На правах рукописи

МАМАХАЙ АНЖЕЛА КАНВЕКОВНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРМОВОЙ СВЁКЛЫ

Специальность 05.20.01Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ).

Научный руководитель:	доктор технических наук, доцент **Федорова Ольга Алексеевна**
Официальные оппоненты:	**Гулевский Вячеслав Анатольевич,** доктор технических наук, доцент, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», Врио директора **Саенко Юрий Васильевич**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», профессор кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе»
Ведущая организация:	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»

Защита диссертации состоится «22» июня 2022 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета

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

Автореферат разослан « » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент Юхин И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 повышение урожайности кормовых культур. Наращивание 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 ряд 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. 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 MicrosoftExcel 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 свеклы.

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.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и ее задачи, определен объект и предмет исследования, подобраны методы исследования, раскрыты научная новизна, практическая и теоретическая ценность, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования»рассмотрены вопросы состояния кормопроизводства в условиях Нижнего Поволжья.Проведён анализ использования корнеклубнеплодов в рационах КРС и определены основные требования к качеству корнеклубнеплодов. Проведён обзор литературных данныхпо анализу конструктивных особенностей и рабочих процессов машин для измельчения корнеклубнеплодов, который показал, что до настоящего времени разработано достаточно много конструкций измельчителей корнеклубнеплодов, 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 имеет низкую технологическую надежность и высокие удельные затраты энергии на измельчение продукции.

На основе проведенного анализа научной литературы и передового опыта, сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе«Теоретические предпосылки оценки эффективности использования измельчителей кормовой свёклы»представленасхема разработанной конструкции измельчителя кормовой свёклы; дана классификация факторов, влияющих на эффективность измельчения кормовой свёклы для скармливания КРС; обоснованы частные показатели и разработан комплексный критерий оценки эффективности использования измельчителя кормовой свёклы.

Разработанная конструктивная схема (патент РФ № 2729524) и общий вид измельчителя кормовой свёклы представлены на рисунке 1. На устройство получен патент на изобретение (патент РФ № 2729524).

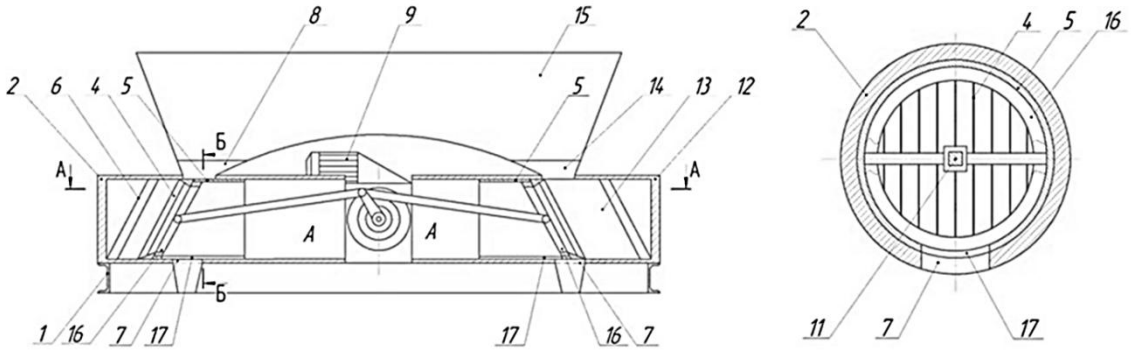
Дана классификация факторов, влияющих на эффективность измельчения кормовой свёклы для скармливания КРС. Был использован метод экспертных оценок, позволивший учесть смысловой характер оцениваемых показателей, профессиональный опыт и научную интуицию группы специалистов инженерного, агрономического и экономического профилей.

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 оценки эффективности использования ряда машин сельскохозяйственного назначения. Выбраны следующие частные показатели: затраты энергии ($З_Э$), затраты труда при измельчении ($З_Т$), производительность ($П_р$), наработка на отказ ($Н$), затраты времени на устранение технологических неисправностей ($З_В$), удельная трудоемкость технического обслуживания ($У_Т$), потеря сока ($П_С$).

