

Учреждение образования  
«Могилевский государственный университет продовольствия»

УДК 637.513.48

**ЖЕЛУДКОВ  
АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ**

**ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МЯСА КУР МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБВАЛКИ В КУТТЕРАХ  
НОЖАМИ С ЛОМАННОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых производств

Могилев 2013

Работа выполнена в учреждении образования  
«Могилевский государственный университет продовольствия»

- Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
**Груданов Владимир Яковлевич**  
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», заведующий кафедрой технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Передня Владимир Иванович**  
Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», главный научный сотрудник
- кандидат технических наук, доцент  
**Андреева Ирина Игнатьевна**  
Учреждение образования «Могилёвский государственный университет продовольствия»
- Оппонирующая организация – Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современных условиях развития страны главной задачей агропромышленного комплекса, в том числе и мясоперерабатывающей промышленности, является обеспечение населения качественными продуктами питания, которая должна быть решена за счет внедрения прогрессивных технологий и высокопроизводительного технологического оборудования.

Тонкое измельчение мясного сырья является одним из важнейших процессов в формировании структуры колбасного фарша. После измельчения в куттере фарш должен обладать максимальной водосвязывающей способностью и иметь однородную структуру.

В настоящее время при производстве колбасных изделий наметилась тенденция роста использования мяса кур, которое обладает большой биологической и пищевой ценностью.

Полуфабрикаты и другие продукты из птицы вырабатывают, главным образом, из мяса механической обвалки. По составу и свойствам оно существенно отличается от мяса ручной обвалки. Во время механической обвалки мясо-костная масса подвергается сильному сжатию, происходит разрушение костной ткани; содержащееся в ней губчатое вещество, костный жир, минеральные компоненты попадают в мышечную ткань. Поэтому при изготовлении колбасных изделий из мяса кур необходимо использовать высокотехнологическое мясоизмельчающее оборудование, работа которого напрямую зависит от конструктивных параметров режущего инструмента.

Известные конструкции рабочих органов не обеспечивают в полной мере выполнение основных технологических требований в части качества, производительности, энергозатрат и нуждаются в дальнейшем улучшении. Также большое внимание следует уделять разработке и внедрению отечественных образцов с целью обеспечения независимости предприятий от иностранных производителей.

Эти обстоятельства обуславливают необходимость проведения научных исследований в области конструирования режущих инструментов с оптимальными геометрическими и механическими характеристиками, что и определяет актуальность данной работы.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Диссертационная работа выполнялась на кафедре машин и аппаратов пищевых производств учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия» в рамках работ по ГБ НИР №26-07 № гос. регистрации 2006955 «Научное и техническое обеспечение процессов переработки сельскохозяйствен-

ного сырья в машинах и аппаратах пищевой промышленности»; ГБ НИР №31-07 № гос. регистрации 20112364 «Повышение эффективности процессов обработки и переработки сельскохозяйственного сырья в пищевой и зерноперерабатывающей промышленности» и на кафедре технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции» учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» в рамках работ по государственной комплексной программе научных исследований (ГКПНИ) «Механика» по заданию 2.47 № гос. регистрации 20081061 «Развитие теории измельчения животного сырья и оптимизации конструктивных параметров рабочих органов мясоизмельчительных машин».

**Цель и задачи исследования.** Целью представленной работы является снижение энергоемкости процесса куттерования мяса кур механической обвалки за счет применения куттерных ножей новой конструкции и определение оптимальных режимов работы куттера, обеспечивающих получение максимальной водосвязывающей способности измельчаемого сырья.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- анализ существующих конструкций рабочих органов машин для тонкого измельчения мясного сырья;
- разработка модели внедрения лезвия ножа в продукт и определение параметров, влияющих на усилие резания;
- разработка куттерных ножей с новыми техническими решениями, позволяющими повысить эффективность процесса тонкого измельчения мясного сырья;
- создание экспериментального стенда для исследования процесса куттерования при различных технологических режимах;
- проведение экспериментальных исследований;
- получение аналитических зависимостей, адекватно описывающих процесс куттерования;
- определение режимно-конструктивных параметров работы куттера, обеспечивающих получение максимальной водосвязывающей способности мяса кур механической обвалки;
- разработка методики определения продолжительности куттерования сырья в зависимости от скорости резания, линейной скорости чаши, коэффициента скольжения куттерного ножа и конечной температуры измельчаемого сырья.

**Объект исследований** – процесс куттерования мяса кур механической обвалки в куттерах периодического действия.

**Предмет исследований** – взаимодействие измельчаемого сырья с куттерными ножами и влияние режимно-конструктивных параметров работы куттера на удельную энергоемкость процесса, прирост температуры и водосвязывающую способность измельчаемого сырья.

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

– зависимости удельной энергоемкости процесса куттерования и прироста температуры сырья от коэффициента скольжения ножа, позволяющие конструировать ножи с оптимальным углом резания, использование которых обеспечивает получение минимальной удельной энергоемкости процесса и прироста температуры измельчаемого сырья;

– параметры процесса куттерования мяса кур механической обвалки (время куттерования от 300 до 390 с, скорость резания от 25,4 до 29,7 м/с), обеспечивающие повышение водосвязывающей способности измельчаемого сырья от 64,58 % до 69,5 %;

– зависимость продолжительности куттерования мяса кур механической обвалки от скорости резания, линейной скорости чаши, коэффициента скольжения куттерного ножа и конечной температуры измельчаемого сырья, позволяющая не допустить перегрев фарша.

Новизна технических решений подтверждена полученными патентами на изобретения [24–А, 25–А, 26–А, 27–А].

