

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Волгоградский государственный аграрный университет»**

УДК 631.363

*На правах рукописи*



**МАМАХАЙ АНЖЕЛА КАНВЕКОВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ  
КОРМОВОЙ СВЁКЛЫ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
доцент Федорова О.А.

Волгоград – 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Кормопроизводство в условиях Нижнего Поволжья .....	9
1.2 Анализ использования корнеклубнеплодов в рационах КРС. Требования к качеству корнеклубнеплодов .....	10
1.3 Анализ конструктивных особенностей и рабочих процессов машин для измельчения корнеклубнеплодов .....	14
1.4 Цель и задачи исследования .....	28
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ КОРМОВОЙ СВЁКЛЫ.....	29
2.1 Конструктивная схема измельчителя.....	31
2.2 Выбор частных показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы .....	33
2.3 Выбор комплексного критерия оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы .....	39
2.4 Выводы по главе 2.....	42
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	43
3.1 Программа и методика исследования измельчения кормовой свёклы для кормления КРС .....	43
3.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению технологических свойств кормовой свёклы.....	44
3.3 Методика по определению коэффициента трения корнеклубнеплодов .....	47
3.4 Исследование влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы.....	50
3.5 Экспериментальная лабораторная установка измельчителя кормовой свёклы .....	52
3.6 Выводы по главе 3.....	56

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	57
4.1 Физико-механические свойства корнеклубнеплодов.....	57
4.2 Результаты исследований коэффициента трения корнеклубнеплодов .	59
4.3 Результаты исследований влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы .....	61
4.4 Результаты оптимизации конструктивных факторов ножевой стенки разработанного измельчителя кормовой свёклы при оценке усилия резания.....	66
4.5 Анализ технологий измельчения кормовой свёклы .....	70
4.6 Результаты оценки эффективности использования измельчителя по комплексному критерию .....	72
4.7 Выводы по главе 4.....	78
5 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	80
5.1 Стоимость изготовления измельчителя кормовой свёклы .....	80
5.2 Определение экономической эффективности разработанного измельчителя кормовой свёклы.....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	86
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	89
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	104
Приложение А. Результаты и анализ экспериментальных исследований	105
Приложение Б. Патенты и акты внедрения.....	108
Приложение В. Грамоты и дипломы.....	112

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Увеличение производства кормов, улучшение их качества и снижение себестоимости – это не только условие успешного выполнения задач, поставленных правительством РФ в области дальнейшего развития животноводства, но и повышения урожайности кормовых культур. Нарращивание производства сельскохозяйственной продукции остается первостепенной задачей нашей страны.

Одной из важнейших задач при переработке кормовой свёклы, в том числе при подготовке к скармливанию, обязательным является её измельчение. Качество измельчения кормовой свёклы, затраты труда, энергии и ряда других важнейших показателей во многом определяются конструктивными особенностями применяемого измельчителя.

В связи с этим, решение задачи по повышению эффективности измельчения кормовой свёклы на основе применения надежного и высокопроизводительного измельчителя, обеспечивающего снижение материальных и трудовых затрат, потерь питательных веществ – актуально и имеет большое значение для сельскохозяйственного производства.

**Степень разработанности темы.** Проблемой измельчения корнеклубнеплодов занимались многие учёные. Среди них можно выделить работы Горячкина В.П., Новикова Г.И., Антонова Н.М., Гулевского В.А., Булатова С.Ю., Брусенкова А.В., Завражнова А.И, Савиных П.А., Саенко Ю.В., Овчинниковой Н.И., Фролова В.Ю., Шуханова С.Н. и многих других. Однако, из анализа работ следует, что известные измельчители корнеклубнеплодов не позволяют получить в полной мере измельчённый материал необходимого качества и не отвечают современным требованиям по затратам энергии на процесс измельчения и качеству получаемого продукта, имеют низкую техническую и технологическую надежность. Поэтому предлагаемый измельчитель кормовой свёклы с двумя камерами измельчения существенно снижает

удельные энергетические затраты на измельчение, повышает производительность измельчения и качество готового продукта.

**Цель работы.** Повышение эффективности измельчения кормовой свёклы за счет применения усовершенствованного измельчителя, использование которого обосновано по комплексному критерию эффективности.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить анализ существующих машин для измельчения кормовой свёклы.

2. Разработать конструктивно-технологическую схему измельчителя кормовой свёклы, обосновать единичные (частные) показатели и разработать комплексный критерий оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы.

3. Разработать программу и методику проведения экспериментальных исследований измельчения кормовой свёклы для кормления КРС.

4. Провести экспериментальные исследования разработанного измельчителя кормовой свёклы и оценить эффективность его использования по комплексному критерию эффективности при измельчении кормовой свёклы существующим и предлагаемым измельчителями.

5. Выполнить технико-экономическое обоснование применения разработанного измельчителя кормовой свёклы.

**Объект исследования.** Технологический процесс резания кормовой свёклы разработанным измельчителем.

**Предмет исследования:** условия и режимы измельчения кормовой свёклы в измельчителе.

**Научная новизна работы:**

- математическая зависимость комплексного критерия эффективности использования измельчителя кормовой свёклы от совокупности частных показателей;

- конструктивно-технологическая схема измельчителя кормовой свёклы;

- уравнение регрессии, описывающее зависимость усилия резания при измельчении кормовой свёклы от геометрических и режимных параметров измельчителя.

Техническую новизну конструкции измельчителя кормовой свёклы подтверждает патент РФ № 2729524.

### **Теоретическая значимость работы.**

Аналитически обоснован комплексный критерий эффективности использования измельчителя кормовой свёклы.

Обоснованы геометрические и режимные параметры измельчителя кормовой свёклы усовершенствованной конструкции по минимуму величины усилия резания кормовой свёклы.

### **Практическая значимость работы.**

Даны практические рекомендации по использованию измельчителя кормовой свёклы усовершенствованной конструкции.

Разработан и испытан измельчитель кормовой свёклы усовершенствованной конструкции, позволяющий существенно снизить удельные энергетические затраты на измельчение, повысить производительность измельчения и качество готового продукта.

**Методология и методы исследования.** Методологической основой теоретических исследований являются основы теории эффективности, классической механики и математической статистики. Вычислительные операции осуществлялись с использованием программного продукта Microsoft Excel 2010. Эксперименты проводились с применением выпускаемых промышленностью и специально изготовленной измерительной аппаратуры и устройств, стандартных и частных методик по планированию и обработке опытных данных.

### **Положения, выносимые на защиту:**

- совокупность единичных (частных) показателей и комплексный критерий оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы;

- схема и конструктивные особенности измельчителя кормовой свёклы, результаты оптимизации его геометрических и режимных параметров;
- результаты оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы по комплексному критерию;
- технико-экономические показатели использования измельчителя кормовой свёклы усовершенствованной конструкции.

**Реализация результатов исследования.** Изготовленный опытный образец измельчителя кормовой свёклы прошел испытания в двух хозяйствах Волгоградской области: ИП Алмазова П.К. Кумылженского района и ИП Глава КФХ Касьян А.Н. Старополтавского района.

**Степень достоверности.** Достоверность экспериментальных результатов подтверждается необходимым количеством эмпирических данных и высокой степенью их точности, выполнением статистической обработки полученных данных на основе типовых компьютерных программ; теоретические предпосылки основаны на известных положениях теории эффективности технических систем; идея базируется на анализе результатов экспериментальных данных и теоретических положений комплексной оценки эффективности, разработанных ранее А.И. Рядновым, О.А. Федоровой, В.Е. Бердышевым, Р.В. Шариповым, С.А. Давыдовой с учетом современных достижений науки в данной области; применены современные методики обработки результатов экспериментов; при сборе и обработке экспериментальных данных использованы ГОСТы и общепринятые методики.

**Вклад автора** состоит в формулировании цели и задач исследований, изучении литературных источников по теме исследования, проведении теоретических исследований, лабораторных и хозяйственных испытаний, обосновании параметров измельчителя кормовой свёклы, определении частных показателей и расчёте комплексного критерия эффективности использования измельчителя кормовой свёклы.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований по теме диссертационной работы доложены, обсуждены на международных

научно-практических конференциях и региональных конференциях молодых исследователей Волгоградской области ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ» (2014-2022гг.), международной научно-технической конференции ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (2019г.), международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский ГАУ» (2020г.), Всероссийской научно-практической онлайн-конференции ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет» (2020г.), I-й Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева» (2021г.).

**Публикации.** Результаты исследований опубликованы в 12 научных работах общим объемом 4,3п.л. (2,6 п.л. приходится на долю автора), в том числе 4 работы – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, одна в издании, индексируемом в базе данных Scopus. По материалам работы получено 2 патента на изобретения.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 114 страницах машинописного текста, из них 103 страниц основного текста, содержит 23 таблицы, 42 рисунка и 3 приложения. Список литературы включает 125 наименований.



# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Кормопроизводство в условиях Нижнего Поволжья

Волгоградская область – один из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции как в Нижнем Поволжье, так и в России в целом. Посевная площадь Волгоградской области сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий под урожай в 2020 г. составляет 3085,5 тыс.га., где 67,5% - зерновые и зернобобовые культуры, 27,6 % – технические культуры, 38% - кормовые культуры, 2,1% картофель и овощебахчевые культуры [53].

Расширение площадей орошения для стабильного производства кормов, меры господдержки сельхозорганизациям и фермерам способствовали стабилизации численности поголовья КРС, увеличению продуктивности сельскохозяйственных животных. За последние 10 лет (с 2009 г. по 2019 г.) увеличилось поголовье крупного рогатого скота на 2,4 тыс. голов, в том числе на 21,4 тыс. коров. Около 30% в валовом производстве продукции сельского хозяйства Волгоградской области составляет продукция животноводства.

Развитие животноводства остается приоритетом для всего агропромышленного комплекса, при поддержке программы федеральных, региональных и целевых программ. Важную роль сыграла реализация программы развития агропромышленного комплекса России на период до 2025 года определяет стратегические цели, приоритеты и направления развития сельского хозяйства обеспечить население страны, повышается не менее чем на 25% технологий производства высококачественных кормов, кормовых добавок для животных [74].

Успешное развитие животноводства возможно лишь при создании прочной кормовой базы, удовлетворяющей потребности скота в разнообразных высокопитательных кормах.

Важнейшим условием увеличения производства кормов является повышение урожайности кормовых культур, а также выращивание таких растений, которые в конкретных почвенно-климатических условиях обеспечивают наибольший выход продукции с единицы площади. Этим требованиям в полной мере отвечают кормовые корнеклубнеплоды [77].

С точки зрения ветеринарной санитарии и гигиены все корма должны быть доброкачественными, т.е. свободными от вредных и токсических веществ, механических примесей, ограничивающих применение кормов или снижающих их питательность, а также вызывающих заболевания [43, 64].

## **1.2 Анализ использования корнеклубнеплодов в рационах КРС. Требования к качеству корнеклубнеплодов**

В основу норм и рационов кормления для КРС заложены принципы сбалансированного питания по детализированным нормам, это обеспечивает его питательными веществами и энергией, макро- и микроэлементами в соответствии с физиологической потребностью. Животный организм затрачивает значительное количество чистой энергии на переваривание и усвоение питательных веществ. Кормовые рационы, правильно составленные из большого количества разнообразных кормовых средств, могут быть использованы для КРС лучше, нежели однообразные, неполноценные и невкусные кормовые дачи [28, 35, 37, 87]. «Если не придерживаться кормовых норм, то в рационе может оказаться избыток одних веществ и недостаток других, в этом случае корм будет использоваться нерационально, усвояемость его животными снизится, а следовательно, уменьшится» и их продуктивность [69, с. 44-45].

Установлено, что КРС «нуждается в 80% питательных и биологически активных веществах: белках, незаменимых аминокислотах, клетчатке, крахмале, сахарах, жире, минеральных веществах, микроэлементах, витаминах» [33, с. 13].

Тип кормления определяется преимущественным содержанием того или иного корма в рационе. Он отражает сложившуюся зональную структуру кормовой базы или хозяйства и может меняться в течение года в связи с уровнем продуктивности и физиологическим состоянием организма животного (рисунок 1.1) [1, 23, 56, 61, 75].

«При балансировании рационов следует учитывать все условия, которые могут оказывать положительное или отрицательное влияние на усвоение питательных веществ корма. Разнообразие кормов в рационах, их высокое качество и соответствующий химический состав являются основными условиями повышения полноценности кормления и улучшения использования питательных веществ» [55, с. 72].

Кормление обычно определяется теми кормами или группами кормов, которые в рационе преобладают. Большое влияние на тип кормления крупного рогатого скота оказывает наличие сочного корма [54].

Сочные корма - корма растительного происхождения, содержащие в своем составе значительное количество воды - около 70 - 92 %. Значение сочных кормов очень велико. Эти корма легко усваиваются организмом животных, содержат большое количество углеводов, витаминов и минеральных веществ.

К сочным кормам относятся: корнеклубнеплоды, зелёный корм, пастбищная трава и посевные культуры.

При скармливании корнеклубнеплодов увеличивается активность микробиологических процессов пищеварительного тракта, что способствует лучшему использованию небелкового азота других кормов. Они нейтрализуют кислотность корма, тем самым способствуют увеличению удоев и жирности молока, а также ускорению откорма животных [42].

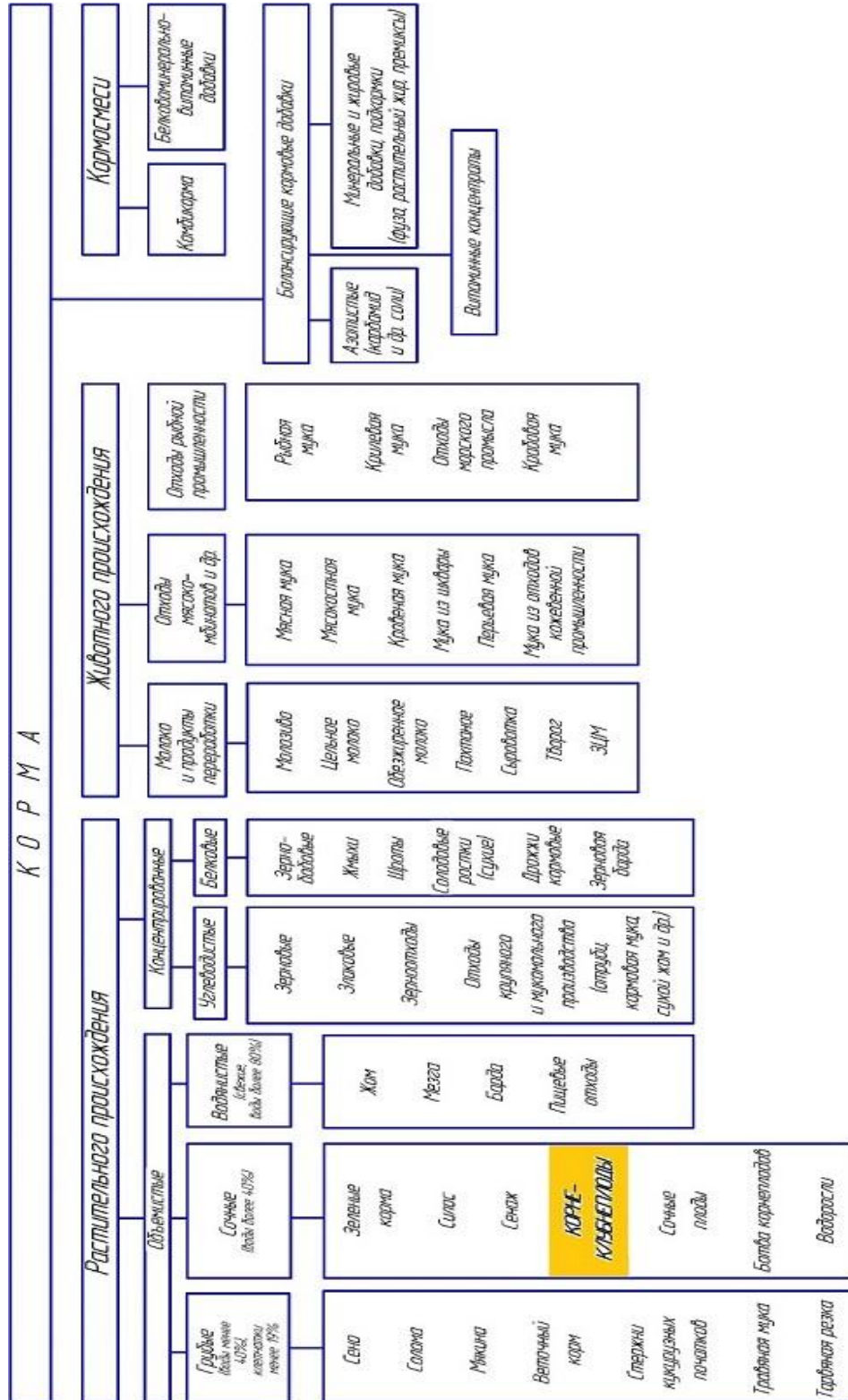


Рисунок 1.1 - Классификация кормов

К корнеклубнеплодам относят: кормовую свёклу, кормовую морковь, брюкву, турнепс, картофель и др. Перечисленные культуры дают свежий сочный корм, который при надлежащих условиях хранения может быть использован в течение всего зимнего периода, когда нет свежего зеленого корма [5, 14, 41, 65].

Суточный рацион состоит из корнеклубнеплодов: кормовой свёклы – 5 кг; кормовой морковки – 7 кг; бахчевых – 8 кг; зелени – 30 кг; сена – 1 кг. Доброкачественные корма отличаются высокими вкусовыми качествами и хорошей поедаемостью, относятся к числу молокогонных кормов. Корнеклубнеплоды - вкусный, охотно поедаемый животными, прекрасный в диетическом отношении корм. Хранят корнеклубнеплоды в буртах, ямах, специальных хранилищах при температуре +1, -2° или в силосованном виде. При высокой агротехнике в урожае корнеклубнеплодов с единицы площади больше питательных веществ, чем у других кормовых растений - травы и зерновых. Корнеклубнеплоды используются как энергетическая добавка. «Содержание сырого протеина в сухом веществе колеблется в пределах 4...12 %, при этом около половины его представлено в форме небелковых азотистых соединений. Корнеплоды характеризуются малым содержанием зольных элементов, из которых больше всего солей калия и очень мало кальция и фосфора» [13, с. 7].

Пригодность для длительного хранения различных видов корнеклубнеплодов неодинакова и находится в обратной зависимости от их влажности. Наиболее продолжительное время хранится кормовая свёкла и картофель, затем брюква, кормовая морковь и турнепс. Кормовая свёкла, отличающаяся среди других корнеклубнеплодов имеет самое широкое распространение и является наиболее водянистой из всех культур. Содержание влаги в ней достигает 92%.

Однако благодаря «высокой урожайности корнеплодов выход питательных веществ с единицы площади у них больше, чем у других кормовых растений - травы и зерновых» [13, с. 7]. «Одним из наиболее ценных досто-

инств кормовой свеклы является высокое содержание в ней углеводов, главным образом, сахарозы. При содержании сухих веществ 11... 12 % количество углеводов в свекле составляет 6...7%.» [13, с. 9]. Минеральный состав кормовой свеклы представлен на рисунке 1.2 [27, 38, 39, 68].



Рисунок 1.2 - Химический состав кормовой свёклы

### 1.3 Анализ конструктивных особенностей и рабочих процессов машин для измельчения корнеклубнеплодов

Перед скармливанием корнеклубнеплоды необходимо мыть, оттаивать (если они мороженые) и измельчать. Наиболее энергоемкий и вместе с тем распространенный процесс подготовки кормов - измельчение.

«В соответствии с зоотехническими требованиями при скармливании корнеклубнеплодов свежими их очищают от земли и посторонних включений

так, чтобы загрязненность земель не превышала 2%, и измельчают до частичек 10...15 мм для крупного рогатого скота» [57, с. 8].

Измельчение корнеклубнеплодов фрезами, молотками, бичами, можно рассматривать как воздействие на материал тупого ножа. Ножи могут иметь прямое и криволинейное лезвие. Для измельчения материала различаются различные формы лезвий (рисунок 1.3) [90].

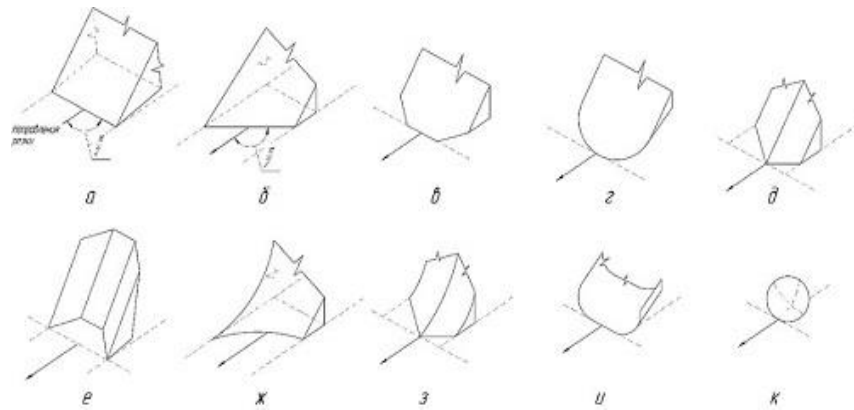


Рисунок 1.3 – Варианты резания ножа:

- а – плоский прямоугольный; б – плоский косоугольный;
- в – плоский прямоугольный клин с режущей кромкой, очерченной по ломаной линии; г – то же, по выпуклой кривой;
- д, е – нож двугранный и трехгранный; ж, з, к – косое криволинейный и криволинейный прямоугольный; и – гладкая односторонней заточки;
- д – гладкая двусторонней заточки.

«Высокая скорость воздействия и большая зона контакта рабочего органа с материалом требует больших затрат энергии, кроме того происходит нарушение клеточной структуры материала в зоне разрушения и, как следствие, обильное выделение сока. Высокая скорость отбрасывания измельченных частиц из зоны измельчения приводит к нарушению сил поверхностного натяжения сока, т.к. наблюдается эффект сепарации. Сок в свободном состоянии быстро окисляется, то есть имеет место веществ и снижение качества» [59, с. 17].

«Корнеклубнеплоды можно измельчать: - рубкой, в машинах КПИ-4, ИКМ-5; - ударом, штифтами (ИКС-5) и молотками (ИКС-5м, КДУ-2); - скоблением стружки, в машинах КПСК-ЮОО чехословацкого производства или Ф-120, выпускавшейся в Германии. Лучшее качество измельчения при меньшей энергоемкости обеспечивают измельчители, работающие по принципу рубки и скобления стружки. Последние, однако, более требовательны к состоянию корнеклубнеплодов, особенно в части загрязнения их ботвой и другими растительными остатками. Так как для соблюдения этих требований в хозяйствах имеются определенные трудности, то большее распространение получили измельчители, работающие по принципу удара, особенно молоткового типа, например, ИКС-5М. В измельчителях МРК-5 и ИКС-5 получается до 20-25% крупных частиц, то есть размером более 50 мм, а универсальные молотковые дробилки типа КДУ-2 переизмельчают массу, превращая ее в мезгу» [57, с. 18-19].

На рисунке 1.4 «представлены основные типы измельчающих аппаратов корнеизмельчителей» [13, с. 20].

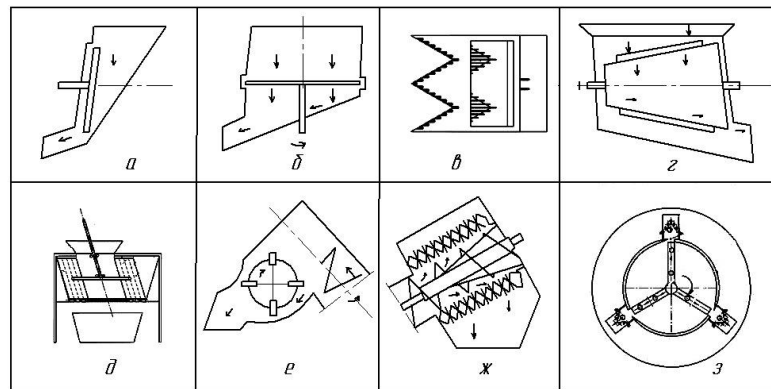


Рисунок 1.4 – «Типы измельчающих аппаратов корнеизмельчителей: а - вертикально-дисковый; б - горизонтально-дисковый; в - транспортерно-ножевой; г - барабанно-ножевой; д - роторный; е - молотковый; ж - шнеково-ножевой» [13, с. 20].

«По конструкции режущего аппарата различают барабанные и дисковые машины. Рабочим органом их является нож с различным углом заточки



(12...35°) в зависимости от назначения машины» [59, с. 16]. Для измельчения грубых кормов применяют соломорезки, для корнеклубнеплодов - корнерезки, а для зеленой массы - траворезки и силосорезки. Универсальные машины можно использовать для измельчения грубых кормов и силосной массы (соломосилосорезки) [40, 66, 67, 89].

Различают механические, тепловые, химические и биологические способы приготовления и подготовки кормов к скармливанию. К механическим способам относят измельчение (резание, дробление, размалывание и др.) плющение, смешивание; к тепловым - запаривание, сушку, заваривание; к химическим - обработку соляной кислотой, щелочами и другими химическими реагентами; к биологическим - силосование, дрожжевание, приготовление сенажа и др. Измельчение создает условия для осуществления всех последующих технологических операций по приготовлению кормов [44].

Кроме того, в результате измельчения значительно увеличивается общая поверхность корма и улучшается усвояемость.

Все питательные вещества, входящие в состав кормового рациона, надо давать КРС в наиболее усвояемом виде, чтобы обеспечить полную поедаемость корма и наиболее полное усвоение его организмом животных. С этой целью для кормоприготовления используют специальные машины и оборудование. Все измельчающие машины классифицируются по двум признакам: по степени измельчения и по способу измельчения. Процесс измельчения различных материалов связан со значительной затратой энергии [44].