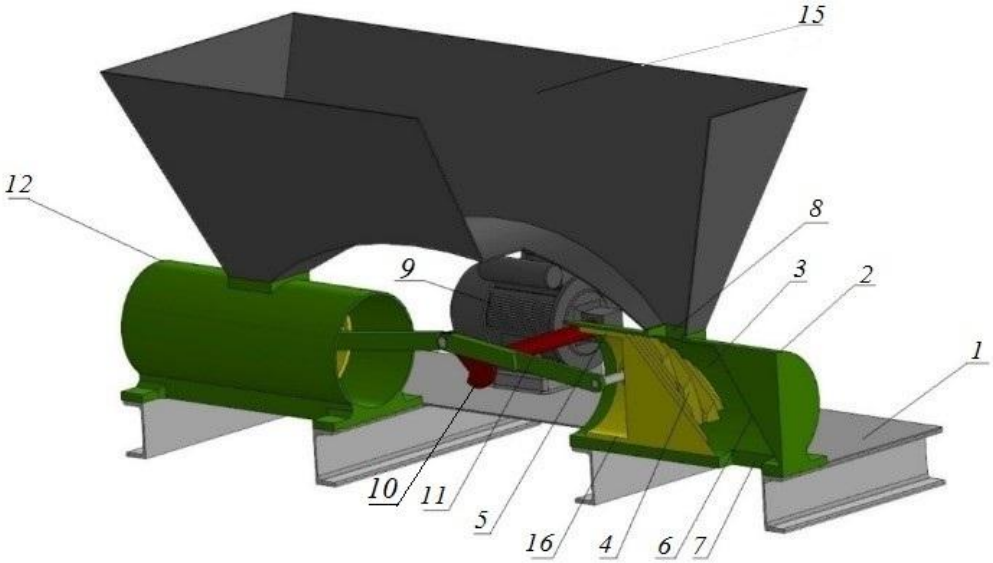
При выборе комплексного критерия эффективности использования измельчителя кормовой свёклы принят наиболее приемлемый вид функции агрегирования для этого случая – отношение одних частных показателей к другим:

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

где $i = 1, m_1$ – номера единичных частных показателей эффективности, значениякоторых при совершенствовании технологии измельчения кормовой свёклы желательноувеличивать, а другие, $i = m_1 + 1, m$ – уменьшать.



а)



б)

а) – конструктивно-технологическая схема измельчителя кормовой свёклы; б) – 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

Рисунок 1 – Измельчитель кормовой свёклы

Чтобы привести функцию агрегирования, представляющую собой векторную величину, к скалярному виду, а также исключить неоднородность, различный физический смысл и размерность показателей первой и второй групп, использовалось эквивалентное преобразование, а важность

частных показателей учитывалась коэффициентами относительной важности α_i. Учитывая вышесказанное, введем коэффициенты относительной важности α_i частных показателей в функцию агрегирования (1) и получим ее в виде:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{тр}}}}{\prod_{i=m_1+1}^{m} \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{тр}}}}, \tag{2}$$

где

$$\left.\begin{aligned} \prod_{i=1}^{m_1} t_i \frac{W_i}{W_i^{\text{тр}}} = \text{К}_{\text{Пр}}\text{К}_{\text{Н}}, \\ \prod_{i=m_1+1}^{m} t_i \frac{W_i}{W_i^{\text{тр}}} = \text{К}_{\text{ЗЭ}}\text{К}_{\text{ЗТ}}\text{К}_{\text{ЗВ}}\text{К}_{\text{УТ}}\text{К}_{\text{ПС}}, \end{aligned}\right\}, \tag{3}$$