**Личный вклад соискателя.** Основные результаты, представленные в диссертации, получены автором самостоятельно. Автор диссертации изучены и проанализированы литературные данные по теме диссертационной работы; разработана методика исследования процесса куттерования. Разработаны куттерные ножи с новыми конструктивными решениями, позволяющими повысить эффективность процесса куттерования [24–А, 25–А, 26–А, 27–А]; на основе проведенных экспериментальных исследований процесса получены аналитические зависимости, адекватно описывающие процесс куттерования; предложена методика определения продолжительности куттерования мяса кур механической обвалки в зависимости от режимно-конструктивных параметров работы куттера периодического действия.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения и результаты диссертационных исследований представлялись и обсуждались на следующих научных, научно-практических и научно-технических конференциях: V-й Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве пищевых продуктов» (Минск, 5-6 октября 2006 г.); VII-й Международной научной конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 21-22 мая 2009 г.); Международной научно-технической конференции (Донецк, 2009 г.); 77-й Научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Киев, 11-12 апреля 2011 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Минск, 14-15 апреля 2011 г.); VIII-й Международной научной конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 27-28 апреля 2011 г.); Международной научно-практической конференции

(Харьков, 18 октября 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (Минск, 21-22 марта 2013 г).

**Опубликованность результатов.** Основное содержание работы изложено в 27 публикациях, в том числе 9 статей в рецензируемых научных журналах, 1 статья в научном журнале, 13 тезисов докладов и 4 патента.

Количество авторских листов публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь от 22 февраля 2006 года, составляет 2,97 авторских листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация включает перечень условных обозначений, введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения.

Общий объем диссертации составляет 158 страниц машинописного текста, содержит 5 таблиц на 3 листах, 28 рисунков на 11 листах, 8 приложений на 52 листах, 130 источников на 12 листах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы актуальность темы диссертационной работы и практическая значимость выполненных исследований для предприятий мясной отрасли.

**В первой главе** представлен аналитический обзор научно-технической информации по теме диссертации, по материалам которого проведен анализ технологических особенностей процесса измельчения мясопродуктов. Установлено, что проведенные к настоящему времени исследования процесса куттерования подробно рассматривают особенности измельчения традиционного мясного сырья, такого как свинина и говядина. В настоящее время наиболее активно развивается производство колбасных изделий из мяса кур. При этом процесс куттерования мяса кур механической обвалки изучен недостаточно.

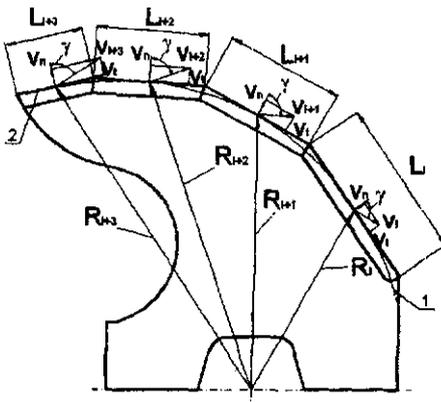
На основании обобщения накопленного опыта в области конструирования и эксплуатации рабочих органов машин свободного резания обоснована необходимость оптимизации геометрической формы ножей с целью уменьшения затрат электроэнергии на процесс куттерования. Рассмотрены способы интенсификации процесса измельчения при приготовлении фарша для колбасных изделий. Установлено, что наиболее перспективным направлением в области совершенствования рабочих органов куттеров является выполнение куттерных ножей с режущей кромкой в виде ломаной линии.

На основе всестороннего анализа литературных данных сформулированы основная цель и задачи исследований. Составлен общий план теоретических и экспериментальных исследований, разработана структурная схема исследований.

**Во второй главе** рассмотрены теоретические основы измельчения, включающие в себя общие понятия о механизме разрушения, способы и виды измельчения, комплексное влияние разнообразных факторов на качество получаемой продукции, приведена методика определения продолжительности куттерования в зависимости от конструктивных параметров куттерных ножей и режимов проведения процесса.

Установлено, что усилие резания мясожирового сырья зависит как от его физического состояния, так и от геометрических характеристик режущего органа (толщина ножа, угол заточки, угол резания и др.).

Широкое применение на мясоперерабатывающих заводах нашли куттерные ножи, режущая кромка которых описана кривыми второго порядка. Наиболее распространенными вариантами кривых второго порядка, применяемых при конструировании куттерных ножей, являются спираль Архимеда, логарифмическая спираль и эвольвента круга. При анализе вышеприведенных спиралей было установлено, что постоянство угла резания по всей длине режущей кромки можно достичь, очертив лезвие логарифмической спиралью.



1 – логарифмическая спираль; 2 – режущая кромка

**Рисунок 1 – Схема куттерного ножа с ломаной режущей кромкой**

Ножи с подобным профилем лезвия хорошорезают соединительную ткань. Однако основным недостатком ножей, выполненных по логарифмической спирали, является сложность их изготовления и эксплуатации. Эта проблема решается путем выполнения режущей кромки в виде ломаной линии (рисунок 1). Выполнение режущей кромки касательно к логарифмической спирали позволяет получить постоянство угла резания в середине каждого прямолинейного участка режущей кромки.