Автор работы [4] рассматривая конструкцию измельчителя корнеклубнеплодов (рисунок 1.5), оборудованного блоками горизонтальных и вертикальных ножей, пришел к выводу, что энергоемкость процесса измельчения зависит в большей степени от угла защемления и скорости резания. При этом, в случае установки ножей со смещением относительно друг друга, т.е. с различными углами защемления, сопротивление резания корнеклубнеплодов на 10% меньше по сравнению с расположением ножей парал-

тельно друг другу, с одинаковым углом зацебления. Такой вывод справедлив, на наш взгляд, только для измельчителей с вращающимся блоком ножей. Для других конструкций измельчителей требуются теоретические и экспериментальные исследования сопротивления резанию корнеклубнеплодов [82].

Кроме того, сила сопротивления резанию также зависит от модуля упругости измельчаемого материала и от остроты инструмента [82, 111, 117, 121]. Для минимизации затрат энергии на резание рекомендуется угол заточки на кончике клина в пределах  $6 \dots 12^\circ$  [110].

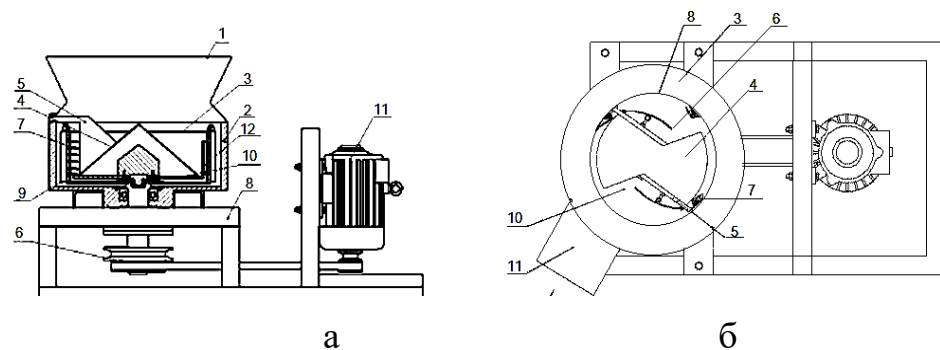


Рисунок 1.5 - Схема измельчителя корнеклубнеплодов  
(пат. №2467555):

а – общий вид, б – вид А-А

- 1 – окно загрузочное; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – конус направляющий;  
5 – пластина противорезущая; 6 – передача клиноременная; 7 – ножи горизонтальные; 8 – рама; 9 – лопатки выгрузные; 10 – основание;  
11 – электродвигатель; 12 – ножи вертикальные [82]

Следует отметить некоторые основные преимуществами и недостатки данного измельчителя. Преимущества: малые габариты и простота конструкции. Недостатки: сложность регулировки положения горизонтальных и вертикальных ножей в зависимости от физико-механических характеристик измельчаемых корнеклубнеплодов; низкая производительность [15, 17, 18, 20].

В работе [21] рассмотрена конструкция устройства для измельчения корнеклубнеплодов с вальцовым подпором (рисунок 1.6) и принцип его работы. Получены формулы для расчета производительности устройства и некоторых конструктивных параметров [82].

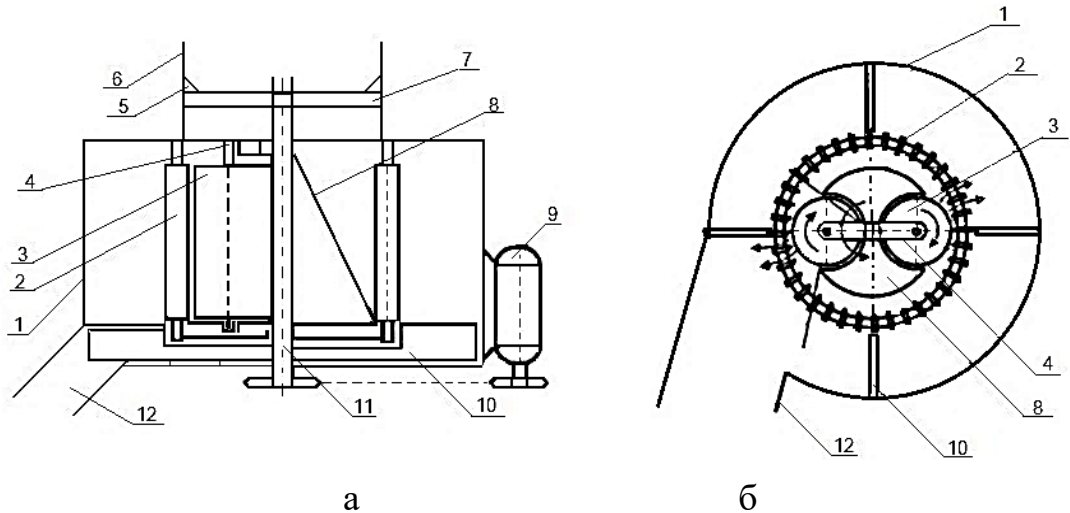


Рисунок 1.6 - Измельчитель корнеклубнеплодов с вальцовым подпором  
(пат. № 2288571):

а – общий вид, б – вид А-А

- 1 – корпус; 2 – ножи; 3 – вальцы; 4 – водило; 5 – противорез;  
6 – цилиндрическая камера; 7 – плоские ножи; 8 – наклонный конус;  
9 – электродвигатель; 10 – крылач; 11 – вал;  
12 – выгрузная горловина [82]

Показано, что очищенные корнеклубнеплоды измельчаются на двух ступенях: предварительное измельчение осуществляется при помощи горизонтальных плоских ножей и окончательное - за счет продавливания вальцами между ножей ножевой решетки. Преимуществом данного измельчителя является возможность получать ломтики корнеклубнеплодов с размерами, заданными зоотехническими требованиями. Однако при использовании измельчителя такой конструкции теряется большая доля сока, выделяемого при сжатии уже измельченного продукта. Недостатком является также невозможность оперативного изменения степени измельчения [82].

В ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» разработан опытный образец измельчителя корнеплодов (рисунок 1.7) [19, 83].

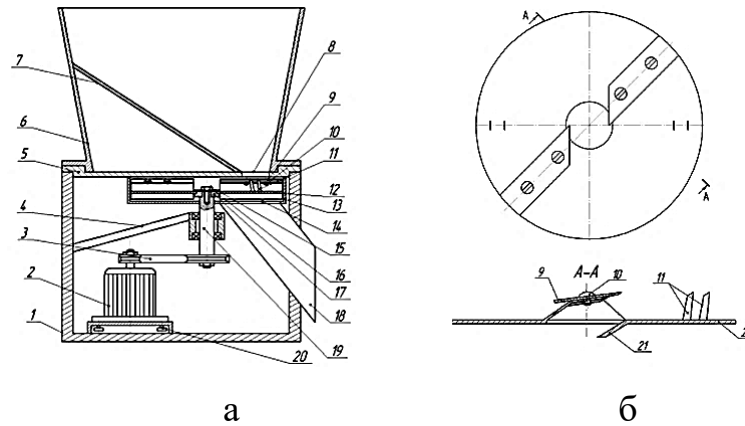


Рисунок 1.7 - Измельчитель корнеплодов (пат. № 140129):  
а – общий вид, б – вид А-А (обозначение в тексте)

Измельчение корнеплодов осуществляется следующим образом. Сначала устанавливают размеры ломтиков путем изменения расстояния между вертикальными ножами 11 и частоты вращения режущего диска 12, приводимого от электродвигателя 2 через приводной вал 19, установленный в опорных подшипниках кронштейна 4. При этом, натяжным устройством 20 регулируют натяжение приводного ремня 3. Проверяют качество затяжки винта 15, который обеспечивает через прижимную 16 и посадочную 17 шайбы надежное крепление режущего диска 12 на приводном валу 19. Очищенные от остатков почвы и вымытые корнеклубнеплоды поступают под собственным весом из загрузочного бункера 6, установленного на корпусе 1, по наклонной перегородке 7 к загрузочному окну 8, которое размещено на периферии режущего диска 12. Далее они поступают в камеру измельчения, которая образована режущим диском 12 и отбойником 13. Крышка 5 перекрывает попадание измельченными корнеплодами в полость загрузочного бункера 6, размещенной под наклонной перегородкой 7 [82].

Вертикальные ножи 11, размещенные на диске 12 делают вертикальные надрезы на корнеплодах, поступающих через загрузочную горловину 8,

а следом идущие горизонтальные ножи 9, закрепленные на диске 12 винтом 10 - срезают стружку.

«Отрезанные ломтики через радиально расположенные на режущем диске окна лопатками 21 перемещаются к выгрузному окну 14 и через выгрузную горловину 18 выводятся из камеры измельчения» [88, с. 64]. Преимуществом данного измельчителя является простота конструкции, а основным недостатком - отсутствие возможности изменения углов наклонов ножей в зависимости от вида обрабатываемого материала (свёкла, морковь, картофель и т.д.) [82].

В работе [85] рассмотрена конструкция универсального измельчителя кормов (рисунок 1.8).

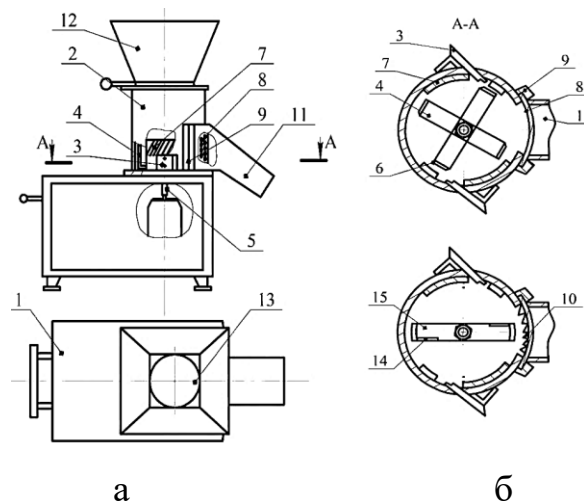


Рисунок 1.8 – «Универсальный измельчитель кормов по патенту № 94042038: а – общий вид, б – вид А-А

1 - основание; 2 - дробильная камера; 3 - боковые ножи; 4 - крестообразный нож; 5 - вал; 7 - съемные накладки; 8 - сменные решета; 9 - направляющие; 10 - шинковка; 11 - съемный рукав; 12 - съемный бункер; 13 - шибер; 14 - съемный нож; 15 - дополнительные вертикальные ребра» [88, с. 12]

Основным недостатком данного измельчителя – значительное переизмельчение корнеплодов, что ведет к потерям сока. Кроме того, наличие в

конструкции дробильной камеры не позволяет нарезать плодоовощную продукцию ломтиками [62].

Авторы научной работы [97] изготовили опытный измельчитель корнеклубнеплодов (рисунок 1.9). Конструкция содержит корпус 1, электродвигатель 2, ножи 3, фланец 4, ротор 5, вал приводной 6, шайбы стопорные 7, кольца прижимные 8, отверстия треугольной формы на ножах 9, кромки режущие 10, калибратор дугообразный 11, гребенки 12, прутья 13, щель калибровочную 14, перегородки направляющие 15, бункер приемный 16, бункер разгрузочный 17, шторы 18 [97].

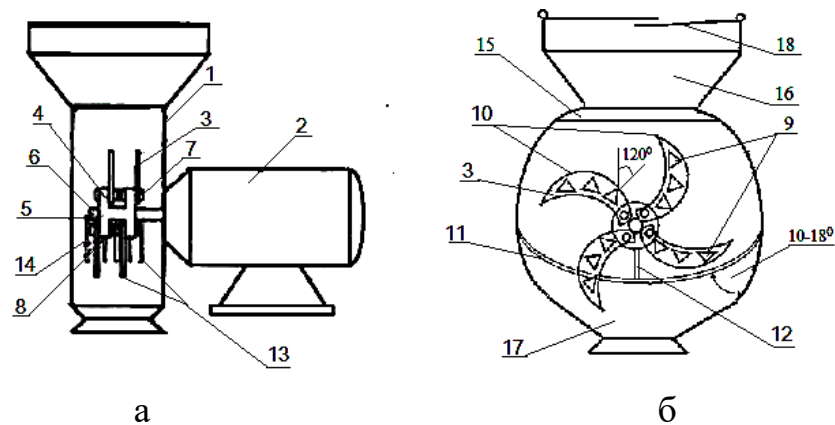


Рисунок 1.9 - Устройство для измельчения корнеклубнеплодов (пат. №119575): а – общий вид, б – вид А-А (обозначение в тексте) [97]

Устройство для измельчения корнеклубнеплодов работает следующим образом. Под тяжестью подаваемых для измельчения корнеклубнеплодов или овощных культур открываются шторы 18 приемного бункера 16 и материал подается внутрь корпуса измельчителя. Затем корнеклубнеплоды или овощные культуры также под собственным весом опускаются через направляющую перегородку 15 внутрь цилиндрического корпуса 1 и захватываются двумя (или четырьмя) ножами 3, имеющими серповидную форму. Ножи 3 измельчают корнеклубнеплоды. Измельченный материал из цилиндрического корпуса выгружается через калибровочные щели 14 дугообразного калибратора 11 в разгрузочный бункер 17 [82].

Для регулирования степени измельчения предусмотрено изменение числа ножей. Кроме того, устройство обеспечивает и реверсивный ход. Преимуществами данного устройства являются простота конструкции и универсальность. К недостаткам можно отнести низкую производительность и низкий уровень ремонтпригодности из-за сложности изготовления рабочих органов серповидной формы в условиях фермерских (крестьянских) и личных подсобных хозяйств. Измельчение плодоовощной продукции измельчителем [47] схема которого представлена на рисунке 1.10, основано на использовании центробежных сил, за счет которых продукция проходит через ножи 11 ножевых стенок 10, измельчается на ломтики необходимой толщины и через отражатели 12 и выгрузное отверстие 16 поступает в емкость для сбора измельченного материала 15 [82].

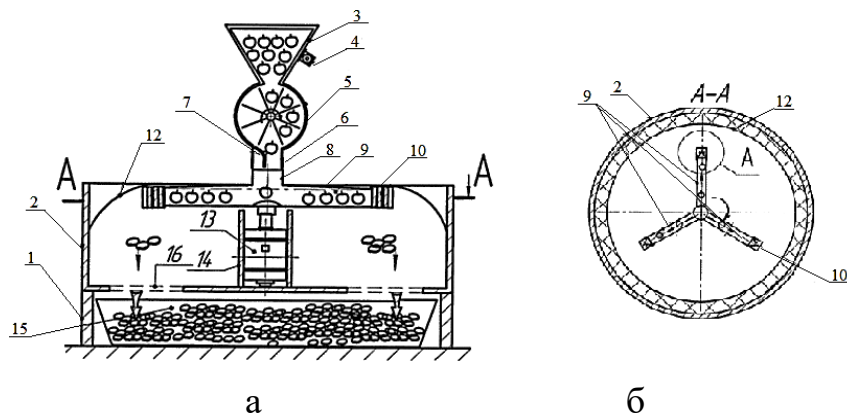


Рисунок 1.10 – «Измельчитель плодоовощного сырья, общий вид; б - роторный измельчитель плодоовощного сырья, разрез А-А

1 – опоры, 2 – цилиндрический корпус, 3 – загрузочный бункер, 4 – вибратор-тряхиватель, 5 – дозатор барабанного типа, 6 – нижняя горловина, 7 – перекидной клапан, 8 – центробежный ротор, 9 – направляющие трубы» [48, с. 109]; 10 – сменные ножевые стенки; 11 – ножи; 12 – отражатели; 13 – электродвигатель; 14 – защитный кожух; 15 – емкость; 16 – выгрузные отверстия [82]

По такому же принципу работает измельчитель, схема, устройство и принцип работы которого представлен в работе [47]. Оба измельчителя [45,

47] могут выполнять измельчение плодовоовощного сырья на ломтики непрерывно с минимальной корректировкой рабочих параметров устройства и минимальным разрушением структуры перерабатываемого сырья [109]. К недостаткам данных устройств можно отнести низкую технологическую надежность из-за высокой вероятности забивания направляющих труб крупной плодовоовощной продукцией. Использование направляющих труб увеличенного диаметра, обеспечивающих пропуск плодовоовощной продукции со значительным разбросом размеров, приводит к повышению вращающейся массы, а, следовательно, к повышению мощности двигателя и увеличению расхода электроэнергии [82].

Разработана схема измельчителя, который измельчает плодовоовощную продукцию ножевой стенкой, перемещающейся по направляющим внутри корпуса навстречу противорезущему подпору (рисунок 1.11) [46].

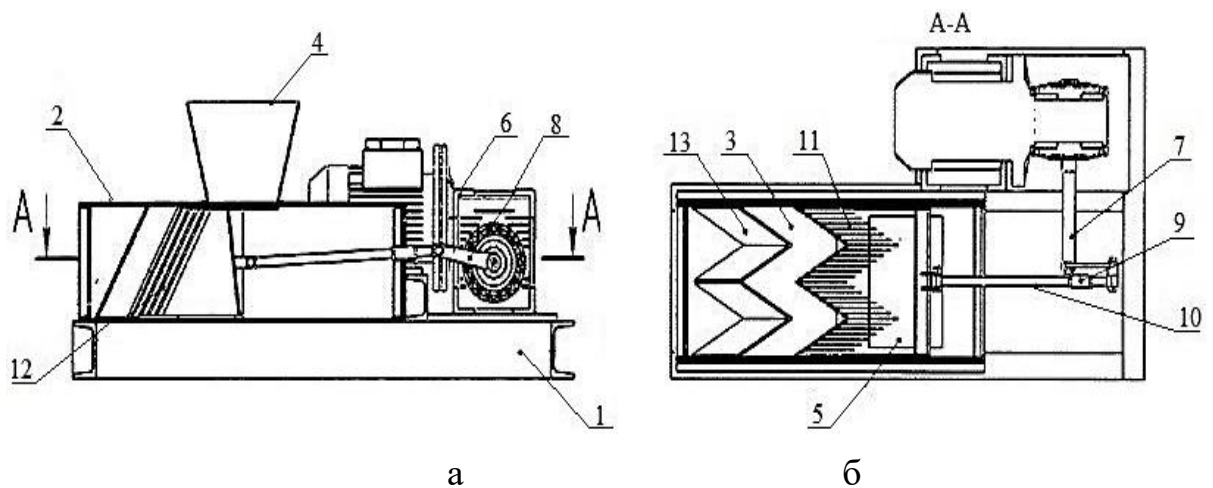


Рисунок 1.11 - Схема измельчителя плодовоовощной продукции

(пат. №129845): а – общий вид, б – вид А-А

1 – станина, 2 - корпус, 3 - камера измельчения, 4 - загрузочная горловина, 5 выгрузное окно, 6 - мотор-редуктор, 7 - приводной вал, 8 - кривошип, 9 - регулировочная гайка, 10 - шатун, 11 - ножи, 12 - ножевая стенка 13 - противорезущий подпор [59, с. 34].

При высоком качестве измельчения продукции, измельчитель имеет существенный недостаток – имеется холостой ход ножевой стенки, что ве-



дет к потере времени, а следовательно, и к снижению производительности. Кроме того, высока вероятность забивания измельчаемой плодовоовощной нерабочей полости корпуса [82].

Измельчитель корма Вихрь «ИК-3 в 1» универсальный прибор предназначен для измельчения корнеплодов, зерна и травы (рисунок 1.12). Техническая характеристика на измельчитель представлена в таблице 1.1.



Рисунок 1.12 - Измельчитель корма Вихрь «ИК-3 в 1»

Таблица 1.1 - Технические характеристики Вихрь «ИК-3 в 1»

Наименование	Единицы измерения	Характеристики
Производительность корнеплодов	кг/ч	900
Мощность двигателя	кВт	1,35
Габаритные размеры	мм	280*280*310
Масса	кг	6,4
Страна	-	Россия

Измельчитель корнеплодов И-600 предназначен для измельчения грубых и сочных кормов в личных подсобных и небольших фермерских хозяйствах при приготовлении кормов домашним животным и птице (рисунок 1.13). Техническая характеристика на измельчитель представлена в таблице 1.2.



Рисунок 1.13 - Измельчитель корнеплодов И-600

Таблица 1.2 - Технические характеристики И-600

Наименование	Единицы измерения	Характеристики
Производительность корнеплодов	кг/ч	600
Мощность двигателя	кВт	3
Габаритные размеры	мм	400*950*1300
Масса	кг	65
Страна	-	Россия

Измельчитель Weiwei, предназначен для приготовления корма крупного рогатого скота, овец измельчает корнеклубнеплоды, кукурузу, траву, представлен на рисунке 1.14. Техническая характеристика на измельчитель представлена в таблице 1.3.



Рисунок 1.14 - Измельчитель Weiwei

Таблица 1.3 - Технические характеристики Weiwei

Наименование	Единицы измерения	Характеристики
Производительность	кг/ч	600
Мощность двигателя	кВт	2,2
Габаритные размеры	мм	1220*1150*1040
Масса	кг	80
Страна	-	Китай

Измельчитель кормов ИК-1 предназначен для приготовления корма крупного рогатого скота, измельчает корнеклубнеплоды, зернобобовые культуры, представлен на рисунке 1.15. Техническая характеристика на измельчитель представлена в таблице 1.4.



Рисунок 1.15 – Измельчитель кормов ИК-1

Таблица 1.4 -Технические характеристики ИК-1

Наименование	Единицы измерения	Характеристики
Производительность	кг/ч	480
Мощность двигателя	кВт	1,1
Габаритные размеры	мм	420*300*540
Масса	кг	22
Страна	-	Республика Беларусь

Измельчитель 3,55 Lakh измельчает корнеклубнеплоды, зернобобовые культуры. Измельчитель предназначен для приготовления корма крупного рогатого скота представлен на рисунке 1.16. Техническая характеристика на измельчитель представлена в таблице 1.5.



Рисунок 1.16 - Измельчитель 3,55 Lakh

Таблица 1.5 -Технические характеристики 3,55 Lakh

Наименование	Единицы измерения	Характеристики
Производительность	кг/ч	400
Мощность двигателя	кВт	0,38
Габаритные размеры	мм	420*300*540
Масса	кг	30
Страна	-	Индия

Таким образом, до настоящего времени разработано достаточно много конструкций измельчителей корнеклубнеплодов и другой сельскохозяйственной продукции, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако их выбор для использования, в основном, осуществляется по одному или нескольким разрозненным показателям, без комплексной оценки эффективности их использования. Большинство из применяемых в сельскохозяйственном производстве измельчителей корнеклубнеплодов имеют низкую технологическую надежность и высокие удельные затраты энергии на измельчение продукции.

#### 1.4 Цель и задачи исследования

**Цель работы.** Повышение эффективности измельчения кормовой свёклы за счет применения усовершенствованного измельчителя, использование которого обосновано по комплексному критерию эффективности.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить анализ существующих машин для измельчения кормовой свёклы.
2. Разработать конструктивно-технологическую схему измельчителя кормовой свёклы, обосновать единичные (частные) показатели и разработать комплексный критерий оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы.
3. Разработать программу и методику проведения экспериментальных исследований измельчения кормовой свёклы для кормления КРС.
4. Провести экспериментальные исследования разработанного измельчителя кормовой свёклы и оценить эффективность его использования по комплексному критерию эффективности при измельчении кормовой свёклы существующим и предлагаемым измельчителями.
5. Выполнить технико-экономическое обоснование применения разработанного измельчителя кормовой свёклы.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ КОРМОВОЙ СВЁКЛЫ**

При организации полноценного кормления крупного рогатого скота необходимо знать, прежде всего, его потребность в различных питательных веществах, а также витаминах и минеральных веществах [50, 105, 107]. Полноценным кормлением считается такое, при котором используется продукция высокого качества в необходимом объеме. Это одно из условий гарантии крепкого здоровья животным.

Обеспечение устойчивой кормовой базы – одно из важнейших условий интенсивного ведения животноводства. Другое необходимое и обязательное условие – применение современных способов приготовления кормов с помощью высокоэффективных технических средств, к которым относятся измельчители кормовой свёклы. На эффективность использования измельчителей кормовой свёклы влияют различные частные показатели, каждый из которых зависит от совокупности факторов, которые можно разделить на три группы: конструктивные, технологические и физико-механические (рисунок 2.1). При этом следует отметить, что отдельно взятый фактор в разной степени оказывает влияние на рассматриваемые частные показатели эффективности. Кроме того, считаем, что при использовании различных измельчителей кормовой свёклы, влияние отдельных факторов на определенный частный показатель эффективности может оказывать влияние в разной степени. Данное предположение, безусловно, требует экспериментального подтверждения.

Как отмечено выше, эффективность использования измельчителя кормовой свёклы «возможно оценивать по совокупности единичных (частных) показателей, определение значений которых является целью дифференцированного метода. Данный метод состоит в сопоставлении значений единичных (частных) показателей эффективности использования» исполь-

зования устройств измельчителя кормовой свёклы с аналогичными показателями, наилучшими, принятыми для сравнения [2, с. 34].