здесь

$$\left.\begin{aligned} \text{К}_{\text{Пр}} = \alpha_{\text{Пр}} \frac{\text{Пр}_i}{\text{Пр}_{\text{тр}}}, \text{К}_{\text{Н}} = \alpha_{\text{Н}} \frac{\text{Н}_i}{\text{Н}_{\text{тр}}}, \\ \text{К}_{\text{ЗЭ}} = \alpha_{\text{ЗЭ}} \frac{\text{ЗЭ}_i}{\text{ЗЭ}_{\text{тр}}}, \text{К}_{\text{ЗТ}} = \alpha_{\text{ЗТ}} \frac{\text{ЗТ}_i}{\text{ЗТ}_{\text{тр}}}, \text{К}_{\text{ЗВ}} = \alpha_{\text{ЗВ}} \frac{\text{ЗВ}_i}{\text{ЗВ}_{\text{тр}}}, \text{К}_{\text{УТ}} = \alpha_{\text{УТ}} \frac{\text{УТ}_i}{\text{УТ}_{\text{тр}}}, \text{К}_{\text{ПС}} = \alpha_{\text{ПС}} \frac{\text{ПС}_i}{\text{ПС}_{\text{тр}}} \end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

где $\text{К}_{\text{Пр}}$,$\text{К}_{\text{Н}}$, $\text{К}_{\text{ЗЭ}}$,$\text{К}_{\text{ЗТ}}$,$\text{К}_{\text{ЗВ}}$, $\text{К}_{\text{УТ}}$ и $\text{К}_{\text{ПС}}$ – соответственно коэффициенты, учитывающие значения и важность частных показателей эффективности, соответственно производительности, наработки на отказ, затрат энергии, труда при измельчении и времени на устранение технологических неисправностей, удельной трудоемкости технического обслуживания и потерь сока.

С учетом (4) получим:

$$\varphi(W) = \frac{\text{К}_{\text{Пр}}\text{К}_{\text{Н}}}{\text{К}_{\text{ЗЭ}}\text{К}_{\text{ЗТ}}\text{К}_{\text{ЗВ}}\text{К}_{\text{УТ}}\text{К}_{\text{ПС}}}. \tag{5}$$

Комплексный критерий эффективности равен математическому ожиданию функции агрегирования (5):

$$\text{К}_{\text{Э}} = m\left\{\frac{\text{К}_{\text{Пр}}\text{К}_{\text{Н}}}{\text{К}_{\text{ЗЭ}}\text{К}_{\text{ЗТ}}\text{К}_{\text{ЗВ}}\text{К}_{\text{УТ}}\text{К}_{\text{ПС}}}\right\}. \tag{6}$$

Повышение показателей первой группы ($\text{К}_{\text{Пр}}\text{К}_{\text{Н}}$) в комплексном критерии ведет к росту эффективности, а второй группы ($\text{К}_{\text{ЗЭ}}\text{К}_{\text{ЗТ}}\text{К}_{\text{ЗВ}}\text{К}_{\text{УТ}}\text{К}_{\text{ПС}}$) – к обратному результату.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» представлена программа и методика исследования измельчения кормовой свёклы для кормления КРС.

После проведенных теоретических исследований нами был разработан соответствующий план проведения экспериментальных исследований: определение размерно-массовых показателей; определение влажности структуры кормовой свёклы; определение коэффициента трения покоя корнеклубнеплодов; определение коэффициента трения движения корнеклубнеплодов; исследование влияния формы ножа на усилие резания кормовой свёклы.

С целью оптимизации выбранных факторов проведены экспериментальные исследования на макете измельчителя, показанного на рисунке 2, изготовленного на кафедре «Технические системы в АПК» Волгоградского ГАУ в соответствии с описанием, представленным в патенте РФ № 2729524. 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.

