начнет защемляться. При этом условии будет наблюдаться минимальное выделение сока из клубня, и, следовательно, потери витаминов будут также минимальны. Для упрощения расчетов было принято допущение, что клубень картофеля имеет форму шара.

Используя условия статического равновесия, составим сумму моментов всех действующих на клубень сил относительно точки О:

$$\sum M_O = -P \cos \alpha \cdot (r \sin \varphi + r \sin \alpha) + P \sin \alpha \cdot (r \cos \varphi + r \cos \alpha) - F_{\text{тр}} \cos \alpha \cdot (r \cos \varphi + r \cos \alpha) - F_{\text{тр}} - G \sin \varphi - N \sin \varphi = 0 \quad (2.6)$$

В момент начала перекатывания клубня через лезвие ножа (точка О) сила трения достигает предельного значения  $F_{\text{тр}} = f f$ , а сила  $N$  стремится к нулю  $N \rightarrow 0$ .

Определим наибольший угол  $\alpha$  в интервале от  $0-90^\circ$ , при котором не происходит перекатывания через нож. Чем ближе угол  $\alpha$  к  $90^\circ$ , тем в меньшей степени проявляется разрушение клубня смятием, которое более энергоёмко, чем резание, и сопровождается существенным выделением сока из клубней.

Кроме соотношений для  $F_{\text{тр}}$  и  $N$  полагаем, что сила действия стенки во много раз больше силы тяжести, действующей на клубень ( $P \gg G$ ), тогда уравнение (2.6) в предельном равновесии примет вид:

$$-\cos \alpha \cdot (\sin \varphi + \sin \alpha + f \cos \varphi - f \cos \alpha) + \sin \alpha \cdot (\cos \varphi + \cos \alpha - f \sin \varphi - f \sin \alpha) = 0 \quad (2.7)$$

Решение этого уравнения для заданного коэффициента трения  $f$  и угла наклона стенки  $\alpha$  позволяет получить предельное минимальное значение угла  $\varphi$ , при котором не будет происходить перекатывания клубня через нож. Этим углом определяется и минимальная толщина частиц корма.

Из графика (рисунок 2.3) видно, что угол  $\varphi$  тем меньше, чем выше коэффициент трения, и при возрастании  $f$  от 0 до 1 изменяется от  $90$  до  $0^\circ$ . Так, при коэффициенте трения корнеплода о сталь, равном  $f = 0,25$ , угол  $\varphi$  составляет  $62,5^\circ$ .

Используя уравнение (2.7), и при коэффициенте трения корнеплода о сталь  $f = 0,25$  построено семейство кривых, характеризующих изменение угла установки противореза в зависимости от размеров клубней (размер клубня влияет на угол  $\varphi$  и толщину отрезаемых ломтиков). Радиус клубней задавали в диапазоне от 10 до 50 мм.

Анализируя полученные зависимости (рисунок 2.4), можно сделать вывод, что увеличение угла между противорезом и ножом приводит к увеличению толщины ломтиков.

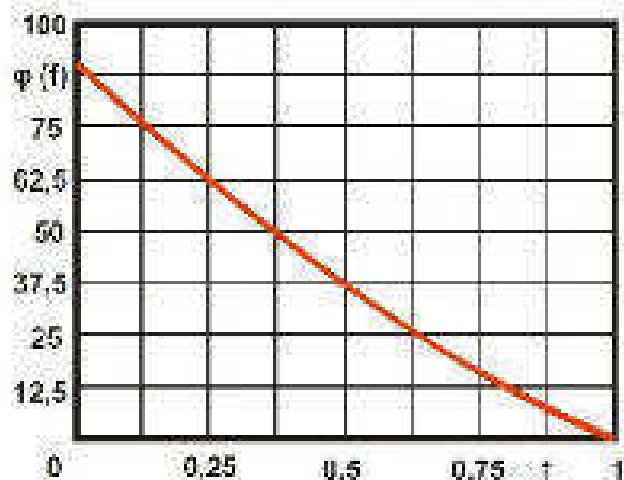


Рисунок 2.3 – График зависимости предельного угла  $\varphi$  от коэффициента трения  $f$

Снижение размеров измельчаемых клубней также способствует возрастанию угла  $\alpha$ . Поскольку для сохранения сока в нарезанных частичках корнеплодов необходимо стремиться к увеличению угла  $\alpha$ , то, исходя из анализа графиков, логично предположить, что толщина ломтиков должна быть максимальной (то есть около 12 мм).

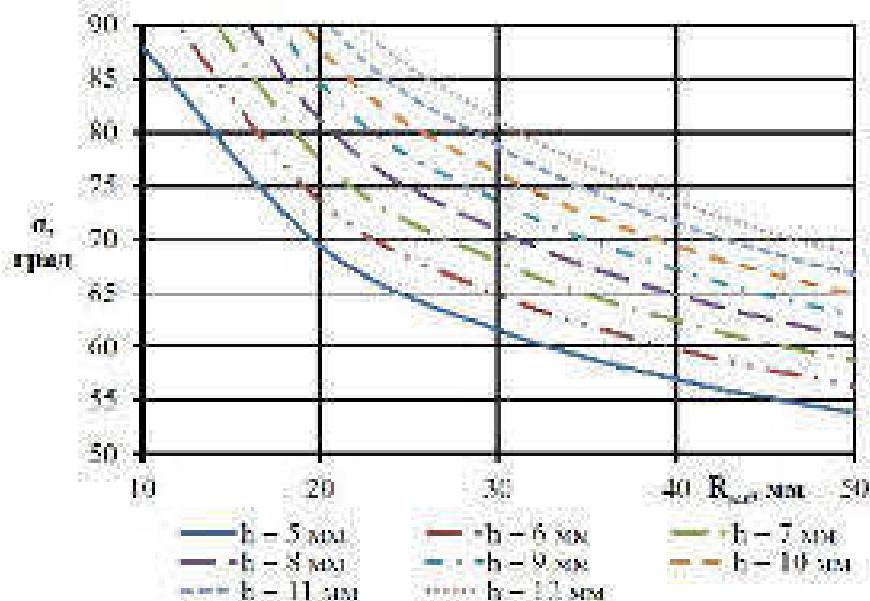


Рисунок 2.4 – Влияние радиуса клубня и толщины ломтиков на предельную величину угла  $\alpha$

Используя полученные графики, задаваясь необходимой толщиной нарежимых ломтиков и зная средний диаметр измельчаемых клубней, можно определить угол  $\alpha$  между горизонтальным ножом и противорезом.

Для проверки теоретических расчётов проведены опыты по определению угла наклона противореза. Радиус клубня картофеля изменялся от 30 до 40 мм, толщина ломтиков  $h = 10$  мм. Результаты сравнительных экспериментов представлены в виде графиков на рисунке 2.5.

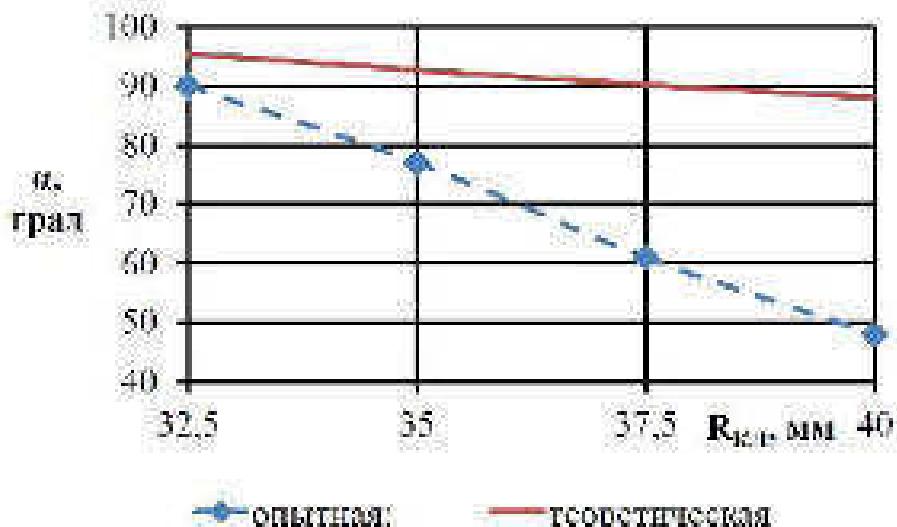


Рисунок 2.5 – Сравнительные графики опытных и теоретических исследований предельной величины угла  $\alpha$

В целом полученная теоретическая зависимость описывает процесс защемления клубня и может быть использована при проведении технических расчётов, а полученная величина угла  $\alpha$  гарантированно обеспечит защемление клубня и предотвратит его перекатывание через горизонтальный нож.

### 2.2.2 Условия резания клубня ножом тарелки

На силу резания в измельчителе корнеклубнеплодов влияют такие параметры, как окружная скорость режущей тарелки, угол резания ножей, положение клубня относительно оси вращения режущей тарелки, размеры и масса клубня.

Определим силу резания клубня ножом тарелки. Для этого рассмотрим схему действия сил на клубень (рисунок 2.6).