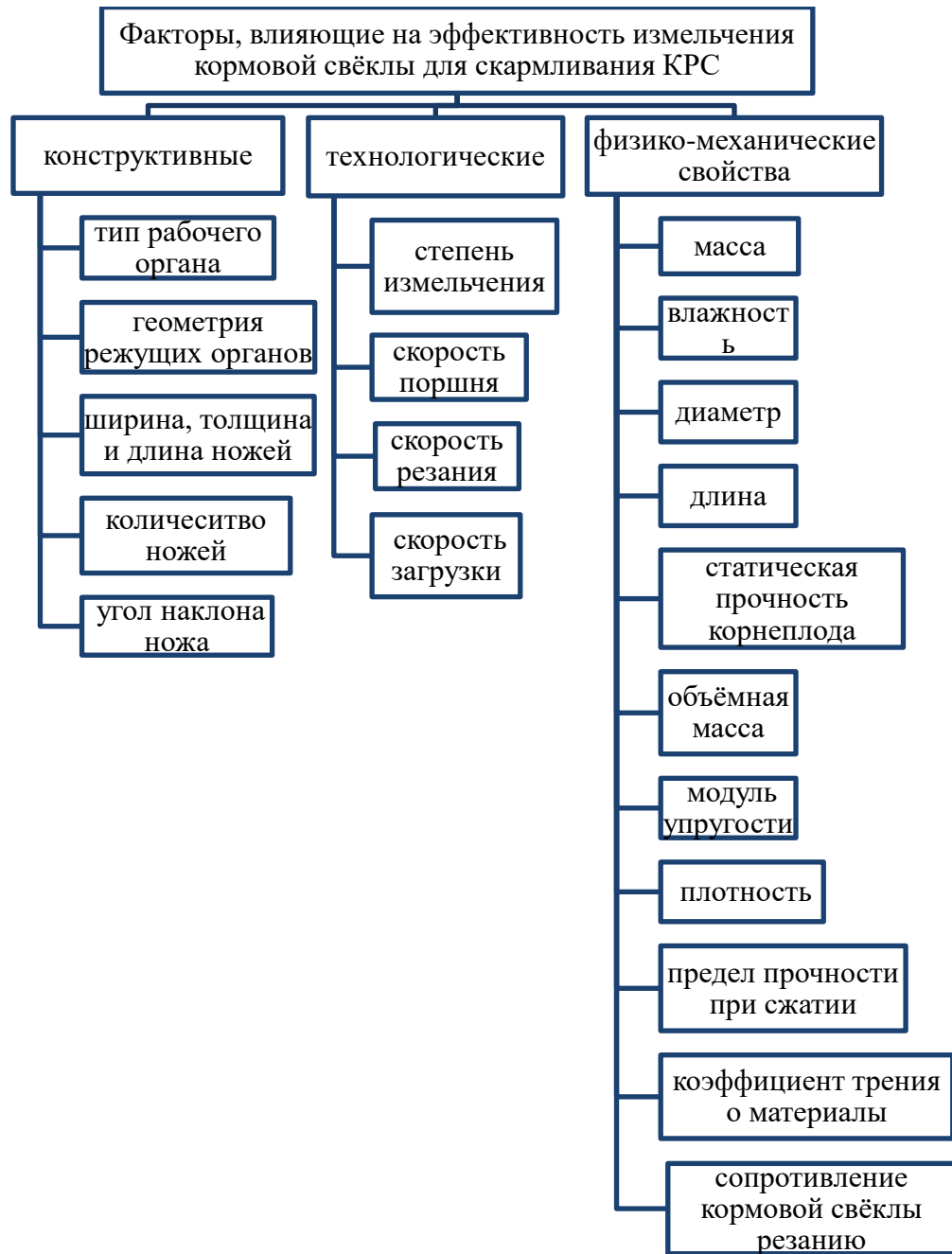


Рисунок 2.1 – Факторы, влияющие на эффективность использования измельчителя кормовой свёклы

Процесс разработки новых машин, в том числе сельскохозяйственного назначения, идет практически непрерывно. При этом устаревшие образцы техники заменяются на новые, более эффективные. Вопросами измельчения и разработкой технических средств измельчителей занимались В.П. Горячкин, В.А. Гулевский, А.И. Ряднов, О.А. Федорова, Р.В. Шарипов, С.А. Да-

выдова, С.А. Арнаут, Н.И. Овчинникова, С.Н. Шуханов, а также других ученые [22, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 59, 60, 73, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106].

## 2.1 Конструктивная схема измельчителя

Учитывая преимущества и недостатки рассмотренных измельчителей сельскохозяйственной продукции, нами предложена новая конструкция измельчителя кормовой свёклы (Патент РФ № 2729524) (рисунки 2.2-2.3) [48].

Предлагаемый измельчитель кормовой свёклы, оборудованный двумя камерами измельчения, позволяет с высокой производительностью и в соответствии с зоотехническими требованиями к корму для скармливания животным, с минимальными удельными затратами энергии и труда измельчать различные виды и сорта корнеклубнеплодов на ломтики заданных размеров с сохранением клеточного сока.

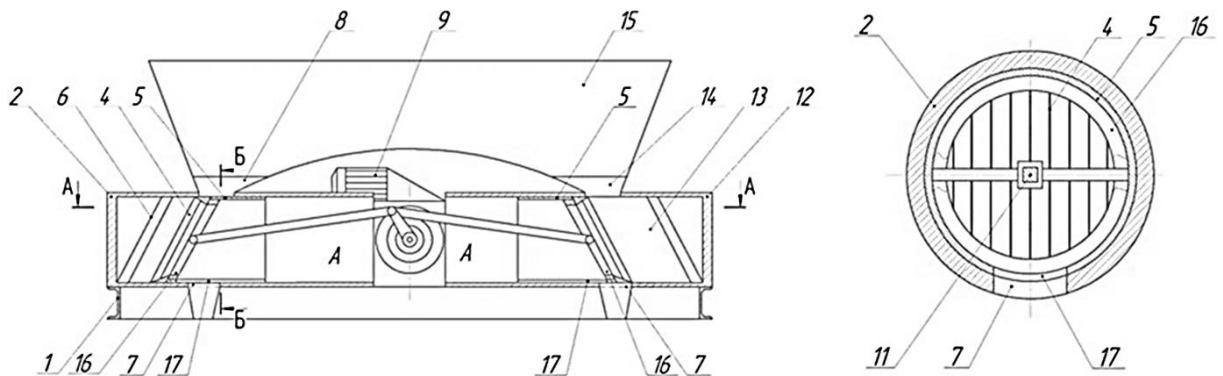


Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологическая схема измельчителя кормовой свёклы

1 – станина; 2,12 – корпус; 3,13 – камера измельчения; 4 – ножевая стенка; 5 – направляющая; 6 – противорежущий подпор; 7 – выгрузное окно; 8,14 – загрузочная горловина; 9 – мотор-редуктор; 10 – приводной вал; 11 – кривошипно-шатунный механизм; 15 – загрузочный бункер; 16 – кольцо; 17 – вырез

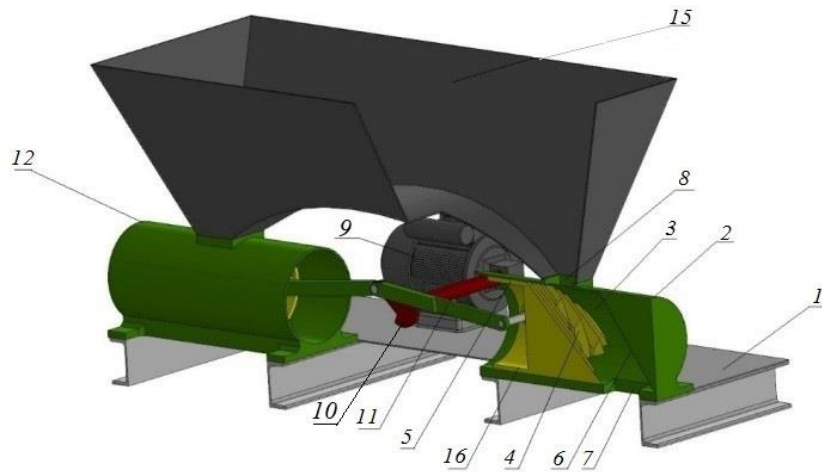


Рисунок 2.3 – Общий вид измельчителя кормовой свёклы

1 – станина; 2,12 – корпус; 3,13 – камера измельчения; 4 – ножевая стенка; 5 – направляющая; 6 – противорежущий подпор; 7 – выгрузное окно; 8,14 – загрузочная горловина; 9 – мотор-редуктор; 10 – приводной вал; 11 – кривошипно-шатунный механизм; 15 – загрузочный бункер; 16 – кольцо; 17 – вырез

Измельчитель кормовой свёклы содержит станину 1, корпус 2 с камерой измельчения 3, оборудованной ножевой стенкой 4, с возможностью перемещения внутри корпуса 2 по направляющим 5, противорежущим подпором 6 и выгрузным окном 7, загрузочную горловину 8, мотор-редуктор 9 с приводным валом 10, соединенным с кривошипно-шатунным механизмом 11, при этом на станине 1 с противоположной стороны мотора-редуктора 9, симметрично оси приводного вала 10 дополнительно установлены второй корпус 12 с камерой измельчения 13 и вторая загрузочная горловина 14. Обе загрузочные горловины 8 и 14 выполнены совместно с дополнительно установленным загрузочным бункером 15. Каждая ножевая стенка 4 закреплена на кольце 16, которое обеспечивает жесткость ножевой стенки 4. При этом кольцо 16 соединено с направляющей 5. Направляющая 5 имеет возможность перемещаться совместно с ножевой стенкой 4 и кольцом 16 внутри корпуса 2. Направляющая 5 выполнена в виде цилиндра и имеет длину, обеспечивающую перекрытие загрузочной горловины при полном ходе но-



жевой стенки 4. Направляющая 5 имеет вырез 17, расположенный снизу, по всей ее длине. При этом ширина выреза 17 равна ширине выгрузного окна 7. На устройство получен патент на изобретение (патент РФ № 2729524) [48].

## **2.2 Выбор частных показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы**

«Для выбора перечня показателей, отвечающему целям практической оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы был использован метод экспертных оценок, позволивший учесть смысловой характер оцениваемых показателей, профессиональный опыт и научную интуицию группы специалистов инженерного, агрономического и экономического профилей, занимающихся исследованием процесса уборки сельскохозяйственных культур» [95, с.54].

Методической базой выбора показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы послужили положения теории эффективности технических средств и результаты применения данной теории при разработке комплексных критериев для оценки эффективности использования ряда машин сельскохозяйственного назначения [20, 80, 92]. Анализ указанных работ показал, что выбор частных показателей оценки эффективности использования исследуемого технического средства возможен при тщательном изучении его устройства, технических характеристик и принципа работы. В связи с этим следует изучить отмеченные показатели измельчителей кормовой свёклы с отличающимися принципами разрушения продукта.

В некоторых измельчителях разрушение продукта осуществляется за счет центробежных сил (авторское свидетельство СССР №1050605, патент РФ №174962). Основным недостатком таких измельчителей – низкая производительность из-за существенных потерь времени на устранение техноло-

гических отказов, связанных с забиванием крупной плодоовощной продукцией.

Следующая группа измельчителей работает на принципе подачи корнеклубнеплодов рабочими органами к ножам. К данной группе, к примеру, относятся измельчители, представленные в работе [79]. Основной недостаток измельчителя – разрушение структуры корнеклубнеплодов, что приводит к потерям питательных веществ [51, 52].

Измельчитель корнеклубнеплодов, устройство и принцип его функционирования описанный в работе [79] имеет большую производительность по сравнению с измельчителем, описанном в патенте РФ № 2239308 (патент РФ №2239308), и имеет существенно меньшие потери сока измельчаемых корнеклубнеплодов.

Множество конструктивных особенностей, технических характеристик и показателей качества выполнения технологической операции, указанных выше и многих других измельчителей корнеклубнеплодов, стали основой определения совокупности частных показатели комплексной оценки эффективности использования измельчителей. Выбор важнейших частных показателей из их совокупности осуществили методом экспертной оценки [78].

При применении измельчителей кормовой свёклы необходимо стремиться к тому, чтобы реализовалась концепция пригодности, то есть каждый частный показатель  $W_i$  должен быть не ниже требуемого (лучшего с точки зрения лица, принимающего решение) уровня  $W_i^{TP}$  [78].

Обзор научных исследований показал, что эффективность кормопроизводства во многом определяется материальными и трудовыми затратами на возделывание (или приобретение) корма и подготовку его к скармливанию животным. Эти затраты должны быть минимальными. Если материальные и трудовые затраты на возделывание зависят от применяемых технологий и организации труда, то затраты средств на подготовку корма к скармливанию обусловлены, в первую очередь, качеством машин, используемых

на подготовке корма к скармливанию животным. Под термином «качество» машины понимается степень ее соответствия требованиям потребителя по способности выполнять заданное назначение, которые закладываются в ее конструкцию при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечиваются в процессе производства и проявляются в ходе использования по назначению.

Эффективность машин, применяемых, в частности, при измельчении кормовой свёклы, оценивается не только экономическими показателями, включающими материальные и трудовые затраты на подготовку корма к скармливанию животным, но и показателями качества исследуемых объектов. Совокупность отмеченных показателей может применяться при комплексной оценке эффективности использования исследуемого измельчителя кормовой свёклы.

К группе экономических показателей можно отнести затраты энергии и труда при измельчении кормовой свёклы.

В исследованиях установлено, что затраты энергии при измельчении корнеклубнеплодов зависят, прежде всего, от усилия резания [68, 121]. На энергоёмкость измельчения кормовой свёклы влияют также угол защемления и скорость резания [4]. Кроме того, на усилие резания оказывают влияние многие факторы, например, форма ножа и угол его установки в ножевой стенке [81].

Из вышесказанного следует, что на эффективность использования измельчителей кормовой свёклы влияет усилие резания –  $P$  (кН). Усилие резания косвенно характеризует затраты энергии на измельчение. Зная усилие  $P$  (кН) и скорость резания  $V$  (м/с), можно оценить затраты энергии с помощью такого показателя, как мощность на измельчение:

$$N_{\text{изм.}} = PV/1000, \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

Важнейшим показателем эффективности измельчителей кормовой свёклы в условиях ограничения трудовых ресурсов в сельскохозяйственном

производстве служат затраты труда на единицу измельченной продукции –  $Zm$ , чел·ч/кг.

Значения выбранных экономических показателей при измельчении кормовой свёклы должны быть минимальны.

Вторая группа факторов комплексной оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы – показатели его качества, основные из которых: производительность, показатели технической и технологической надежности, технологичности конструкции, качества измельчения кормовой свёклы.

Известно, что производительность измельчителя кормовой свёклы определяется объемом или массой измельченной продукции в единицу времени, например, час –  $Wч$ , кг/ч.

Учетное время при оценке производительности измельчителя может быть 1 ч основного, технологического, сменного или эксплуатационного времени.

Ключевые факторы технической кормовой свёклы – наработка на отказ, время и трудоемкость устранения одного отказа, срок службы и ресурс. Измельчитель кормовой свёклы будет использоваться эффективно, если наработка на отказ будет больше продолжительности его работы в течение сезона. В связи с этим следующий показатель комплексной оценки эффективности измельчителя кормовой свёклы – наработка на отказ –  $t_0$ , ч.

Измельчители кормовой свёклы должны работать без остановок из-за технологических неисправностей, связанных с забиванием рабочих органов измельчаемой продукцией. Исходя из этого, рекомендуем использовать в качестве частного показателя эффективности затраты времени на устранение технологических неисправностей –  $t_{технол.}$ , ч.

В соответствии с ГОСТ 14.205-83 «Технологичность конструкции изделий: термины и определения» различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность. Если показатели производственной технологичности закладываются при конструировании и изготовлении из-

мельчителя, а ремонтные зависят от уровня его надежности, то в рассматриваемом случае следует учитывать показатели эксплуатационной технологичности. Один из таких показателей – удельная трудоемкость технического обслуживания  $t_{уд.ТО}$ , ч/кг:

$$t_{уд.ТО} = t_{ТО}/m, \quad (2.2)$$

где  $t_{ТО}$  – трудоемкость технического обслуживания, ч;

$m$  – масса измельченной кормовой свеклы, кг.

Качество измельчения кормовой свёклы может быть оценено уровнем потерь сока и соответствием размеров кусочков продукции, полученных после измельчения, заданным конструктивными особенностями измельчителя. Главный из этих двух показателей – уровень потерь сока  $Пс$ , %, так как от него зависит питательность измельчаемой продукции.

К показателям качества измельчителей могут быть также отнесены: безопасность работы обслуживающего персонала при измельчении, удобство управления, степень механизации и автоматизации, эстетичность и другие. «Частные показатели эффективности должны быть однородными в группе показателей, без качественного повторения и применения лишних показателей. Выбранные частные показатели должны быть совместимы с рядом показателей оценки качества технологического процесса. Возможность оценки частных показателей и проверки полученных результатов при повторных исследованиях» [91, с. 58].

Для высокоэффективного измельчителя кормовой свёклы такие показатели второй группы, как затраты энергии, затраты труда при измельчении, затраты времени на устранение технологических неисправностей, трудоемкость технического обслуживания и потери сока должны стремиться к минимуму, а производительность измельчителя и наработка на отказ – к максимально возможному значению.

Каждый из выбранных частных показателей влияет на эффективность использования измельчителей по-разному. Поэтому необходимо знать относительную значимость каждого из них.

Применив метод относительных частот рангов, определяются коэффициенты важности каждого показателя технологии измельчения кормовой свёклы по выражению [78]:

$$\alpha_i = \sum_{l=1}^n r_j^l / \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m r_j^l \quad (2.3)$$

где  $r_j^l$  – ранг, присвоенный  $j$ -му частному показателю эффективности  $l$ -м экспертом.

Таким образом, выбраны следующие единичные (частные) показатели эффективности измельчения кормовой свёклы с учетом их ранжирования [2]:

- 1) затраты энергии, кВт;
- 2) затраты труда при измельчении, чел.ч/кг;
- 3) производительность, кг/ч;
- 4) наработка на отказ, ч;
- 5) затраты времени на устранение технологических неисправностей, ч;
- 6) удельная трудоемкость технического обслуживания, ч/кг;
- 7) потеря сока, %.

В результате опроса и прямого ранжирования показателей эффективности технологии измельчения кормовой свёклы было получено распределение их по важности [33].

По значениям коэффициентов ранговой корреляции  $\rho$  Спирмена оценивалась независимость мнений экспертов [91]:

$$\rho = 1 - \frac{6}{m(m^2-1)} \sum_{i=1}^m (r_{1i} - r_{2i})^2 \quad , \quad (2.4)$$

где  $m$  – число показателей;

$r_{1i}$  и  $r_{2i}$  – ранг, отнесенный соответственно первым и вторым экспертом к  $i$ -тому показателю [91].

Величина коэффициента корреляции Спирмена лежит в интервале +1 и -1, может быть положительной и отрицательной, характеризуя направленность связи между двумя признаками, измеренными в ранговой шкале [33].

При исследовании усилия резания кормовой свёклы двух сортов «Рекорд Поли» и «Крымская розовая» в 4-й главе нами было получено, что  $F_{0,05} > F$  (здесь  $F_{0,05} = 2,165$  – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5%). Поэтому, математические модели адекватны результатам эксперимента [33].

### **2.3 Выбор комплексного критерия оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы**

Теоретических основ оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы может быть множество. «Выбор теоретических предпосылок зависит от поставленной цели исследования. Из множества возможных математических моделей и методов расчета следует выбрать такую модель или метод, который должен привести к полезным практическим результатам, определяемым лицом, принимающим решение» [33, с. 51].

В работе [33] показаны этапы оценки эффективности технологии производства пеллет на корм крупному рогатому скоту. Применение данных этапов возможно также и для оценки эффективности других технологий, в частности при оценке эффективности использования измельчителей кормовой свёклы.

Этапы оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы могут быть следующими:

- анализ факторов, влияющих на эффективность использования измельчителя кормовой свёклы, выбор наиболее значимых, определяемых на основе экспериментальных исследований, а также математической обработки результатов эксперимента [33];

- рассмотрение частных показателей эффективности использования измельчителя кормовой свёклы, их ранжирование по относительной важности, полученных по результатам экспертной оценки [33];

- предварительная оценка влияния частных показателей на эффективность использования измельчителя кормовой свёклы [33];

- экспериментальная оценка важнейших частных показателей [33];

- определение наилучших значений частных показателей эффективности [33];

- разработка комплексного критерия эффективности использования измельчителя кормовой свёклы, который включал бы как частные показатели эффективности, так и их относительную важность [33];

- расчет комплексного критерия эффективности использования измельчителя кормовой свёклы и анализ результатов расчета [33];

- выработка практических рекомендаций по повышению эффективности использования измельчителя кормовой свёклы [33].

Функция агрегированного комплексного критерия эффективности по методике [33, 78] имеет вид:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \frac{W_i}{W_i^{TP}}}{\prod_{i=m_1+1}^m \frac{W_i}{W_i^{TP}}}, \quad (2.5)$$

где  $i = 1, m_1$  – номера единичных частных показателей эффективности, значения которых при совершенствовании технологии измельчения кормовой свёклы желательно увеличивать, а другие,  $i = m_1 + 1, m$  – уменьшать [33, 78].

Частные показатели эффективности технологии измельчения кормовой свёклы, входящие в функцию  $\varphi(W)$ , неоднородны и их важность, т. е. влияние на комплексный показатель эффективности, в общем случае различна. Поэтому возникает необходимость ввести в зависимость (2.5) коэффициенты относительной важности  $\alpha_i$  частных показателей [33, 78].



«Значения коэффициентов  $\alpha_i$  могут быть определены методом экспертной оценки. Учитывая возможные варианты включения коэффициентов относительной важности частных показателей эффективности в зависимость (2.5), установили, что:

1. При числе частных показателей эффективности  $m > 1$  коэффициенты

$\alpha_i \neq 1$  и  $\alpha_i \neq 0$ . Это следует из того, что  $\sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i = 1$ .

2. Если  $\alpha_i \rightarrow 1$ , то влияние частного показателя на комплексный должно усиливаться, а если  $\alpha_i \rightarrow 0$ , то ослабляться.

3. При  $\alpha_i \rightarrow 0$  влияние  $i$ -го частного показателя на комплексный не должно полностью отвергаться» [33, с. 54].

«Учитывая вышесказанное, введем коэффициенты относительной важности  $\alpha_i$  частных показателей в функцию агрегирования (2.5) и получим ее в виде» [33, с. 54]:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{TP}}}{\prod_{i=m_1+1}^m \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{TP}}}, \quad (2.6)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \prod_{i=1}^{m_1} t_i \frac{W_i}{W_i^{TP}} &= K_{Пр} K_H, \\ \prod_{i=m_1+1}^m t_i \frac{W_i}{W_i^{TP}} &= K_{ЗЭ} K_{ЗТ} K_{ЗВ} K_{УТ} K_{ПС}, \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

здесь

$$\left. \begin{aligned} K_{Пр} &= \alpha_{Пр} \frac{Пр_i}{Пр_{тр}}, K_H = \alpha_H \frac{H_i}{H_{тр}}, \\ K_{ЗЭ} &= \alpha_{ЗЭ} \frac{ЗЭ_i}{ЗЭ_{тр}}, K_{ЗТ} = \alpha_{ЗТ} \frac{ЗТ_i}{ЗТ_{тр}}, K_{ЗВ} = \alpha_{ЗВ} \frac{ЗВ_i}{ЗВ_{тр}}, K_{УТ} = \alpha_{УТ} \frac{УТ_i}{УТ_{тр}}, K_{ПС} = \alpha_{ПС} \frac{ПС_i}{ПС_{тр}} \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

где  $K_{Пр}$  – производительность измельчителя, кг/ч;

$K_H$  – наработка на отказ, ч;

$K_{ЗЭ}$  – затраты энергии, кВт;

$K_{ЗТ}$  – затраты труда при измельчении, чел·ч/кг;

$K_{ЗВ}$  – затраты времени на устранение технологических неисправностей, ч;

$K_{УТ}$  – удельная трудоемкость технического обслуживания, ч/кг;

$K_{ПС}$  – потеря сока, %.

С учетом (2.7) получим:

$$\varphi(W) = \frac{K_{Пр}K_{Н}}{K_{ЗЭ}K_{ЗТ}K_{ЗВ}K_{УТ}K_{ПС}}. \quad (2.9)$$

Учитывая вышесказанное комплексный критерий эффективности технологии измельчения кормовой свёклы с математическим ожиданием выражения (2.9) имеет вид:

$$K_{Э} = m \left\{ \frac{K_{Пр}K_{Н}}{K_{ЗЭ}K_{ЗТ}K_{ЗВ}K_{УТ}K_{ПС}} \right\}. \quad (2.10)$$

Повышение показателей в числителе выражения (2.10) ( $K_{Пр}K_{Н}$ ) ведет к росту эффективности, а знаменателе ( $K_{ЗЭ}K_{ЗТ}K_{ЗВ}K_{УТ}K_{ПС}$ ) – к обратному результату.

## 2.4 Выводы по главе 2

1. Определены основные факторы, влияющие на эффективность измельчения кормовой свёклы на корм крупному рогатому скоту по трем основным группам: конструктивным, технологическим, физико-механическим и экономическим.

2. Разработана конструктивно-технологическая схема измельчителя кормовой свёклы на корм крупному рогатому скоту.

3. Определены параметры режущих элементов.

4. Определены наиболее важные частные показатели эффективности использования измельчителя кормовой свёклы к которым отнесены: затраты энергии и труда при измельчении, производительность измельчителя, наработка на отказ измельчителя, затраты времени на устранение технологических неисправностей, удельная трудоемкость технического обслуживания и потеря сока.

### 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 Программа и методика исследования измельчения кормовой свёклы для кормления КРС

В соответствии с поставленными задачами экспериментальные исследования проводились по разработанной программе, в определенной последовательности (рисунок 3.1). После проведенных теоретических исследований нами был разработан соответствующий план проведения экспериментальных исследований:

- определение размерно-массовых показателей: определение диаметра, длины и массы кормовой свёклы;
- определение влажности структуры кормовой свёклы;
- определение коэффициента трения кормовой свёклы;
- определение коэффициента скольжения кормовой свёклы;
- исследование влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы.