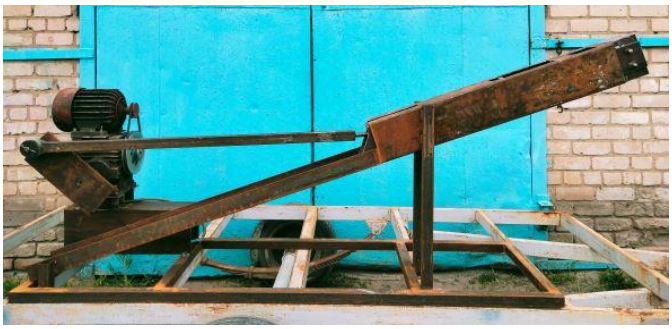
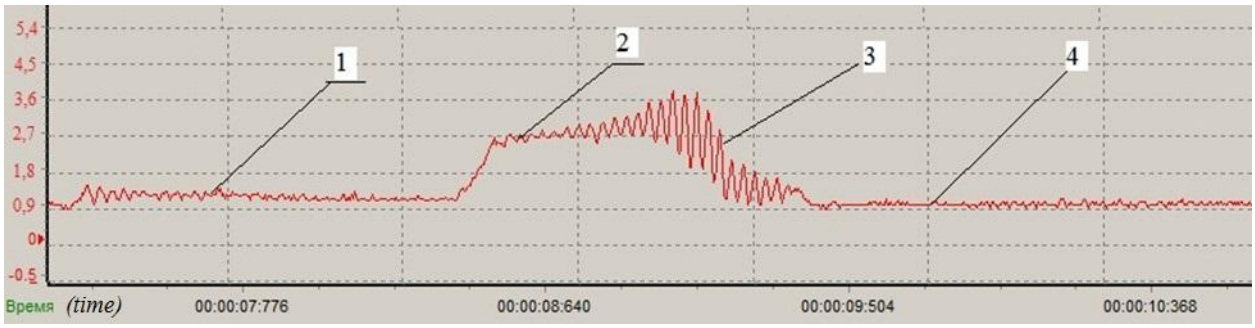


Рисунок 2 – Лабораторная установка измельчителя кормовой свёклы

Объектом исследования являлась ножевая стенка. В поисковых экспериментах предполагалось определить рациональное взаимодействие рабочего органа с кормовой свёклой, где необходимо определить параметры (рисунок 3).

Рисунок 3 – Ножевая стенка

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 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 4).



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.

Рисунок 4 – Осциллограмма усилия резания

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

В четвертой главе «Результаты и анализ экспериментальных исследований» представлены результаты исследований и дан их анализ. Экспериментальные исследования физико-механических свойств кормовой свёклыи результаты расчетов коэффициентов вариации для исследуемых показателей показывают, что вариациязначений относительно небольшая, кроме коэффициента вариации массы кормовой свёклы, которыйсоставляет 42,11%. Полученные значения также указывают на однородность исследуемых совокупностей, т.к. полученные значения коэффициентов вариации менее 33%.

Определены экспериментальные значения коэффициентов трения покоя и движения корнеклубнеплодов по различным материалам. При изготовлении рабочих органов измельчителей чаще всего используется сталь шлифованная,

для которой, как показали результаты экспериментальных исследований, угол трения движения φ изучаемых корнеклубнеплодов составил не более 27°.

Результаты исследований влияния формы ножа на усилие резания двух сортов кормовой свёклыпозволили рассчитать средние значения усилия резания *Рср* и их средние квадратичные отклонения σ, 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 0^0 и 30^0 к вертикали. Из результатов расчетов 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 30^0 и на 40% – при измельчении кормовой свёклы «Рекорд Поли» с установкой ножей под углом 0^0.Изменение угла установки ножей с режущей частью волнообразной формы в ножевой стенке с 0^0 на 30^0 приводит к увеличению среднего усилия резания кормовой свёклы сортов «Крымская розовая» и «Рекорд Поли» соответственно на 10% и 35%.

Исходя из анализа результатов зависимости усилия резания 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: $\alpha_ш$ – 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.

С целью оптимизации исследуемых факторов был реализован план Рехтшафнера для 4-х факторного эксперимента. По экспериментальным данным определены коэффициенты уравнения регрессии, затем проверена их значимостьпо критерию Стьюдента.

