

На правах рукописи

Гаврилов Тиммо Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ  
МЯГКИХ СУБПРОДУКТОВ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ  
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ДЛЯ ЗВЕРОВОДСТВА

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Петрозаводск – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент  
**Малинов Геннадий Иванович**

**Официальные оппоненты:** – **Воронцов Иван Иванович**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный экономический  
университет», профессор кафедры  
автосервиса  
– **Яблочков Владимир Иванович**,  
кандидат технических наук

**Ведущая организация:** Государственное научное учреждение  
Северо-Западный научно-исследовательский  
институт механизации и электрификации  
сельского хозяйства Российской академии  
сельскохозяйственных наук

Защита состоится «23» декабря 2014 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 220.060.06 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, СПбГАУ, ауд. 2.719.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «\_\_» октября 2014 г.

Автореферат размещен на сайтах: <http://vak2.ed.gov.ru>, <http://spbgau.ru>.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Смирнов Василий  
Тимофеевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы, а также Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации в качестве приоритетного направления развития сельского хозяйства предусмотрено ускоренное развитие животноводства.

Пушное звероводство – одна из самых молодых отраслей животноводства в нашей стране. Разведение в клетках пушных зверей призвано восполнить дефицит природных пушных ресурсов и обеспечить потребности внутреннего и внешнего рынка в натуральных мехах. В общих издержках производства шкурок пушных зверей затраты на корма и их приготовление составляют 70...75%. Мягкие субпродукты в структуре кормов животного происхождения для пушных зверей занимают наибольшую долю. Технологии переработки мягких субпродуктов в корма для пушных зверей в общем виде складываются из набора операций. Основной и наиболее значимой из них является измельчение. В настоящее время наблюдается низкая эффективность операции измельчения мягких субпродуктов вследствие существования ряда значимых проблем, к которым в первую очередь относятся высокие энергозатраты и значительные потери питательной ценности мягких субпродуктов в ходе их переработки. В связи с этим очевидна необходимость проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований по энерго- и ресурсосбережению в технологии переработки мягких субпродуктов в корма для пушных зверей, направленных на повышение эффективности данной технологии. При этом следует отметить, что пути повышения эффективности технологии переработки мягких субпродуктов в корма для пушных зверей изучены к настоящему времени явно недостаточно.

**Цель исследования.** Повышение эффективности технологии и технических средств переработки мягких субпродуктов в корма для пушных зверей за счет уменьшения энергозатрат и сокращения потерь питательной ценности кормов.

**Объект исследования.** Технологическая операция и технические средства измельчения мягких субпродуктов.

**Методика исследования.** При выполнении диссертационного исследования использовались как стандартные, так и частные методики исследования с применением математического планирования эксперимента и обработки данных на персональном компьютере с

использованием программных пакетов STATGRAPHICS Centurion XVI, Microsoft Office Excel 2007, КОМПАС-3D V13 и Solid Edge ST4.

**Научная новизна.** Научная новизна заключается в следующем:

- обоснование конструктивно-технологической схемы предлагаемой экспериментальной установки для исследования процесса измельчения резанием лезвием (патент № 131163 РФ);
- обоснование механизмов изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от температуры мягких субпродуктов и от угла скольжения лезвия ножа;
- обоснование конструктивно-технологической схемы предлагаемого измельчителя для звероводства (патент № 129844 РФ);
- обоснование математических моделей, описывающих процесс изменения энергозатрат и производительности предлагаемого измельчителя для звероводства;
- определение оптимальных значений температуры мягких субпродуктов, угла скольжения лезвия ножа, а также конструктивно-технологических параметров предлагаемого измельчителя;
- обоснование критерия оценки эффективности работы измельчителей кормов животного происхождения.

**Практическая значимость.** На основании проведенных исследований обоснованы конструктивно-технологические схемы предлагаемого измельчителя для звероводства (патент № 129844 РФ) и экспериментальной установки для исследования процесса измельчения резанием лезвием (патент № 131163 РФ), а также оптимальные значения температуры мягких субпродуктов, угла скольжения лезвия ножа и конструктивно-технологических параметров предлагаемого измельчителя. Результаты диссертационного исследования приняты к использованию на животноводческом предприятии ЗАО «Пряжинское» и внедрены в учебный процесс на кафедре «Механизация сельскохозяйственного производства» ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» при подготовке бакалавров, инженеров и магистров.