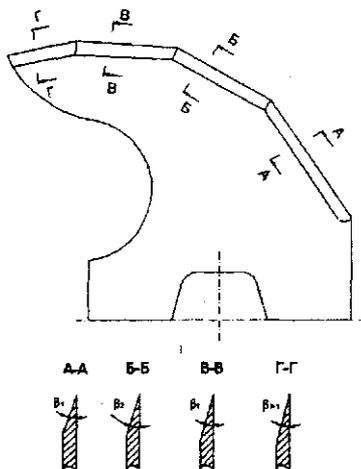
Не менее важным для осуществления процесса измельчения мясного сырья при изготовлении колбасных изделий является угол заточки режущей кромки но-

жа. С учетом прочностных характеристик лезвия и свойств измельчаемого сырья оптимальный диапазон угла заточки лежит в пределах  $15^{\circ} \dots 30^{\circ}$ .

При резании волокнистых материалов необходимо, чтобы давление в зоне контакта режущей кромки с измельчаемым продуктом увеличивалось с увеличением расстояния от оси вращения ножа до режущей кромки. Этот эффект может быть достигнут двумя способами: за счет уменьшения угла заточки лезвия с увеличением расстояния от оси вращения до режущей кромки либо путем увеличения угла резания по мере увеличения расстояния от оси вращения ножа до режущей кромки.

При использовании ножа с серповидной режущей кромкой второй путь более практичен и осуществляется путем увеличения угла резания. Однако ножи с длинной режущей кромкой имеют большую боковую поверхность, что приводит к увеличению потерь энергии на трение и, как следствие, приводит к более интенсивному повышению температуры фарша и увеличению затрат электроэнергии на процесс куттерования.

Использование ножей с ломаной режущей кромкой позволяет пойти по первому пути: уменьшать угол заточки прямолинейных участков режущей кромки по мере увеличения расстояния от оси вращения до режущей кромки (рисунок 2). Это конструктивное решение создает требуемое давление в зоне контакта режущей кромки и продукта.



**Рисунок 2 – Схема куттерного ножа с изменяющимся углом заточки режущей кромки**

В большинстве современных куттеров процесс куттерования прекращается при достижении сырьем определенной температуры, соответствующей началу денатурации белков. В то же время на многих предприятиях используются модели куттеров, не имеющие устройств для измерения температуры сырья. В связи с чем возникает необходимость в разработке методики, позволяющей рассчитать продолжительность куттерования и не допустить перегревание фарша.

В результате теоретических исследований получено выражение для определения продолжительности куттерования:

$$\tau = \frac{Q_{\text{теп}}}{K_1 \cdot N_{\text{пол}}} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{K_1 \cdot N_{\text{пол}}}, \quad (1)$$

где  $c$  – теплоемкость куттеруемого сырья, Дж/(кг·°C);

$m$  – масса куттеруемого сырья, кг;

$\Delta t$  – прирост температуры куттеруемого сырья, °C;

$K_1$  – коэффициент пропорциональности, показывающий, какая часть энергии от энергии, расходуемой на куттерование, идет на нагрев сырья;

$N_{\text{пол}}$  – полезная мощность, затрачиваемая в процессе куттерования, Вт.

Полезную мощность  $N_{\text{пол}}$ , затрачиваемую на измельчение сырья в процессе куттерования, можно определить из регрессионной модели, полученной в результате экспериментальных исследований:

$$N_{\text{пол}} = A \cdot f(K_c) \cdot f(v_p) \cdot f(v_s), \quad (2)$$

где  $f(K_c)$  – функция влияния коэффициента скольжения ножа на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования;

$f(v_p)$  – функция влияния скорости резания на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования;

$f(v_s)$  – функция влияния линейной скорости чаши на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования.

С учетом уравнения (2) выражение для определения продолжительности куттерования примет вид:

$$\tau = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{K_1 \cdot (A \cdot f(K_c) \cdot f(v_p) \cdot f(v_s))}. \quad (3)$$

Полученное выражение носит общий характер. Для применения данной методики по отношению к конкретной модели куттеров требуется проведение исследований, учитывающих конструктивные и кинематические особенности машин.

**В третьей главе** описывается экспериментальный стенд (рисунок 3), методика и программа экспериментальных исследований, производится выбор исследуемых параметров процесса куттерования.

Исследования проводились в два этапа. Целью первого этапа исследования с использованием модельного материала являлось определение наиболее важных факторов варьирования, влияющих на процесс куттерования, и определение характера изменения выходных функций в зависимости от входных параметров.

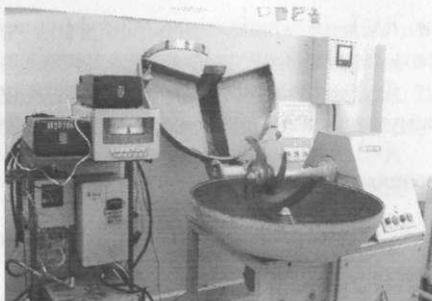
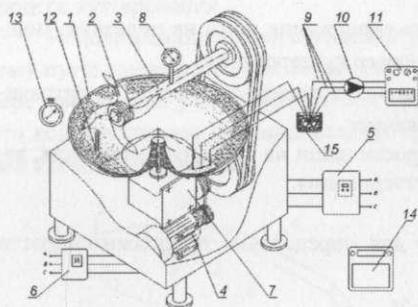
После проведения серии отсеивающих экспериментов факторами варьирования в интервалах выбраны коэффициент скольжения куттерного ножа

( $K_c=1,59...3,16$ ), скорость резания ( $v_p = 21,9...33,8$  м/с), линейная скорость чаши ( $v_{\text{ч}}=0,23...0,63$  м/с).

В качестве выходных параметров, характеризующих эффективность работы куттера, выбраны удельная энергоёмкость процесса куттерования ( $N_{\text{уд}}$ , Вт·ч/кг) и прирост температуры сырья ( $\Delta t$ , °С).