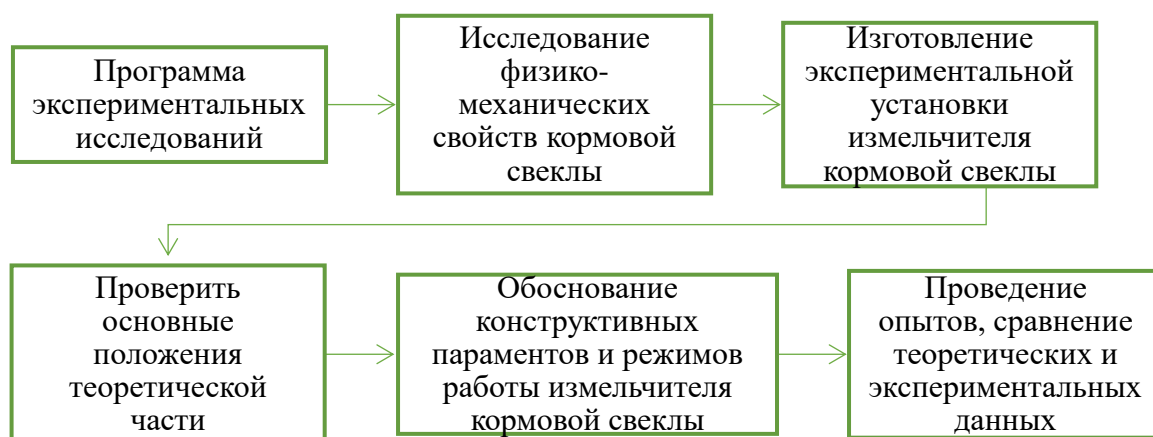


Рисунок 3.1 – Схема программы экспериментальных исследований

Химический состав кормовой свёклы, как и другие корнеклубнеплоды сильно различается в зависимости от сорта, места произрастания, времени сбора и т.д.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с ГОСТ Р 54783-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Для определения экспериментальных исследований перечень, который являлась таблица 3.1, использовали необходимые приборы.

Таблица 3.1. - Приборы и оборудование, применяемые при проведении экспериментальных исследований

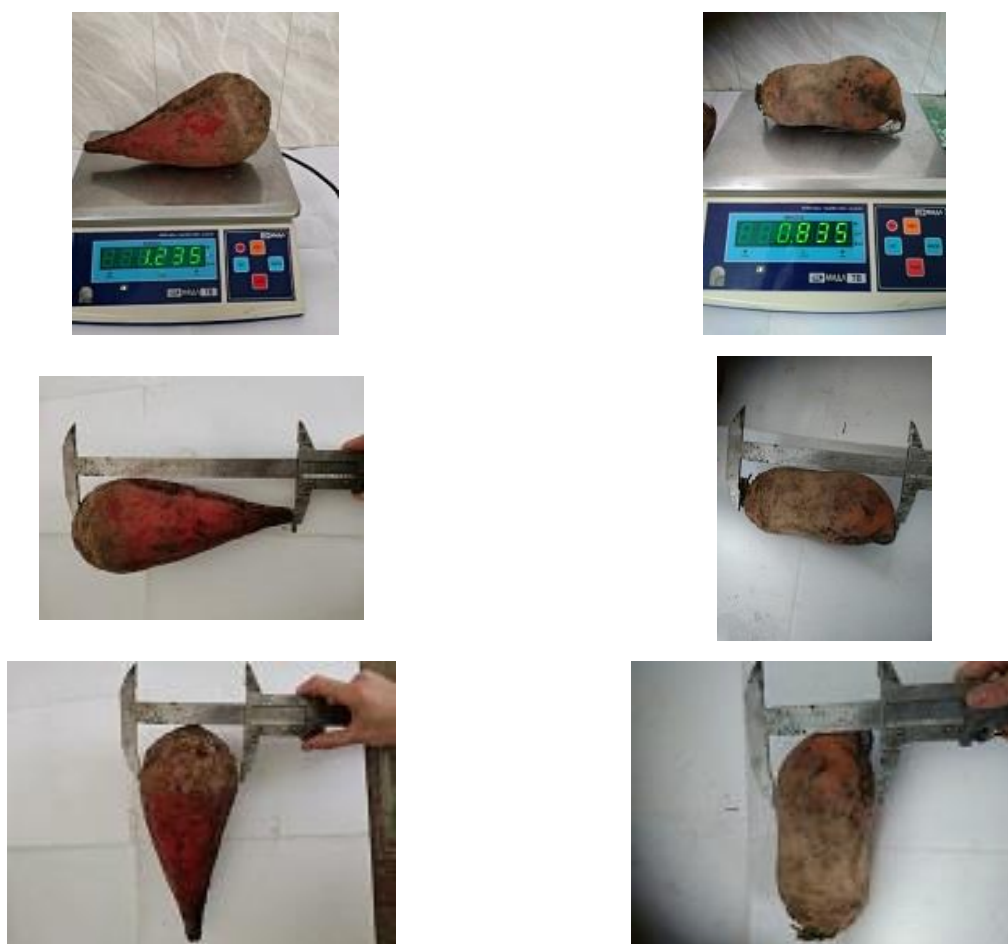
Наименование	Марка	ГОСТ	Назначение	Точность измерений
Весы лабораторные	ВК-300.1 CAS MW-3000- II	ГОСТ 24104- 2001	Определение массы	300±0,02
		ГОСТ 29329		30000±0,02
Штангенциркуль	ШЦ-1	ГОСТ 166-89	Для измерения наружных и внутренних размеров ломтика	0,05 мм
Рулетка металлическая	РЗ-10	ГОСТ 7502-80	Определение длины	1,0 мм
Сушильный шкаф	2В-151	ТУ 64-1- 1411- 72	Метод определения содержания влаги	± 2,0 %
Секундомер	СДС пр-1	ГОСТ 5072-79В	Определение времени	± 1,0с
Гидравлический пресс	Пресс ОКС 1671М	Паспорт ОКС1671М	Усилие резания (статика)	
Тензозвено	Весы электронные торговые Усадьба ВТЭ-150Н	-	Усилие резания (динамика)	до 50 г
Осциллограф	Приставка к ноутбуку	ГОСТР 8.964-2019	Определение значений диапазона	
Операционный усилитель		ГОСТ 17021-88		

### 3.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению технологических свойств кормовой свёклы

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры «Технические системы в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». Исследования проводились на двух сор-

тах кормовой свёклы «Рекорд Поли» и «Крымская розовая», которые подходят по своим физико-химическим показателям для приготовления кормов к скармливанию КРС [8].

С помощью измерительного оборудования предусмотренной таблицей 3.1 определяли размерно-массовые характеристики кормовых свёкл (рисунок 3.2).



«Крымская розовая»

«Рекорд Поли»

Рисунок 3.2 - Размерно-массовые характеристики сортов

«Влажность – важнейшая характеристика корма, существенно влияющая на другие его свойства» [49, с. 84]. Влажность определялась в соответствии с ГОСТом Р 54951-2012 Корма для животных [34, 49, 70, 86]. Определение содержания влаги. Принцип работы заключался, в следующем кормовые свёкла нарезали ломтиками толщиной 0,8 см (рисунок 3.3). Измельченную кормовую свеклу тщательно перемешивали и методом кварто-

вания выделяли часть средней пробы, масса которой после высушивания должна быть не менее 150 г. [108].



Рисунок 3.3 – Ломтики кормовых свекл

Подготовленный материал перемешивали стеклянной палочкой, далее их высушивали, охлаждали до комнатной температуры, взвешивали на лабораторных весах (рисунок 3.4).



«Крымская розовая»



«Рекорд Поли»

Рисунок 3.4 - Испытуемые сорта кормовых свекл после высушивания

Во взвешенные бюксы помещали экспериментальный материал (кормовую свеклу) массой 0,04 – 0,05 кг и высушивали в сушильном шкафу 2Б - 151 (рисунок 3.5). Руководствовались инструкцией сушильного шкафа температуры  $115 \pm 2^{\circ}\text{C}$  сушили в течение 3 - 4 ч. Из технической характеристики сушильного электрического шкафа марки 2Б -151 используется рабочая температура в диапазоне  $40 \dots 200^{\circ}\text{C}$ , которая имеет диагональ рабочей камеры 355 мм и глубину ее составляет 269 мм.



Рисунок 3.5 – Круглый сушильный шкаф 2В-151

По общеизвестной методике ГОСТа массовую долю влажности рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} * 100,$$

где  $M_1$  – масса тары (при определении влаги в кормовой свёкле);

$M_2$  – масса тары с пробой до высушивания, кг;

$M_3$  – масса тары с пробой после высушивания, кг.

### 3.3 Методика по определению коэффициента трения корнеклубнеплодов

Коэффициент трения покоя корнеклубнеплодов определялся с помощью устройства показанного на рисунке 3.6.

Устройство содержит подвижную плиту 1, на которой закреплена испытуемая поверхность трения 2, в качестве которой использовались: органическое стекло, сталь шлифованная, сталь прорезиненная. С помощью винта 3 изменялся угол наклона плиты 1. Угол определялся по шкале 4.

Углы трения покоя определялись следующим образом. На подвижную плиту 1 закреплялась испытуемая поверхность трения 2. На данную поверхность укладывались корнеклубнеплоды в целом и разрезанном виде. С помощью винта 3 изменялся угол наклона плиты 1 до момента, когда корнеклубнеплод начинал движение [58, 94].

На рисунке 3.7 показана схема сил, действующих на испытуемый корнеклубнеплод. Угол трения скольжения покоя  $\varphi_k$  равняется углу  $\alpha$  наклона плиты 1:

$$f_k = tg\varphi_k = tg\alpha \quad (3.1)$$

Коэффициент трения покоя  $f_k$  прямо пропорционален тангенсу угла трения покоя  $\varphi_k$ , и пропорционален тангенсу угла наклона плиты  $\alpha$  [58, 94].

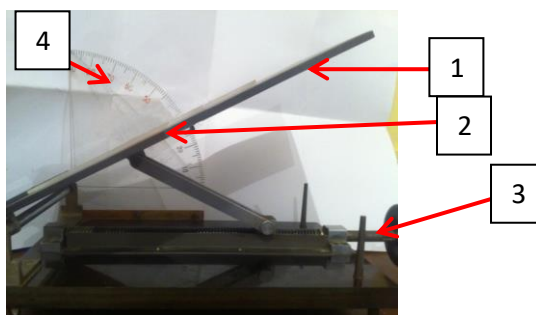


Рисунок 3.6 – Общий вид устройства для определения коэффициента трения покоя: 1- подвижная плита, 2 - испытуемая поверхность трения, 3 - регулировочный винт, 4 – шкала

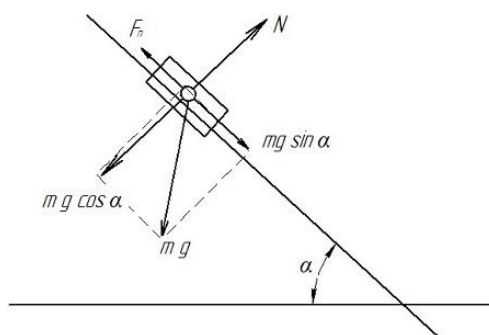


Рисунок 3.7 – Схема сил, действующих на испытуемый корнеклубнеплод

Также для оптимизации процесса резания корнеклубнеплодов, в частности кормовой свёклы, необходимо знать коэффициенты и углы трения движения. Знание данных значений позволяет оптимизировать угол наклона ножей  $\alpha$  в ножевой стенке, что в свою очередь позволит снизить энергозатраты на измельчение [22, 24, 25, 26].

Коэффициенты и углы трения движения определялись по прибору академика В.А. Желиговского. Установка содержит линейку 1 фиксируе-



мую стопорным болтом под углом  $\beta$  к направляющей 4. К линейке 1 прикреплен линейный подшипник 3, который может перемещаться по направляющей 4. С другой стороны линейка 1 опирается на ползок 6. В каретке 2 установлен карандаш 8, который производит запись траектории движения. Испытуемая поверхность трения 5 (органическое стекло, сталь шлифованная, сталь обрешиненная) фиксируется к линейке 1 струбцинами 7. В каретке 2 устанавливаются корнеклубнеплоды в целом и разрезанном виде [58, 94].

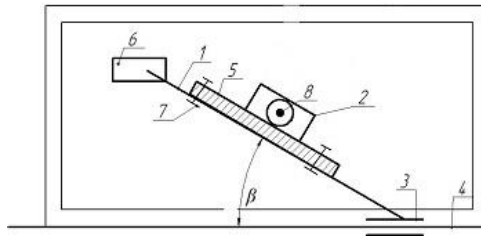


Рисунок 3.8 – Схема прибора академика В.А. Желиговского: 1 – линейка, 2 – каретка, 3 – линейный подшипник, 4 – направляющая, 5 – испытуемая поверхность трения, 6 – ползок, 7 – струбцина, 8 – карандаш [49, 83]

На рисунке 3.9 показана схема сил, действующих на каретку.

На горизонтальной плоскости закрепляют чертежную бумагу и устанавливают прибор. При движении линейного подшипника 3 по направляющей 4, под действием нормальной силы  $N$ , а также силы трения  $F_c$ , каретка 2 с корнеклубнеплодом движется по направлению, совпадающему с  $R_c$ . После определения данного направления строится треугольник  $СМК$ , из которого определяется угол  $\varphi$ .

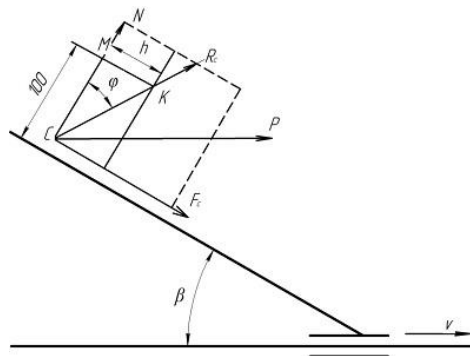


Рисунок 3.9 – Схема сил, действующих на каретку [58, 94]

Коэффициент трения скольжения определяется по формуле (3.2):

$$f_c = \operatorname{tg} \varphi = \frac{MK}{100}. \quad (3.2)$$

Коэффициент трения движения  $f_c$  пропорционален тангенсу угла трения движения  $\varphi_c$  (3.3):

$$f_c = \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.3)$$

Коэффициенты трения движения  $f_c$  внутренней структуры корнеклубнеплодов определялись по следующим материалам: органическое стекло, сталь шлифованная, сталь обрешиненная.

### 3.4 Исследование влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы

Для исследования усилия резания рассматривали поисковый опыт с рассмотренными факторами: форма лезвия и угол наклона ножа, ранее были изготовлены плоские ножи: волнообразный, с односторонней и двухсторонней заточками ножами с углом 0 и 30° (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Формы режущей части ножей:

- 1 - режущая часть волнообразной формы;
- 2 – режущая часть прямолинейной формы с односторонней заточкой;
- 3 – режущая часть прямолинейной формы с двухсторонней заточкой

Разработанный стенд (рисунок 3.11) позволял замерять усилие резания кормовых свёкл по глубине погружения ножа различных форм.



Рисунок 3.11 - Экспериментальный стенд

для измерения составляющих сил резания кормовой свёклы:

1 - гидравлический пресс; 2 - электронные весы; 3 - переходник

Стенд включал гидравлический пресс 1, электронные весы 2, видеокамеру и переходник 3, выполненный из деревянного бруса и оборудованной линейкой. До начала исследования из кормовых свёкл вырезались куски, каждый из которых имел форму прямоугольного параллелепипеда высотой 120 мм, показан на рисунке 3.12. Все вырезанные куски взвешивались и нумеровались. Корпус измельчителя с ножевой стенкой устанавливался на электронные весы, в него помещался вырезанный кусок кормовой свёклы, который прессом через переходник подавался на измельчение. Процесс измельчения кормовых свёкл записывался на видеокамеру, что позволяло фиксировать усилие резания через каждые 10 мм хода переходника.



а



б

Рисунок 3.12 - Исследуемый образец кормовой свёклы:

а - лабораторный ломтик; б – измельченный

После измельчения каждого куска кормовой свёклы корпус измельчителя и ножевая стенка очищались, а измельченные части взвешивались.

Стенд позволял замерять усилие резания кормовой свёклы по глубине погружения ножа, также значения исследуемых факторов экспериментально с помощью усилия резания учитывали фактическое условия резания на перемещения действующих сил на нож и также для дальнейшей разработки лабораторной установки.

### **3.5 Экспериментальная лабораторная установка измельчителя кормовой свёклы**

Методической базой выбора оптимизируемых факторов, в наибольшей степени влияющих на величину усилия резания кормовой свёклы при её измельчении, послужили материалы научных работ [83, 84, 115, 116, 118, 119, 120], а также практический опыт. Выбор важнейших факторов, из совокупности предварительно выбранных осуществлялся методом экспертной оценки [78].

С целью оптимизации выбранных факторов проведены экспериментальные исследования на макете измельчителя, показан на рисунке 3.13, изготовленного на кафедре «Технические системы в АПК» Волгоградского ГАУ в соответствии с описанием, представленным в патенте РФ № 2729524 [48]. Спроектирована только одна режущая часть ножевой стенки. Данная конструкция позволяет полностью провести экспериментальные исследования, изучить заданные факторы определяющих величин, которые обеспечивают снижение энергетических затрат на измельчение и повышение производительности измельчителя.



Рисунок 3.13 – Лабораторная установка  
измельчителя кормовой свёклы

Лабораторная установка включает в себя следующие составные части: станину, корпус с камерой измельчения, ножевую стенку, направляющую, противорежущий подпор, загрузочную горловину, мотор-редуктор, приводной вал и выгрузное окно.

Объектом исследования являлась ножевая стенка. В поисковых экспериментах предполагалось определить рациональное взаимодействие рабочего органа с кормовой свеклой, где необходимо определить его конструктивные и режимные параметры (рисунок 3.14-3.15).



Рисунок 3.14 – Ножевая стенка





Рисунок 3.15 – В ходе работы макета измельчителя кормовой свёклы

Проектируемый экспериментальный измельчитель стремились выполнить подготовленным к внедрению на производстве за счет применения унифицированных узлов (мотор-редуктор, шарниры рулевых тяг, опорные колеса, шкаф управления). В качестве материала для ножей использовали полотно ленточнопильного деревообрабатывающего станка, с толщиной 1 мм и шириной 40 мм. В измельчителе поршень с ножевой стенкой выполнен из профильной трубы 120x120x4 мм, а камера измельчителя - из профильной трубы 140x140x4 мм. Каркас измельчителя был сварен из профильной трубы 40x40x2 мм. Для загрузки свёклы и выгрузки долек в верхней и нижней стенках камеры и поршня выполнены окна. Шатун был изготовлен из профильной трубы 40x40x3 мм длиной 1,5 м, в торцы которой вварены резьбовые втулки для шарниров рулевых тяг. В экспериментальной версии установки в шатуне был закреплен тензодатчик, позволяющий фиксировать величину усилия до 1800 Н.

Измерение усилия резания кормовой свёклы осуществлялось по специально разработанной методике с использованием компьютерной технологии.

Были изготовлены специальные ножи, при этом каждый шеврон припаивался к ножевому кольцу с заданным углом.

Для более точного изучения усилия резания кормовой свёклы при различных формах ножа и изменениях некоторых факторов, например, скорости резания, использовали осциллограф и операционный усилитель, который обеспечивал режим непрерывной линейной развёртки исследуемого сигнала. Электронный луч вычерчивает на экране компьютера изображение исследуемого сигнала, развёрнутое во времени. Генератор развёртки «ждёт», когда поступит исследуемый сигнал от усилия резания кормовой свёклы, и только после этого начинает вырабатывать линейное развёртывающее напряжение, которое практически мгновенно принимает первоначальное значение и снова нарастает. Этот процесс повторяется многократно (рисунок 3.16).

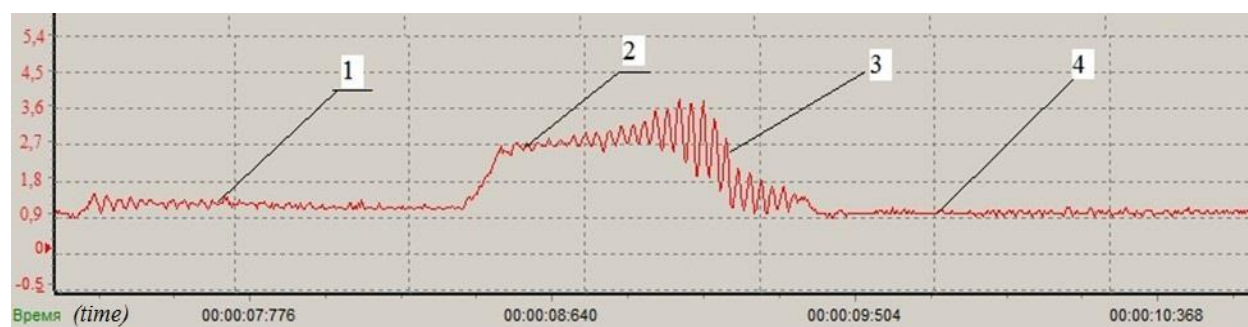


Рисунок 3.16 – Осциллограмма усилия резания от хода ножевого кольца

На рисунке 3.16 показано четыре характерных участка осциллограммы: 1 - поршень с ножевой стенкой проходит путь к противорежущему подпору, 2 - начало резания кормовой свёклы, 3 - процесс резания кормовой свёклы ножевой стенкой и 4 - холостой (обратный) ход поршня.

Анализ полученных осциллограмм позволяет определять величину усилия резания кормовой свёклы и продолжительность действия этого усилия.

### 3.6 Выводы по главе 3

1. Определены особенности строения кормовой свёклы и физико-механические показатели, влияющие на прочностные свойства материал.

2. Коэффициенты трения движения  $f_c$  внутренней структуры корнеклубнеплодов определялись по следующим материалам: органическое стекло, сталь шлифованная, сталь обрешиненная.

3. Для исследования усилия резания рассматривали поисковый опыт с рассмотренными факторами: форма лезвия и угол наклона ножа, ранее были изготовлены плоские ножи: волнообразный, с односторонней и двухсторонней заточками ножами с углом 0 и 30° (рисунок 3.10).

4. В качестве материала для ножей используется полотно ленточно-пильного деревообрабатывающего станка, с толщиной 1 мм и шириной 40 мм. В измельчителе кормовой свёклы поршень с ножевой стенкой выполнен из профильной трубы 120x120x4 мм, а камера измельчителя - из профильной трубы 140x140x4 мм. Каркас измельчителя был сварен из профильной трубы 40x40x2 мм. Для загрузки свёклы и выгрузки долек в верхней и нижней стенках камеры и поршня выполнены окна. Шатун был изготовлен из профильной трубы 40x40x3 мм длиной 1,5 м, в торцы которой вварены резьбовые втулки для шарниров рулевых тяг. В экспериментальной версии установки в шатуне был закреплен тензодатчик, позволяющий фиксировать величину усилия до 1800 Н.

5. Для более точного изучения усилия резания кормовой свёклы при различных формах ножа и изменениях некоторых факторов, например, скорости резания, использовали осциллограф и операционный усилитель, который обеспечивал режим непрерывной линейной развёртки исследуемого сигнала.



## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Физико-механические свойства корнеклубнеплодов

С целью подтверждения теоретических расчетов проведены экспериментальные исследования, направленные на определение физико-механических свойств корнеклубнеплодов, знание которых необходимо для разработки измельчителя корнеклубнеплодов, обеспечивающего, в первую очередь, снижение энергетических затрат и повышение производительности.

Экспериментальные исследования проведены в соответствии с разработанной методикой, представленной в главе 3.

Результаты исследований представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства корнеклубнеплодов

Показатель	Кормовая свёкла	Картофель	Морковь	
Масса, кг	1,1-2,7	0,12-0,2	0,14-0,25	
Влажность, %	80-87	75-80	80-85	
Диаметр, мм	150-180	65-100	40-60	
Длина, мм	150-200	75-100	150-200	
Статическая прочность корнеклубнеплода, кг	178-185	50-70	56-85	
Объёмная масса, кг/см <sup>3</sup>	650-700	700-720	580-590	
Модуль упругости, МПа	54-83	34-54	69-83	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	500-750	500-750	500-750	
Предел прочности при сжатии, МПа	13-24	10-18	13-25	
Относительное сжатие, %	55-85	23-35	70-85	
Коэффициент трения о материалы	Сталь	0,45-0,60	0,45-0,60	0,45-0,60
	Дерево	0,45-0,68	0,45-0,68	0,45-0,68
	Резина	0,5-0,8	0,5-0,8	0,5-0,8
Сопротивление корнеклубнеплодов резанию лезвием (в сыром виде), кг/пог.см	Резание давлением толщина ломтика 10 мм	1,25-1,4	0,84-0,90	1,9-2,1
	Резание давлением толщина ломтика 5 мм	1,00-1,15	0,72-0,85	1,5-1,7
	Скользящее резание толщина ломтика 10 мм	0,65-0,80	0,50-0,60	1,5-1,80
	Скользящее резание толщина ломтика 5 мм	0,60-0,80	0,48-0,55	1,1-1,24

Для каждого физико-механического показателя корнеклубнеплодов определен коэффициент вариации по выражению:

$$v = \frac{\sigma}{x} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение показателя;

$x$  – среднее значение показателя.