**Достоверность научных положений** подтверждается результатами экспериментальных исследований, полученными с использованием современных измерительных устройств, при достаточном количестве повторностей опытов. Опытные данные обработаны с использованием методов математической статистики.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены: на международных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава, СПбГАУ, г. Санкт-Петербург

– Пушкин, 2013, 2014 гг.; на международной научно-практической конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса», ГНУ СНИИЖК Россельхозакадемии – ВНИИОК, г. Ставрополь, 2014 г.; на всероссийской научно-практической интернет-конференции «Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства», КубГАУ – СПбГАУ, г. Краснодар – Санкт-Петербург, 2013 г.; на международных научно-практических конференциях «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика», г. Ялта, 2012, 2013 гг.; на региональной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции», ПетрГУ, г. Петрозаводск, 2013 г.

**Публикации.** Основные результаты работы опубликованы в 17 печатных трудах, в том числе в 7 изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получены 2 патента РФ на полезные модели.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки для исследования процесса измельчения резанием;
- механизмы изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от температуры мягких субпродуктов и угла скольжения лезвия ножа;
- конструктивно-технологическая схема предлагаемого измельчителя для звероводства;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований температуры мягких субпродуктов, угла скольжения лезвия ножа и конструктивно-технологических параметров предлагаемого измельчителя;
- критерий оценки эффективности работы измельчителей кормов животного происхождения;
- технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемого измельчителя для звероводства.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 145 наименований, из них 11 на иностранном языке, и шести приложений. Общий объем работы изложен на 147 страницах машинописного текста, включая 16 таблиц и 43 рисунка.

Исследования и разработки, составившие основу диссертации, выполнены по плану НИР ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» по теме «Разработка рациональной технологии и технических средств производства кормов животного происхождения на Европейском Севере».

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель исследования и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ исследований, изложенных в работах В. П. Горячкина, В. А. Желиговского, Н. Е. Резника, С. В. Мельникова, Б. И. Вагина, Н. А. Барсова, В. И. Особова, В. А. Берестова, В. Р. Алешкина, А. В. Горбатова, А. И. Пелеева, Б. В. Гарбарца, Ш. Н. Нуртаева, В. А. Соляника, А. М. Рыжука, Г. И. Малинова, В. Ю. Карпина, Е. А. Тихонова и других ученых по измельчению кормов и особенностям конструкции измельчителей мягких субпродуктов, применяемых в звероводстве. Дана характеристика кормовой базы звероводства и приведены основные зоотехнические требования к процессу приготовления кормов для пушных зверей.

Проведенный анализ состояния вопроса позволил, в соответствии с поставленной целью, определить и сформулировать задачи исследований:

- изучить посредством теоретических и экспериментальных исследований влияние угла скольжения лезвия ножа и температуры мягких субпродуктов на энергозатраты процесса их измельчения;

- обосновать с использованием методики планирования факторного эксперимента оптимальные значения угла скольжения лезвия ножа и температуры измельчаемых мягких субпродуктов;

- обосновать критерий оценки эффективности работы измельчителей кормов с учетом величины изменения питательной ценности кормов в процессе их переработки;

- обосновать конструктивно-технологическую схему предлагаемого измельчителя для звероводства, позволяющего перерабатывать мягкие субпродукты со снижением энергозатрат и сокращением потерь питательной ценности мягких субпродуктов;

- обосновать с использованием методики планирования факторного эксперимента оптимальные значения конструктивно-технологических параметров предлагаемого измельчителя;

- выполнить технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемого измельчителя.

**Во второй главе** «Теоретические исследования измельчения мягких субпродуктов» обоснованы механизмы изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от угла скольжения лезвия ножа и температуры измельчаемых мягких субпродуктов, проведен анализ силового взаимодействия лезвия ножа с мягкими

субпродуктами, обоснован критерий оценки эффективности работы измельчителей кормов, обоснована конструктивно-технологическая схема предлагаемого измельчителя для звероводства и построена математическая модель его рабочего процесса.

Сущность механизма изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от их температуры заключается в том, что часть воды тканевой жидкости (представляющей собой солевой раствор белка) мягких субпродуктов при температуре ниже криоскопической точки  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится в кристаллизованном состоянии, при этом чем ниже температура, тем большее количество воды кристаллизовано, т. к. по мере вымораживания воды остаточная концентрация солевого раствора возрастает, и температура замерзания понижается. При температуре, равной криогидратной точке  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , кристаллизована вся содержащаяся в тканевой жидкости мягких субпродуктов вода. Вода в кристаллизованном состоянии оказывает большее временное сопротивление разрушению, чем вода в жидком состоянии. Вследствие чего энергозатраты процесса измельчения мягких субпродуктов возрастают при снижении температуры мягких субпродуктов ниже  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Механизм изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов (рис. 1) в зависимости от их температуры  $T$  можно разделить на пять температурных интервалов: 1) при  $T$  выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  энергозатраты минимальны, 2) при  $T$  от  $0$  до  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  отмечается незначительное увеличение энергозатрат, 3) при  $T$  от  $-1$  до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит резкое увеличение энергозатрат, 4) при  $T$  от  $-5$  до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит плавное увеличение энергозатрат и 5) при  $T$  ниже  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  энергозатраты достигают своего максимального значения.

