

На правах рукописи



ТОКОВ Аскер Заурбекович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ
КОЛБАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ
С КРЕСТООБРАЗНЫМ НОЖОМ**

Специальность 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых
производств»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» (ФГБОУ ВО «КБГУ»)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Исламова Оксана Владимировна

Официальные оппоненты – заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Касьянов Геннадий Иванович
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»,
профессор

доктор технических наук, профессор
Глотова Ирина Анатольевна
ФГБОУ ВО «Воронежский государствен-
ный аграрный университет имени импера-
тора Петра I», профессор

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное обра-
зовательное учреждение высшего образования
«Кубанский государственный аграрный универ-
ситет имени И. Т. Трубилина» (г. Краснодар)

Защита состоится «29» мая 2020 г. в 10⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета университета.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «27» марта 2020 г.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «10» марта 2020 г.

Автореферат разослан «15» апреля 2020 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени

доктора наук Д 212.035.01, проф.



Л. Н. Фролова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Самую большую долю в пищевой отрасли Российской Федерации (РФ) занимает мясная промышленность, предприятия которой производят мясо и мясные изделия. Емкость данного рынка постоянно растет, т.к. мясо является основным источником белка в рационе человека и спрос на него постоянно высок.

По данным АБ-Центра, в 2018 году в РФ было произведено 10,7 млн. тонн мясной продукции в убойном весе, что на 0,3 млн. тонн больше предыдущего года.

Наибольший темп роста составил 7% по отношению к производству свинины, к производству говядины рост составил 1,9% [93], к производству мяса птицы - на 1,3%.

Если говорить о колбасных изделиях, то в 2017 году объем производства вырос до 2458 тыс. тонн (прирост составил 2,1%), в 2018 году производство достигло 2460 тысяч тонн (прирост составил 0,2%).

В структуре производства в натуральном выражении лидируют изделия колбасные фаршированные (63,8%), к которым относятся колбасы, сосиски и сардельки.

В технологических процессах производства колбас и колбасных изделий измельчители являются базовым технологическим оборудованием. Операции резания и измельчения мясопродуктов весьма разнообразны и энергоемки. Если учесть, что всего один промышленный волчок модели JR-300 мощностью 55кВт потребляет около 40000кВт в месяц, то очевидно, что высокая доля затрат в цене продукции приходится на электроэнергию.

В этой связи исследование путей повышения энергоэффективности процесса измельчения мясного сырья без потери качества продукции является весьма актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Совершенствованию процесса измельчения мясного сырья посвящено достаточно большое количество работ, так как именно этот процесс является наиболее энергоемким и оказывает существенное влияние на качественные показатели готовой продукции.

Теоретические основы процесса измельчения пищевых про-

дуктов отражены в работах А.И. Пелеева, Ю.А. Мачихина, А.Н. Даурского, В.В. Пеленко, Н.Е. Резника, В.И. Ивашова, К.П. Гуськова, И.А. Рогова, В.И. Карпова, А.Я. Соколова, М.Н. Клеменко, Н.Ф. Казакова, Г.А. Мартынова, Г.С. Ходакова, А.В. Горбатова и др.

Цель диссертационной работы - повышение энергоэффективности процесса измельчения мясного сырья для колбасного производства ; разработка перспективной конструкции измельчителя и технологической линии производства колбас полукопченых.

Для достижения цели решены следующие **задачи**:

- разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния крестообразного ножа измельчителя мясного сырья;

- оптимизированы энергозатраты процесса измельчения мясного сырья в измельчителе по технико-экономическому показателю;

- определены рациональные параметры измельчения мясного сырья в измельчителях с крестообразным ножом;

- исследованы основные закономерности процесса измельчения мясного сырья в измельчителях с крестообразным ножом;

- разработана универсальная конструкция измельчителя мясного сырья и технологической линии для производства колбас полукопченых с использованием измельчителя с крестообразным ножом;

- проведена оценка качества фарша и колбасы полукопченной, полученных измельчением мясного сырья разработанным режущим узлом;

- проведены испытания предлагаемых разработок в производственных условиях.

Научная новизна. Построена математическая модель, позволяющая оптимизировать технико-экономические показатели процесса измельчения мясного сырья в измельчителе.

Определена зависимость напряжений и перемещений крестообразного ножа от угла заточки с помощью компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния на основе метода конечных элементов.

Выявлены основные кинетические закономерности процесса измельчения мясного сырья с обоснованием рациональных параметров процесса измельчения.

Практическая значимость работы. Разработаны конструкции крестообразных ножей и перфорированной решетки измельчителя мясного сырья, позволяющие уменьшить энергозатраты процесса предварительного и окончательного измельчения не снижая качество готовой продукции.

Разработана универсальная конструкция измельчителя мясного сырья и технологическая линия для производства колбас полукопченых с использованием измельчителя с крестообразным ножом

Определены рациональные параметры измельчения мясного сырья в измельчителях с крестообразным ножом.