Результаты расчетов коэффициентов вариации для исследуемых показателей физико-механических свойств кормовой свёклы представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Коэффициенты вариации физико-механических свойств кормовой свёклы

Показатель		Среднее значение, кг	Среднеквадратичное отклонение, кг	Коэфф. вариации, %
Масса		1,9	0,8	42,11
Влажность		83,5	3,5	4,19
Диаметр		165	15	9,09
Длина		175	25	14,29
Статическая прочность корнеклубнеплода		181,5	3,5	1,93
Объёмная масса		675	25	3,7
Модуль упругости		68,5	14,5	21,17
Плотность		625	125	20
Предел прочности при сжатии		18,5	5,5	29,73
Относительное сжатие		70	15	21,43
Коэффициент трения о материалы	Сталь	0,53	13,21	13,21
	Дерево	0,57	17,54	17,54
	Резина	0,65	21,54	21,54
Сопротивление корнеклубнеплодов резанию лезвием (в сыром виде)	Резание давлением, толщина ломтика 10 мм	1,33	5,26	5,26
	Резание давлением, толщина ломтика 5 мм	1,08	6,48	6,48
	Скользящее резание, толщина ломтика 10 мм	0,73	9,59	9,59
	Скользящее резание, толщина ломтика 5 мм	0,7	14,29	14,29

Полученные значения коэффициентов вариации физико-механических свойств кормовой свёклы показывают, что вариация значений относительно небольшая, кроме коэффициента вариации массы кормовой свёклы составля-

ет 42,11%. Полученные значения также указывают на однородность исследуемых совокупностей, т.к. полученные значения коэффициентов вариации менее 33%.

## 4.2 Результаты исследований коэффициента трения корнеклубнеплодов

Экспериментальные исследования по определению коэффициентов трения скольжения проводились на установке, описание которой представлено в главе 3 и показано на рисунке 3.9. Получены результаты экспериментальных значений коэффициентов трения покоя и движения корнеклубнеплодов по различным материалам представлены соответственно в таблицах 4.3 и 4.4 [7].

Таблица 4.3 – Значения коэффициентов трения покоя корнеклубнеплодов по различным материалам [6]

Поверхность	Материал в целом виде			Материал разрезанный		
	картофель	морковь	кормовая свёкла	картофель	морковь	кормовая свёкла
	Средние значения коэффициентов трения покоя					
Органическое стекло	0,325	0,577	0,194	1,036	0,577	0,839
Сталь шлифованная	0,383	0,576	0,195	1,235	0,625	0,900
Сталь обрешиненная	0,387	0,781	0,325	1,111	1,110	0,933

Таблица 4.4 – Значения коэффициентов трения движения корнеклубнеплодов по различным материалам [6]

Поверхность	Корнеклубнеплоды		
	картофель	морковь	кормовая свёкла
	Углы трения движения/ средние значения коэффициентов трения движения		
Органическое стекло	24/0,445	25/0,466	26/0,489
Сталь шлифованная	25/0,466	26/0,488	27/0,510
Сталь обрешиненная	27/0,509	28/0,532	29/0,554

При изготовлении рабочих органов измельчителей чаще всего используется сталь шлифованная, для которой, как показали результаты экспериментальных исследований, угол трения движения  $\varphi$  изучаемых корнеклубнеплодов составил не более  $27^\circ$ . Исходя из источников [6, 10, 11, 12, 29, 71, 72, 76, 114, 122, 123, 124] резание со скольжением возникает при условии, что  $\alpha > \varphi_c$  (численное значение угла наклона ножей  $\alpha$  больше угла трения движения  $\varphi_c$ ), следовательно, для достижения резания с пониженными энергозатратами принимаем угол резания со скольжением  $28^\circ$  [6].

Общая закономерность фрикционных показателей корнеклубнеплодов других сортов подтверждается другими исследователями [16, 125].

В таблице 4.5 представлены коэффициенты вариации коэффициентов трения покоя корнеклубнеплодов по различным материалам.

Таблица 4.5 – Коэффициенты вариации коэффициентов трения покоя корнеклубнеплодов по различным материалам [6]

Поверхность	Материал в целом виде			Материал разрезанный		
	Коэфф. вариации, %	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Коэфф. вариации, %	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение
Органическое стекло	40,54	0,37	0,15	23,17	0,82	0,19
Сталь шлифованная	39,47	0,38	0,15	27,17	0,92	0,25
Сталь обрешиненная	40	0,50	0,20	5,71	1,05	0,06

Анализ полученных коэффициентов вариации трения покоя корнеклубнеплодов по различным материалам показывает, что вариация значений коэффициентов трения покоя корнеклубнеплодов в целом виде по различным материалам высокая, т.к. полученные значения коэффициентов вариации более 33%. При этом вариация значений коэффициентов трения покоя корнеклубнеплодов в разрезанном виде относительно небольшая [6].

### 4.3 Результаты исследований влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы

Испытательный стенд позволял замерять усилие резания кормовой свёклы по глубине погружения ножа различных форм.

Результаты экспериментальных исследований позволили получить зависимости усилия резания  $P$  двух сортов кормовой свёклы от глубины резания  $h$  ножами трех групп при установке их в ножевой стенке под двумя углами к вертикали (рисунки 4.1 - 4.4).

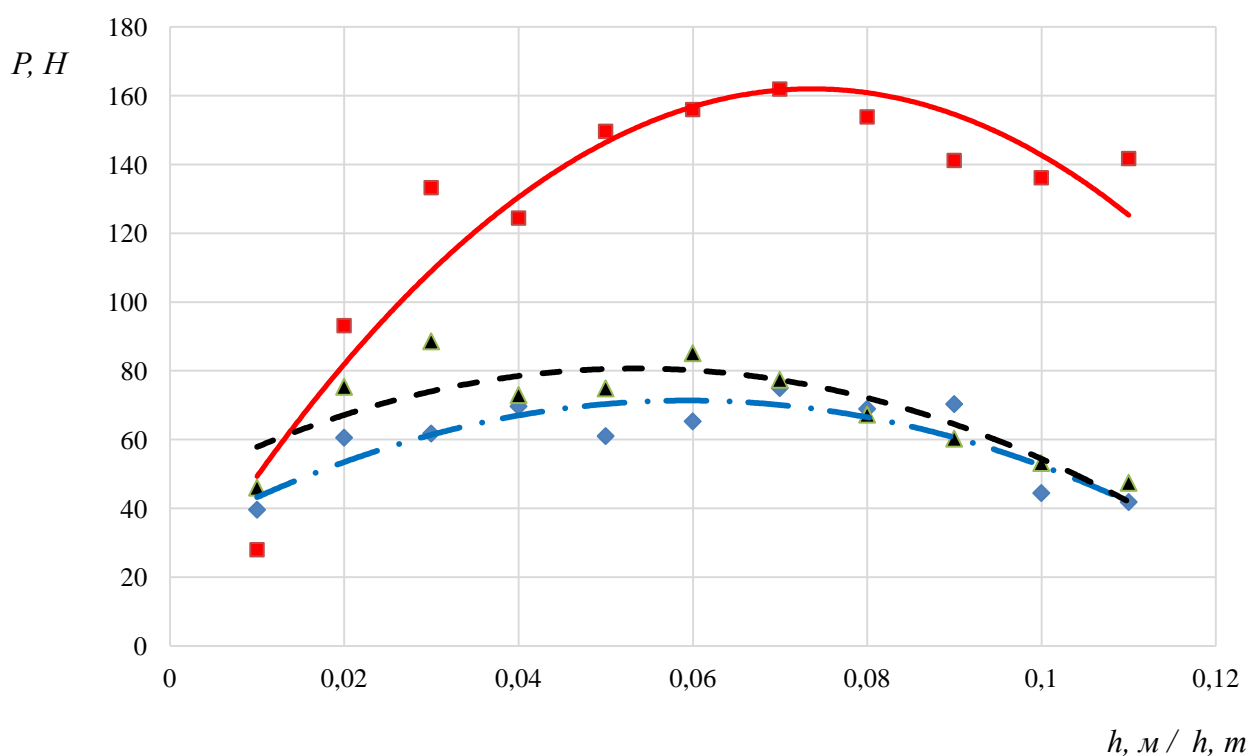


Рисунок 4.1 - Зависимость усилия резания кормовой свёклы сорта

«Крымская розовая» от глубины резания при угле установки ножа  $0^0$ :

- ■ — режущая часть прямолинейной формы с односторонней заточкой
- - ▲ - режущая часть прямолинейной формы с двухсторонней заточкой
- • • ◆ - режущая часть волнообразной формы

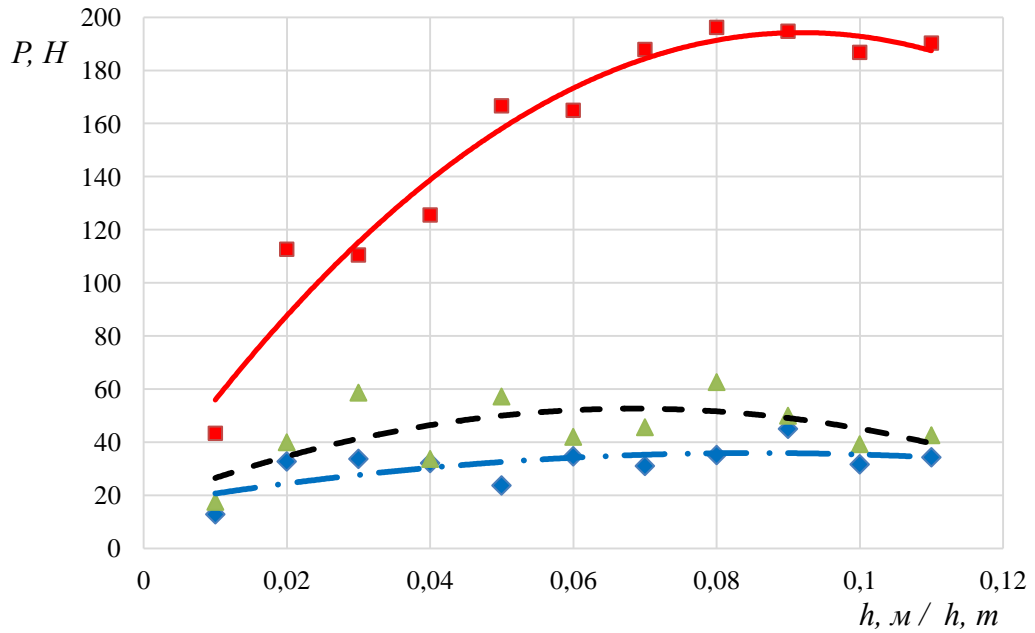


Рисунок 4.2 - Зависимость усилия резания кормовой свёклы сорта «Рекорд Поли» от глубины резания при угле установки ножа  $0^0$ :

- режущая часть прямолинейной формы с односторонней заточкой
- ▲— режущая часть прямолинейной формы с двухсторонней заточкой
- ♦— режущая часть волнообразной формы

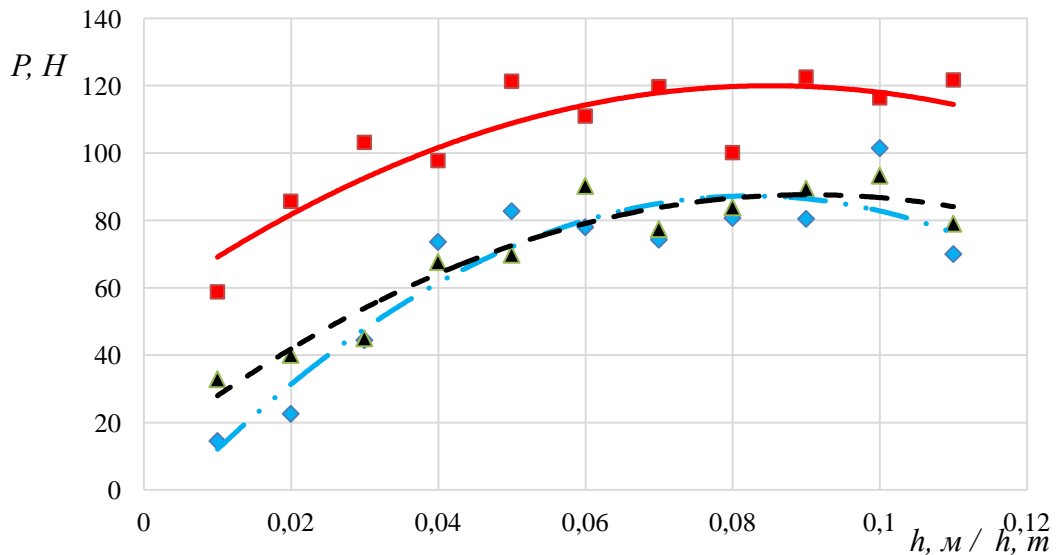


Рисунок 4.3 - Зависимость усилия резания кормовой свёклы сорта «Крымская розовая» от глубины резания при угле установки ножа  $30^0$ :

- режущая часть прямолинейной формы с односторонней заточкой
- ▲— режущая часть прямолинейной формы с двухсторонней заточкой
- ♦— режущая часть волнообразной формы

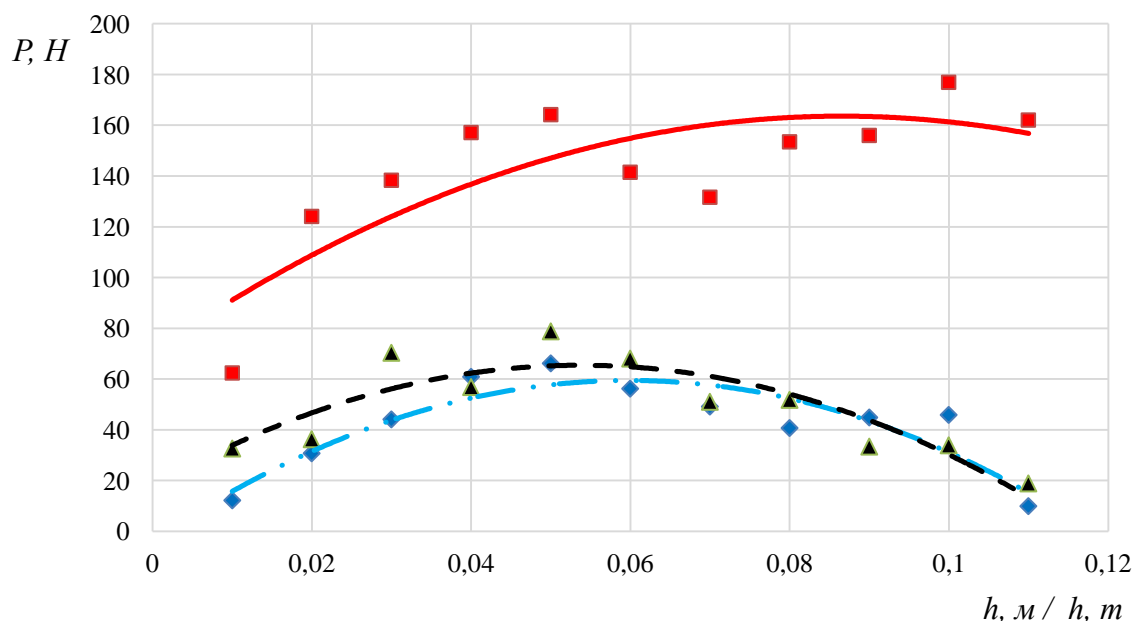


Рисунок 4.4 - Зависимость усилия резания кормовой свёклы сорта «Рекорд Поли» от глубины резания при угле установки ножа  $30^{\circ}$ :

- ■ — режущая часть прямолинейной формы с односторонней заточкой
- — ▲ — режущая часть прямолинейной формы с двухсторонней заточкой
- • • ◆ — режущая часть волнообразной формы

Результаты, представленные на рисунках 4.1 – 4.4, позволили рассчитать для каждого варианта средние значения усилия резания кормовой свёклы  $P_{cp}$  и их средние квадратические отклонения  $\sigma$  таблицы 4.6, а также получить математические зависимости усилия резания кормовой свёклы сортов «Крымская розовая» и «Рекорд Поли» от глубины резания ножами с режущей частью волнообразной формы и прямолинейной формы с односторонней и двухсторонней заточками при их установках на  $0^{\circ}$  и  $30^{\circ}$  к вертикали (таблица 4.7).

Таблица 4.6 – Средние значения  $P_{cp}$  и средние квадратические отклонения  $\sigma$  усилия резания кормовой свёклы

Форма режущей части ножа	Сорт кормовой свёклы	Угол установки ножа, град.	$P_{cp}$ , Н	$\sigma$ , Н
волнообразная	Крымская розовая	0	60	12
		30	66	27

Продолжение табл. 4.6.

	Рекорд Поли	0	31	8
		30	42	18
прямолинейная с односторонней заточкой	Крымская розовая	0	133	38
		30	105	20
	Рекорд Поли	0	153	44
		30	143	31
прямолинейная с двухсторонней заточкой	Крымская розовая	0	68	15
		30	70	21
	Рекорд Поли	0	44	13
		30	48	19

Из результатов расчетов, представленных в таблице 4.6, следует, что среднее значение усилия резания минимально при использовании ножей с режущей частью волнообразной формы.

Кормовая свёкла сорта «Рекорд Поли» измельчается с меньшим усилием, чем «Крымская розовая» при применении ножей с режущей частью волнообразной формы и с прямолинейной формой, имеющих двухстороннюю заточку.

Максимальное среднее усилие резания имеют ножи с прямолинейной формой режущей частью, с односторонней заточкой.

Ножи с режущей частью, имеющие прямолинейную форму и двухстороннюю заточку, имеют среднее усилие резания выше на 6% при измельчении кормовой свёклы «Крымская розовая» с установкой ножей под углом  $30^{\circ}$  и на 40% – при измельчении кормовой свёклы «Рекорд Поли» с установкой ножей под углом  $0^{\circ}$ .

Изменение угла установки ножей с режущей частью волнообразной формы в ножевой стенке с  $0^{\circ}$  на  $30^{\circ}$  приводит к увеличению среднего усилия резания кормовой свёклы сортов «Крымская розовая» и «Рекорд Поли» соответственно на 10% и 35%.



Таблица 4.7 - Зависимости усилия резания кормовой свёклы от глубины резания

Форма режущей части ножа	Сорт кормовой свёклы	Угол установки ножа, град.	Зависимости усилия резания кормовой свёклы $P$ от глубины резания $h$
волнообразная	Крымская розовая	0	$P = -11524h^2 + 1369,3h + 30,69 /$ $P = -11524h^2 + 1369.3h + 30.69$
		30	$P = -14340h^2 + 2363,7h - 10,15 /$ $P = -14340h^2 + 2363.7h - 10.15$
	Рекорд Поли	0	$P = -2674h^2 + 457,5h + 16,33 /$ $P = -2674h^2 + 457.5h + 16.33$
		30	$P = -17574h^2 + 2104,1h - 3,55 /$ $P = -17574h^2 + 2104.1h - 3.55$
прямолинейная с односторонней заточкой	Крымская розовая	0	$P = -27803h^2 + 4095,7h + 11,17 /$ $P = -27803h^2 + 4095.7h + 11.17$
		30	$P = -8997h^2 + 1532,7h + 54,71 /$ $P = -8997h^2 + 1532.7h + 54.71$
прямолинейная с односторонней заточкой	Рекорд Поли	0	$P = -20668h^2 + 3795,1h + 20,02 /$ $P = -20668h^2 + 3795.1h + 20.02$
		30	$P = -12376h^2 + 2141,8h + 70,92 /$ $P = -12376h^2 + 2141.8h + 70.92$
прямолинейная с двухсторонней заточкой	Крымская розовая	0	$P = -12097h^2 + 1292,1h + 46,17 /$ $P = -12097h^2 + 1292.1h + 46.17$
		30	$P = -9236h^2 + 1669,4h + 12,20 /$ $P = -9236h^2 + 1669.4h + 12.20$
	Рекорд Поли	0	$P = -7618h^2 + 1044,2h + 16,82 /$ $P = -7618h^2 + 1044.2h + 16.82$
		30	$P = -16471h^2 + 1770,5h + 17,86 /$ $P = -16471h^2 + 1770.5h + 17.86$

Зная зависимости усилия резания кормовой свёклы от глубины резания, представленные в таблице 4.7, можно определить для каждого варианта глубину погружения ножа, при которой усилие резание будет максимальным. Эти знания могут быть полезными при усовершенствовании конструкции измельчителя.

Кроме того, экспериментальные исследования показали, что от формы режущей части ножа зависит качество готовой продукции и процесс резания определяет геометрические характеристики ломтика, что напрямую влияет на однородность кормовой свёклы. При воздействии рабочего органа измельчителя кормовую свеклу выделяется клеточный сок, т.е. происходит

процесс нарушения клеточной структуры. Измельчение наблюдается с эффектом сепарации и при этом происходит нарушения силы поверхностного слоя, что ведет к потере питательных свойств, снижению качества готового корма из-за того, что сок в свободном состоянии темнеет, покрывается плесенью и окисляется [112, 113, 114, 122, 125].

Исходя из результатов зависимости усилия резания нами был выбран оптимальный вариант ножа с двухсторонней заточкой. Для дальнейшей разработки установки измельчителя кормовой свёклы использовали факторы, которые влияют на снижение энергоемкости, минимальные потери сока и повышение производительности: высота волны; угол наклона; скорость поршня; угла шеврона.

#### 4.4 Результаты оптимизации конструктивных факторов ножевой стенки разработанного измельчителя кормовой свёклы при оценке усилия резания

На основе анализа научных работ и практического опыта выбрано 4 основных фактора, которые в наибольшей степени влияют на величину усилия резания ( $P$ ,  $H$ ) измельчителем кормовой свёклы, изготовленным по патенту РФ №2729524 [48]:  $\alpha_{ш}$  – угол шеврона, град.,  $\alpha_{н}$  – угол установки ножей в ножевой стенке, град.,  $v_{н.с.}$  – скорость ножевой стенки, м/с,  $h_{в}$  – высота волны ножа, мм.

Уровни оптимизируемых факторов и интервалы их варьирования представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Уровни оптимизируемых факторов и интервалы варьирования

Фактор	Уровни фактора			Интервал варьирования фактора, $\epsilon$
	0	-1	+1	
$\alpha_{ш}$	40	30	50	10
$\alpha_{н}$	20	10	30	10
$v_{н.с.}$	0,9	1,0	1,1	0,1
$h_{в}$	5	0	10	5

По результатам экспериментальных исследований 4 факторов при реализации плана Рехтшафнера (приложение А таблица А.1) получены результаты, использование которых позволило рассчитать коэффициенты  $B_0$ ,  $B_i$ ,  $B_{ij}$  и  $B_{ii}$  уравнения регрессии:

$$P = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_j + \sum B_{ii} x_i^2, \quad (4.2)$$

где  $x_i$ ,  $x_j$  – исследуемые оптимизируемые факторы.

По критерию Стьюдента была оценена значимость коэффициентов уравнения регрессии (4.2). Получено следующее уравнение регрессии в кодированном виде:

$$P = 412 - 93\alpha_{\text{ш}} - 61\alpha_{\text{н}} - 21v_{\text{н.с.}} + 30h_{\text{в}} + 4\alpha_{\text{ш}}\alpha_{\text{н}} + 3\alpha_{\text{ш}}v_{\text{н.с.}} - 2\alpha_{\text{ш}}h_{\text{в}} + \\ + 3\alpha_{\text{н}}v_{\text{н.с.}} - 2\alpha_{\text{н}}h_{\text{в}} - 3v_{\text{н.с.}}h_{\text{в}} + 51\alpha_{\text{ш}}^2 + 43\alpha_{\text{н}}^2 + 25v_{\text{н.с.}}^2 + 19h_{\text{в}}^2. \quad (4.3)$$

Адекватность полученного регрессионного уравнения оценивалась по критерию Фишера [59, 63]:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S^2(P)}, \quad (4.4)$$

где  $S^2(P) = \left( \sum_1^N \sum_1^n [P_{iq} - P_i]^2 \right) / N(n+1)$  – дисперсия ошибки экспериментальных исследований;

$S_{\text{ад}}^2 = n \sum_1^N (\bar{P}_i - P_i)^2 / (N - [k + 1])$  – дисперсия неадекватности модели, здесь:

$P_i$  – случайная величина, рассчитанная по математической зависимости;

$\bar{P}_i$  – среднеарифметическое значение случайной величины;

$P_{iq}$  – значение  $i$ -той величины в  $q$ -том опыте;

$n$  – число повторностей опыта;

$N$  – число строк матрицы плана;

$k$  – число факторов.

По результатам исследования усилия резания кормовой свёклы получено, что  $F = 1,207$ . При  $F_{0,05} > F$ , условие выполняется (здесь  $F_{0,05} = 2,165$  – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5%) [59].

Полученные математические модели подтверждают результаты эксперимента. С помощью [36] определены оптимальные значения факторов, значения которых представлены в таблице 4.9 [59].

Таблица 4.9 – Оптимальные значения факторов

Оптимизируемый фактор	Оптимальные значения факторов:	
	в кодированном виде	в раскодированном виде
$x_1$ - угол шеврона, град.	0,87	48,7
$x_2$ - угол установки ножей в ножевой стенке, град.	0,65	26,5
$x_3$ - скорость ножевой стенки, м/с	0,30	0,93
$x_4$ - высота волны ножа, мм.	-0,69	1,55

Полученную математическую модель второго порядка представили в канонической форме:

$$P_p - 339 = 59x_1^2 + 43x_2^2 + 25x_3^2 + 18x_4^2. \quad (4.5)$$

Поверхности откликов, которые описываются полученным уравнением регрессии (4.3), представляют собой четырехмерные параболоиды с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов [59].

При рассмотрении факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\alpha_{н}$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $v_{н.с.}$  и  $h_{в}$  соответствовали оптимальным уровням ( $v_{н.с.} = 0,30$  и  $h_{в} = -0,69$ ).

Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке 4.5, а также в приложении А рисунки А.1-А.5, факторы  $\alpha_{ш}$ ,  $\alpha_{н}$ ,  $v_{н.с.}$ ,  $h_{в}$  обозначены соответственно  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$ .

Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\alpha_{н}$  находятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_{ш} = 0,8 \dots 0,9$  и  $\alpha_{н} = 0,6 \dots 0,7$ .