Для проведения эксперимента создавался модельный материал, который по своим структурно-механическим свойствам подобен свойствам мяса кур механической обвалки. Одновременно с этим работа с модельным материалом существенно повышает надёжность результатов, так как он вследствие неизменности структуры хорошо воспроизводит числовые значения свойств, что невозможно обеспечить на натуральных объектах.

Исследования, проведенные А.В. Горбатовым, И.А. Роговым и В.Д. Косым, показали, что в качестве модельного материала может использоваться трехкомпонентная система: вода – бентонитовая глина – опилки.



- 1 – чаша; 2 – экспериментальный нож; 3 – ножевой вал; 4 – электродвигатель; 5 – частотный преобразователь тока; 6 – частотный преобразователь тока; 7 – редуктор; 8 – фототахометр; 9 – термопары; 10 – переключатель; 11 – милливольтмикромперметр; 12 – термометр; 13 – секундомер; 14 – весы; 15 – сосуд Дьюара

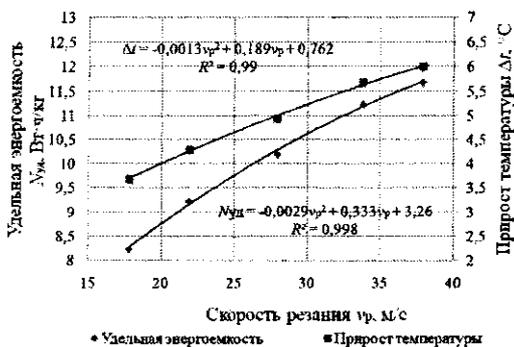
**Рисунок 3 – Экспериментальный стенд**

На втором этапе исследований для оценки качественного показателя измельчаемого сырья (водосвязывающей способности) были проведены исследования с использованием мяса кур механической обвалки.

В качестве независимых управляемых переменных, определяющих кинетику процесса куттерования, приняты скорость резания ( $v_p$ , м/с) и время куттерования ( $\tau$ , с). Интервалы варьирования факторов: скорость резания ( $v_p = 21,9...33,8$  м/с), время куттерования ( $\tau=120...600$  с).

В качестве выходных параметров выбраны: водосвязывающая способность сырья ( $BCC$ , %); мощность на ножевом валу ( $N_{\text{н.в}}$ , Вт); прирост температуры сырья в процессе куттерования ( $\Delta t$ , °С).

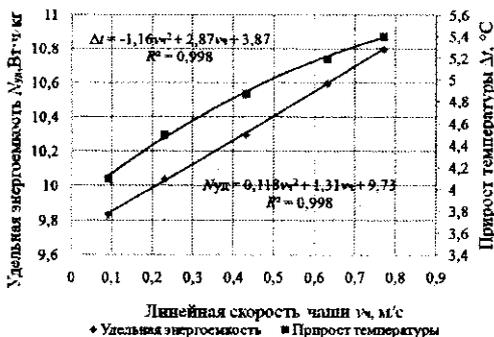
**В четвертой главе** приводятся результаты экспериментальных исследований. На рисунке 4 представлены зависимости удельной энергоёмкости  $N_{уд}$  и прироста температуры  $\Delta t$  в процессе куттерования модельного материала от скорости резания. Из графика видно, что при изменении скорости резания  $v_p$  от 17,8 до 37,9 м/с прирост температуры постоянно возрастает и экстремума функции не наблюдается. Такая закономерность связана с тем, что при увеличении скорости резания увеличивается интенсивность взаимодействия боковой поверхности ножа с измельчаемым продуктом, что вызывает переход энергии, идущей на трение, в тепло и, как следствие, ведет к увеличению прироста температуры куттеруемого сырья.



**Рисунок 4 – Влияние скорости резания на удельную энергоёмкость процесса и прирост температуры модельного материала**

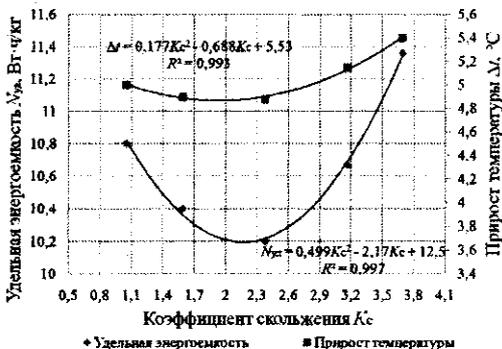
При увеличении скорости резания также наблюдается повышение удельной энергоёмкости процесса. Это повышение связано с увеличением усилия резания за счет повышения интенсивности сил трения. При этом повышается расход энергии на деформирование контактного слоя продукта и на преодоление сил зацепления продукта с микронеровностями ножа.

При повышении линейной скорости чаши (рисунок 5) функции прироста температуры сырья и удельной энергоёмкости процесса постоянно возрастают, не образуя экстремумов. Это вызвано тем, что при увеличении линейной скорости чаши увеличивается величина внешнего давления продукта на боковую поверхность ножа.



**Рисунок 5 – Влияние линейной скорости чаши на удельную энергоёмкость процесса и прирост температуры модельного материала**

На рисунке 6 представлены зависимости удельной энергоёмкости процесса  $N_{\text{уд}}$  и прироста температуры  $\Delta t$  в процессе куттерования модельного материала от коэффициента скольжения ножа  $K_{\text{с}}$ .



**Рисунок 6 – Влияние коэффициента скольжения ножа на удельную энергоёмкость процесса и прирост температуры модельного материала**

При резании с преобладанием нормальной составляющей силы резания сырьё частично нависает на режущей кромке и не измельчается, что ухудшает условие проведения процесса и приводит к более интенсивному приросту температуры сырья и повышенному расходу электроэнергии на процесс.