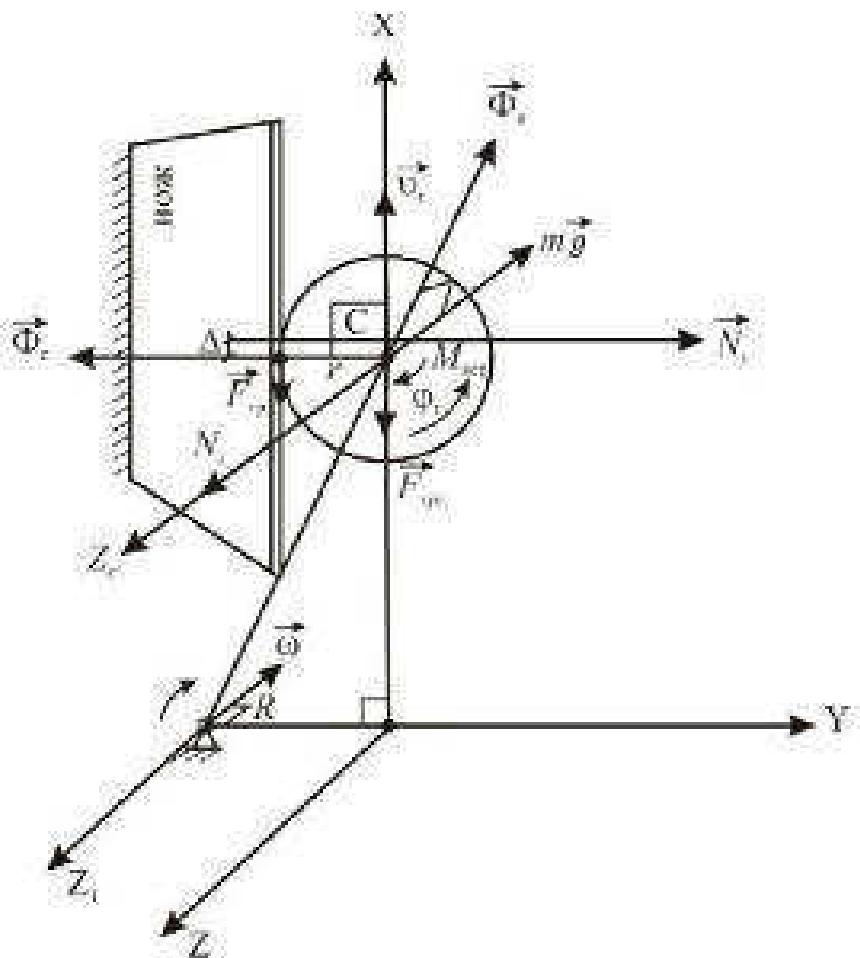


Рисунок 2.6 – Схема сил, действующих на клубень  
в подвижной системе отсчёта

На рисунке 2.6 X, Y, Z – подвижные оси координат; ось X начинается от кратчайшего расстояния до оси вращения Z<sub>1</sub> в плоскости диска; Z<sub>1</sub> – ось вращения диска, направлена вверх; g – ускорение свободного падения; m – масса клубня; J<sub>r</sub> – момент инерции клубня относительно вертикальной оси Z – коэффициент сопротивления качению по лезвию.

Запишем теорему об изменении кинетической энергии механической системы в относительном движении по лезвию ножа до начала процесса отделения части клубня.

В дифференциальной форме теорема примет вид:

$$\ddot{x} \left( m + \frac{J_r}{r^2} \right) + 2m\omega \frac{\Delta}{r} \dot{x} - \omega^2 mx = -mg \frac{\Delta_{xy}}{r} - mgf + m\omega^2 \frac{R\Delta}{r} \quad (2.8)$$

Уравнение (2.8) является линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами. Обозначим:

$$b = \frac{2m\omega^2}{\left(m + \frac{J_x}{r^2}\right)} \quad (2.9)$$

$$c = \frac{\omega^2 m}{\left(m + \frac{J_x}{r^2}\right)} \quad (2.10)$$

$$d = \frac{\left(-mg\frac{\Delta_{xy}}{r} - mgf + m\omega^2\frac{R\Lambda}{r}\right)}{\left(m + \frac{J_x}{r^2}\right)} \quad (2.11)$$

Подставим выражения (2.9), (2.10) и (2.11) в (2.8). Получим:

$$\ddot{x} + b\dot{x} - cx = d. \quad (2.12)$$

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения (2.12) после математических преобразований примет вид:

$$x = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} - \frac{d}{c} \quad (2.13)$$

где  $c_1, c_2$  — определяются с помощью начальных условий  $\dot{x}_0, x_0$ :

$$c_2 = \frac{\left(\frac{\dot{x}_0 - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(x_0 + \frac{d}{c}\right)\right)}{\left(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2} + 1\right)}, \quad c_1 = x_0 + \frac{d}{c} - c_2. \quad (2.14)$$

Найденные значения констант  $c_1, c_2$  подставляем в уравнение (2.13).

Тогда получим:

$$x = \left( x_0 + \frac{d}{c} - \frac{\left(\frac{\dot{x}_0 - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(x_0 + \frac{d}{c}\right)\right)}{\left(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2} + 1\right)} \right) e^{\lambda_1 t} + \left( \frac{\dot{x}_0 - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(x_0 + \frac{d}{c}\right) \right) \frac{e^{\lambda_2 t} - \frac{d}{c}}{\left(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2} + 1\right)} \quad (2.15)$$

Используя полученные аналитические зависимости, рассмотрим процесс измельчения клубней картофеля в измельчителе. Исходными

условиями являются: масса клубня  $m = 0,06$  кг, радиус клубня  $r = 0,025$  м, расстояние от оси вращения режущей тарелки до оси клубня  $R = 0,130$  м. Окружную скорость  $\omega$  режущей тарелки будем изменять в интервале от 60 до  $120 \text{ c}^{-1}$ . Диаметр режущей тарелки составляет 300 мм. В этом случае решение уравнения (2.15) позволяет получить зависимости, изображённые на рисунке 2.7.

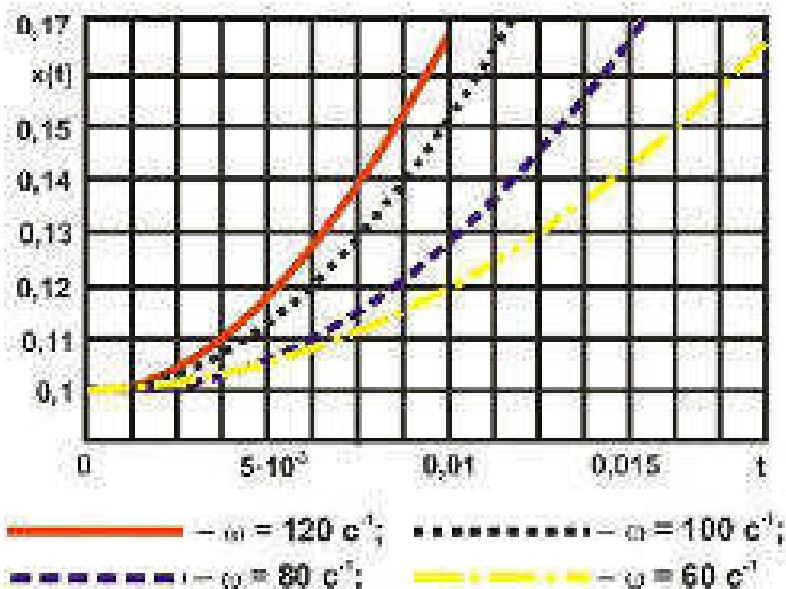


Рисунок 2.7 – Решение уравнения (2.12) при массе клубня  $m = 0,06$  кг, радиусе клубня  $r = 0,025$  м и расстоянии  $R = 0,130$  м

Изменение координаты  $x$  клубня вдоль ножа тарелки происходит по экспоненте, причём чем выше угловая скорость ножа, тем быстрее изменяется координата (рисунок 2.7). Следовательно, с увеличением угловой скорости ножа линейная скорость скольжения клубня по ножу возрастает, и корнейпод быстрее достигает противореза.

Возрастание скорости скольжения клубня ведет к росту силы резания, что подтверждается результатами расчетов, представленными в виде графиков (рисунок 2.8).

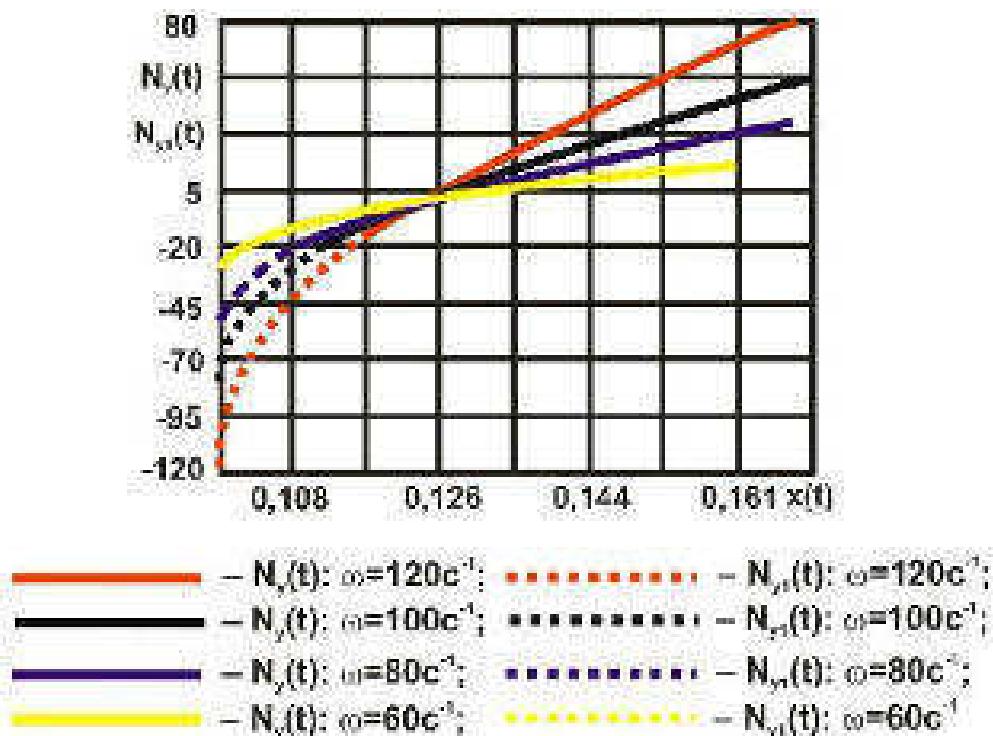


Рисунок 2.8 - Влияние координаты  $x$  и окружной скорости ножа на силу резания при массе клубня  $m = 0,06 \text{ кг}$ , радиусе клубня  $r = 0,05 \text{ м}$  и расстоянии  $R = 0,130 \text{ м}$

Анализ зависимостей (рисунок 2.8) показывает, что режущая сила  $N_r$  некоторое время имеет отрицательное значение. Этот временной промежуток соответствует отрыву клубня от ножа под действием центробежной силы, и резание в эти моменты невозможно, пока клубень вновь не попадёт под воздействие ножа. Из рисунка видно, что увеличение частоты вращения ножа способствует возрастанию режущей силы. Поэтому при выборе окружной скорости режущего диска необходимо исходить из вида измельчаемых корнеклубнеггодов, а именно, из их физико-механических свойств.

Из графиков (рисунок 2.8) видно, что сила резания на всех частотах вращения равна 0 в одной и той же координате и при принятых исходных данных составляет  $x = 0,124 \text{ м}$ . Это связано с углом установки ножа  $\alpha$  (рисунок 2.2) к радиусу диска. В зоне, где сила  $N_r = 0$ , целесообразно нож установить по радиусу или даже суконом в противоположную сторону.