При рассмотрении факторов  $\alpha_{ш}$  и  $v_{н.с.}$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $\alpha_{н}$  и  $h_{в}$  соответствовали оптимальным уровням ( $\alpha_{н} = 0,65$  и  $h_{в} = -0,69$ ). Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке А.1 приложения А. Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_{ш}$  и  $v_{н.с.}$

находятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_{ш} = 0,8...0,9$  и  $\nu_{н.с.} = 0,2...0,4$ .

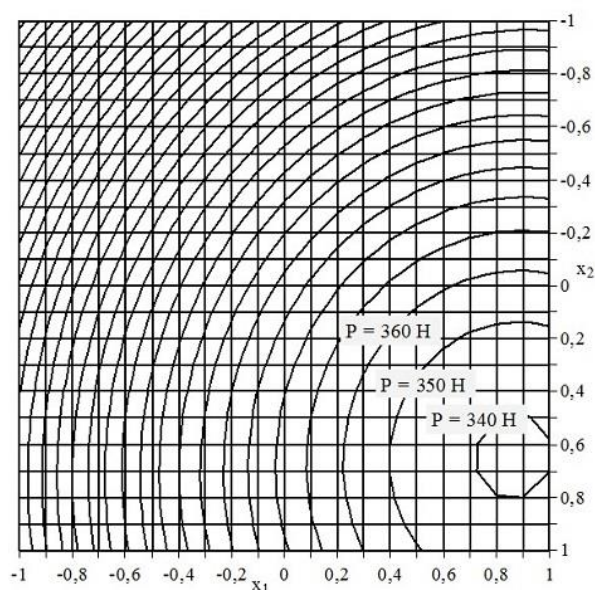


Рисунок 4.5 – Изменение усилия резания при варьировании факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\alpha_{н}$ , если  $\nu_{н.с.} = 0,30$  и  $h_{в} = -0,69$

Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\alpha_{н}$  находятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_{ш} = 0,8...0,9$  и  $\alpha_{н} = 0,6...0,7$ .

При рассмотрении факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\nu_{н.с.}$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $\alpha_{н}$  и  $h_{в}$  соответствовали оптимальным уровням ( $\alpha_{н} = 0,65$  и  $h_{в} = -0,69$ ). Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке А.1 приложения А. Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\nu_{н.с.}$  находятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_{ш} = 0,8...0,9$  и  $\nu_{н.с.} = 0,2...0,4$ .

При рассмотрении факторов  $\alpha_{ш}$  и  $h_{в}$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $\alpha_{н}$  и  $\nu_{н.с.}$  соответствовали оптимальным уровням ( $\alpha_{н} = 0,65$  и  $\nu_{н.с.} = 0,30$ ). Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке А.2 приложения А. Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_{ш}$  и  $h_{в}$  нахо-

дятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_{ш} = 0,8...0,9$  и  $h_B = -0,8...-0,6$ .

При рассмотрении факторов  $v_{н.с.}$  и  $\alpha_n$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $\alpha_{ш.}$  и  $h_B$  соответствовали оптимальным уровням ( $\alpha_{ш} = 0,87$  и  $h_B = -0,69$ ). Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке А.3 приложения А. Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_n$  и  $v_{н.с.}$  находятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_n = 0,6...0,7$  и  $v_{н.с.} = 0,2...0,4$ .

При рассмотрении факторов  $\alpha_n$  и  $h_B$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $v_{н.с.}$  и  $h_B$  соответствовали оптимальным уровням ( $\alpha_{ш} = 0,87$  и  $v_{н.с.} = 0,30$ ). Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке А.4 приложения А. Определено, что оптимальные значения факторов  $\alpha_{ш}$  и  $\alpha_n$  находятся соответственно в следующих интервалах:  $\alpha_n = 0,6...0,7$  и  $h_B = -0,8...-0,6$ .

При рассмотрении факторов  $v_{н.с.}$  и  $h_B$  построены кривые изменения усилия резания при измельчении кормовой свёклы. При этом значения двух других фактора  $\alpha_{ш.}$  и  $\alpha_n$  соответствовали оптимальным уровням ( $\alpha_{ш} = 0,87$  и  $\alpha_n = 0,65$ ). Результаты выполненных расчетов показаны на рисунке А.5 приложения А. Определено, что оптимальные значения факторов  $v_{н.с.}$  и  $h_B$  находятся соответственно в следующих интервалах:  $v_{н.с.} = 0,2...0,4$  и  $h_B = -0,8...-0,6$ .

Таким образом, для того, чтобы усилие резания кормовой свёклы при их измельчении исследуемым измельчителем было минимальным ( $P = 340$  Н) необходимо при его изготовлении обеспечить выбранные конструктивные факторы на оптимальном уровне:  $\alpha_{ш} = 0,8...0,9$  (48...49 град),  $\alpha_n = 0,6...0,7$  (26...27 град),  $v_{н.с.} = 0,2...0,4$  (0,92...0,94 м/с) и  $h_B = -0,8...-0,6$  (1...2 мм).

#### 4.5 Анализ технологий измельчения кормовой свёклы

Разработанный измельчитель кормовой свёклы был внедрен в ИП Алмазова П.К. (см. Приложения). Данное предприятие занимается производ-

ством и продажей сельскохозяйственной продукции. ИП Алмазова П.К. обладает серьезным потенциалом для развития за счет организации деятельности крестьянско-фермерского хозяйства по производству и продаже сельскохозяйственной продукции в Волгоградской области, в том числе сочных кормов для крупного рогатого скота.

В конце 2020 г. предприятие закупило оборудование для производства сочных кормов для крупного рогатого скота (измельчитель корнеклубнеплодов MS-350) производительностью 500 кг/ч и работало по схеме А (рисунок 4.6).

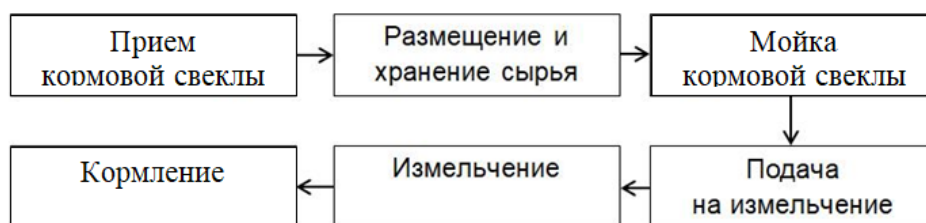


Рисунок 4.6 – Существующая схема измельчения кормовой свёклы для крупного рогатого скота (схема А)

Существующая схема измельчения кормовой свёклы для крупного рогатого скота (схема А) предполагает применение кормовой свёклы сортов «Рекорд Поли» и «Крымская розовая». Применяемая схема измельчения имеет низкую технологическую надежность, низкую производительность и не отвечает современным требованиям к качеству сочных кормов.

В связи с этим ИП Алмазова П.К. были даны рекомендации о переходе работы предприятия на схему Б (рисунок 4.7).

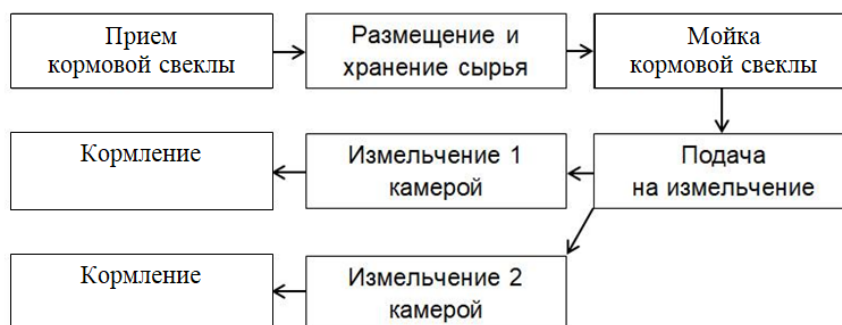


Рисунок 4.7 – Предлагаемая схема измельчения кормовой свёклы для крупного рогатого скота (схема Б)

По схеме Б измельчения кормовой свёклы осуществляется разработанным измельчителем кормовой свёклы, который производит резку на ломтики с фиксированной толщиной равной 8 мм.

Так как разработанный измельчитель кормовой свёклы имеет две камеры измельчения, существенно снижаются удельные энергетические затраты на измельчение, повышается производительность измельчения и качество готового продукта.

#### **4.6 Результаты оценки эффективности использования измельчителя по комплексному критерию**

##### **4.6.1 Эффективность технологий измельчения кормовой свёклы по комплексному критерию**

Для расчета комплексного критерия эффективности возьмем схемы измельчения кормовой свёклы, представленные в п.4.5 настоящей работы (для существующего и предлагаемого измельчителей кормовой свёклы). Для этого необходимо определить значения частных показателей, полученных в ходе эксперимента и сравнения измельчителей, а также выбрать требуемые (желаемые значения), которые определяются как лучшие полученные в ходе эксперимента.

В главе 2 выбраны следующие частные показатели эффективности:

- 1) затраты энергии, кВт;
- 2) затраты труда при измельчении, чел·ч/кг;
- 3) производительность, кг/ч;
- 4) наработка на отказ, ч;
- 5) затраты времени на устранение технологических неисправностей, ч;
- 6) удельная трудоемкость технического обслуживания, ч/кг;
- 7) потеря сока, %.



Производительность и наработку на отказ, следует увеличивать в процессе совершенствования технологии измельчения кормовой свёклы, остальные показатели необходимо снижать [33].

Фактические значения частных показателей эффективности определялись в ходе экспериментальных исследований в ИП Алмазова П.К.

1) Затраты энергии на измельчение кормовой свёклы косвенно характеризуется такими показателями как усилие резания  $P$  (кН) и скорость резания  $V$  (м/с). Данный показатель определялся по суммарной мощности электрооборудования установок. По схеме А мощность составляет 3 кВт, по схеме Б – 4,87 кВт. Значения затрат энергии на измельчение кормовой свёклы равное 3 кВт примем за желаемое т.к. это минимальное значение.

2) Важнейшим показателем эффективности измельчителей кормовой свёклы в условиях ограничения трудовых ресурсов в сельскохозяйственном производстве служат затраты труда на единицу измельченной продукции. Для определения данного показателя производились замеры отработанного времени одним человеком на измельчение одного килограмма продукции. По схеме А – 0,1 чел·ч/кг, по схеме Б – 0,05 чел·ч/кг. Это минимальное значение примем за требуемое.

3) Производительность – это основная мера функциональной полезности и эффективности, определяется объемом или массой измельченной продукции в единицу времени, например, час [33]. Производительность определялась следующим образом. Подготовлена кормовая свёкла для измельчения. Далее по схеме А производились замеры массы измельченной продукции за один час работы. Аналогичным образом были выполнены замеры данного показателя для схемы Б. По результатам экспериментальных исследований определена производительность измельчителя по схемам А и Б, равная соответственно 500 кг/ч и 1100 кг/ч. За желаемое значения производительности принимаем наилучшее значение, т.е. 1100 кг/ч.

4) Нарботка на отказ – технический параметр, характеризующий надёжность измельчителя кормовой свёклы, в частности среднюю продолжи-

тельность работы между отказами. Для определения данного показателя по схеме А использовался экспертный метод, суть которого состояла в определении продолжительности безотказной работы измельчителя по данным опроса работников предприятия, участвующих в подготовке кормовой свёклы к скармливанию крупным рогатым скотом. По схеме А наработка на отказ составляет 185 ч. При работе по схеме Б за период его использования зафиксирован один отказ. Нарботка на отказ по схеме Б составила 243 ч. За требуемое значение наработки на отказ примем 250 ч. в соответствии с СТО АИСТ 1.14.2-2020 «Машины для кормопроизводства. Показатели назначения и надежности».

5) Затраты времени на устранение технологических неисправностей. Значения данного показателя определялись путем фиксации затрат времени на устранение технологических неисправностей, связанных с забиванием рабочих органов измельчителя перерабатываемой продукцией, в расчете на одного человека. По схеме А затраты времени на устранение технологических неисправностей составляют 0,2 ч., по схеме Б – 0,1 ч. Данное значение мы принимаем за желаемое.

6) Удельная трудоемкость технического обслуживания – отношение средней трудоемкости технического обслуживания измельчителя кормовой свёклы к массе измельченной продукции. По схеме А – 0,005 ч/кг, по схеме Б – 0,003 ч/кг. Данное значение мы принимаем за желаемую удельную трудоемкость технического обслуживания.

7) Потеря сока готового продукта в процессе измельчения кормовой свёклы. Потери сока определялись следующим образом. Подготовлены контрольные образцы кормовой свёклы, из которой вырезались куски, которые имели одинаковые геометрические размеры и массу, которая составляла 500 г. Затем по схеме А производилось измельчение первого контрольного образца и контрольное взвешивание измельчённого продукта. Результаты взвешивания показали, что масса продукта после измельчения составила 435 г. от начальной массы. Это говорит о том, что потери сока при измельче-

нии кормовой свёклы по схеме А составили 13%. Аналогичным образом были выполнены замеры для схемы Б и выявлено, что в данном случае потери сока составили 9% от начальной массы. За требуемое значение потерь сока примем 5% в соответствии с СТО АИСТ 1.14.2-2020 «Машины для кормопроизводства. Показатели назначения и надежности».

В ходе эксперимента по определению оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы по комплексному критерию эффективности определены фактические значения частных, а также выбраны требуемые значения (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Значения частных показателей эффективности

№ п/п	Частный показатель	Существующий измельчитель А (MS-350)	Предлагаемый измельчитель кормовой свёклы Б	Требуемые значения частных показателей
1	Затраты энергии, кВт	3	4,87	3
2	Затраты труда при измельчении, чел·ч/кг	0,1	0,05	0,05
3	Производительность, кг/ч	500	1100	1100
4	Наработка на отказ, ч	185	243	250
5	Затраты времени на устранение технологических неисправностей, ч	0,2	0,1	0,1
6	Удельная трудоемкость технического обслуживания, ч/кг	0,005	0,003	0,003
7	Потеря сока, %.	13	9	5

Данные полученные в ходе эксперимента будут использованы для расчета комплексного критерия эффективности.

#### **4.6.2 Определение весомости частных показателей эффективности измельчения кормовой свёклы методом экспертной оценки**

Была сформирована группа экспертов, специалистов в области кормоизмельчения и кормопроизводства. Перед экспертами была поставлена задача, заключающаяся в ранжировке выбранных частных показателей эффек-

тивности технологии измельчения кормовой свёклы. Каждый эксперт в соответствии на своих знаниях и предпочтениях выполнял «оценку» важности каждого показателя. Результаты данного опроса были обработаны соответствующим образом с целью выявления согласованности «оценок» экспертов и представления общего мнения.

Экспертной группой была осуществлена прямая ранжировка показателей эффективности технологии измельчения кормовой свёклы (табл. 4.11). В таблице 4.12 представлены ранги оценок экспертов по всем показателям. В таблице 4.13 представлены коэффициенты парной корреляции Спирмена, по которым оценивалась независимость мнений экспертов.

Таблица 4.11 – Оценка показателей эффективности технологии измельчения кормовой свёклы

№ эксперта \ Показатель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4	4	2	3	4	3	2	3	3	2	5	6
2	3	3	4	2	6	2	4	5	4	4	1	4
3	2	1	3	1	2	4	1	2	1	3	3	1
4	6	6	6	6	3	7	5	4	7	6	2	7
5	5	5	5	5	7	6	6	6	5	5	7	2
6	7	7	7	7	5	5	7	7	6	7	4	3
7	1	2	1	4	1	1	3	1	2	1	6	5

Таблица 4.12 – Ранги оценок экспертов по всем показателям

№ эксперта \ Показатель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	3	5	4	3	4	5	4	4	5	2	1
2	4	4	3	5	1	5	3	2	3	3	6	3
3	5	6	4	6	5	3	6	5	6	4	4	6
4	1	1	1	1	4	0	2	3	0	1	5	0
5	2	2	2	2	0	1	1	1	2	2	0	5
6	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	3	4
7	6	5	6	3	6	6	4	6	5	6	1	2

Таблица 4.13 – Коэффициенты парной корреляции Спирмена, показывающие независимость мнений экспертов

№ эксперта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-											
2	0,94	-										
3	0,83	0,71	-									
4	0,66	0,83	0,49	-								
5	0,39	0,32	0,39	-0,22	-							
6	0,74	0,49	0,74	0,25	0,30	-						
7	0,66	0,77	0,71	0,77	0,33	0,39	-					
8	0,71	0,66	0,77	0,31	0,90	0,60	0,77	-				
9	0,80	0,90	0,70	0,60	0,78	0,54	0,90	0,91	-			
10	0,83	0,71	1,00	0,49	0,39	0,74	0,71	0,77	0,70	-		
11	-0,46	-0,28	-0,84	0,10	-0,54	-0,16	-0,46	-0,84	-0,19	-0,84	-	
12	-0,08	0,23	-0,61	0,23	0,10	-0,66	-0,10	-0,24	-0,03	-0,61	0,46	-

По формуле (2.3) и данных из таблицы 4.12 были выполнены расчеты значений коэффициентов важности частных показателей эффективности измельчения кормовой свёклы (табл. 4.14).

Таблица 4.14 – Значение коэффициентов важности  $\alpha_i$

Частный показатель эффективности	$K_{ЗЭ}$	$K_{ЗТ}$	$K_{Пр}$	$K_{Н}$	$K_{ЗВ}$	$K_{УТ}$	$K_{ПС}$
$\alpha_i$	0,16	0,15	0,23	0,08	0,08	0,1	0,2

Производительность измельчителя и потери сока являются наиболее важными частными показателями эффективности использования измельчителей кормовой свёклы, а самыми незначительными – наработка на отказ и затраты времени на устранение технологических неисправностей.

#### 4.6.3 Оценка комплексного критерия эффективности использования измельчителей кормовой свёклы

Исходя таблицы 4.10, а также коэффициентов важности  $\alpha_i$ , выполнены расчеты коэффициентов  $K_i = \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{пр}}$ . Результаты представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Значение коэффициентов  $K_i$ 

Частный показатель эффективности машин	$K_{зэ}$	$K_{зт}$	$K_{пр}$	$K_{н}$	$K_{зв}$	$K_{ут}$	$K_{пс}$
А	0,16	0,3	0,105	0,06	0,16	0,167	0,52
Б	0,26	0,15	0,23	0,078	0,08	0,1	0,36

Таким образом, комплексный критерий эффективности использования измельчителя для существующего измельчителя равен  $K_э = 9,45$  а для предлагаемого  $K_э = 159$ . Предлагаемый измельчитель кормовой свёклы (схема Б) эффективнее существующего в хозяйстве Волгоградской области в 16,8 раз.

#### 4.7 Выводы по главе 4

1. Полученные значения коэффициентов вариации физико-механических свойств кормовой свёклы показывают, что вариация значений относительно небольшая, кроме коэффициента вариации массы кормовой свёклы, который составляет 42,11%. Полученные значения также указывают на однородность исследуемых совокупностей, т.к. полученные значения коэффициентов вариации менее 33%.

2. Результаты исследований коэффициента трения корнеклубнеплодов показали, что угол трения движения  $\varphi$  по стали у изучаемых корнеклубнеплодов составил не более  $27^\circ$ .

3. Результаты исследований влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы показали, что среднее значение усилия резания минимально при использовании ножей с режущей частью волнообразной формы. Максимальное среднее усилие резания имеют ножи с прямолинейной формой режущей частью, с односторонней заточкой. Ножи с режущей частью, имеющей прямолинейную форму и двухстороннюю заточку, имеют среднее усилие резания выше на 6% при измельчении кормовой свёклы «Крымская розовая» с установкой ножей под углом  $30^\circ$  и на 40% – при измельчении кормовой свёклы «Рекорд Поли» с установкой ножей под углом  $0^\circ$ . Изменение угла

установки ножей с режущей частью волнообразной формы в ножевой стенке с  $0^{\circ}$  на  $30^{\circ}$  приводит к увеличению среднего усилия резания кормовой свёклы сортов «Крымская розовая» и «Рекорд Поли» соответственно на 10% и 35%.

4. Результаты экспериментальных исследований измельчителя кормовой свёклы новой конструкции позволили определить оптимальные значения конструктивных и режимных факторов, реализация которых в конструкции измельчителя обеспечит минимальное усилие резания кормовой свёклы. Таким образом, для того, чтобы усилие резания кормовой свёклы при её измельчении исследуемым измельчителем было минимальным ( $P = 340$  Н) необходимо при его изготовлении обеспечить выбранные конструктивные и режимные факторы на оптимальном уровне:  $\alpha_{ш} = 0,8...0,9$  (48...49 град),  $\alpha_{н} = 0,6...0,7$  (26...27 град),  $v_{н.с.} = 0,2...0,4$  (0,92...0,94 м/с) и  $h_{в} = - 0,8...- 0,6$  (1...2 мм).

5. На основе экспертной оценки определены значения коэффициентов относительной важности выбранных частных показателей эффективности, которые для показателей затраты энергии, затраты труда при измельчении, производительность, наработка на отказ, затраты времени на устранение технологических неисправностей, удельная трудоемкость технического обслуживания, потеря сока соответственно равны 0,16; 0,15; 0,23; 0,08; 0,08, 0,1 и 0,2.

6. Рассчитаны значения комплексного критерия эффективности применения «существующего» и «предлагаемого» измельчителей кормовой свёклы, которые соответственно равны 9,45 и 159. Использование экспериментальной конструкции измельчителя кормовой свёклы по схеме Б в 16,8 раз эффективнее, чем использование измельчителя по схеме А.

## 5 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

### 5.1 Стоимость изготовления измельчителя кормовой свёклы

Для оценки экономической эффективности разработки измельчителя кормовой свёклы необходимо знать стоимость изготовления установки  $C_{И}$ , руб., которая состоит из следующих элементов:

$$C_{И} = Z_{п} + C_{м}, \quad (5.1)$$

где  $Z_{п}$  - заработная плата, руб.;

$C_{м}$  - стоимость материалов, руб.

Заработная плата включает в себя:

- основной оклад  $Z_{о}$ , руб., выполняющего операции по изготовлению измельчителя, который составляет 3286,95 руб.

- дополнительная заработная плата  $O_{д}$ , руб., составляет 10% от основного дохода, составляет 328,6 руб.

- социальные отчисления  $O_{соц}$ , руб., 20% от суммы основных и дополнительных выплат, которые составляют 657,2 руб.

Итого  $Z_{п}$ , руб., составит:

$$Z_{п} = Z_{о} + O_{д} + O_{соц} = 3286,95 + 328,6 + 657,2 = 4272,75 \text{ руб.}$$

Стоимость на отдельные элементы оборудования приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет стоимости оборудования

Наименование оборудования	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., руб./ед.	Общая стоимость, руб.
Червячный редуктор	шт.	1	20000	20000
Двигатель (2,2 кВт, 1500 об/мин)	шт.	1	16000	16000
Щит управления	шт.	1	5500	5500
Лист металлический 1мх2мх2мм	м.	1	5500	5500
Поршень 140х140х5,1=0.5м	шт.	1	3500	3500
профильная труба 40ммх40ммх12м	шт.	1	15000	15000
Ремень клиновой В(Б)-1040 Lp/ 1000	шт.	1	520	520
Вспомогательные детали	-	-	-	20680

В сумме получаем  $C_{м} = 86700$  руб.



Итого стоимость измельчителя кормовой свёклы составит:

$$C_{И} = 86700 + 4272,75 = 90972,75 \text{ руб.}$$

## 5.2 Определение экономической эффективности разработанного измельчителя кормовой свёклы

Экономическая эффективность приведена применительно к серийному измельчителю корнеплодов МС-350. Оценка экономической эффективности разработанной установки для измельчения кормовой свёклы произведена на основании результатов производственных исследований.

В соответствии с зоотехническими нормами на кормление КРС кормовой свеклой принимаем: для молодняка кормовая доза составляет 15 кг, а для остальных - 30 кг. В Волгоградской области в хозяйствах всех категорий поголовье крупного рогатого скота составляет 330 тыс. голов. В среднем хозяйства Волгоградской области имеют 210 голов крупного рогатого скота, из которых 55% молодняк. На основании этих данных определили годовой объем работ измельчителя:

$$\Gamma_0 = (210 \cdot 0,45 \cdot 30 + 210 \cdot 0,55 \cdot 15) \cdot 210 = 4567,5 \cdot 210 = 959175 \text{ кг.}$$

Годовая загрузка измельчителя кормовой свёклы  $\Gamma_3$ , ч, определяется как отношение годового объема работы измельчителя  $\Gamma_0$ , т, к пропускной способности  $Q$ , т/ч.

$$\Gamma_3 = \frac{\Gamma_0}{Q}, \quad (5.2)$$

Для серийного измельчителя MS-350  $\Gamma_{3.MS}$ , ч:

$$\Gamma_{3.MS} = \frac{959,1}{0,5} = 1918,2 \text{ ч.}$$

Годовая загрузка предлагаемой установки  $\Gamma_{3.ПР}$ , ч:

$$\Gamma_{3.ПР} = \frac{959,1}{1,1} = 871,9 \text{ ч.}$$

Себестоимость выполнения годового объема работ  $П_3$ , руб., складывается из таких экономических показателей, как:  $C_3$  - затраты на электроэнер-

гию, руб.,  $Z_{п.р}$  - заработная плата персонала, руб.,  $A_0$  - амортизационные отчисления, руб.,  $Z_{то}$  - сумма затрат на обслуживание и ремонт измельчителя, руб. [93]:

$$P_3 = C_э + Z_{п.р} + A_0 + Z_{то}, \quad (5.3)$$

где  $C_э$  - затраты на электроэнергию, руб.;

$Z_{п.р}$  - заработная плата персонала, руб.;

$A_0$  - амортизационные отчисления, руб.;

$Z_{то}$  - сумма затрат на обслуживание и ремонт измельчителя, руб.