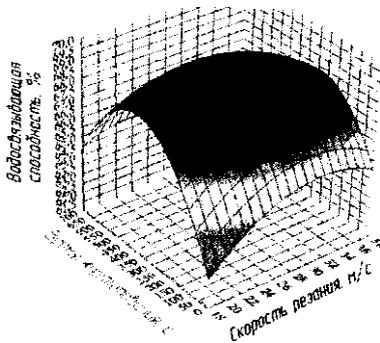
С увеличением коэффициента скольжения увеличивается касательная составляющая силы резания, что обеспечивает смещение измельчаемого сырья по режущей кромке и его перерезание, в результате чего значения  $N_{\text{уд}}$  и  $\Delta t$  уменьшаются и достигают минимальных значений.

При куттеровании энергия, затрачиваемая ножами, расходуется, главным образом, на преодоление сил адгезии и трения. Эти силы находятся в прямой зависимости от площади контакта лезвия ножа и измельчаемого продукта. Увеличение коэффициента скольжения более 1,94 приводит к увеличению длины режущей кромки и боковой поверхности ножа, что повышает потери энергии на трение и, как следствие, приводит к более интенсивному приросту температуры куттеруемого сырья.

При увеличении  $K^c$  более 2,17 значение удельной энергоёмкости  $N^{уд}$  также повышается. Основной причиной повышения удельного расхода энергии на процесс куттерования является повышение величины составляющей  $L^д$ , необходимой для преодоления сил трения.

Минимальные прирост температуры и удельная энергоёмкость процесса достигаются с использованием ножей с  $K^c=2,06$ . Полученный коэффициент скольжения позволяет конструировать ножи с оптимальным углом резания.

На рисунке 7 и рисунке 8 представлены поверхность отклика и линии равного уровня для выходной функции водосвязывающей способности (ВСС). Обработка экспериментальных данных проводилась при помощи специализированных программ математического и статистического анализа экспериментальных данных STATISTICA 6.0 и STATGRAPHICS Plus.



**Рисунок 7 - Поверхность отклика выходной функции ВСС**



**Рисунок 8 - Линии равного уровня для выходной функции ВСС**

В первый период куттерования происходит интенсивное разрезание частиц, их общая поверхность увеличивается, влага из свободной переходит в поверхностно-связанную. В этот период величина водосвязывающей способности возрастает и достигает максимума ( $VSS=69,5\%$ ), при этом потери жидкости при последующей термообработке убывают до минимальных значений. Образование первичной структуры фарша заканчивается. При дальнейшем куттеровании увеличи-

вается число мельчайших частиц, аэрирование массы и эмульгирование жира, что ведет к вторичному структурообразованию, а также к уменьшению величины водосвязывающей способности и увеличению потерь массы при термообработке.

В результате проведенных исследований определены параметры проведения процесса куттерования мяса кур механической обвалки, обеспечивающие повышение водосвязывающей способности измельчаемого сырья от 64,58 % до 69,5 % (время куттерования от 300 до 390 с, скорость резания от 25,4 до 29,7 м/с).

На основании обработки экспериментальных данных была получена зависимость, позволяющая прогнозировать водосвязывающую способность куттеруемого сырья в зависимости от режимов работы куттера в пределах варьирования факторов:

$$BCC = 52,7 + 0,0256 \cdot \tau + 0,914 \cdot v_p - 3,75 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^2 - 0,0167 \cdot v_p^2 \quad (4)$$

Коэффициенты в правой части полученной зависимости имеют размерность, которая учитывает размерность выходной функции в левой части.

**В пятой главе** приводятся результаты практического применения экспериментальных исследований.

Для куттеров типа ФК-50 получено выражение для определения продолжительности измельчения мяса кур механической обвалки в зависимости от скорости резания, линейной скорости чаши, коэффициента скольжения ножа и конечной температуры измельчаемого сырья:

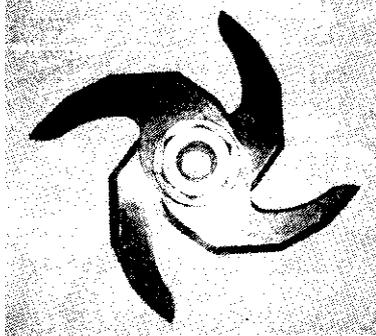
$$\tau = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{87,96 \cdot K_c^{0,06} \cdot v_p^{0,601} \cdot v_{\text{ч}}^{0,113}} \quad (5)$$

Численные константы в выражении (5) являются эмпирическими коэффициентами для куттеров типа ФК-50, работающих со скоростью резания 21,9...33,8 м/с и линейной скоростью чаши 0,23...0,63 м/с.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложена конструкция куттерного ножа с оптимальным углом резания.

Куттерные ножи с новыми конструктивными решениями обладают рядом преимуществ по сравнению с серийно выпускаемыми ножами:

- снижение удельной энергоемкости процесса;
- снижение прироста температуры измельчаемого сырья;
- обеспечение равномерности измельчения продукта по длине режущей кромки.



**Рисунок 9 – Ножевая головка куттера с ножами новой конструкции**

Проведена оценка промышленных испытаний опытных образцов ножей для куттера ВК-125 на РУСПП «Агрокомбинат Приднепровский». Результаты сравнительных испытаний серийных и разработанных ножей доказывают правильность выводов, сделанных по результатам теоретических и экспериментальных исследований, и возможность их внедрения в производство, что подтверждается «Актом промышленных испытаний опытных образцов куттерных ножей новой конструкции для куттеров типа ВК-125» от 06.10.2009 г. и «Актом внедрения результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в производство» от 06.10.2009 г.