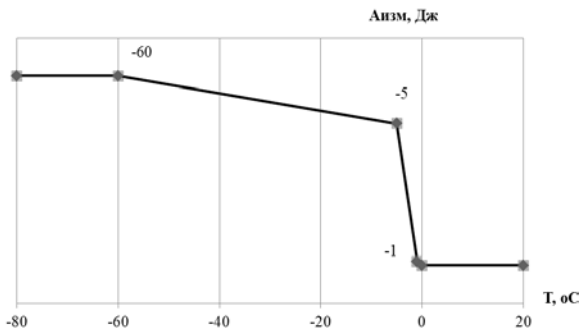


Рисунок 1 – Механизм изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от их температуры

Сущность механизма изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от угла скольжения лезвия ножа заключается в том, что изменение угла скольжения лезвия ножа приводит к возникновению ряда эффектов, одни из которых ведут к снижению энергозатрат процесса измельчения (кинематическая трансформация угла заточки, кинематическая трансформация кромки лезвия), а другие – к их повышению (кинематическая трансформация толщины перерезаемого материала). Степень влияния этих эффектов оценивается коэффициентами кинематической трансформации:

$$\text{– угла заточки } k_{\beta} = \frac{\beta - \beta_1}{\beta} = \frac{\beta - \arctg(\tg\beta \cdot \cos\tau)}{\beta},$$

$$\text{– кромки лезвия } k_{\delta} = \frac{\delta - \delta_1}{\delta} = \frac{\delta \cdot (1 - \cos\tau)}{\delta} = 1 - \cos\tau,$$

$$\text{– толщины перерезаемого материала } k_h = \frac{h_1 - h}{h} = \frac{(h/\cos\tau) - h}{h} = \frac{1}{\cos\tau} - 1,$$

где  $\beta$  – угол заточки,  $\beta_1$  – трансформированный угол заточки,  $\tau$  – угол скольжения,  $\delta$  – острота лезвия,  $\delta_1$  – трансформированная острота лезвия,  $h$  – толщина перерезаемого материала,  $h_1$  – трансформированная толщина перерезаемого материала.

Снижение энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов наблюдается при условии, когда доля влияния кинематической трансформации толщины перерезаемого материала не превышает суммарной доли кинематических трансформаций угла заточки и кромки лезвия.

Для оценки эффективности работы измельчителей кормов животного происхождения и отыскания оптимальных режимов их работы предложен критерий удельная энергоёмкость измельчителей  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$

$$\mathcal{E}_{\text{уд.изм}} = \frac{N}{Q \cdot \lambda \cdot \lambda_{\text{ПП}}},$$

где  $N$  – потребная мощность измельчителя,  $Q$  – производительность измельчителя,  $\lambda$  – степень измельчения,  $\lambda_{\text{ПП}}$  – коэффициент сохранности переваримого протеина в кормах животного происхождения в процессе их переработки в измельчителе.

Данный критерий, в отличие от существующих, учитывает как общепринятые параметры – затраты энергии на измельчение кормов, производительность измельчителя и получаемая степень измельчения, так и ранее не используемый параметр – коэффициент сохранности



переваримого протеина в кормах животного происхождения в процессе их переработки в измельчителе.

Разработка конструкции предлагаемого измельчителя для звероводства является многоплановым процессом. В него входят этапы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Настоящее диссертационное исследование посвящено этапу научно-исследовательских работ, а именно, обоснованию конструктивно-технологической схемы предлагаемого измельчителя.

В конструктивно-технологической схеме предлагаемого измельчителя для звероводства устранены недостатки измельчителей с питающим шнеком (в частности, трение в режущем и подающем механизмах измельчителей с питающим шнеком), за счет чего происходит снижение энергозатрат и сокращение потерь питательной ценности мягких субпродуктов. Причем наиболее дорогостоящие элементы предлагаемого измельчителя – рабочий цилиндр, рама и силовая установка – идентичны элементам измельчителя с питающим шнеком, изменению же подлежат только его рабочие органы (подающий и режущий механизмы). За счет чего появляется возможность при небольших (относительно изготовления нового измельчителя) затратах модернизировать уже имеющиеся в звероводческих предприятиях измельчители с питающим шнеком.

Предлагаемый измельчитель (рис. 2) состоит из рабочего цилиндра 1 и вала 2, вдоль которого под углом к внутренней поверхности рабочего цилиндра по винтовой линии приварены ножи 3.