В результате получено уравнениерегрессии в кодированном виде:

$$P = 412 - 93\alpha_ш - 61\alpha_н - 21v_{н.с.} + 30h_в + 4\alpha_ш\alpha_н + 3\alpha_ш v_{н.с.} - 2\alpha_ш h_в + \\ +3\alpha_н v_{н.с.} - 2\alpha_н h_в - 3v_{н.с.}h_в + 51\alpha_ш^2 + 43\alpha_н^2 + 25v_{н.с.}^2 + 19h_в^2 . \quad (7)$$

Для анализа и систематизации полученную математическую модель второго порядка представили в канонической форме:

$$P_p - 339 = 59x_1^2 + 43x_2^2 + 25x_3^2 + 18x_4^2 . \quad (8)$$

Оптимальные значения факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1– Оптимальные значения факторов

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

В связи с тем, что коэффициенты при всех квадратных членах положительные, то поверхности откликов, которые описываются уравнением (8), представляют собой четырехмерные параболоиды с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов.Таким образом, для того, чтобы усилие резания кормовой свёклы при её измельчении исследуемым измельчителем было минимальным необходимо при его изготовлении обеспечить выбранные 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).

При оценке эффективности использования измельчителякормовой свёклы на корм крупному рогатому скоту по комплексному критерию эффективности определены экспериментальным путемфактические и выбраны требуемые (желаемые)значения частных показателей (таблица 2).

Методом экспертной оценки определены коэффициенты важности каждого показателя эффективности использования измельчителя кормовой свёклы: $\alpha_{ЗЭ}$ = 0,16, $\alpha_{ЗТ}$ = 0,15, $\alpha_{Пр}$ = 0,23, $\alpha_Н$ = 0,08, $\alpha_{ЗВ}$ = 0,08, $\alpha_{УТ}$ = 0,1, $\alpha_{ПС}$ = 0,2.

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

По зависимостям (3) рассчитаны значения коэффициентов, входящих в комплексный критерий (таблица 3).

Таблица 2 – Значения частных показателей эффективности измельчения кормовой свёклы

№ 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 технологической неисправности, 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

Таблица 3 – Значение коэффициентов $К_i$

Частный показатель эффективности	$К_{ЗЭ}$	$К_{ЗТ}$	$К_{Пр}$	$К_{Н}$	$К_{ЗВ}$	$К_{УТ}$	$К_{ПС}$
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

По формуле (6) рассчитаны значения комплексного критерия эффективности применения «существующего» и «предлагаемого» измельчителей кормовой свёклы, которые соответственно равны 9,45 и 159.

Таким образом, предлагаемыйизмельчитель кормовой свёклы эффективнее существующего в 16,8 раз.

В пятой главе «Методы определения экономических показателей» проведены технико-экономические исследования и оценка экономической эффективности внедрения разработанного измельчителя кормовой свёклы. В таблице 4 представлены показатели технико-экономической эффективности сравниваемых измельчителей кормовой свёклы.

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

Таблица 4 – 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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ конструктивных особенностей машин для измельчения кормовой свёклы показал, что до настоящего времени разработано достаточно много конструкций измельчителей корнеклубнеплодов, 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 φ по стали у изучаемых корнеклубнеплодов не более 27°;

- 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 0^0 на 30^0 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.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. Определение фрикционных характеристик корнеклубнеплодов / Антонов Н.М., Лебедь Н.И., Венецианский А.С., **Мамахай А.К.** //Известия

Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 4(40). С. 162-168.

2. Ряднов А.И., Федорова О.А., **Мамахай А.К.** Результаты исследований усилия резания кормовой свёклы при измельчении //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3(63). С. 356-366. DOI 10.32786/2071-9485-2021-03-37.

3. 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.

4. Ряднов А.И., Федорова О.А., **Мамахай А.К.** Выбор частных показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя корнеклубнеплодов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 4(45). С. 45-50. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-45-50.

Публикации в изданиях, входящих в базу данных Scopus, Web of Science

5. Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Tronev S.V., **Mamakhai A.K.** and SharipovR.V. Optimization of the main parameters of the root crop grinder // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. International Scientific and Practical Conference "Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture" (EESTE 2021). Published online: 24.10.2021. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012102.

Патенты

6. 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.

7. Измельчитель корнеклубнеплодов: пат. 2757496 Рос. Федерация. № 2021111322 / Давыдова С.А, Ряднов А.И, Старостин И.А, Ещин А.В, **Мамахай А.К**; заявл. 21.04.2021 ; опубл. 21.04.2021, Бюл. № 29. 6 с.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1506 подписано в печать 21.04.2022 г.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы
и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1