Затраты на электроэнергию  $C_э$ , руб., выражается формулой [93]:

$$C_э = Ц \cdot \Gamma_0 \cdot \mathcal{E}_{уд}, \quad (5.4)$$

где  $Ц = 8,50$  руб. – стоимость электрической энергии для сельскохозяйственных предприятий Волгоградской области за 1 кВт·ч, руб.;

$\Gamma_0$  – годовой объем работ измельчителя, т;

$\mathcal{E}_{уд}$  – расход электрической энергии на тонну готовой измельченной продукции, руб. (для MS-350  $\mathcal{E}_{уд,MS} = 6$  кВт·ч/т, для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $\mathcal{E}_{уд,ПР} = 4,87$  кВт·ч/т).

Тогда затраты на электроэнергию  $C_{эMS}$ , руб., для MS-350 составят:

$$C_{эMS} = 8,5 \cdot 959,1 \cdot 6 = 48914,1 \text{ руб.}$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $C_{эПР}$ , руб.:

$$C_{эПР} = 8,5 \cdot 959,1 \cdot 4,87 = 39131,28 \text{ руб.}$$

Для определения размера суммарной заработной платы персонала  $Z_{п.р}$ , руб., необходимо выполнить расчёты заработной платы без дополнительной платы  $Z_{пр}$ , руб., дополнительной оплаты  $O_d$ , руб. (10% от основной), и сумму социальных отчислений  $O_{соц}$ , руб., (20% от общей суммы заработной платы без дополнительной платы и дополнительной оплаты).

Тогда размер суммарной заработной платы персонала  $Z_{п.р}$ , руб., составит:

$$Z_{п.р} = Z_{пр} + O_d + O_{соц}, \quad (5.5)$$

Заработная плата без дополнительной платы  $Z_{\text{пр}}$ , руб., определяется по выражению:

$$Z_{\text{пр}} = \Gamma_z \cdot Ч_p, \quad (5.6)$$

где  $\Gamma_z$  - годовая загрузка измельчителя, ч;

$Ч_p = 200$  - часовая ставка работника по Волгоградской области, руб·ч.

Заработная плата без дополнительной платы  $Z_{\text{пр.МС}}$ , руб., для MS-350 составит:

$$Z_{\text{пр.МС}} = 1918,2 \cdot 200 = 383640 \text{ руб.}$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $Z_{\text{пр.ПР}}$ , руб.:

$$Z_{\text{пр.ПР}} = 871,9 \cdot 200 = 174380 \text{ руб.}$$

Дополнительной оплаты  $O_{\text{д.МС}}$ , руб., для MS-350:

$$O_{\text{д.МС}} = 0,1 \cdot 383640 = 38364 \text{ руб}$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $O_{\text{д.ПР}}$ , руб.:

$$O_{\text{д.ПР}} = 0,1 \cdot 174380 = 17438 \text{ руб.}$$

Сумма социальных отчислений  $O_{\text{соц.МС}}$ , руб., для MS-350:

$$O_{\text{соц.МС}} = 0,2 \cdot (383640 + 38364) = 84400,8 \text{ руб.,}$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $O_{\text{соц.ПР}}$ , руб.:

$$O_{\text{соц.ПР}} = 0,2 \cdot (174380 + 17438) = 38363,6 \text{ руб.}$$

Тогда размера суммарной заработной платы персонала  $Z_{\text{п.рМС}}$ , руб., для измельчителя для MS-350 составляет:

$$Z_{\text{п.рМС}} = 383640 + 38364 + 84400,8 = 509404,8 \text{ руб.,}$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $Z_{\text{п.рПР}}$ , руб.:

$$Z_{\text{п.рПР}} = 174380 + 17438 + 38363,6 = 230181,6 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления,  $A_o$ , руб., определяются по формуле:

$$A_o = N_A \cdot C_{\text{И}}, \quad (5.7)$$

где  $C_{\text{И}}$  - стоимость измельчителя кормовой свёклы, руб.;

$N_A = 10\%$  - годовая норма амортизации, %.

Для MS-350:

$$A_{o,MS} = 0,10 \cdot 75150 = 7515 \text{ руб.}$$

Для предлагаемого измельчителя:

$$A_{o,ПР} = 0,10 \cdot 90972,75 = 9097,27 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на обслуживание и ремонт измельчителя  $Z_{то}$ , руб., определяется по выражению:

$$Z_{то} = N_{то} \cdot C_{и}, \quad (5.8)$$

где  $N_{то} = 18\%$  - норматив годовых затрат на ремонт и техническое обслуживание измельчителя [93].

Тогда сумма затрат на обслуживание и ремонт измельчителя MS-350 составит:

$$Z_{тоMS} = 0,18 \cdot 75150 = 13527 \text{ руб.},$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы:

$$Z_{тоПР} = 0,18 \cdot 90972,75 = 16375,09 \text{ руб.}$$

Стоимость выполнения годового объема работ  $P_{зMS}$ , руб., для MS-350: составит:

$$P_{зMS} = 48914,1 + 509404,8 + 7515 + 13527 = 579360,8 \text{ руб.}$$

Для предлагаемого измельчителя кормовой свёклы  $P_{зПР}$ , руб.:

$$P_{зПР} = 39131,28 + 230181,6 + 9097,27 + 16375,09 = 294785,24 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_г$ , руб., определяется разностью стоимости выполнения годового объема сравниваемых измельчителей:

$$\mathcal{E}_г = P_{зПР} - P_{зMS}. \quad (5.10)$$

$$\mathcal{E}_г = 579360,8 - 294785,24 = 284575,56 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости предлагаемого измельчителя кормовой свёклы,  $T$ , лет, определяли по формуле [90, 93]:

$$T = \frac{C_{и}}{\mathcal{E}_г} = \frac{90972,75}{284575,56} = 0,31 \text{ лет.} \quad (5.11)$$

В таблице 5.2 представлены показатели технико-экономической эффективности сравниваемых измельчителей кормовой свёклы.

Таблица 5.2 – Показатели технико-экономической эффективности сравниваемых измельчителей кормовой свёклы

Показатели	MS-350	Предлагаемый измельчитель
Стоимость, руб.	75150	90972,75
Стоимость выполнения годового объема работ, руб.	579360,8	294785,8
Размер суммарной заработной платы персонала, руб.	509404,8	230181,6
Затраты на электроэнергию, руб.	48914,10	39131,28
Затраты на обслуживание и ремонт, руб.	13527	16375,09
Амортизационные отчисления, руб.	12550,05	15192,4
Годовой экономический эффект, руб.	-	284575,56
Срок окупаемости, лет	-	0,31

При использовании предлагаемого измельчителя кормовой свёклы можно получить годовой экономический эффект в размере 284575,56 руб. за счет снижения стоимости выполнения годового объема работ, размера суммарной заработной платы персонала. Срок окупаемости 0,31 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ конструктивных особенностей машин для измельчения кормовой свёклы показал, что до настоящего времени разработано достаточно много конструкций измельчителей корнеклубнеплодов и другой сельскохозяйственной продукции, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако выбор их для измельчения сельскохозяйственной продукции на корм животным осуществляется, в основном, по одному или нескольким разрозненным показателям, без комплексной оценки эффективности использования измельчителей.

2. Разработана конструктивно-технологическая схема измельчителя кормовой свёклы, который оборудован двумя камерами измельчения и позволяет измельчать различные виды и сорта кормовой свёклы на ломтики заданных размеров с сохранением клеточного сока. Для разработанного измельчителя обоснованы единичные (частные) показатели и предложена математическая зависимость комплексного критерия оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы на корм крупному рогатому скоту, учитывающий совокупность всех выбранных единичных (частных) показателей и их относительную важность.

3. Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований измельчения кормовой свёклы для кормления КРС.

4. Экспериментальные исследования показали:

- угол трения движения  $\varphi$  по стали у изучаемых корнеклубнеплодов не более  $27^\circ$ ;

- среднее значение усилия резания минимально при использовании ножей с режущей частью волнообразной формы, а максимально – с прямолинейной формой режущей части, с односторонней заточкой;

- изменение угла установки ножей с режущей частью волнообразной формы в ножевой стенке с  $0^\circ$  на  $30^\circ$  приводит к увеличению среднего усилия

резания кормовой свёклы сортов «Крымская розовая» и «Рекорд Поли» соответственно на 10% и 35%.

На основе результатов экспериментальных исследований оптимизированы значения конструктивных и режимных параметров разработанного измельчителя кормовой свёклы: угол шеврона  $x_{ш} = 0,8...0,9$  (48...49 град), угол установки ножей в ножевой стенке  $x_{н} = 0,6...0,7$  (26...27 град), скорость ножевой стенки  $x_{н.с.} = 0,2...0,4$  (0,92...0,94 м/с) и высота волны ножа  $x_{в} = 0,8...-0,6$  (1...2 мм).

Для «существующего» и «предложенного» измельчителей кормовой свёклы частные показатели эффективности использования соответственно равны: затраты энергии 3 и 4,87 кВт; затраты труда при измельчении 0,1 и 0,05 чел·ч/кг; производительность измельчителя 500 и 1100 кг/ч; наработка на отказ измельчителя 185 и 243 ч; затраты времени на устранение технологических неисправностей 0,2 и 0,1 ч; удельная трудоемкость технического обслуживания 0,005 и 0,003 ч/кг; потеря сока 13 и 9%.

Рассчитаны значения комплексного критерия эффективности использования существующего и предложенного измельчителей кормовой свёклы, которые соответственно равны 9,45 и 159. Использование предложенной конструкции измельчителя кормовой свёклы в 16,8 раз эффективнее, чем использование существующего измельчителя.

5. Использование предлагаемого измельчителя кормовой свёклы дает годовой экономический эффект 284575,56 руб. Срок окупаемости разработанной конструкции измельчителя кормовой свёклы равен 0,31 года.

### **Рекомендации производству.**

Измельчение кормовой свёклы на корм КРС осуществлять с помощью предлагаемого измельчителя кормовой свёклы (патент на изобретение РФ № 2729524).

### **Перспективы дальнейшей разработки темы.**

1. Продолжить работу по усовершенствованию разработанного измельчителя кормовой свёклы в направлении повышения производительности и качества измельчения.
2. Разработать систему автоматического управления подачей кормовой свёклы в камеры измельчения измельчителя.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абузяров Р.Х. Эффективность использования различных местных источников протеина при откорме бычков на рационах с кукурузной основой: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.02. Саранск, 1998. 23 с.
2. Алмазов И. В. Повышение эффективности использования машин при транспортировке сена в рулонах: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01: Волгоград, 2016. 159 с.
3. Анализ сельскохозяйственного предприятия по производству молока [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00014962\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00014962_0.html).
4. Ананьев В.С. Аналитическое определение общего усилия резания в роторном измельчителе корнеклубнеплодов // Вестник КрасГАУ. 2012. №11. С. 269-273.
5. Андреев Н.Г. Кормопроизводство с основами ботаники учеб. пособие // Сельхозгиз. 1953. 416 с.
6. Антонов Н.М. и др. Определение фрикционных характеристик корнеклубнеплодов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. №. 4 (40). С. 162-168.
7. Антонов Н.М., Искуснов Ю.В., Лебедь Н.И. Оптимизация режимов и параметров ломтикового измельчителя яблок // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 4(28). С. 160-164.
8. Антонов Н.М., Лебедь Н.И., Мамахай А.К. Оптимизация конструктивных параметров измельчителя плодов и корнеплодов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3(43). С. 231-238.

9. Арданов Ч.С.Е., Шуханов С.Н., Болоев П.А. Модернизация сухого способа очистки корнеклубнеплодов // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. С. 13-14.

10. Арнаут С.А. Теоретические основы тонкослойного резания яблок // Национальная академия наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси. Минск : Белорусская наука. 2008. Ч. 4: Серия аграрных наук. С. 312.

11. Арнаут С.А. Тонкослойное резание яблок с разработкой машины для производства чипсов: автореф. ... канд. тех. наук: 05.18.12. Минск, 2010. 22 с.

12. Арнаут С.А. Тонкослойное резание яблок. Практические результаты // Инженерный вестник: научно-технический рецензируемый журнал общественного объединения «Белорусское инженерное общество». 2007. № 2(24). С. 12-14.

13. Аюгин Н. П. Снижение энергоемкости измельчения корнеплодов с разработкой измельчителя и обоснованием его конструктивно-режимных параметров: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Уфа, 2010. 214 с.

14. Богатов В.А. Совершенствование технологии подготовки к скармливанию крупных корнеплодов и обоснование конструкции измельчителя: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Ульяновск, 1989. 218 с.

15. Брусенков А. В., Ведищев С. М., Зазуля А. Н. [и др.] Исследование коэффициентов трения корнеклубнеплодов о поверхности // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК. Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции. Тамбов: Студия печати Галины Золотовой. 2019. С. 129-133.

16. Брусенков А.В., Ведищев С.М., Прохоров А.В. Исследование процессов трения корнеклубнеплодов о различные поверхности // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. 2014. №1 (50). С. 99-102.

17. Брусенков А.В., Ведищев С.М., Сысоев Е.И. Обзор и анализ машин для измельчения корнеклубнеплодов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 1 (21). С. 125-139.

18. Брусенков А.В., Ильина И.Е. Повышение эффективности приготовления корнеклубнеплодов // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 91-97.

19. Булатов С.Ю. Повышение эффективности приготовления кормов путем совершенствования конструкции и технологического процесса кормоприготовительных машин // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1 (17). С. 55-64.

20. Бышов Н.В., Ряднов А.И. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 1 (41). С. 104-108.

21. Ведищев С.М., Брусенков А.В., Милюков Н.О. [и др.] Разработка устройства для измельчения корнеклубнеплодов с вальцовым подпором // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. №1 (12). С. 125-129.

22. Вендин С. В. К расчёту конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 1(17). С. 16-32.

23. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю., Семернина М.А. Исследование эффективности применения кормовых смесей с использованием пророщенного зерна в рационах свиней на откорме // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 80-86.

24. Вендин С.В., Самсонов В.А., Саенко Ю.В., Семернина М.А. Оптимизация конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 2(26). С. 26-37.

25. Вендин С.В., Самсонов В.А., Саенко Ю.В., Семернина М.А. Расчет конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 1(49). С. 59-65.

26. Вендин С.В., Самсонов В.А., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю., Семернина М.А. Обоснование конструктивных параметров ножей при резании плоского слоя продукта // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 4(36). С. 101-104.

27. Воскресенская В.В., Буренин В.И. Химический состав корнеплодов столовой и кормовой свёклы коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1980. Т. 66. №. 3. С. 96-101.

28. Георгиевский В.И. и др. Физиолого-биохимические основы высокой продуктивности сельскохозяйственных животных. Л.: Наука : Ленингр. отд-ние, 1983. 207 с.

29. Горюшинский В.С. Совершенствование резания корнеплодов с обоснованием параметров измельчителя: автореф. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Пенза, 2004. 16 с.

30. Гулевский В.А., Вертий А.А. Математическое моделирование работы измельчителя кормов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. №3(58). С. 120-128. DOI 10.17238/issn2071-2243.2018.3.120.

31. Гулевский В.А., Вертий А.А. Результаты экспериментально-теоретических исследований энергоемкости процесса измельчения стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 2(18). С. 19-28.

32. Гулевский В.А., Вертий А.А. Усовершенствование технологии измельчения грубых стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Вестник Воронежского государ-

ственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1(60). С. 73-81. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.73.

33. Давыдова С.А. Совершенствование технологии и технических средств производства пеллет из тростника южного на корм крупному рогатому скоту: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Волгоград, 2013. 171 с.

34. Дашков В. Н. Анализ реологических свойств кормов для определения факторов при моделировании систем кормораздачи // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д. А. Чудакову, В. А. Скотникову. Минск. 2013. С. 247-250.

35. Девяткин А.И., Ткаченко Е.И. Новое в кормлении крупного рогатого скота учебное пособие. М.:Колос, 1983. 189 с.

36. Дегтярев Ю.П., Филатов А.И. Регрессионный анализ на ПЭВМ // Повышение надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники. Сборник научных трудов. Волгоград: Волгоградский СХИ. 1992. С. 128-131.

37. Денисов Н.И. Питательность кормов и нормы кормления коров. М., 1946. 159 с.

38. Дулов М.И. Химический состав корнеплодов в зависимости от уровня минерального питания, густоты растений и условий выращивания кормовой свёклы // Пути повышения продуктивности кормовых культур. 2000. С. 120-126.

39. Дулов М.И., Бочкарев Е.А. Влияние минеральных удобрений и густоты растений на кормовые достоинства корнеплодов кормовой свёклы // 80 лет - селекционеру-генетику, академику И.П. Елисееву : Материалы юбилейной конференции. Нижний Новгород. 1998. С. 135-139.

40. Жигжитов А.В. Механизация процессов консервирования и приготовления кормов: Учебно-методическое издание. Улан-Удэ: Издательство ФГОУ ВПО БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2008. 110 с.

41. Зенькова Н.Н., Лукашевич Н.П., Шлапунов В.Н. Основы ботаники, агрономии и кормопроизводства. Витебск, 2009. 284 с.

42. Значение кормовых корнеплодов и их использование в рационах животных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.activestudy.info/znachenie-kormovykh-korneplodov-i-ix-ispolzovanie-v-racionax-zhivotnykh/>.

43. Зоогигиеническая оценка коровника на 200 голов ООО "Родник" Бутурлинского района, Нижегородской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://knowledge.allbest.ru/agriculture/3c0b65635b3ad69a5d43a89421206d37\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/agriculture/3c0b65635b3ad69a5d43a89421206d37_0.html).

44. Зоотехнические требования к приготовлению кормов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.newtechagro.ru/inform2/mehanizatsiya\\_prigotovleniya\\_kormov/zootechnicheskie\\_trebovaniya\\_k\\_prigotovleniyu\\_kormov.html](https://www.newtechagro.ru/inform2/mehanizatsiya_prigotovleniya_kormov/zootechnicheskie_trebovaniya_k_prigotovleniyu_kormov.html).

45. Измельчитель плодов и корнеплодов: пат. 163146 Рос. Федерация. № 2017116509 / Антонов Н.М., Лебедь Н.И. Минаков В.М., Линев Н.А., Цыганкова Л. С.; заявл. 26.01.2016; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19. 6 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008.

46. Измельчитель плодоовощной продукции: пат. 129845 Рос. Федерация. № 2013108423/13 / Антонов Н. М., Искуснов Ю.В., Лебедь Н.И.; заявл. 26.02.2013; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19. 8 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008.

47. Измельчитель плодоовощной продукции: пат. 174962 Рос. Федерация. № 2017116509 / Антонов Н. М., Лебедь Н. И. Малолетов А.В.; заявл. 11.05.2017; опубл. 13.11.2017, Бюл. № 32. 7 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008.

48. Измельчитель плодоовощной продукции: пат. 2729524 Рос. Федерация. № 2020106590 / Ряднов А. И., Федорова О. А., Мамахай А. К., Федоров А. В.; заявл. 11.02.2020; опубл. 07.08.2020, Бюл. № 22. 8 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008.

49. Камышева О.А. Снижение энергоемкости измельчения кормовой свёклы с обоснованием параметров измельчителя: дис. ...кан.тех.наук: 05.20.01, Пенза. 2017. 165 с.

50. Карпов В.В. Повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию животным // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко «Технические системы и технологии животноводства». Харьков, 2014. № 144. С. 232-235.

51. Карпов В.В., Гулевский В.А Исследование повреждаемости кормовых корнеплодов рабочими органами гофрощеточного очистителя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3(58). С. 91-97.

52. Карпов В.В., Гулевский В.А. Снижение потерь кормовых корнеплодов в рабочем объеме гофрощеточного очистителя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. – № 2(61). С. 76-83.

53. Краткосрочные экономические показатели Волгоградской области. [Электронный ресурс]. Волгоградстат, 2020. Режим доступа: [https://volgastat.gks.ru/storage/mediabank/F9a2Jhge/004\\_00\\_011220.pdf](https://volgastat.gks.ru/storage/mediabank/F9a2Jhge/004_00_011220.pdf).

54. Кузнецов А.Ф., Святковский А.В., Скопичев В.Г. [и др.] Крупный рогатый скот. Содержание, кормление, болезни их диагностика и лечение : учебное пособие // Санкт-Петербург : Лань, 2007. 624 с. ISBN 5-8114-0678-9.

55. Купреенко А. И. Разработка метода оптимизации энергосберегающих технологий и средств механизации приготовления кормов: дис. ... док. тех. наук: 05.20.01. Брянск, 2006. 435 с.

56. Лабковская М.Ю., Овчинникова Н.И. Использование процессно-системного подхода при исследовании вопросов заготовки грубых кормов // Совместная деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и научных организаций в развитии АПК Центральной Азии. 2008. С. 125-129.

57. Лазарев М.В. Технология обработки корнеклубнеплодов с обоснованием параметров и режимов работы измельчающего аппарата: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Ульяновск, 2000. 222 с.

58. Лебедь Н. И. Разработка технологии и технических средств механической и тепловой обработки плодоовощного сырья: дис. ... док. тех. наук: 05.20.01. Волгоград, 2018. 314 с.

59. Лебедь Н.И. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы измельчителя яблок: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Волгоград, 2013. 192 с.

60. Лемаева М.Н. Разработка измельчителя корнеплодов и обоснование его оптимальных конструктивных параметров и режимов работы : дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Саранск, 2007. 218 с.

61. Макарец Н.Г. Кормление сельскохозяйственных животных. учеб. для студентов вузов по специальности «Зоотехния» и «Ветеринария». Калуга: ГУП «Облиздат», 1999. 644 с.

62. Медведева Н.А. Перспективы развития молочного скотоводства региона в условиях функционирования ВТО // Вестник Поволжского государственного университета сервиса. Серия: Экономика. 2013. № 4(30). С. 41–46.

63. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос. Ленингр. отд-ние. 1980. 168 с.

64. Мискевич О.Л., Гафаров Ш.С. Кормление телят до шестимесячного возраста // Молодежь и наука. 2016. № 5. С. 2.

65. Моисеева М.О., Зенькова Н.Н. Руководство по проведению учебной практики по кормопроизводству с основами ботаники. Витебск, 2020. 19 с.

66. Морозова Н. Ю., Фролов В. Ю., Сысоев Д. П. К вопросу обоснования конструктивно-режимных параметров рабочего органа молотково-



сегментного типа // Инновационные энерго-ресурсосберегающие технологии и техника 21 века. 2017. С. 103-105.

67. Морозова Н. Ю., Хижняков Е. Н., Фролов В. Ю. Классификация молотковых дробилок // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. 2017. С. 596-597.

68. Набоков Н.К. Продуктивность кормовой свёклы в зависимости от способа посева, доз удобрений и густоты стояния растений на выщелоченном черноземе Западного Предкавказья в условиях орошения : автореф. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. Краснодар, 1991. 23 с.

69. Никулин В. Н. Научные и практические основы рационального использования кормов в молочном скотоводстве в зонах интенсивного земледелия: дис. ... док. с.х. наук: 06.02.02 .Оренбург, 1999. 378 с.

70. Новиков В.В., Зотеев В.С., Камышева О.А. [и др.] Результаты производственных испытаний экспериментального измельчителя корнеплодов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (64). С. 74-76.

71. Новиков Г.И. Исследование процесса резания корнеплодов. Труды ВИМ.: М. 1952, т.16. С. 3-34.

72. Овчинникова Н.И., Косарева А.В. Геометрические параметры режущего аппарата измельчителя клубней картофеля // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 3 (82). С. 34-40.

73. Пикуза И.Ф. Машины для приготовления и раздачи грубых и сочных кормов (теория и расчет): курс лекций; часть 1. Ростов-на-Дону, 1970. 186 с.

74. Постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. N 996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы».

75. Рационы для племенных быков-производителей [Электронный ресурс].

Режим

доступа:

[https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00477070\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00477070_0.html).

76. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: «Машиностроение», 1975. 311 с.

77. Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://spbgau.ru/files/nid/8759/rol\\_molodyh\\_uchyonyh\\_v\\_reshenii\\_aktualnyh\\_zadach\\_apk\\_2017\\_g..pdf](https://spbgau.ru/files/nid/8759/rol_molodyh_uchyonyh_v_reshenii_aktualnyh_zadach_apk_2017_g..pdf).

78. Ряднов А.И. Методы оценки эффективности уборки сельскохозяйственных культур: монография. Волгогр. гос. с.-х. академ. ИПК «Нива» – Волгоград, 2008. 108 с.

79. Ряднов А.И., Мамахай А.К. Приборное обеспечение экспериментальных исследований измельчителя корнеклубнеплодов // Аграрная наука и образование: проблемы, перспективы и инновации. 2020. С. 154-159.

80. Ряднов А.И., Федорова О.А., Захаров А.В. Методика оценки эффективности технического обслуживания зерноуборочных комбайнов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2008. № 4 (12). С. 183-190.

81. Ряднов А.И., Федорова О.А., Мамахай А.К. Результаты исследований усилия резания кормовой свёклы при измельчении // Известия НВ АУК. 2021. №3(63). С. 306 – 318.

82. Ряднов А.И., Федорова О.А., Мамахай А.К. Совершенствование конструкции измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник НГИЭИ. 2021. № 3(118). С. 40-51. DOI 10.24412/2227-9407-2021-3-40-51.

83. Савиных П.А., Булатов С.Ю., Смирнов Р.А. Разработка и результаты предварительных исследований малогабаритного измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник ВНИИМЖ. Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве. 2014. № 4 (16). С. 115-118.

84. Савиных П.А., Булатов С.Ю., Смирнов Р.А. Оптимизация рабочего процесса измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2015. № 3 (3). С. 36-41.