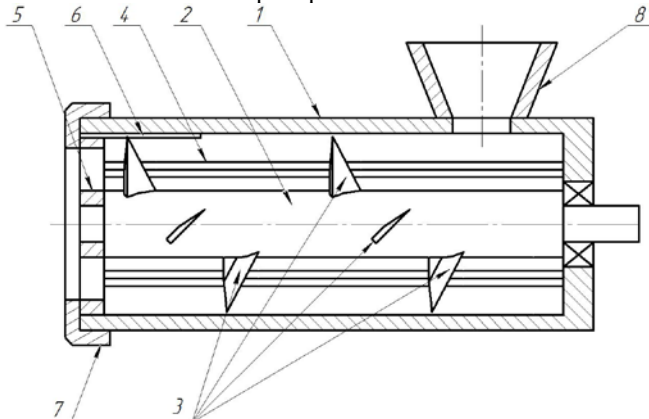


Рисунок 2 – Предлагаемый измельчитель

Вал с ножами является рабочим органом предлагаемого измельчителя и образует режуще-транспортирующий механизм (рис. 3). Внутренняя поверхность рабочего цилиндра, для повышения скорости поступательного движения мягких субпродуктов и предотвращения проворачивания их вместе с валом и ножами, снабжена ребрами 4. Вал с одной стороны опирается на внутреннюю поверхность рабочего цилиндра, с другой – на опору 5.

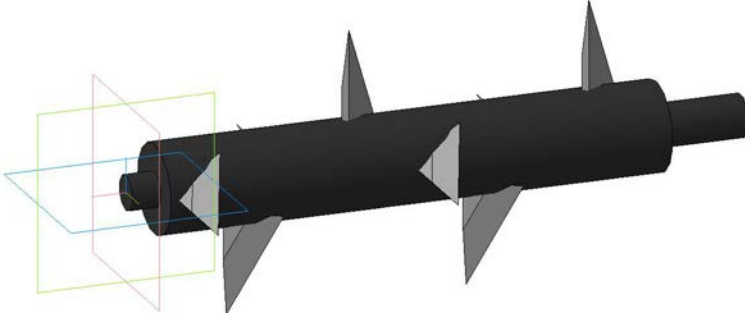


Рисунок 3 – Режуще-транспортирующий механизм

Принцип работы предлагаемого измельчителя следующий: куски мягких субпродуктов подаются в загрузочную горловину, где захватываются вращающимся режуще-транспортирующим механизмом. Данный механизм одновременно совершает два процесса: измельчение и транспортирование кусков мягких субпродуктов. Процесс транспортирования осуществляется за счет того, что ножи расположены по винтовой линии вдоль вала, вследствие чего образуют винт или шнек. Процесс измельчения осуществляется на всем протяжении перемещения кусков мягких субпродуктов вдоль рабочего цилиндра, вследствие чего он совершается поступательно и многоступенчато.

Для изучения процессов измельчения и транспортирования мягких субпродуктов режуще-транспортирующим механизмом разработаны схемы силового взаимодействия лезвия ножа (для процесса измельчения) и боковой поверхности ножа (для процесса транспортирования) с мягкими субпродуктами (подробно эти схемы рассмотрены в тексте диссертации). На основе анализа разработанных схем для процессов транспортирования и измельчения получены математические выражения для определения:

– мощности  $N$ , затрачиваемой на транспортирование и измельчение мягких субпродуктов

$$N = n \cdot z \cdot \left( m \cdot g \cdot \pi \cdot R \cdot (\cos^2 \alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha) + \delta \cdot \Delta l \cdot \sigma_p + \right. \\ \left. + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{\text{сж}}^2}{h} \cdot \left[ \text{tg} \beta \cdot h_{\text{сж}} + (\text{tg} \beta + f \cdot \sin^2 \beta + \mu \cdot f \cdot (2 + \cos^2 \beta)) \cdot (h - h_{\text{сж}}) - \right. \right. \\ \left. \left. - (\mu \cdot f \cdot (1 + \cos^2 \beta)) \cdot h_{\text{л}} \right] \right),$$

где  $n$  – частота вращения вала,  $z$  – число ножей,  $m$  – масса мягких субпродуктов,  $R$  – радиус окружности, описываемой ножом при вращении,  $\alpha$  – угол подъема,  $\Delta l$  – длина лезвия,  $\sigma_p$  – разрушающее контактное напряжение,  $E$  – модуль упругости,  $h_{\text{сж}}$  – толщина предварительного сжатия,  $f$  – коэффициент трения,  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $h_{\text{л}}$  – высота лезвия;

– производительности  $Q$  измельчителя

$$Q = \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \pi \cdot l \cdot \rho \cdot n \cdot \varphi_3,$$

где  $D$  – диаметр вала вместе с ножами,  $d$  – диаметр вала,  $l$  – длина рабочего участка (т. е. участка, на котором установлены ножи),  $\rho$  – плотность мягких субпродуктов,  $\varphi_3$  – коэффициент заполнения рабочего пространства внутри измельчителя мягкими субпродуктами.