### 2.3 Выводы по разделу

В ходе теоретических исследований было выявлено следующее:

1. увеличение частоты вращения ножа способствует возрастанию режущей силы. Поэтому при выборе угловой скорости режущей тарелки необходимо исходить из вида измельчаемых корнеклубнеплодов и их физико-механических свойств;
2. получено аналитическое выражение (2.7) и построены графики, с помощью которых, задаваясь размерами измельчаемых корнеклубнеплодов и толщиной нарезаемых ломтиков, можно определить предельную величину угла наклона противореза, исходя из условий минимального соковыделения.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СОЧНЫХ КОРМОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

#### 3.1 Программа и цель исследования

Для подтверждения теоретических предпосылок и выводов, а также для практической проверки правильности методики оптимизации конструктивно-режимных параметров измельчителя сочных кормов в исследованих принята программа, представленная на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 - Программа экспериментальных исследований

Данная программа предусматривает:

- разработку и изготовление экспериментального измельчителя сочных кормов, выявление эффективности его работы;
- разработку и изготовление лабораторного комплекса;
- уточнение основных физико-механические свойств корнеплодов, к которым, в частности, относятся влажность, плотность, размерно-массовые характеристики, прочностные характеристики;

- определение механических свойств картофеля, таких как удельная работа резания в зависимости от угла наклона режущей кромки пожа к направлению действующей силы и скорости резания, пределы временного сопротивления при разрыве, срезе и сжатии;
- определение количества опытов и выбор технических средств измерения.

Целью экспериментальных исследований является определение рациональных конструктивно-режимных параметров измельчения сочных кормов за счет скорости измельчения корнеплодов для получения кормового материала необходимого качества.

### **3.2. Методика экспериментальных исследований физико-механических свойств корнеплодов**

При обработке сельскохозяйственных материалов необходимо располагать сведениями об их физико-механических и технологических свойствах. Это необходимо, во-первых, для обоснования конструктивно-технологической схемы и отдельных параметров создаваемой машины, во-вторых, для проверки имеющихся теоретических предпосылок и, в-третьих, для выбора оптимальных диапазонов значений исследуемых свойств, при которых энергетические и стоимостные показатели процесса обработки будут иметь минимальные значения.

В качестве объекта для исследований используется картофель сорта «Митуринская» как наиболее распространенная в большинстве климатических зон Российской Федерации.

Влажность - важнейшая характеристика корма, существенно влияющая на другие свойства. Ее определяли путем высушивания образцов. Исследуемый материал разрезали на небольшие кубики, в течение 4 часов подсушивали при температуре 50..60 °С, а затем продолжали сушить при температуре 100... 105 °С до полного высыхания в электросушильном шкафу СШ-0,06. Высушенные

образцы охлаждали и взвешивали. Сушку и охлаждение проводили до тех пор, пока разница между последними взвешиваниями не превышала 0,01 г.

Влажность определяли из отношения:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где  $m_1$  - масса испаренной влаги, г;

$m_2$  - масса навески до сушки, г.

Насыпная плотность картофеля зависит от размеров корнеплодов и состояния укладки. Насыпную плотность  $\rho_n$  кормового материала определяли путем заполнения ящика объемом 0,25 м<sup>3</sup>, так как, начиняя с этого объема, произвольная укладка корнеплодов не влияет на численные значения некой характеристики при пересчете на 1 м<sup>3</sup>. Насыпную плотность при произвольной укладке определяли, используя выражение:

$$\rho_n = \frac{m}{V_s}, \quad (3.2)$$

где  $m$  - масса корнеплодов в этом объеме, кг;

$V_s$  - объем ящика, м<sup>3</sup>.

Плотность корнеплодов  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, определяли путем взвешивания образцов, определения их объема при погружении в мерный цилиндр и

последующего вычисления по формуле  $\rho = \frac{m}{V}$ , где  $m$  - масса образца, кг;  $V$  - объем образца, м<sup>3</sup>.

Размерные и массовые характеристики кормов определяют возможности использования их животными, а также измельчения, дозирования, смешивания и других воздействий рабочих органов машин.

При определении размерно-массовых характеристик кормового сырья из бурта подряд с трехкратной повторностью отбирали по 30

корнеплодов. Массу определяли электронными весами ПВ-6 с точностью до 0,001 кг.

У картофеля замеряли длину (H) и наибольший диаметр (d). Линейные замеры выполнялись штангенциркулем с погрешностью до 0,001 м.

Параметры основного рабочего органа измельчающего аппарата выбирают на основе тщательного исследования физико-механических свойств корнеплодов, знание которых позволяет снизить полное сопротивление механических цепей измельчающей машины и, в конечном счете, энергоемкость рабочего процесса.

В ходе исследования определялись: удельная работа резания картофеля ( $A_{v0}$ ), удельное сопротивление резанию ( $\varphi$ ), пределы временного сопротивления при срезе ( $t_{pe}$ ).

Удельная работа резания картофеля определялась в зависимости от угла наклона режущей кромки ножа  $\alpha_0$  к направлению действующей силы Р (рисунок 3.2) при скоростях резания 14,3 м/с.

При испытаниях использовался картофель в фазе полной спелости. Срез картофеля довольно редко представляет собой идеальный круг. Поэтому площадь сечения определялась по среднему диаметру.

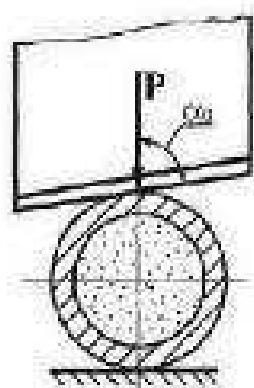
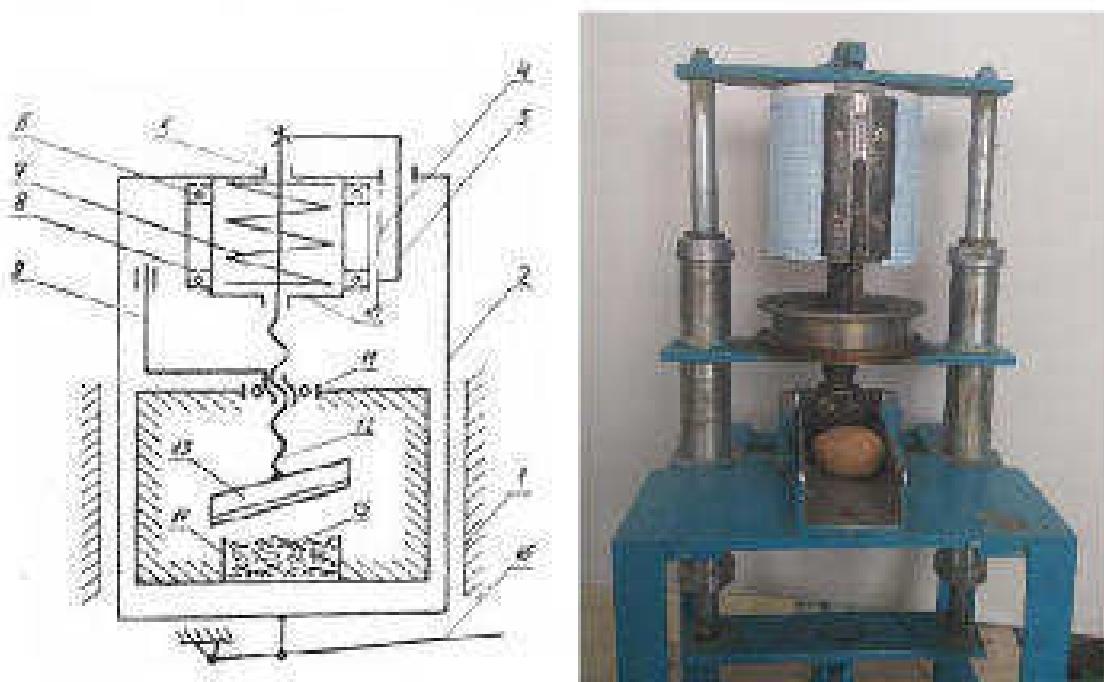


Рисунок 3.2 - Угол наклона режущей кромки ножа к направлению действующей силы

Напряжение среза определяется с помощью прибора для определения кривой резания (рисунок 3.3).



1 – рама; 2 – подвижная рамка; 3 – пинцущее устройство; 4 – диаграммная бумага; 5 – направляющая; 6 – подшипники; 7 – пружина; 8 – барабан; 9 – вилка; 10 – барабан; 11 – чайка; 12 – винт; 13 – нож; 14 – горловина; 15 – испытуемый материал; 16 – рычаг

Рисунок 3.3 – Схема прибора

Прибор состоит из рамы 1, в направляющих которой перемещается подвижная рамка 2 с жестко закрепленным барабаном 10. Внутри барабана помещены калиброванная пружина 7 и винт 12 с ножом 13. Винт двухзаходовый с шагом 12 мм может совершать поступательное движение, что обеспечивается направляющей 5. Наружный барабан 8 посажен на подшипники и может свободно поворачиваться вокруг барабана 10. Пинцущее устройство 3 крепится жестко к винту 12, а диаграммная бумага 4 закрепляется на барабане 8. Поворот барабана осуществляется при помощи вилки 9 и гайки 11. Горловина 14 с испытуемым материалом 15 закреплена на раме 1. Привод подвижной рамы 2 осуществляется с помощью рычага 16.

Когда нож не испытывает сопротивления, то рамка 2, барабаны 10 и 8 и винт 12 с ножом 13 перемещаются вниз, при этом поворачивается гайка 11 с винтом 9, а соответственно, и барабан 8. Но так как пружина 7 не испытывает сжатия, то самогибец пишет на бумаге горизонтальную линию, соответственно нулевому усилию.

Когда нож 13 встречает сопротивление испытуемого материала 15, то пружина 7 сжимается, при этом самогибец перемещается относительно нулевой линии на величину, пропорциональную приложенной силе к лезвию ножа. Так как нож перемещается, а следовательно, вращается барабан 8, то на бумаге пишется диаграмма вида "Сила-путь".

#### Методика обработка результатов испытания

1. Площадь диаграммы определяют подсчетом клеток миллиметровой бумаги.

2. Среднее усилие резания  $P_{РД3,ср}$ , Н, определяют по формуле:

$$P_{РД3,ср} = \frac{sk}{l} \quad (3.9)$$

где  $P_{РД3,ср}$  - среднее усилие резания, Н;

$s$  - площадь диаграммы,  $\text{мм}^2$ ;

$l$  - длина диаграммы,  $\text{мм}$ ;

$k_1$  - характеристика пружины прибора,  $K_1=30 \text{ Н/мм}$ .