Приведен расчет экономической эффективности от возможного внедрения новых конструкций куттерных ножей в производство. Расчетный ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения составляет 7892100 руб. в год в ценах 2009 года.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Получены аналитические зависимости, адекватно описывающие процесс куттерования и позволяющие оценить степень влияния коэффициента скольжения куттерного ножа, скорости резания и линейной скорости чаши на удельную энергоемкость процесса и прирост температуры измельчаемого сырья, а также зависимость водосвязывающей способности мяса кур механической обвалки от продолжительности измельчения и скорости резания [23–А].

2. На основе полученных зависимостей удельной энергоемкости процесса куттерования и прироста температуры измельчаемого сырья от коэффициента скольжения определены оптимальные параметры конструкции куттерного ножа,

применение которого обеспечивает снижение удельной энергоемкости процесса куттерования и прироста температуры измельчаемого сырья в сравнении с серийно выпускаемыми ножами [2–А...4–А, 6–А, 8–А, 10–А, 13–А, 15–А, 16–А].

3. Определено влияние параметров работы куттера на эффективность процесса. Установлено, что параметрами работы куттера, которые обеспечивают получение максимальной водосвязывающей способности измельчаемого мяса кур механической обвалки, являются время куттерования от 300 до 390 с, скорость резания от 25,4 до 29,7 м/с [23–А].

4. Получена зависимость продолжительности измельчения мяса кур механической обвалки от коэффициента скольжения ножа, скорости резания, линейной скорости чаши и конечной температуры измельчаемого сырья для куттеров, работающих со скоростью резания 21,9... 33,8 м/с и линейной скоростью чаши 0,23... 0,63 м/с [7–А, 21–А, 22–А].

5. Проведены промышленные испытания опытных образцов ножей для куттера ВК-125. Результаты сравнительных испытаний серийных и разработанных конструкций ножей доказывают правильность выводов, сделанных по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Эффективность использования разработанных рабочих органов куттера подтверждается актом сравнительных испытаний.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Разработанные куттерные ножи с новыми техническими решениями [24–А, 25–А, 26–А, 27–А] рекомендуются для использования на мясоперерабатывающих предприятиях.

2. Предложенные технические решения [24–А, 25–А, 26–А, 27–А] могут использоваться при проектировании рабочих органов другого вида оборудования, предназначенного для измельчения пищевых продуктов.

3. Предложенная методика определения продолжительности куттерования в зависимости от конструктивных особенностей куттерных ножей, режимов проведения процесса и конечной температуры измельчаемого сырья может применяться при планировании производства продукции пищевой промышленности, а также при проведении научно-исследовательских работ.

4. Экспериментальный стенд может быть использован в учебном процессе для подготовки инженеров-механиков специальности 1 – 36 09 01 Машины и аппараты пищевых производств и инженеров-технологов специальности 1 – 49 01 02 Технология хранения и переработки животного сырья с целью повышения качества подготовки высококвалифицированных кадров для пищевой промышленности.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных журналах:

1–А. Бренч, А. А. Повышение эффективности процесса куттерования мясного сырья на основе разработки новых конструкций ножей / Бренч А. А., Желудков А. Л. // Вестник МГУП. – 2006. – № 1 – С. 103 – 109.

2–А. Бренч, А. А. Исследование конструктивных особенностей куттерного ножа с режущей кромкой в виде ломаной линии / А. А. Бренч, А. Л. Желудков, М.В. Бренч // Научно-технический рецензируемый журнал «Инженерный вестник», Минск, 1(25) 2008. – С. 16 – 18.

3–А. Желудков, А. Л. Анализ конструкции ножа куттера с режущей кромкой в виде ломаной линии / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко, А. А. Бренч // Обладнання та технології харчових виробництв / Донецьк. – 2009. – № 22. – С. 40 – 46.

4–А. Желудков, А. Л. Новое направление в конструировании ножей в машинах для куттерования мясного сырья / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко, А. А. Бренч // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. Вып.4 / редкол.: А. В. Мелешня (гл.ред.) [и др.]. – Минск, РУП «Институт мясо-молочной промышленности». – 2010. – С. 227 – 236.

5–А. Моделирование реологических свойств мяса птицы в процессе тонкого измельчения на куттерах с новым режущим инструментом / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Л. Желудков, В. М. Поздняков // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.- тэх. навук. – 2011. – № 2. – С. 69 – 74.

6–А. Обоснование конструктивных и геометрических параметров режущих инструментов для тонкого измельчения мясного сырья / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Л. Желудков, В. М. Поздняков, Л. Т. Ткачева // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.- тэх. навук. – 2011. – № 3. – С. 47 – 53.

7–А. Желудков, А. Л. Методика определения продолжительности куттерования / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 12. Т.2. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2012. – С. 182 – 188.

8–А. Akulenko, S. New approach to the construction of knives for machines intended for meat raw material cutting / S. Akulenko, A. Zheludkov, I. Ivanova // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – 2012. – № 59. – P. 115 – 121.

9–А. Желудков, А. Л. Використання модельного матеріалу для дослідження процесу куттерування / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2012. – № 42. – С. 68 – 73.

10–А. Груданов, В.Я. Влияние угла резания куттерного ножа на прирост

температуры сырья и удельную энергоёмкость процесса куттерования / Груданов В.Я., Бренч А. А., Ткачева Л.Т., Желудков А. Л. // Агропанорама. – 2012. – № 6 – С. 21 – 24.