**В третьей главе** «Методика и результаты экспериментальных исследований измельчения мягких субпродуктов» представлены программа, методика и результаты экспериментальных исследований рабочего процесса измельчителя с питающим шнеком, параметров, оказывающих влияние на энергозатраты процесса измельчения мягких субпродуктов (угла скольжения лезвия ножа и температуры измельчаемых мягких субпродуктов), основных конструктивно-технологических параметров предлагаемого измельчителя.

В ходе исследований использовались методики физического моделирования (изучение в лабораторных условиях объекта исследования на модели, отличающейся от натуры масштабом) и планирования факторного эксперимента.

Для проведения исследований были подготовлены экспериментальные установки на базе измельчителя МТК-78 с питающим шнеком, стенда для исследования параметров процесса резания лезвием, предлагаемого измельчителя для звероводства.

В качестве измерительной и регистрирующей аппаратуры использовались счетчики электрической энергии «Нева МТ 323» и

«Нева МТ 123», инфракрасный пирометр ADA TemPro 1200, аналитические весы ВЛТЭ-500, частотный преобразователь Hyundai N700E, цифровая видеокамера планшетного компьютера ASUS ME-173X.

Для полученных в ходе исследований результатов произведена статистическая обработка общепринятыми методами математической статистики для 5%-го уровня значимости. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программных пакетов STATGRAPHICS Centurion XVI и Microsoft Office Excel 2007. Адекватность моделей второго порядка проверялась с помощью F-критерия Фишера, значимость коэффициентов регрессии – с помощью t-критерия Стьюдента.

В ходе исследований получены следующие результаты:

1. Между мощностью  $N$ , затрачиваемой на измельчение мягких субпродуктов, и температурой мягких субпродуктов  $T$  существует сложная зависимость (рис. 4).

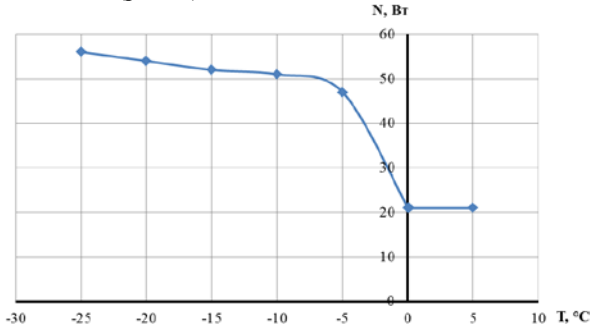


Рисунок 4 – Механизм изменения  $N$  в зависимости от  $T$

В диапазоне температур от  $-25$  до  $-5$  °C наблюдается небольшое уменьшение  $N$ , в 1,14 раза, от  $-5$  до  $0$  °C – значительное уменьшение  $N$ , в 2,33 раза, и от  $0$  до  $5$  °C изменений  $N$  не наблюдается. Такой характер зависимости  $N$  от  $T$  соответствует механизму изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от их температуры, обоснованному в главе 2.

2. Между мощностью  $N$ , затрачиваемой на измельчение мягких субпродуктов, и углом скольжения  $\tau$  существует сложная зависимость (рис. 5). В диапазоне углов скольжения от  $0$  до  $45^\circ$  наблюдается значительное уменьшение  $N$ , в 3,50 раза, начиная от  $45^\circ$  и выше – значительное увеличение  $N$  (так, при  $\tau = 75^\circ$   $N$  увеличивается в

4,50 раза и в абсолютных величинах превышает  $N$  при  $\tau = 0^\circ$  на 28,57%). Такой характер зависимости  $N$  от  $\tau$  соответствует механизму изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от угла скольжения лезвия ножа, обоснованному в главе 2.