3. Значение удельного сопротивления резанию определяют по формуле:

$$q = \frac{P_{РД3,ср} \cdot \cos t}{b}, \quad (3.10)$$

где  $q$  - удельное сопротивление резанию,  $\text{Н/м}$ ;

$b$  - ширина горловины, м;

$t$  - угол скольжения, град.

4. Определить значение удельной работы резания

$$A_{рд} = q(1 + \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}t) \quad (3.11)$$

где  $A_{y0}$  - удельная работа, Дж/м<sup>3</sup>;

$(1 + tg\varphi \cdot tg\tau)$  - характеристика ножа;

$tg\varphi$  - коэффициент скользящего резания;

$tg\tau$  - коэффициент скольжения.

5. Определить напряжение среза различных точек резания для ножа с углом скольжения  $\tau = 0^\circ$

$$\tau_{P_{R3}} = \frac{P_{R3}}{\sigma(l_i - l_0) \cdot k_2} \quad (3.12)$$

где  $\tau_{P_{R3}}$  - напряжение среза, Н/м<sup>2</sup>;

$P_{R3}$  - текущее значение усилия резания, Н;

$l_i$  - текущая длина диаграммы, мм;

$k_2 = 0,003$  м/мм - масштаб деформации.

Текущее значение усилия резания определяется по формуле:

$$P_{t,R3} = y_i \cdot k_1 \quad (3.13)$$

где  $y_i$  - текущее значение высоты диаграммы, мм.

Подставляя значение  $P_{t,R3}$  формулу (5) определяем:

$$l_{res} = \frac{y_i \cdot k_2}{\sigma(l_i - l_0) \cdot k_2} \quad (3.14)$$

### 3.3. Реализация плана эксперимента

#### 3.3.1 Экспериментальный измельчитель кормов

Для исследования энергетической оценки измельчителя корнеплодов с точки зрения энергосбережения по результатам теоретических исследований и испытаний нами разработан и изготовлен опытный образец измельчителя корнеплодов, позволяющий вести исследования в условиях, максимально приближенных к производственным [40].

Измельчитель (рисунок 3.1) содержит раму 1, рабочую камеру цилиндрической формы 2, тарелку с ножами 3, который берет привод от электродвигателя 4 соединенную напрямую с тарелкой, противореж 5, который установлен на стеле рабочей камеры. В нижней части рабочей камеры находится выгрузное окно 6. Загрузка в рабочую

камеру 2 осуществляется сверху, выгрузка смеси - через выгрузное окно 6 за счет выгрузных лопаток установленных на тарелке 3. Тарелка с ножами приводится в движение от однофазного коллекторного электродвигателя, с возможностью регулирования частоты вращения, мощностью 1300 Вт, установленный на основании.



1 – рама; 2 – рабочая камера; 3 – тарелка с ножами;  
4 – электродвигатель; 5 – противорез, 6 – выгрузное окно;  
7 – выключатель

Рисунок 3.4 – Общий вид измельчителя корнеплодов

Процесс измельчения происходит следующим образом. При помощи выключателя включают электродвигатель 4, и крутящий момент передается на тарелку с ножами 3. Корнеклубнеплоды загружают в рабочую камеру 2. При вращении тарелки ножи захватывают корнеклубнеплоды и доводят до противореза, вследствие чего корнеклубнеплоды оказываются в защемленном положении и в это время происходит их срезание. Срезанная часть корма уходит под тарелку через выемку, расположенную перед ножами и выгрузные лопатки выбрасывают измельченный корм в выгрузное окно.

Конструкция измельчителя позволяет изменять скорость резания посредством регулирования частоты вращения ротора электродвигателя. Частоту вращения измельчающего ножа измеряли с помощью тахометра DT 2234 С (рисунок 3.5). Контроль затрат энергии на процесс измельчения корнеплодов осуществлялся с помощью ваттметра, входящего в измерительный комплект К-50. Погрешность измерительного прибора не превышала 0,5 %.



Рисунок 3.5 – Тахометр DT 2234 С

Время опытов фиксировалось электронным секундомером.

Для обеспечения достоверности получаемых данных необходимо количество опытов определяли согласно [42], опыты проводились с пятикратной повторностью.

Пропускная способность измельчителя, т/ч, определялась по известной методике [26] из выражения:

$$Q = 3,8 \frac{m_0}{t_0}, \quad (3.16)$$

где  $m_0$  - масса измельченных в опыте корнеплодов, кг;

$t_0$  - время опыта, с.

Удельные затраты энергии, кВт·ч/т, находились из следующей зависимости:

$$q = N/Q, \quad (3.17)$$

где  $N$  - мощность на валу электродвигателя привода измельчителя, кВт.

Загрузка картофеля осуществлялась вручную. Предварительно порции исходного материала взвешивались на электронных весах «ПВ-6» (рисунок 3.6).

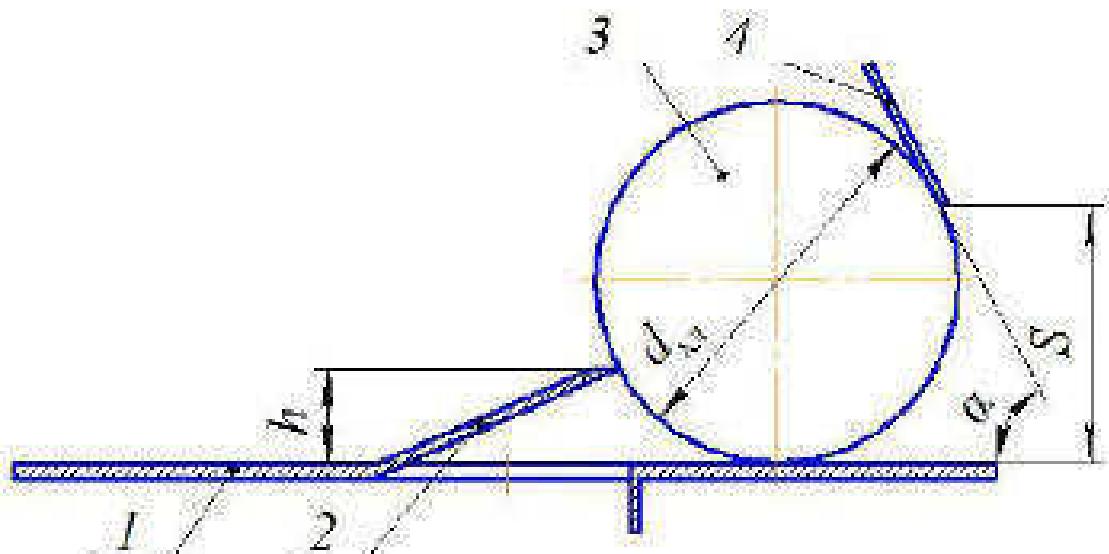


Рисунок 3.6 - Электронные весы «ПВ - б»

Фактическая производительность установки определялась взвешиванием нескольких порций прошедших через измельчитель корнеплодов за измеренные промежутки времени, после чего массу измельченных корнеплодов делали на время опыта.

### 3.3.2. Методика определения угла защемления

Предельный угол, при котором начинается защемление, определяли на лабораторной установке (рисунок 3.4). Для этого между ножом тарелки 3 и противорезом 5 (рисунок 3.7) клади клубень картофеля заданного диаметра  $d_{кл}$  и вращать режущую тарелку с ножами. В момент соприкосновения клубня с противорезом фиксирували, перекатывается корнеплод или защемляется [46].



1 - режущая тарелка; 2 - нож; 3 - клубень; 4 – противорез

Рисунок 3.7 - Схема к изучению процесса защемления клубня между горизонтальным ножом и наклонной стенкой загрузочного бункера измельчителя

Если клубень перекатывался, то уменьшали угол наклона противореза и вновь повторяли эксперимент до тех пор, пока не наблюдалось защемление корнеклубнеплода. Угол наклона противореза уменьшали с  $90^\circ$  до момента защемления.

После того, как для клубня заданного диаметра находили угол защемления, изменили зазор  $S$  и вновь проводили поиск нужного угла. После определения угла защемления при различных значениях зазора  $S$  изменяли выпуклость горизонтального ножа и повторяли опыты. Эксперименты проводились для клубней различного диаметра. На основании полученных данных строились графики.

### 3.3.3 Методика определения усилия резания

Эксперименты по определению силы резания проводили на разработанной лабораторной установке со специальным приспособлением (рисунок 3.4) исследовалось влияние угла наклона противореза  $\alpha$  и выпуклости ножа  $h$  (рисунок 3.7) [46].

Для определения усилия, необходимого для резания корнеклубнеплодов, устанавливали необходимый угол наклона  $\alpha$  и

вылет ножа  $h$ . Между горизонтальным ножом и пластиной (рисунок 3.7) клали клубень картофеля и с помощью динамометрического ключа за вылет вращали режущую тарелку.

После того, как клубень, переместившись под действием ножа, касался установленной под заданным углом  $\alpha$  пластины, и начался процесс резания, по шкале динамометрического ключа фиксировали усилие и заносили в таблицу. Далее изменяли значения угла  $\alpha$  и вылет ножа  $h$  и вновь проводили замеры силы резания.

По полученным данным строились графики изменения усилия резания в зависимости от угла наклона стенки бункера и вылета ножа.

### 3.3.4. Методика оценки качества измельчения корнеплодов

Как известно, степень измельчения стеблевых кормов оценивают по выражению

$$\lambda_s = L_{\text{ср}} / L_r, \quad (3.18)$$

где  $L_{\text{ср}}$  - средневзвешенная длина стеблей, м;

$L_r$  - средневзвешенная длина частиц резки, м.

В случае измельчения корнеплодов степень измельчения удобно определять по следующей зависимости:

$$\lambda_s = \sqrt[3]{V_1 / V_r}, \quad (3.19)$$

где  $V_1$  - средневзвешенный объем корнеплода,  $\text{м}^3$ ;

$V_r$  - объем частицы измельченной массы средневзвешенного размера  $\text{м}^3$ .

Средний объем корнеплодов, в нашем случае картофеля, определен путем поочередного погружения 100 корнеплодов в воду, налитую в мерный цилиндр.

Средневзвешенную длину и диаметр частиц измельченной массы определили с помощью штангенциркуля. Частицы в поперечном сечении имеют полукруглую форму с радиусом  $r$ , равным величине отгиба режущей кромки ножевого элемента. Тогда объем

измельченной частицы средневзвешенного размера можно определить по выражению

$$V_2 \approx 0,5 \pi l^3, \quad (3.20)$$

где  $l$  - длина частицы исходного материала, м.