**Материалы конференций и тезисы докладов:**

11–А. Желудков, А. Л. Разработка новых конструкций ножей для малогабаритного куттера типа ФК-50 / А. Л. Желудков, А. В. Буглак // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов IV Международной научной конференции студентов и аспирантов, Могилев, 21-23 апреля 2004 г. / УО «МГУП»; редкол.: Т. С. Хасаншин [и др.]. – Могилев, 2004. – С. 147 – 148.

12–А. Теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния куттерного ножа / В. Я. Груданов, Г. И. Белохвостов, Н. Н. Курилович, А. Л. Желудков // Инновационные технологии в производстве пищевых продуктов: сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Минск, 5-6 октября 2006 г. / БелГИШК; редкол. З. В. Ловкис, А. В. Горноста́й, О. Л. Сороко [и др.]. – Минск, 2006. – С. 201 – 203.

13–А. Желудков, А. Л. Совершенствование конструкций рабочих органов куттеров / А. Л. Желудков, К. К. Гуляев // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов VI Международной научной конференции, Могилев, 22-23 мая 2007 г. / МГУП; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – С. 345.

14–А. Желудков, А. Л. Новая конструкция ножей куттера / А.Л. Желудков // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов VI Международной научной конференции студентов и аспирантов, Могилев, 24-25 апреля 2008 г. / МГУП; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2008. – С. 55 – 56.

15–А. Желудков, А. Л. Обоснование выбора геометрических параметров куттерных ножей / А. Л. Желудков, С.В. Акуленко // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов VII Международной научной конференции, Могилев, 21-22 мая 2009 г. / МГУП; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2009. – С. 99.

16–А. Желудков, А. Л. Новая конструкция куттерных ножей для измельчения мясного сырья / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко // Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, Донецьк, 2009 г. / ДонНУЕТ; редкол.: О. О. Шубін (голов. ред.) [и др.]. – Донецьк, 2009. – С. 13 – 16.

17–А. Акуленко, Д. С. Особенности использования различных конфигураций куттерных ножей / Д. С. Акуленко, А. Л. Желудков // Науково-технічна творчість студентів з процесів і обладнання харчових виробництв: збірник тези доповідей студентів за підсумками II міжнародної науково-

практичної студентської конференції, Донецьк, 2010г. / ДонНУЕТ; голов. ред. А. А. Садеков. – Донецьк, 2010. – С. 24 – 25.

18–А. Моделирование реологических свойств мяса в процессе тонкого измельчения / В. Я Груданов, А. Л. Желудков, С. Н. Ходакова, М. О. Филиппович // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Международной научно-практической конференции, Минск, 14-15 апреля 2011 г. / БГАТУ; редкол.: В. Б Ловкис [и др.]. – Минск, 2011. – С. 141 – 144.

19–А. Желудков, А. Л. Методика инженерного расчета куттерных ножей / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов VIII Международной научной конференции, Могилев, 27-28 апреля 2011г./ МГУП; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2011. – Ч.2. – С. 90.

20–А. Желудков, А. Л. Пути совершенствования рабочих органов машин для переработки мясного сырья / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тези доповідей 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 11 – 12 квітня 2011 г. / НУХТ; редкол.: С. В. Іванов (голов. ред.) [и др.]. – Київ, 2011. – Ч.2. – С. 27– 28.

21–А. Желудков, А.Л. Прогнозирование продолжительности куттерования / А.Л. Желудков, С.В. Акуленко // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 45-річчю ХДУХТ, Харків, 2012 р. / ХДУХТ; редкол.: О.І.Черевко (відп. ред.) [и др.]. – Харків, 2012. – Ч.1. – С. 335 – 336.

22–А. Желудков, А. Л. Прогнозирование продолжительности куттерования / А. Л. Желудков, С. В. Акуленко // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тези доповідей 78-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 2 – 3 квітня 2012 г. / НУХТ; редкол.: С. В. Іванов (голов. ред.) [и др.]. – Київ, 2012. – Ч.2. – С. 42– 43.

23–А. Желудков, А. Л. Влияние режимов проведения процесса куттерования на водосвязывающую способность мяса кур механической обвалки / А. Л. Желудков, С.В. Акуленко // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: доклады Международной научно-практической конференции, Минск, 21-22 марта 2013 г. / БГАТУ; под общ. ред. А.А. Бренча. – Минск, 2013. – С. 157 – 158.

**Патенты:**

24–А. Нож куттера серповидный: пат. № 11597 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02С 18/20 / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Л. Желудков; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20061055; заявл. 27.10.06; опубл. 30.04.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №1. – С. 62.

25–А. Нож куттера: пат. № 11793 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02С 18/20, В 02С 18/20 / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Л. Желудков; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20070507; заявл. 04.05.07; опубл. 30.10.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №2. – С. 59-60.

26–А. Куттер: пат. № 12028 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02С 18/00 / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Л. Желудков; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20070044; заявл. 18.01.07; опубл. 30.08.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №3. – С. 63-64.

27–А. Нож куттера: пат. № 12967 Респ. Беларусь, МПК (2009) В 02С 18/00 / А. Л. Желудков, В. Я. Груданов, А. А. Бренч; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20080459; заявл. 10.04.08; опубл. 30.10.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – №1. – С. 71.



## РЕЗЮМЕ

Желудков Александр Леонидович

### **ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МЯСА КУР МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБВАЛКИ В КУТТЕРАХ НОЖАМИ С ЛОМАНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ**

Ключевые слова: мясо кур механической обвалки, куттер, удельная энергоемкость, прирост температуры, водосвязывающая способность, время куттерования.