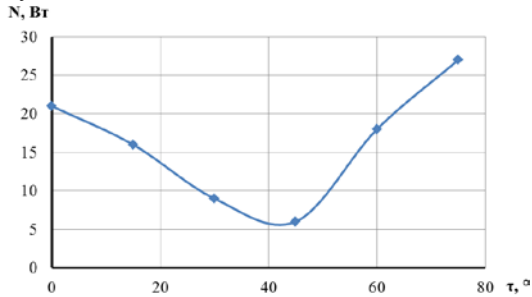


Рисунок 5 – Механизм изменения  $N$  в зависимости от  $\tau$

3. Уравнение регрессии второго порядка для мощности  $N$ , затрачиваемой на измельчение мягких субпродуктов, в зависимости от угла скольжения лезвия  $\tau$  и температуры мягких субпродуктов  $T$

$$N = 61,00 + 1,17 \cdot T - 2,72 \cdot \tau + 2,50 \cdot T^2 + 0,03 \cdot \tau^2.$$

Область оптимальных значений факторов наглядно демонстрируют графики поверхности отклика (рис. 6) и ее проекции (рис. 7).

Оптимальные значения факторов при минимуме функции  $N = 5,29$  Вт: температура мягких субпродуктов  $T = -0,23$  °C и угол скольжения лезвия  $\tau = 40,83$  °.

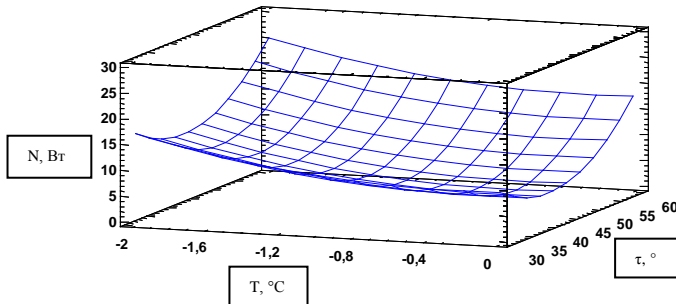


Рисунок 6 – График поверхности отклика  $N$

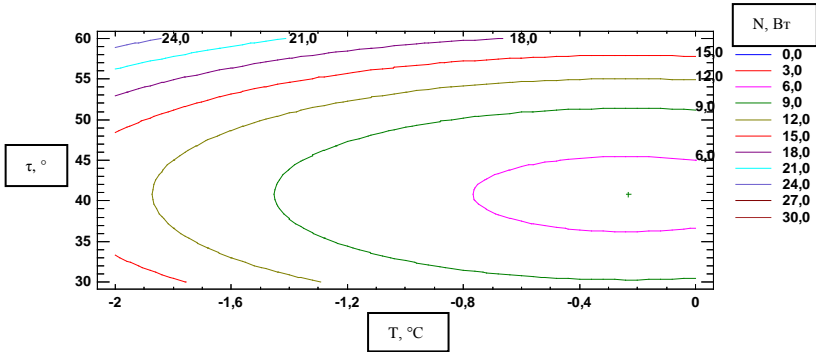


Рисунок 7 – График проекции поверхности отклика  $N$  на плоскость  $T : \tau$

4. Между удельной энергоемкостью предлагаемого измельчителя  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$  и углом подъема ножей  $\alpha$  существует сложная зависимость (рис. 8).

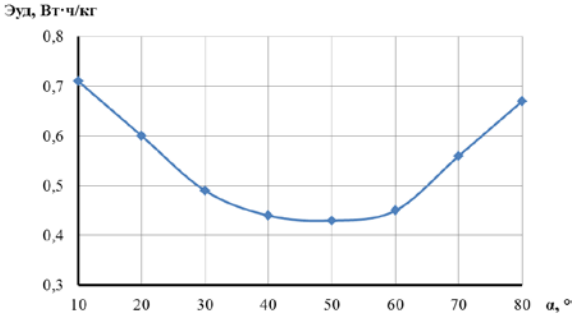


Рисунок 8 – Динамика изменения  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$  в зависимости от  $\alpha$

В диапазоне углов подъема ножей от 10 до 30° наблюдается значительное уменьшение  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$ , в 1,45 раза, от 30 до 50° – небольшое уменьшение  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$ , в 1,14 раза, и от 50 до 80° – значительное увеличение  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$ , в 1,56 раза.

5. Уравнение регрессии второго порядка для удельной энергоемкости предлагаемого измельчителя  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}}$  в зависимости от частоты вращения его режуще-транспортующего механизма  $n$ , количества ножей  $z$  и угла подъема  $\alpha$

$$\mathcal{E}_{\text{уд.изм}} = 1,7481 - 0,0072 \cdot n - 0,0932 \cdot z - 0,0246 \cdot \alpha + 0,0009 \cdot n \cdot z + 0,0002 \cdot \alpha^2.$$

Оптимальные значения факторов при минимуме функции  $\mathcal{E}_{\text{уд.изм}} = 0,35 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$ : частота вращения режущее-транспортирующего механизма  $n = 100 \text{ мин}^{-1}$ , количество ножей  $z = 6,16$  и угол подъема  $\alpha = 47,07^\circ$ .