Более точно средний объем частицы измельченной массы корнеплодов можно также определить путем одновременного погружения 200 таких частиц в воду, налитую в мерный цилиндр, с последующим делением объема вытесненной воды на 200.

Размерные показатели частиц, характеризующие качество измельчения, определяются массой отдельных фракций пробы. На точность массы фракций в определенной степени оказывает влияние и масса пробы. В исследований при сравнительно мелком измельчении масса пробы берут в пределах 0,2...0,5 кг, а массу образца - 5...8 кг [15, 16, 17].

Образцы и пробы измельченной массы отбирались методом квартования [18]. Для этого измельченную массу корнеплодов распределяли на столе ровным слоем в форме квадрата. Выделяли пробы из образца с помощью линейки, разделяя квадрат на четыре равных сектора, два из которых по диагонали отделяли, а оставшиеся два объединяли, перемешивали и вновь формировали квадрат. Образец таким способом уменьшали до тех пор, пока масса материала в одном секторе не достигла величины пробы.

Средневзвешенный размер частиц при анализе измельченных корнеплодов определяли методом ручной раскладки частиц на фракции с последующей обработкой результатов методом математической статистики.

Средневзвешенную длину частиц измельченного корнеплода определяли по формуле

$$l = \frac{\frac{l_1 G_1 + l_2 G_2 + \dots + l_n G_n}{G}}{n}, \quad (3.21)$$

где  $l_1, l_2, \dots, l_n$  - длина частиц соответствующих фракций, м;

$G_1, G_2, \dots, G_n$  - массовый выход фракций, кг;

$G$  - масса пробы, кг.

Пробы и фракции взвешивали на электронных весах ПВ-6 с погрешностью 0,001 кг.

Для оценки варьируемости гранулометрического состава измельченной массы рассчитывали стандартное отклонение по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\sum G_i}}, \quad (3.22)$$

где  $\bar{x}$  - средневзвешенный размер частиц;

$x_i$  - размер середины интервала по длине частиц  $i$ -ой фракции;

$G_i$  - массовый выход  $i$ -ой фракции.

Степень измельчения корнеплодов предложенным измельчителем определяется следующим образом:

$$\lambda_i = \sqrt{\frac{693}{3,14 \cdot 0,34 \cdot 1,63}} = 46,09,$$

а у серийно выпускаемого измельчителя ИКМ-Ф-10:

$$\lambda_i = \sqrt{\frac{693}{3,14 \cdot 0,16 \cdot 1,63}} = 525,09.$$

Анализ зависимостей качества измельчения от скорости резания при различном количестве противорежущих элементов при соответствующих затратах энергии показал, что эти зависимости с достаточной степенью точности аппроксимируются уравнением вида:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2. \quad (3.23)$$

Коэффициенты данного уравнения и получаемые при их подстановке в уравнение корреляционные отношения, приведены в приложении.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты определения физико-механических свойств картофеля

При проведении экспериментов влажность картофеля составила 73...90 %, насыщая плотность составила –  $641,72 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Это означает, что вместимость накопительных емкостей или загрузочных бункеров в  $\text{м}^3$  должна быть по абсолютной величине больше массы загружаемых в них продуктов в тоннах в 1,71 раза.

Плотность картофеля оказалась равной  $1079 \text{ кг}/\text{м}^3$  при абсолютной ошибке  $54,3 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Так как плотности картофеля и воды приблизительно равны, то при создании направленных струй моющей жидкости в ванне можно снизить остаточную загрязненность кормового сырья.

### 4.2 Результаты испытаний по определению удельной работы

Результаты испытаний по определению удельной работы резания картофеля в зависимости от угла наклона режущей кромки ножа  $\alpha_0$  к направлению действующей силы представлены в приложении В. По полученным данным построены зависимости удельной работы резания от угла наклона режущей кромки (рисунок 4.1).

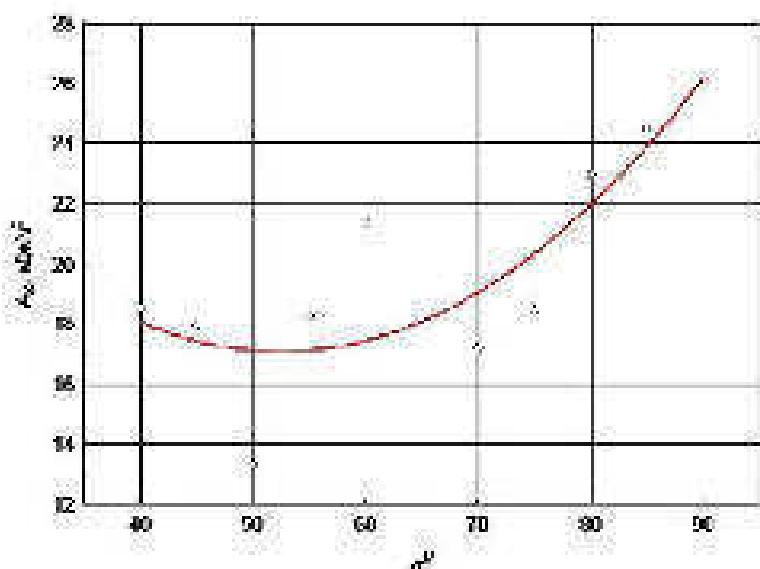


Рисунок 4.1 · Зависимость удельной работы резания  $A$  картофеля от угла наклона ножа,  $\alpha_0$

Проведенные исследования также показали, что удельная работа резания снижается до достижения углом  $\alpha^0$  величины 40..60°. Дальнейшее уменьшение указанного угла нецелесообразно, так как оно связано с некоторым повышением А.

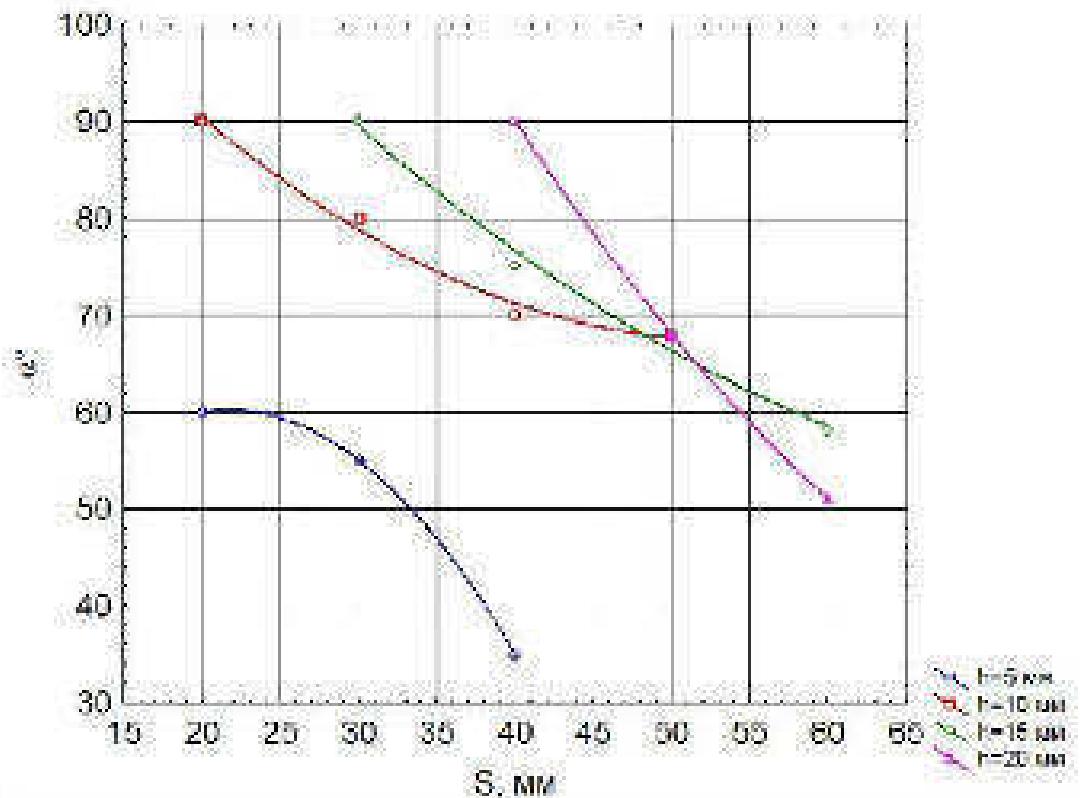
#### **4.3 Результаты испытаний по изучению условий защемления клубня**

С целью подтверждения теоретических расчетов согласно разработанной программе проведены исследования, направленные на обеспечение условий защемления клубня картофеля между ножом и противорезом бункера. Согласно методике, описанной в разделе 3.3.2, изучалось влияние размера клубня  $d_{\text{кл}}$  и зазора  $S$  (рисунок 3.7) между режущей тарелкой и кромкой противореза на ее угол, при котором клубень не перекатывается через нож, а происходит его защемление. Значения вылета ножа устанавливались, исходя из зоотехнических требований, предъявляемых к измельченным частям корнеклубнегидлов. Минимальное значение зазора  $S$  ограничено максимальным вылетом ножа, максимально - размерами исследуемых клубней. Результаты экспериментальных исследований представлены в приложении А.

В результате проведенных экспериментов выявлено, что с увеличением зазора  $S$  (рисунок 3.7) вне зависимости от размеров клубня и вылета ножа значение предельного угла защемления снижается (рисунок 4.2..4.4). Это объясняется тем, что с уменьшением зазора между кромкой противореза и режущей тарелкой снижается момент опрокидывания клубня относительно режущей кромки ножа.

Как видно из графиков, при вылете ножа  $h = 20$  мм, угол наклона противореза при размерах клубня, менее 70 мм достигает значения 90° и при зазоре  $S$ , равном 30 мм, гарантировано обеспечивает защемление клубня (рисунки 4.2, 4.3).