85. Савиных П.А., Малыгин Н.О. Анализ технических средств и способов измельчения корнеплодов // Сб. статей по материалам XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева. Под общей редакцией И.Н. Миколайчика. 2019. С. 87-91.

86. Секанов Ю.П., Андреева Н.В., Колесников Д.С. Особенности применения инфракрасных термогравиметрических установок для определения влажности кормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2012. №. 2 (6). С. 24-29.

87. Сечкин В.С., Сулима Л. А., Белов В.П. Справочник по заготовке и приготовлению кормов в Нечерноземье. Ленинград: Колос, Ленинградское отделение, 1984. С. 267-268.

88. Смирнов Р.А. Совершенствование конструкции и обоснование основных параметров измельчителя корнеклубнеплодов: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Чебоксары, 2017. 159 с.

89. Тимофеев М.Н., Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. Анализ технических средств для измельчения кормов и их классификация // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 399-424.

90. Ткач В.Д., Пилипенко А.Н. Исследование процесса внедрения ножа в слой стебельных материалов // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства. Киев.: 1978, Вып. 4. С. 3-10.

91. Федорова О. А. Эффективные технические решения повышения качества уборки зерновых культур: дисс. ... док. тех. наук. Рязань, 2018. 322 с.

92. Федорова О.А., Фандеев С.Ю. К обоснованию комплексного критерия эффективности использования технических средств для уборки суданской травы // Вестник НГИЭИ. 2021. № 6 (121). С. 5-14.

93. Хабарова В.В. Разработка измельчителя корнеплодов с обоснованием его параметров и режимов работы: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01: Уфа, 2011. 183 с.

94. Шапров М. Н. Механико-технологическое обоснование эффективных технологий и технических средств для первичной переработки плодов тыквы: дис. ... док. тех. наук: 05.20.01. Волгоград, 2010. 393 с.

95. Шарипов Р. В. Совершенствование технологии и технических средств уборки веничного сорго: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Волгоград, 2004. 187 с.

96. Шуханов С.Н., Доржиев А.С., Косарева А.В. Устройство для подготовки кормов к скармливанию // Аграрная наука. 2018. № 5. С. 23-25.

97. Шуханов С.Н., Болоев П.А., Коваливнич В.Д. [и др.] Опытный измельчитель корнеклубнеплодов // Вестник АПК Верхневолжья № 2 (26). 2014. С. 86-87.

98. Шуханов С.Н., Доржиев А.С. Анализ факторов, влияющих на качество работы аппарата для измельчения корнеклубнеплодов методом активного эксперимента // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 356-363.

99. Шуханов С.Н., Доржиев А.С. Модернизация аппарата для измельчения корнеклубнеплодов // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 2. С. 68-72. DOI 10.31992/0321-4443-2021-2-68-72.

100. Шуханов С.Н., Доржиев А.С. Планирование и методика проведения экспериментальных исследований измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник НГИЭИ. 2021. № 3 (118). С. 5-23.

101. Шуханов С.Н., Доржиев А.С., Косарева А.В. Анализ производительности измельчителя корнеклубнеплодов методом регрессивного моделирования // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1 (81). С. 90-93.

102. Шуханов С.Н., Доржиев А.С., Косарева А.В. Регрессивное моделирование функционирования измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (176). С. 159-163.
103. Шуханов С.Н., Доржиев А.С., Косарева А.В. Результаты экспериментальных исследований измельчителя корнеклубнеплодов // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 1. С. 56-61.
104. Шуханов С.Н., Доржиев А.С., Косарева А.В. Устройство для подготовки кормов к скармливанию // Аграрная наука. 2018. № 5. С. 23-25.
105. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В. Измельчитель корнеплодов // Сельский механизатор. 2016. № 9. С. 20-21.
106. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Косарева А.В. Совершенствование измельчителя корнеплодов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 185-186.
107. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Сосоров Е.В. Совершенствование технических средств для измельчения корнеплодов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (59). С. 93 –95.
108. Экспертиза кормов и кормовых добавок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/doc/ISBN9785379001759-SCN0000.html>.
109. Antonov N.M., Lebed N.I., Makarov A.M. Energetic Calculation of an Apple Chopper with Zigzag-ging Knife Location in the Cutting Unit. Journal of Food Process Engineering. 2017. T. 40. N. 2. P. e12352.
110. Batyrov U.D. [et al.] Upgraded rotary cross-shaped food shredder knife. International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, In-formation Technologies», IT and QM and IS 2017. 2017. P. 309-311.
111. Boisly M. [et al.] Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids // Journal of Food Engineering. 2016. T. 191. P. 1-9.

112. Borotov A. Cutting length the fodders of green stalks by drum chopper // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. T. 883. №. 1. P. 012160.
113. Gapparov S., Karshiev F. Development chopper device that chops baled rough fodders // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. T. 883. №. 1. P. 012158.
114. Jamshidpouya M. [et al.] Design, fabrication and evaluation of electric forage chopper with adjustable helix angle // Journal of Agricultural Science and Technology. 2018. V. 20 (5). P. 923-938.
115. Kryuchkova L. G., Dotsenko S. M. Analytical substantiation of the parameters of the root crop chopper // Bulletin of KrasGAU. 2014. №. 9. P. 206-211.
116. Matyushev V. V. [et al.] The influence of the design parameters of the potato tuber shredder on the technological characteristics of the finished product // Bulletin of KrasGAU. 2018. №. 5. P. 192-197.
117. Schuldt S. [et al.] High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces // Journal of Food Engineering. 2018. T. 230. P. 55-62.
118. Shukhanov S. N. [et al.] Determination of the optimal incline angle of the incision of the cutting machine of the tuber grinder of potatoes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 548(5). P. 052026
119. Shukhanov S. N., Dorzhiev A. S. Modernization of the apparatus for grinding root crops // Tractors and Agricultural Machinery. 2021. №. 2. P. 68-72.
120. Shukhanov S. N., Dorzhiev A. S., Kosareva A. V. The results of experimental studies of the root crop chopper // Tractors and Agricultural Machinery. 2020. №. 1. P. 56-61.
121. Spagnoli A. [et al.] Cutting resistance of soft materials: effects of blade inclination and friction // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2019. No. 101. P. 200-206.
122. Wan X. [et al.] Cattle feeding experiment and chopping device parameter determination for mechanized harvesting of forage rape crop // Transactions of the ASABE. 2021. 64 (2). P. 715-725.

123. Xie L. [et al.] Optimization and finite element simulation of the chopping process for chopper sugarcane harvesting // *Biosystems Engineering*. 2018. T. 175. P. 16-26.

124. Xie L. [et al.] Optimization of a Whole-Stalk Operating System after Sugarcane Base Cutting // *Transactions of the ASABE*. 2019. T. 62. №. 1. C. 157-166.

125. Zazulya A. [et al.] The friction of root crops on different surfaces in preparation for feeding animals // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2021. T. 624. № 1. P. 012128.

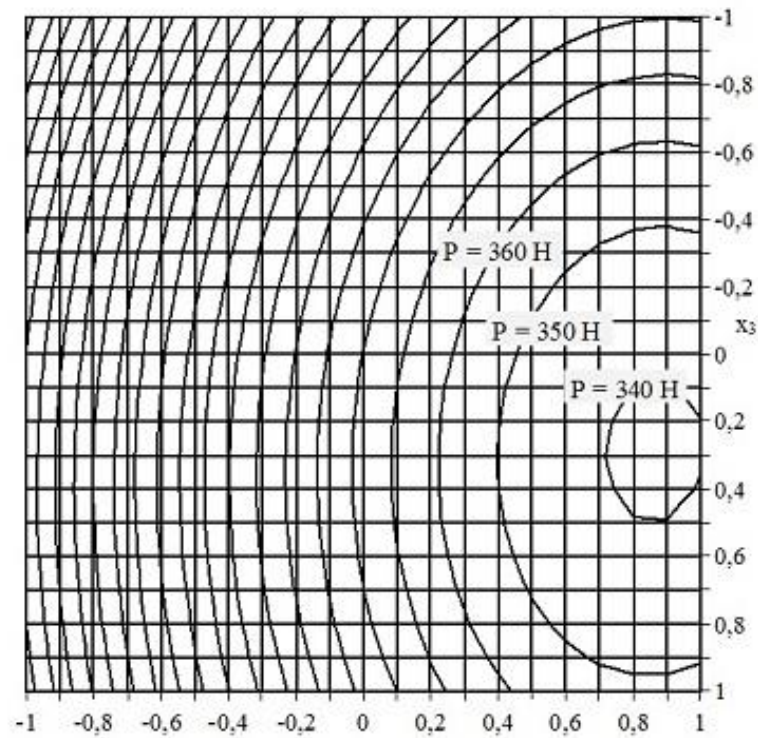
## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



## Приложение А. Результаты и анализ экспериментальных исследований

Таблица А.1 - Матрица плана Рехтшафнера для 4-х факторного эксперимента

№ опыта	Фактор			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	1	1	1
3	1	-1	1	1
4	1	1	-1	1
5	1	1	1	-1
6	1	1	-1	-1
7	1	-1	1	-1
8	1	-1	-1	1
9	-1	1	1	-1
10	-1	1	-1	1
11	-1	-1	1	1
12	1	0	0	0
13	0	1	0	0
14	0	0	1	0
15	0	0	0	1

Рисунок А.1 – Изменение усилия резания при варьировании факторов  $\alpha_{ш}$  и
$$v_{н.с.}, \text{ если } \alpha_n = 0,65 \text{ и } h_B = -0,69$$

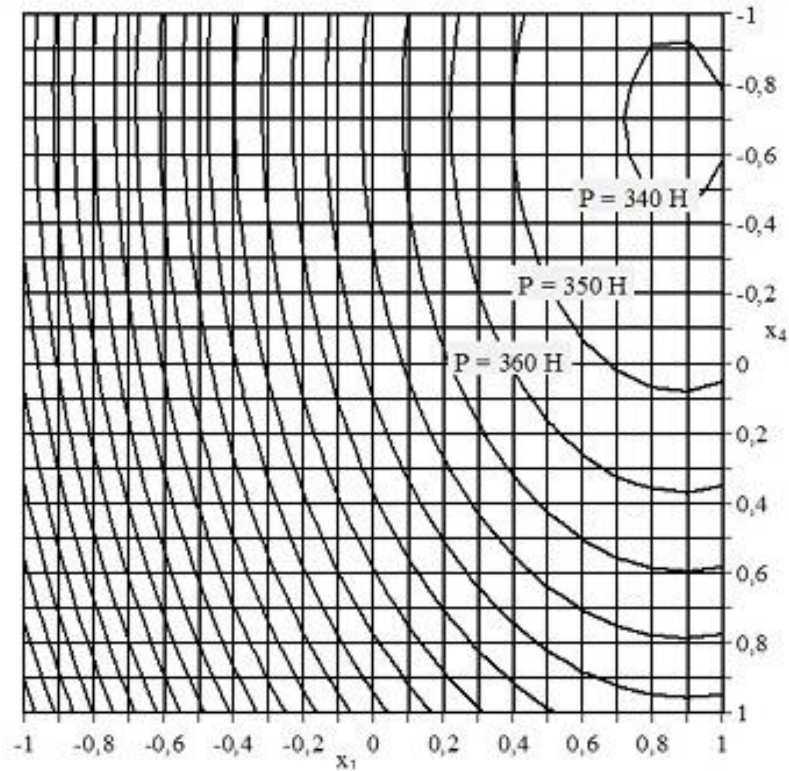


Рисунок А.2 – Изменение усилия резания при варьировании факторов  $\alpha_{ш}$  и  $h_b$ ,  
если  $\alpha_n = 0,65$  и  $v_{н.с.} = 0,30$

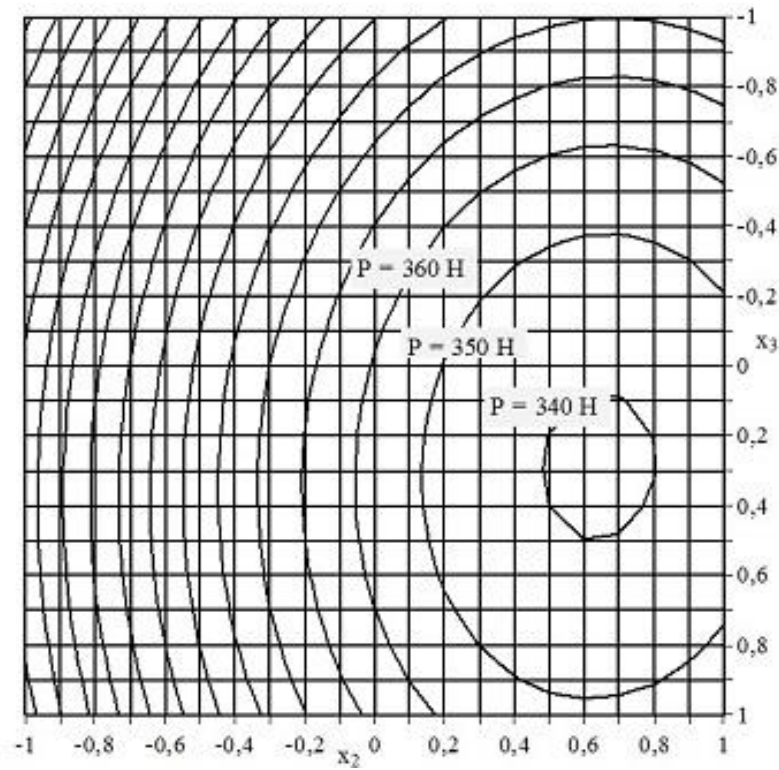


Рисунок А.3 – Изменение усилия резания при варьировании факторов  $\alpha_n$  и  
 $v_{н.с.}$ , если  $\alpha_{ш} = 0,87$  и  $h_b = -0,69$

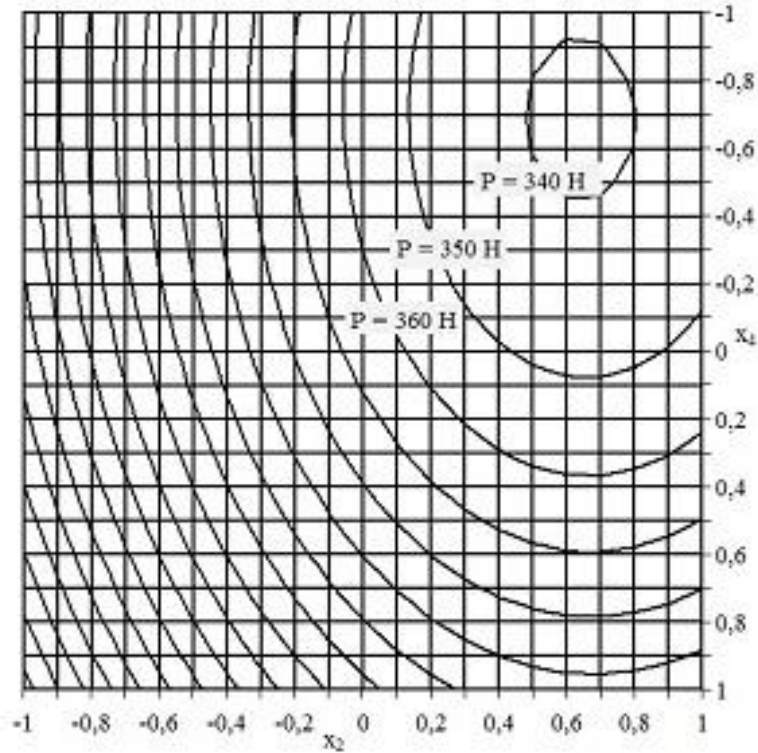


Рисунок А.4 – Изменение усилия резания при варьировании факторов  $\alpha_n$  и  $h_b$ ,  
если  $\alpha_{ш} = 0,87$  и  $v_{н.с} = 0,30$

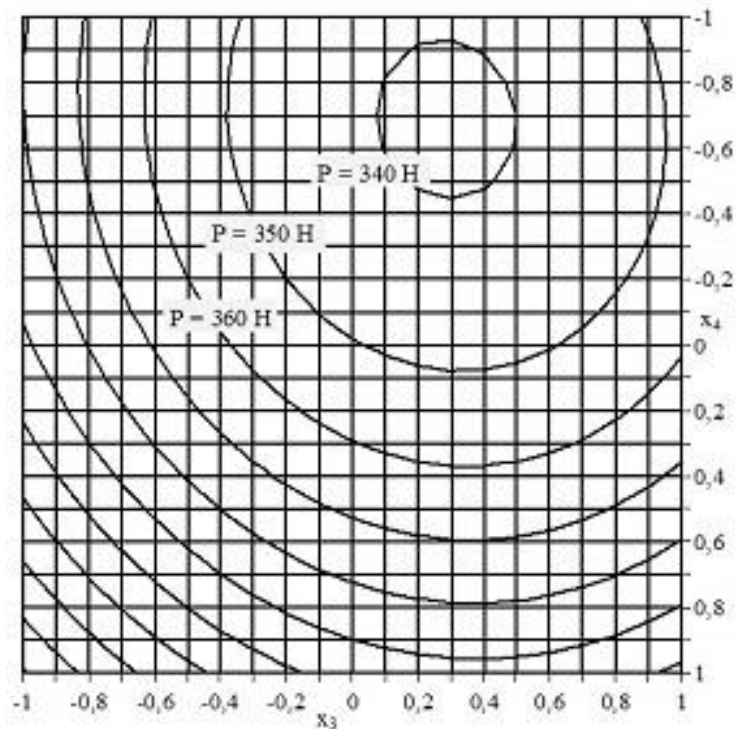



Рисунок А.5 – Изменение усилия резания при варьировании факторов  $v_{н.с}$  и  
 $h_b$ , если  $\alpha_{ш} = 0,87$  и  $\alpha_n = 0,65$



## Приложение Б. Патенты и акты внедрения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	
	
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ	
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ	
Статус: действует (последнее изменение статуса: 17.08.2020)	
<p>(21)(22) Заявка: <a href="#">2020106590</a>, 11.02.2020</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 11.02.2020</p> <p>Дата регистрации: 07.08.2020</p> <p>Приоритет(ы):</p> <p>(22) Дата подачи заявки: 11.02.2020</p> <p>(45) Опубликовано: <a href="#">07.08.2020</a> Бюл. № <a href="#">22</a></p> <p>(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 129845 U1, 10.07.2013. RU 163146 U1, 10.07.2016. RU 174962 U1, 13.11.2017. FR 2495959 A1, 18.06.1982. RU 141014 U1, 27.05.2014.</p> <p>Адрес для переписки: 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Долговой А.И.</p>	<p>(19)</p> <p><b>RU</b></p> <p>(11)</p> <p><b>2 729 524</b></p> <p>(13)</p> <p><b>C1</b></p> <p>(51) МПК <a href="#">B02C 18/00 (2006.01)</a></p> <p>(52) СПК <a href="#">B02C 18/00 (2020.02)</a></p> <p>(72) Автор(ы): Ряднов Алексей Иванович (RU), Федорова Ольга Алексеевна (RU), Мамахай Анжела Канвеевна (RU), Федоров Алексей Валерьевич (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ) (RU)</p>

(54) Измельчитель плодовоовощной продукции

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к устройствам для измельчения плодов и овощей. Устройство для измельчения содержит станину, корпус с камерой измельчений, оборудованной ножевой стенкой, установленную с возможностью перемещения внутри корпуса по направляющим, противорежущим подпором, выгрузным окном, загрузочную горловину и мотор-редуктор с приводным валом, соединенным с кривошипно-шатунным механизмом. На станине с противоположной стороны мотора-редуктора симметрично оси приводного вала дополнительно установлены второй корпус с камерой измельчения и вторая загрузочная горловина. Обе загрузочные горловины выполнены совместно с дополнительно установленным загрузочным бункером, а каждая ножевая стенка

Рисунок Б.1 – Патент на изобретение №2729524

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11)  
 (51) МПК  
*B02C 18/02* (2006.01)

**2 757 496<sup>(13)</sup> С1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
*B02C 18/02 (2021.08)*

(21)(22) Заявка: 2021111322, 21.04.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 21.04.2021

Дата регистрации:  
 18.10.2021

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 21.04.2021

(45) Опубликовано: 18.10.2021 Бюл. № 29

Адрес для переписки:  
 109428, Москва, ул. Михайлова, 39, кв. 160,  
 Царькова Татьяна Викторовна

(72) Автор(ы):

Давыдова Светлана Александровна (RU),  
 Ряднов Алексей Иванович (RU),  
 Старостин Иван Александрович (RU),  
 Ешин Александр Вадимович (RU),  
 Мамахай Анжела Канвековна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 научное учреждение «Федеральный научный  
 агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ  
 ФНАЦ ВИМ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 129845 U1, 10.07.2013. RU 2729524  
 C1, 07.08.2020. RU 163146 U1, 10.07.2016. RU  
 2162284 C1, 27.01.2001. CN 211412218 U,  
 04.09.2020.

(54) Измельчитель корнеклубнеплодов

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, конкретно к измельчителям корнеклубнеплодов, и может быть использовано в индивидуальных фермерских хозяйствах. Измельчитель корнеклубнеплодов содержит станину, закрепленный на ней корпус с камерой измельчения, загрузочную горловину и выгрузное окно, а также мотор-редуктор с приводным валом, кривошипно-шатунный механизм, приводящийся в движение от мотора-редуктора и осуществляющий перемещение ножевой стенки по направляющим внутри корпуса навстречу противорезущему подпору. Ножевая стенка

оборудована закрепленной над ней ограничительной пластиной. Противорезущий подпор, взаимодействующий с ножами ножевой стенки, выполнен в виде гребенки. Загрузочная горловина снабжена регулировочной заслонкой. Техническим результатом является исключение забивания зазора между ножами ножевой стенки измельчителя во время измельчения плодовоовощной продукции, застревания корнеклубнеплодов в верхней части камеры измельчения, а также ручной чистки ножей по окончании работ. 2 ил.

RU 2 757 496 С1

RU 2 757 496 С1

Рисунок Б.2 – Патент на изобретение №2757496

«Утверждаю»  
 проректор по НИР  
 ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ  
 Ряднов А.А.  
 « 8 » ноября 2021г.

«Утверждаю»  
 ИП Алмазова П.К.  
 Алмазова П.К.  
 « 28 » сентября 2021г.

### АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских работ

Настоящим актом подтверждается, что в сентябре - октябре 2021 года в ИП Алмазова П.К. проведены исследования измельчителя корнеклубнеплодов для скармливания КРС, разработанного сотрудниками ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, под руководством д.с.-х.н. профессора кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» Ряднова А.И.

Апробация измельчителя корнеклубнеплодов предназначенного для скармливания КРС, в качестве испытательного сырья использовалась кормовая свекла сорта «Рекорд Поли» и сравнивали с серийной машиной измельчителя сочных кормов MS-350. В результате проведенных исследований выявили, что производительность повышалась на 8 - 12%, трудоемкость снижалась на 36 - 41%, а также в ходе работы не наблюдалось забивание в ножевой части камеры измельчения и качество измельченных ломтиков соответствуют зоотехническим требованиям.

д.с.-х.н., профессор кафедры  
 «Эксплуатация и технический  
 сервис машин в АПК»



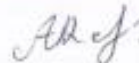
Ряднов А.И.

д.т.н., профессор кафедры  
 «Технические системы в АПК»



Федорова О.А.

Специалист



Мамахай А.К.

Рисунок Б.3 – Акт внедрения ИП Алмазова П.К.



«Утверждаю»  
 проректор по НИР  
 ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ  
 Ряднов А.А.  
 «4» сентября 2021г.



«Утверждаю»  
 ИП Глава КФХ Касьян А.Н.  
 Касьян А.Н.  
 «30» сентября 2021г.



### АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских работ

Настоящим актом подтверждается, что в августе - сентябре 2021 года в ИП Глава КФХ Касьян А.Н. проведены исследования измельчителя корнеклубнеплодов для скармливания КРС, разработанного сотрудниками ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, под руководством д.с.-х.н, профессора кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» Ряднова А.И.

По сравнению с серийной машиной MS-350 производственные испытания проводились при измельчении кормовой свеклой «Крымская розовая». Исследования показали, что экспериментальный образец измельчителя корнеклубнеплодов полностью удовлетворяют техническим условиям процесса резания корнеклубнеплодов, и может быть использована как самостоятельная машина, так и в технологическом комплексе. Его применение позволяет получать качественную продукцию, повысить производительность на 10%, снизить удельный расход электроэнергии на 9% по сравнению с серийной машиной в ИП Глава КФХ Касьян А.Н.

д.с.-х.н., профессор кафедры  
 «Эксплуатация и технический  
 сервис машин в АПК»

Ряднов А.И.

д.т.н., профессор кафедры  
 «Технические системы в АПК»

Федорова О.А.

Специалист

Мамахай А.К.

Рисунок Б.4 – Акт внедрения ИП Глава КФХ Касьян А.Н.

# ДИПЛОМ

*III СТЕПЕНИ*

НАГРАЖДАЕТСЯ

**МАМАХАЙ АНЖЕЛА КАНВЕКОВНА**

*специалист*

*ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,  
г. Москва, Россия*

*за выступление на*

**МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ  
КОМПЛЕКСЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ»**

*Секция «Эффективное использование техники в  
сельскохозяйственном производстве»*

9-11 февраля 2022 г.

**ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»**

Ректор Волгоградского ГАУ



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V.A. Tselyayev', is placed over the official seal.

**В.А. Цепляев**



**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ,  
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ» (EESTE2021)**



# СЕРТИФИКАТ

Подтверждает, что

**Мамахай Анжела Канвековна**

принял очное (онлайн) участие с докладом на тему:

**"Оптимизация основных параметров  
измельчителя корнеклубнеплодов"**

**Председатель Организационного  
комитета, К.э.н.**

19-22 октября 2021 года

**А.А. Гибадуллин**