В настоящее время наряду с использованием традиционного сырья при производстве колбасных изделий наметилась тенденция роста использования мяса кур, которое обладает большой биологической и пищевой ценностью. Полуфабрикаты и другие продукты из птицы вырабатывают, главным образом, из мяса механической обвалки.

Интенсификация технологического процесса получения колбасного фарша невозможна без дальнейшего совершенствования режущих органов куттеров. Также большое внимание следует уделять внедрению отечественных образцов аналогичного оборудования с целью обеспечения независимости предприятий от иностранных производителей.

Объектом исследования являлся процесс куттерования мяса кур механической обвалки в куттерах периодического действия.

На основе полученных зависимостей удельной энергоемкости процесса и прироста температуры измельчаемого сырья от коэффициента скольжения ножа разработаны куттерные ножи с оптимальным углом резания, применение которых позволяет проводить процесс куттерования с минимальными затратами энергии и приростом температуры измельчаемого сырья.

Определены оптимальные режимно-конструктивные параметры работы куттера, обеспечивающие получение максимальной водосвязывающей способности измельчаемого сырья, что обеспечивает получение максимального выхода продукта в последующей термической обработке.

В работе предложена методика определения продолжительности куттерования мяса кур механической обвалки в зависимости от конструктивных особенностей ножей и режимов проведения процесса измельчения в куттерах периодического действия.

Проведены промышленные испытания опытных образцов ножей для куттера ВК-125. Эффективность использования разработанных конструкций рабочих органов куттера подтверждается актом сравнительных испытаний.

## РЭЗІЮМЭ

Жалудкоў Аляксандр Леанідавіч

### **ЗДРАБНЕННЕ МЯСА КУРЭЙ МЕХАНІЧНАЙ АБВАЛКІ Ё КУТАРАХ НАЖАМІ З ЛАМАНАЙ РЭЖУЧАЙ КРОМКАЙ**

Ключавыя словы: мяса курэй механічнай абвалкі, кутар, удзельная энергаёмістасць, прырост тэмпературы, вадавязваўчая здольнасць, час кутаравання.

У цяперашні час нараўне з выкарыстаннем традыцыйнай сыравіны пры вытворчасці каўбасных вырабаў намецілася тэндэнцыя росту выкарыстання мяса курэй, якое валодае вялікай біялагічнай і харчовай каштоўнасцю. Паўфабрыкаты і іншыя прадукты з птушкі выпрацоўваюць, галоўным чынам, з мяса механічнай абвалкі.

Інтэнсіфікацыя тэхналагічнага працэсу атрымання каўбаснага фаршу немагчыма без далейшага ўдасканалення рэжучых органаў кутараў. Таксама вялікай ўвазе варта надаваць ўкараненні айчынных узораў аналагічнага абсталевання з мэтай забеспячэння незалежнасці прадпрыемстваў ад замежных вытворцаў.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца працэс кутаравання мяса курэй механічнай абвалкі ў кутарах перыядычнага дзеяння.

На аснове атрыманых залежнасцяў удзельнай энергаёмістасці працэсу і прыросту тэмпературы здробленай сыравіны ад каэфіцыента слізгацення нажа распрацаваны кутарныя нажы з аптымальным вуглом рэзання, прымяненне якіх дазваляе праводзіць працэс кутаравання з мінімальнымі выдаткамі энергіі і прыростам тэмпературы здробленай сыравіны.

Вызначаны аптымальныя рэжымна-канструктыўныя параметры працы кутара, якія забяспечваюць атрыманне максімальнай вадавязваўчай здольнасці здробленай сыравіны, што забяспечвае атрыманне максімальнага выхаду прадукту ў наступнай тэрмічнай апрацоўцы.

У працы прапанавана метадыка вызначэння працягласці кутаравання мяса курэй механічнай абвалкі ў залежнасці ад канструктыўных асаблівасцяў нажоў і рэжымаў правядзення працэсу драбнення ў кутарах перыядычнага дзеяння.

Праведзены прамысловыя выпрабаванні доследных узораў нажоў для кутара ВК-125. Эфектыўнасць выкарыстання распрацаваных канструкцый рабочых органаў кутара пацвярджаецца актам параўнальных выпрабаванняў.

## SUMMARY

Zheludkov Aliaksander

### **CHOPPING OF MECHANICALLY DEBONED CHICKEN MEAT IN CUTTERS BY KNIVES WITH BROKEN CUTTING EDGE**

Key words: mechanically deboned chicken meat, cutter, volume energy, temperature increase, water-binding capacity, cutting time period.

Currently alongside with the use of traditional products in sausage manufacturing there has been observed a tendency of growth of usage of chicken meat worth both in biological and nutrition terms. Processed foods and other products from chicken are produced mainly from mechanically deboned meat.

Intensification of sausage meat technological process is impossible without further optimization of mincers' cutting units. Great attention should be paid to the introduction of domestic equivalents of equipment in order to ensure enterprises' independence from foreign producers.

The target of the research is a mechanically deboned chicken meat cutting process in discontinuously operated cutters.

There has been calculated how the volume energy and minced meat temperature increase are dependent on chopper slip ratio. Based on the results there have been developed cutter choppers with optimal cutting angle, their application ensures the cutting process with minimum energy consumption and minced meat temperature increase.

There have been defined optimal mode and design parameters of cutter's operation. They ensure ultimate water-binding capacity of minced meat which ensures maximum product output during post-heat treatment.

The research describes the methodology how to define the cutting duration of the mechanically deboned chicken meat in terms of choppers' design features and modes of mincing process in discontinuously operated cutters.

There have been carried out production tests of choppers' prototypes for BK-125 cutter. Comparison testing statement supports the effectiveness of the usage of developed cutter work unit items.