При размерах ктубня, менее 60 мм, угол наклона противореза принимает значение  $90^\circ$  при высоте ножа, более 10 мм (рисунок 4.2), при снижении  $h$  до 5 мм необходимо уменьшать угол  $\alpha$  до  $40\ldots60^\circ$ .



$$\alpha = 25 + 3,25 * S - 0,075 * S^2 \text{ (при } h=5 \text{ мм)}$$

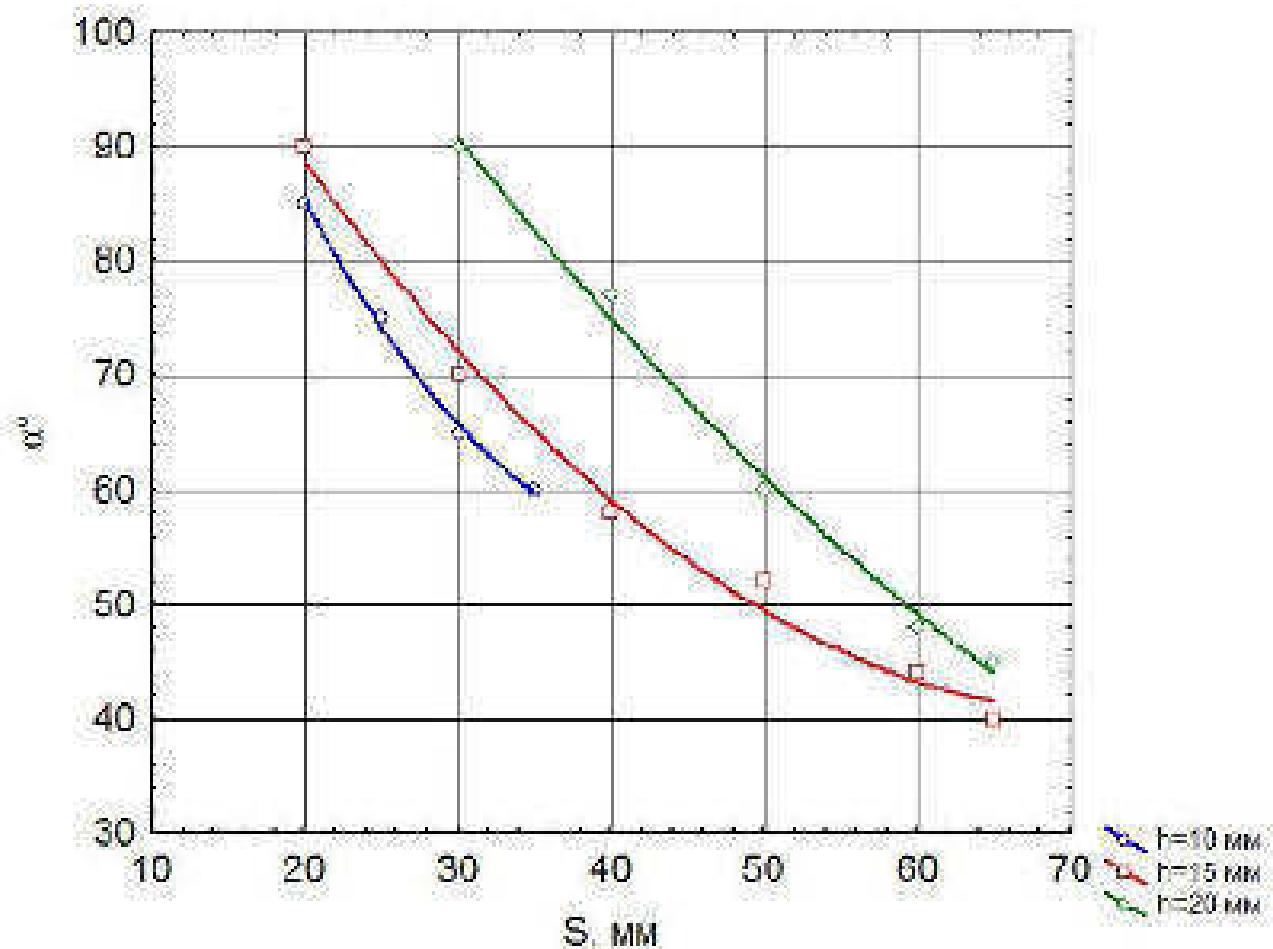
$$\alpha = 125,6 - 2,16 * S + 0,02 * S^2 \text{ (при } h=10 \text{ мм)}$$

$$\alpha = 142,85 - 2,155 * S + 0,0125 * S^2 \text{ (при } h=15 \text{ мм)}$$

$$\alpha = 228 - 4,45 * S + 0,025 * S^2 \text{ (при } h=20 \text{ мм)}$$

Рисунок 4.2 - Влияние зазора  $S$  на угол защемления ктубня  $\alpha$  при  $d_{нл} = 60$  мм

В случае измельчения ктубней, диаметр которых составляет около 70 мм, для гарантированного защемления ктубня при  $\alpha = 90^\circ$  необходимо вылет ножа устанавливать не менее 15 мм (рисунок 4.3). При вылете ножа менее 10 мм защемление не происходит и ктубень перекатывается через нож при любых значениях зазора  $S$ .



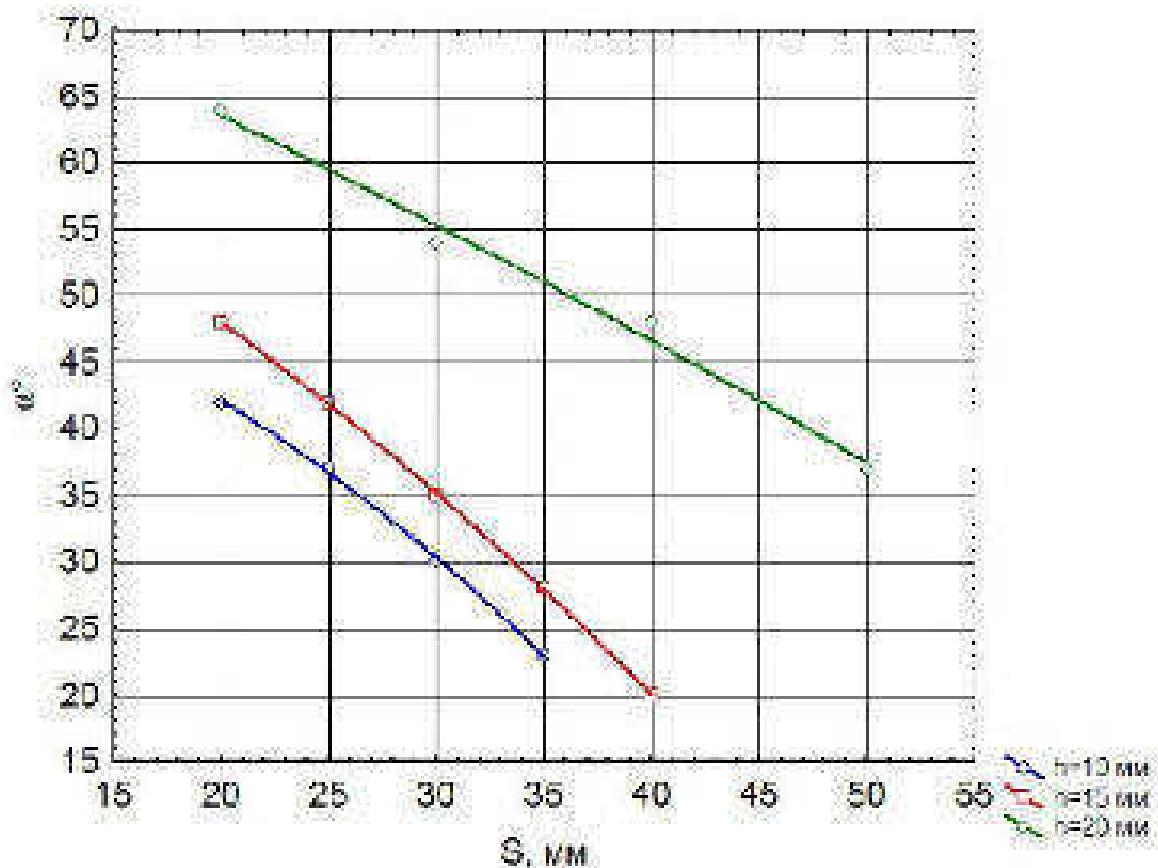
$$\alpha = 154,25 - 4,45 * S + 0,05 * S^2 \text{ (при } h=10 \text{ мм)}$$

$$\alpha = 131,9192 - 2,5061 * S + 0,0171 * S^2 \text{ (при } h=15 \text{ мм)}$$

$$\alpha = 150,0107 - 2,2663 * S + 0,0098 * S^2 \text{ (при } h=20 \text{ мм)}$$

Рисунок 4.3 - Влияние зазора S на угол защемления кубня при  $d_{\text{kub}} = 70$  мм

При диаметре кубня, более 80 мм угол наклона противорече не достигает максимально возможного значения  $90^\circ$ , независимо от S и h (рис. 4.4). Поэтому при измельчении корнеплодов, диаметр которых превышает 80 мм, необходимо задавать h, равное 15...20 мм, а угол наклона  $\alpha > 40...60^\circ$ .



$$\alpha = 53,7 \cdot 0,18 \cdot S - 0,02 \cdot S^2 \text{ (при } h=10 \text{ мм)}$$

$$\alpha = 66,3857 \cdot 0,7143 \cdot S - 0,0114 \cdot S^2 \text{ (при } h=15 \text{ мм)}$$

$$\alpha = 78,45 \cdot 0,695 \cdot S - 0,0025 \cdot S^2 \text{ (при } h=20 \text{ мм)}$$