**В четвертой главе** «Технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемого измельчителя для звероводства» проведены производственные сравнительные испытания применения предлагаемого измельчителя для звероводства и серийного измельчителя МТК-78 с питающим шнеком. На основании анализа производственных сравнительных испытаний установлено, что при применении предлагаемого измельчителя для звероводства снижается потребная мощность на 34 %, повышается производительность на 3 %, степень измельчения на 123 % и коэффициент сохранности переваримого протеина на 7 %. Удельная энергоёмкость предлагаемого измельчителя в 3,25 раза меньше, чем измельчителя МТК-78.

Годовой экономический эффект от применения предлагаемого измельчителя при использовании его в поточно-технологической линии переработки мягких субпродуктов в корма для пушных зверей составил 219 341 руб., при этом величина капитальных вложений составила 26 380 руб. Экономический эффект достигается за счет снижения расходов на электроэнергию и на приобретение мягких субпродуктов для кормления пушных зверей, вследствие высокой сохранности питательной ценности мягких субпродуктов в процессе их переработки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве заключения в диссертации сформулированы итоги исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

### Итоги исследования

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки для исследования параметров процесса измельчения резанием лезвием мясо-рыбных кормов для пушных зверей (патент № 131163 РФ).

2. Обоснованы механизмы изменения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов в зависимости от угла скольжения лезвия ножа и температуры мягких субпродуктов. Определены их оптимальные значения: угол скольжения лезвия ножа  $\tau = 40,83^\circ$  и температура мягких субпродуктов  $T = -0,23^\circ \text{C}$ .

3. Обоснован критерий оценки эффективности работы измельчителей кормов, который в отличие от существующих критериев, учитывает как общепринятые параметры – затраты энергии на измельчение кормов, производительность измельчителя и получаемая степень измельчения, так и ранее не используемый – коэффициент сохранности переваримого протеина в кормах животного происхождения в процессе их переработки в измельчителе.

4. Обоснована конструктивно-технологическая схема предлагаемого измельчителя для звероводства (патент № 129844 РФ), в которой устранены недостатки измельчителей с питающим шнеком (в частности, трение в режущем и подающем механизмах измельчителей с питающим шнеком), совмещены основные технологические процессы – измельчение и транспортирование, при чем измельчение мягких субпродуктов осуществляется поступательно и многоступенчато, все это позволяет перерабатывать мягкие субпродукты со снижением энергозатрат и сокращением потерь питательной ценности мягких субпродуктов

5. Определены оптимальные значения конструктивно-технологических параметров предлагаемого измельчителя для звероводства: частота вращения режуще-транспортирующего механизма  $n = 100 \text{ мин}^{-1}$ , количество ножей  $z = 6,16$ , угол подъема винтовой линии расположения ножей  $\alpha = 47,07^\circ$ .

6. На основании анализа сравнительных испытаний предлагаемого измельчителя и измельчителя МТК-78 с питающим шнеком установлено, что при применении предлагаемого измельчителя снижается потребная мощность на 34 %, повышается производительность на 3 %, степень измельчения на 123 % и коэффициент сохранности переваримого протеина на 7 %. Удельная энергоёмкость предлагаемого измельчителя в 3,25 раза меньше, чем измельчителя МТК-78.

7. Годовой экономический эффект от применения предлагаемого измельчителя в сравнении с измельчителем МТК-78 при использовании его в поточно-технологической линии переработки мягких субпродуктов в корма для пушных зверей составил 219 341 руб., при этом величина капитальных вложений составила 26 380 руб. Экономический эффект достигается за счет снижения расходов на электроэнергию и на приобретение мягких субпродуктов для кормления пушных зверей.

#### **Рекомендации**

8. Для снижения энергозатрат процесса измельчения мягких субпродуктов рекомендуются следующие значения угла скольжения



лезвия ножа  $\tau = 40...41^\circ$  и температуры мягких субпродуктов  $T = -1...0^\circ\text{C}$ .

9. Для снижения энергозатрат операции измельчения мягких субпродуктов рекомендуются следующие значения конструктивно-технологических параметров измельчителя для звероводства: частота вращения режущее-транспортирующего механизма  $n = 100 \text{ мин}^{-1}$ , количество ножей  $z = 6...7$ , угол подъема винтовой линии расположения ножей  $\alpha = 47...48^\circ$ .

### **Перспективы дальнейшей разработки темы исследования**

10. Проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований возможностей использования результатов диссертационного исследования, в том числе конструктивно-технологической схемы предлагаемого измельчителя для звероводства, применительно к другим видам сырья животного происхождения, например мускульного мяса и рыбы, в корма для пушных зверей.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*в изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. Гаврилов, Т.А. Определение углов скольжения лезвия в процессе опорного резания / Г.И. Малинов, В.Ф. Кондрашов, Т.А. Гаврилов // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. – 2012. – № 8 (129). – С. 40–42.