Рисунок 1.1 - Влияние зазора  $S$  на угол защемления клубня при  $d_r = 80$  мм

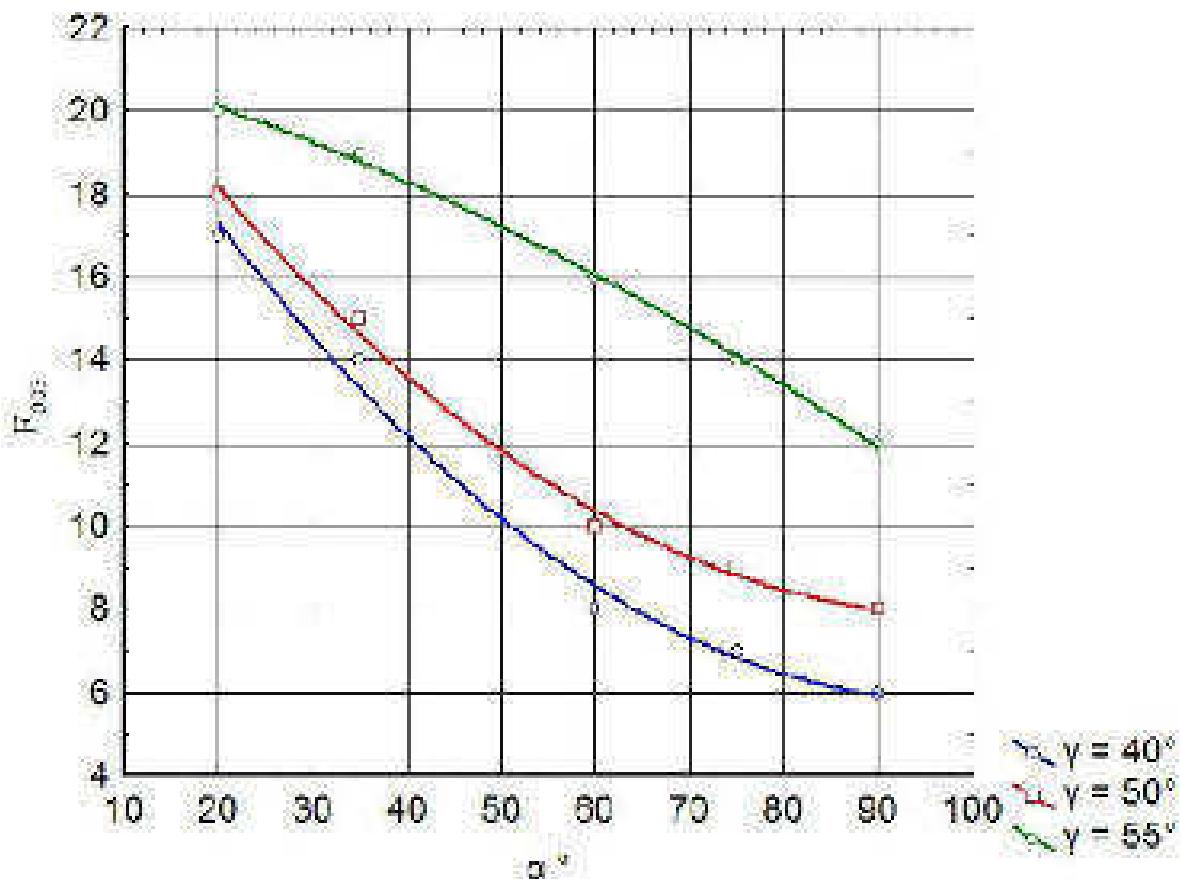
Также рассматривался случай с углом резания  $\gamma = 110^\circ$ . В данном случае клубень под действием ножа смешался к центру вращения режущей тарелки, и защемления корнеплода не наблюдалось. Поэтому при дальнейших исследованиях угол резания принимали менее  $90^\circ$ .

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что с целью гарантированного защемления клубня между ножом и противорезом в разработанном измельчителе необходимо зазор  $S$  между кромкой противореза выполнять минимальным ( $S = 20$  мм), выпуклость ножа  $h$  – максимальным ( $h = 20$  мм), угол наклона противореза при измельчении корнеклубнеголов размером до 80 мм может быть равен  $90^\circ$ , а при измельчении клубней размером, свыше 80 мм – минимум  $60^\circ$ , угол резания не должен превышать  $90^\circ$ .

#### 4.4 Результаты испытаний по изучению процесса резания клубней

Определение силы резания проводили согласно методике, описанной в разделе 3.3.3. Изучалось влияние угла резания у ножа и угла наклона противореза (рисунок 3.7). Значения угла резания ножа у установки неались, исходя из рекомендаций и составляли около  $45^\circ$  (Приложение Б).

Значения угла  $\alpha$  наклона противореза принимались, исходя из результатов по определению угла защемления.



$$F_{\text{рез}} = 23,933 \cdot 0,3684 \cdot x + 0,0019 \cdot x^2 \quad (\text{при } \gamma = 40^\circ)$$

$$F_{\text{рез}} = 24,0436 \cdot 0,3268 \cdot x + 0,0017 \cdot x^2 \quad (\text{при } \gamma = 50^\circ)$$

$$F_{\text{рез}} = 21,4974 \cdot 0,0587 \cdot x - 0,0005 \cdot x^2 \quad (\text{при } \gamma = 55^\circ)$$

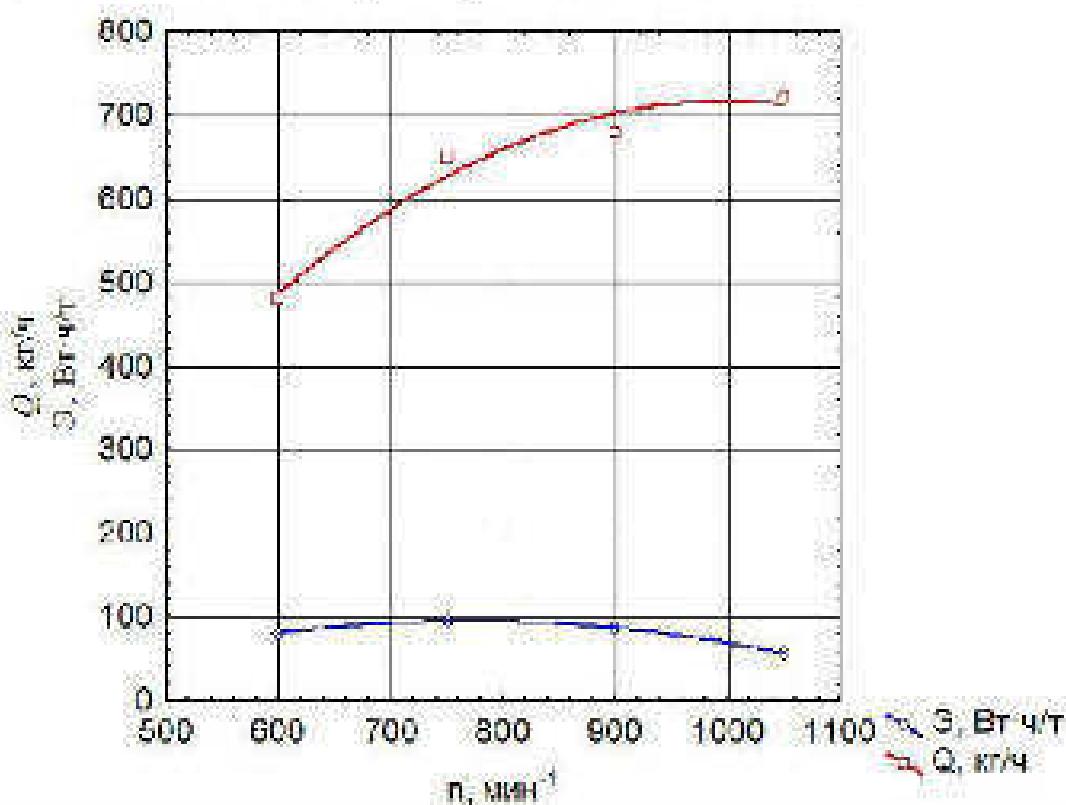
Рисунок 4.5 - Влияние угла резания ножа и угла наклона противореза на силу резания

В результате проведенных экспериментов выявлено, что с увеличением угла наклона противореза усилие резания снижается и при увеличении  $\alpha$  с  $30$  до  $90^\circ$  уменьшается в  $1,67 \dots 2,45$  раза (рисунок 4.5).

Уменьшение угла резания с 55° до 40° также ведет к снижению усилия резания в 1,17...2 раза.

Вторым этапом изучения процесса резания является выяснение работоспособности разработанного измельчителя корнеклубнеподож и определение наиболее перспективной конструктивно-технологической схемы установки.

Изучалось влияние частоты вращения и режущей тарелки на рабочие характеристики измельчителя. Испытания проводили на картофеле, средний диаметр клубней которого составлял 43...45 мм (рисунок 4.6). Частоту вращения режущей тарелки задавали равной 1050 мин<sup>-1</sup>, 900 мин<sup>-1</sup>, 750 мин<sup>-1</sup> и 600 мин<sup>-1</sup>. Угол наклона ножей в 45° выбраны как максимально рекомендованные значения углов резания ножей.



$$\dot{E}, \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{т} = -202,45 + 0,771 \cdot x - 0,0005 \cdot x^2$$

$$Q, \text{ кг}/\text{ч} = 722,5 + 2,8833 \cdot x - 0,0014 \cdot x^2$$

Рисунок 4.6 – Влияние частоты вращения  $n$  измельчающей тарелки на производительность  $Q$  измельчителя и его удельную энергоемкость  $\dot{E}$

Анализ полученной зависимости показывает, что при максимальной частоте вращения режущей тарелки  $n = 1150 \text{ мин}^{-1}$ , производительность  $Q = 720 \text{ кг/ч}$ , а удельные энергозатраты минимальны  $\dot{Q} = 56 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{т}$ .

#### 4.5. Выводы

В результате определения размерно-массовых характеристик картофеля было установлено, что содержание частиц размером от 3 до 15 мм составляет 45...60 %, производительность измельчителя - 740...760 кг/ч, затраты электроэнергии, относимые к единице массы готового корма - 50...65 Вт·ч/т.

Выявлено, что для гарантированного защемления клубня между ножом и противорезом в разработанном измельчителе необходимо зазор  $S$  между кромкой противореза и режущей тарелкой выполнять минимальным ( $S = 20 \text{ мм}$ ), вылет ножа  $h$  - максимальным ( $h = 20 \text{ мм}$ ), угол наклона противореза при измельчении корнеклубнеплодов размером до 80 мм может быть равен  $90^\circ$ , а при измельчении клубней размером, свыше 80 мм – минимум  $60^\circ$ , угол резания не должен превышать  $50^\circ$ .

1. Выявлено, что:

- для снижения силы резания угол наклона противореза должен стремиться к  $90^\circ$ , угол резания ножей не должен превышать  $50^\circ$ ;
- для снижения удельных энергозатрат, увеличения производительности установки и содержания фракции измельченных корнеплодов размером до 15 мм необходимо увеличивать количество ножей и скорость резания.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основе выполненного анализа существующих технологических схем измельчителей корнеплодов и предъявляемых к ним зоотехнических требований предложен измельчитель сочных кормов. Измельчитель содержит раму, рабочую камеру цилиндрической формы, тарелку с ножами, который берет привод от электродвигателя соединенную напрямую с тарелкой, противорез, который установлен на стене рабочей камеры. В нижней части рабочей камеры находится выгрузное окно. Загрузка в рабочую камеру осуществляется сверху, выгрузка смеси - через выгрузное окно за счет выгрузных лопаток установленных на тарелке. Тарелка с ножами приводится в движение от однофазного коллекторного электродвигателя, с возможностью регулирования частоты вращения, установленный на основании.

Исследован процесс измельчения корнеклубнеплодов (картофеля) на экспериментальном стендде и определены зависимости гарантированного защемления ктубня между ножом и противорезом, усилия резания от угла резания ножа и угла наклона противореза и влияния частоты вращения и режущей тарелки на рабочие характеристики измельчителя. В результате проведенных экспериментов и обработки их результатов, были построены соответствующие графики.

На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что для снижения силы резания угол наклона противореза должен стремиться к  $90^\circ$ , угол резания ножей не должен превышать  $50^\circ$ ; для снижения удельных энергозатрат, увеличения производительности установки и содержания фракции измельченных корнеплодов размером до 15 мм необходимо увеличивать количество ножей и скорость резания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1009330 А 01 F 29/06 Измельчитель корнеклубнеплодов. Фарисов В.Г., Полтавец А.В., Сухоруков В.В., Лишако А.А. Опубл. 30.07.89, Б.И. № 28.
2. А.с. № 1033062 А 01 F 29/02 Измельчитель кормов. Беспамятнов А.Д., Надеждин А.В., Горбунов А.А., Бахчинников Н.И. Опубл. 23.07.85, Б.И. № 27.
3. А.с. № 1094862 А 01 F 29/00 Измельчитель корнеплодов. Кононов Б.В., Овчинников А.А., Лифатов В.Б. Опубл. 14.07.86, Б.И. № 20.
4. А.с. № 1195948 А 01 F 29/00 Измельчитель корнеплодов и бахчевых. Богатов В.А., Горюшинский В.С., Зотов Е.И., Лазарев В.И. Опубл. 07.02.88, Б.И. № 5.
5. А.с. № 1232178 А 01F 29/00 Измельчитель кормов. Фартушный В.Т., Зырин Р.В., А.И. Бугров. Опубл. 23.05.86, Б.И. № 19.
6. А.с. № 226430 А 01F 29/00 Измельчитель материалов. Бочаров А.Н., Щебоеев Э.А. Опубл. 07.10.81, Б.И. № 37.
7. А.с. № 554839 А 01 F 29/00 Измельчитель кормов. Городицкий В.У., Москаленко Л.В., Садовский М.Ф. Опубл. 07.06.83, Б.И. № 21.
8. А.с. № 651752 А 01F 29/00 Измельчитель кормов. Прокопов О.И., Плохов Ф.Г. Опубл. 15.03.79, Б.И. № 10.
9. А.с. № 725614 А 01F 29/06 Измельчитель кормов. Тищенко И.И. Опубл. 30.06.82, Б.И. № 24.
10. А.с. № 793473 А 01F 29/00 Измельчитель кормов. Гтухих В.П. Опубл. 07.01.81, Б.И. № 1.
11. А.с. № 89910 В 02 С 19/20 Рабочий орган измельчителя корнеклубнеплодов. Кравчук С.В. Опубл. 07.04.83, Б.И. № 13.
12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Граповский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. -М.: Наука, 1976. - 280 с.
13. Астахов А.С., Еленев А.В. Краткий справочник по машинам и оборудованию животноводческих ферм. -М.: Колос, 1977, с. 33..38.

14. Анихман И.Н., Костин Г.Н., Лисунова В.Н. Результаты сравнительных испытаний измельчителей грубых кормов комплексным показателем. - Механизация и электрификация в животноводстве и кормопроизводстве. - Сб. научных трудов. Кировский СХИ, - Пермь, 1981, с. 30..34.
15. Баканов В.Н., Менкин В.К. Кормление сельскохозяйственных животных. - М.: Агропромиздат, 1989. - 511 с.
16. Батищев В.Д. Оценка длины резки стебельчатых кормов. - Научно-технический бюллетень по электрификации сельского хозяйства / ВИЭСХ. М.: 1978, вып.3 (36), с. 52..55.
17. Белов М.И. Методика расчета цилиндрического измельчающего аппарата. - Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1986, № 4, С.27..28.
18. Березовский А.А. Технология производства кормов. - М.: Колос, 1972. - 235 с.
19. Беспамятнов А.Д., Надеждин А.В. и др. Технология изготовления и скармливания комбикорма. - Зерноград, ВНИПТИМЭСХ, 1984. - 36 с.
20. Богатов В.А. Совершенствование технологии подготовки к скармливанию корнеклубнеплодов и обоснование конструкции измельчителя. Дисс. канд. техн. наук. - Рязань, 1989. - 218 с.
21. Богатов В.А., Лазарев М.В. Ассортимент конструкций и классификация измельчителей корнеклубнеплодов. - Ресурсосберегающие рабочие органы сельскохозяйственных машин. / Сборник научных трудов. - Ульяновск, ГСХА, 1997, С.29..36.
22. Богданов Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных. - М.: Агропромиздат, 1990. - 624 с.
23. Бондарев В.А. Чтобы корм был высококачественным. - Кормопроизводство, 1985, № 9, с. 12..14.
24. Босой Е.С. К теории резания стеблей сельскохозяйственных растений. - Труды / ВИСХОМ, 1958, вып. 1, с. 69..110.
25. Босой Е.С. Скорость резания стеблей сельскохозяйственных культур. - Сельхозмашна, 1953, № 4, с.19.,22.

26. Бремер Г.И. Основы теории резания лезвием и расчет режущих машин животноводческих ферм. - М.: ВСХИЗО, 1963. - 80 с.
27. Бульгин А.А., Ермичев В.А. и др. К исследованию физико-механических свойств смерзшихся материалов. - Труды / Пермский СХИ, 1969, С.3..б.
28. Буринстрова М.Ф. и др. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. - М.: Сельхозиздат, 1956. - 426 с.
29. Вагин Б.И., Чугунов А.И., Мирзоянц Ю.А и др. Лабораторный практикум по механизации и технологиям животноводства. Великие Луки - 2003. - 535 с.
30. Ванюсов Ю.А. Механические цепи сельскохозяйственных машин. - Мордовский государственный университет. - Саранск, 1980. - 108 с.
31. Василенко И.Ф. Экспериментальная теория режущих аппаратов. / В кн. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин, 1963, т. 4, с. 68...76.
32. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. - М.: Колос, 1973. - 199 с.
33. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1969. - 572 с.
34. Волков И.Е., Зиганшин Б.Г., Лукманов Р.Р., Мухаметдинов М.Н., Сидиков Ф.Ф. Механизация приготовления и раздачи кормов / Методические указания по дисциплине механизация технологии животноводства. Ч.1 / Казань: Изд-во Казанск. ГАУ, 2008. - 72 с.
35. Воронок В.А., Шляиков А.И. и др. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. М.: Колос, 1970. - 423 с.
36. Выгодской М.Я. Справочник по высшей математике. - М.: Наука, 1966. - 658 с.
37. Гийо Р. Проблема измельчения материалов и ее развитие. М.: Издательство литературы по строительству, 1964. - 111 с.
38. Городецкий В.И., Дмитриев В.С. и др. Элементы теории испытаний и контроля технических систем. - Л.: Энергия, 1978. - 192 с.
39. Замалдинов Н.М. Обзор измельчителей-раздатчиков кормов для фермерских хозяйств / Н.М. Замалдинов, Р.Р. Лукманов, Б.Г. Зиганшин //

- Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы Труды III международной научно-практической конференции. 2019. С. 86-90.
40. Замалдинов Н.М. Экспериментальная установка для измельчения сочных кормов / Н.М. Замалдинов, Р.Р. Лукманов, И.Р. Нафиков // Материалы 78-ой студенческой (региональной) научной конференции «Студенческая наука – аграрному производству», Казань. – 2020.
41. Илгерс А.Т. Энергоёмкость измельчителей сочных кормов и величина частиц. / Труды Латвийского НИИМЭСХ. - Р.: Звайгзне, 1970, т. 3, с. 108...119.
42. Ильдутов А.Н. Обзор теорий измельчения. – Ресурсосберегающие рабочие органы сельскохозяйственных машин. / Сборник научных трудов. Ульяновск, ГСХА, 1997, с. 48...60.
43. Курдюмов В.И. Разработка и исследование машин для механизации животноводства и их рабочих органов. Ульяновск, 2002. - 159 с.
44. Маркова Е.В., Лисенков А.Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. - М.: Наука, 1973. - 220 с.
45. Мельников С.В. и др. Планирование эксперимента в исследовании сельскохозяйственных процессов. - Л.: Колос, 1980. - 168 с.
46. Смирнов Р.А. Совершенствование конструкции и обоснование основных параметров измельчителя корнеклубнеплодов: дис. ... канд. техн. наук. Нижегород. гос. инженер.-эконом. университет, Чебоксары, 2017.
47. Хабарова В. В. Разработка измельчителя корнеплодов с обоснованием его параметров и режимов работы / Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Хабарова Виктория Валерьевна. Уфа: 2011. - 20 с.
48. Яблочкиев В.И. Практикум по механизации приготовления и раздачи кормов. - М.: Колос, 1992. - 272 с.

## Приложение А

Влияние зазора  $S$  на угол защемления кубика  $\alpha$   
при  $d_{кл} = 60$  мм

$S$ , мм	угол защемления кубика $\alpha$ °			
	$h = 5$ мм	$h = 10$ мм	$h = 15$ мм	$h = 20$ мм
20	60	90		
30	55	80	90	
40	35	70	75	90
50		68	68	68
60			58	51

Влияние зазора  $S$  на угол защемления кубика  $\alpha$   
при  $d_{кл} = 70$  мм

$S$ , мм	угол защемления кубика $\alpha$ °		
	$h = 10$ мм	$h = 15$ мм	$h = 20$ мм
20	85	90	
25	75		
30	65	70	90
35	60		
40		58	77
50		52	60
60		44	43
65		40	45

Влияние зазора  $S$  на угол защемления кубика  $\alpha$   
при  $d_{кл} = 80$  мм

$S$ , мм	угол защемления кубика $\alpha$ °		
	$h = 10$ мм	$h = 15$ мм	$h = 20$ мм
20	42	48	64
25	37	42	
30	30	35	54
35	23	28	
40		20	48
45			
50			37

## Приложение Б

Влияние угла резания  $\gamma$ ° ножа и угла наклона противореза  $\alpha$ °  
на силу резания  $F_{рез}$

$\alpha$ °	$F_{рез}$		
	при $\gamma = 40^\circ$	при $\gamma = 50^\circ$	при $\gamma = 55^\circ$
20	17	18	20
35	14	15	19
60	8	10	16
75	7	9	14
90	6	8	12

Влияние частоты вращения  $n$  измельчивающей тарелки на производительность  $Q$  измельчителя и его удельную энергоемкость  $\mathcal{E}$

$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\mathcal{E}$ , Вт·ч/т	$Q$ , кг/ч
600	80	480
750	95	650
900	86	680
1050	56	720