2. Гаврилов, Т.А. Некоторые аспекты потерь сырого протеина говядины в процессе ее измельчения в звероводстве / В.И. Базыкин, Т.А. Гаврилов, Л.С. Паталайнен // Известия СПбГАУ. – 2013. – № 31. – С. 232–236.

3. Гаврилов, Т.А. Изучение влияния толщины упруговязкого материала на работу измельчения / Г.И. Малинов, В.Ф. Кондрашов, Т.А. Гаврилов // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 7 (113). – С. 30–32.

4. Гаврилов, Т.А. Исследование эффективности работы оборудования для тонкого измельчения мясо-рыбных кормов / Т.А. Гаврилов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2013. – № 87 (03). – IDA [article ID]: 0871303028. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/28.pdf>.

5. Гаврилов, Т.А. Экспериментальное исследование процесса измельчения мясного сырья при различных скоростях резания / Т.А. Гаврилов // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. – 2013. – № 8 (137). – С. 98–100.

6. Гаврилов, Т.А. Повышение эффективности звероводческого производства путем совершенствования методики составления рационов кормления / Т.А. Гаврилов, А.В. Няникова, Л.С. Паталайнен, А.К. Широких // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2013. – № 91 (07). – IDA [article ID]: 0911307052. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/52.pdf>.

7. Гаврилов, Т.А. Исследование температурного режима в режущем механизме измельчителей мясного корма / Т.А. Гаврилов, Г.И. Малинов, В.Ю. Карпин, В.Ф. Кондрашов // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – № 1. – С. 29–31.

*в описаниях к патентам РФ*

8. Пат. 129844 Российская Федерация, В02С18/00 (2006.01). Устройство для измельчения мясо-рыбных кормов / Малинов Г.И., Кондрашов В.Ф., Тихонов Е.А., Гаврилов Т.А. – № 2012152325/13; заявл. 05.12.2012; опубл. 10.07.2013.

9. Пат. 131163 Российская Федерация, G01М7/08 (2006.01). Стенд для исследования параметров процесса резания лезвием / Гаврилов Т.А., Кондрашов В.Ф., Тихонов Е.А. – № 2013113203/28; заявл. 25.03.2013; опубл. 10.08.2013.

*в других изданиях*

10. Гаврилов, Т.А. О влиянии угла скольжения на энергоемкость опорного резания мясорыбных кормов / В.Ю. Карпин, Т.А. Гаврилов // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: материалы 12-й Международной научно-практической конференции. – Киев: АТМ Украины, 2012. – С. 93–95.

11. Разработка рациональной технологии и технических средств производства кормов животного происхождения на Европейском Севере: отчет о НИР (заключ.) / Петрозаводский государственный университет; рук. Гаврилов Т.А. – Петрозаводск, 2013. – 29 с. – Исполн.: Гаврилов Т.А. – № ГР 01201370908. – Инв. № 02201453954.

12. Гаврилов, Т.А. Возможности ресурсосбережения в производстве измельченных мясо-рыбных кормов для хищных пушных зверей / Т.А. Гаврилов // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции: сборник научных статей по материалам научно-практической конференции. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. – С. 8–12.

13. Гаврилов, Т.А. Исследование гранулометрического состава измельченных мясо-рыбных кормов в ЗАО «Пряжинское» Республики Карелия / Г.И. Малинов, Т.А. Гаврилов, В.Г. Воронов // Научное

обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2013. – С. 349–352.

14. Гаврилов, Т.А. Оценка качества работы измельчителей мясных кормов в звероводстве / В.Ю. Карпин, Т.А. Гаврилов // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: материалы 13-й Международной научно-практической конференции. – Киев: АТМ Украины, 2013. – С. 75–77.

15. Гаврилов, Т.А. Исследование работы режущего аппарата мясорубок, применяемых в звероводстве / Г.И. Малинов, Т.А. Гаврилов // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2014. – С. 371–374.

16. Гаврилов, Т.А. Зависимость температуры режущего аппарата мясорубок, применяемых в звероводстве, от длительности перерывов в подаче перерабатываемого сырья / Т.А. Гаврилов // Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – С. 131–134.

17. Гаврилов, Т.А. Влияние температуры мягких субпродуктов на энергоемкость процесса их измельчения / Т.А. Гаврилов // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 6. – С. 248–250.

Подписано в печать 17.10.14.

Формат 60 x 84 1/16.

Бумага офсетная. 1,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. Изд № 312

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ

185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33