Научные положения, выносимые на защиту:

- конструкторский подход к созданию энергоэффективной технологии переработки мясного сырья;
- результаты экспериментальных исследований энергозатрат процесса измельчения мяса с использованием различных конструкций режущего узла;
- результаты моделирования исследуемого процесса и их использование при решении задач рационального использования энергии в мясоперерабатывающей промышленности.

Степень достоверности и апробация результатов. Научные положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в работе, основываются на фундаментальных физических законах и не противоречат им. Они хорошо согласуются с теоретическими концепциями, общепринятыми в данной области исследований. Все научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, обоснованы и подтверждены экспериментальными исследованиями и материалами, которые полностью соответствуют данным протоколов опытов.

Исследования проводились с использованием современных методов эксперимента и измерений. Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением теоретических предположений и результатов эксперимента, публикациями по основным положениям диссертации и полученными патентами.

Для математической обработки результатов исследований использованы прикладные компьютерные программы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научных конференциях: (Нальчик, 2016), (Санкт-Петербург 2017, 2018), (Воронеж, 2018) и на отчетной научной конференции КБГУ.

Результаты работы демонстрировались на конкурсе грантов «У.М.Н.И.К» (Нальчик, 2015), по итогам которой работа награждена дипломом I степени.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков и 24 таблицы.

Список литературы включает 131 наименование, в том числе 30 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 11 страницах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 статей в журналах, индексируемых в Scopus, 3 статьи в прочих изданиях и 4 патента РФ на полезные модели.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, представлены научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе дана общая характеристика обрабатываемого сырья, приведен обзор технологий измельчения и оборудования для измельчения. Проведен анализ существующих математических моделей процессов, происходящих при измельчении мясного сырья и литературный обзор по тематике исследования.

На основании проведенного анализа обоснован выбор объекта исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы и определены методы их решения.

Во второй главе проведено исследование напряженно-деформированного состояния крестообразного ножа.

Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на про-

цесс измельчения мясного сырья, являются геометрические параметры режущего узла. Угол заточки ножа оказывает на этот процесс наиболее значимое влияние. С целью определения влияния угла заточки на характеристики ножа был проведен анализ напряженно-деформированного состояния на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния крестообразного ножа использован вычислительный комплекс COSMOS/Works. Этот комплекс реализует технологию быстрой реализации метода конечных элементов COSMOS/FFE (FastFiniteElement).

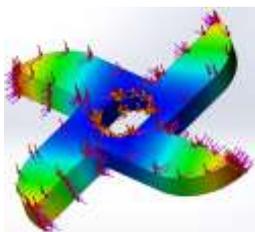


Рис. 1. Схема сил и ограничений, приложенных к крестообразному ножу измельчителя

Анализ проведен по заданным граничным условиям в перемещениях и нагрузкам, действующим на модели (рис. 1):

- давление на лопасть измельчаемой среды;
- сила трения между лопастью и решеткой;
- силы трения между лопастью и измельчаемым продуктом;
- сила резания, необходимая для отрезания кусочков от обрабатываемого продукта;

Далее, разработанные модели были разбиты на конечные элементы в виде тетраэдра, ребра которых составляли 0.135 мм. Затем был выполнен расчет рассматриваемых моделей и анализ напряженно-деформированного состояния ножей с различным углом заточки (рис. 2).

Проведенный анализ показал, что напряжения, возникающие в ноже, возрастают с увеличением угла заострения. Максимальные напряжения возникают на лезвии ножа с углом заточки 90° и составляют 41,263 МПа.

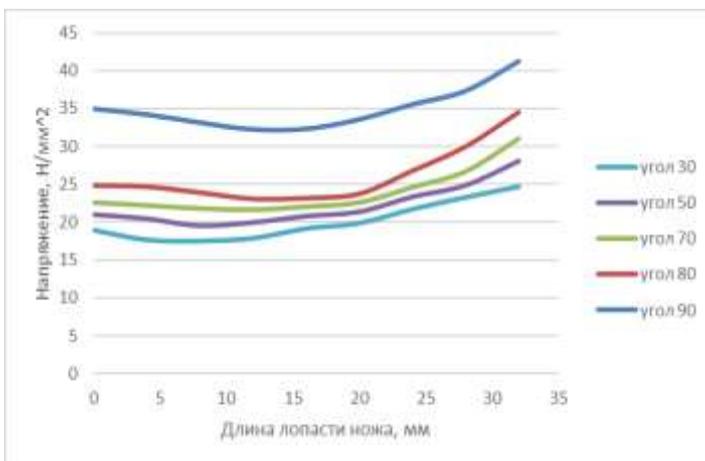


Рис. 2. Зависимость напряжений на кромке ножа от угла заточки

Анализ перемещения и деформации ножей под действием внешних сил показал, что максимальные перемещения ножа находятся на кромке лопастей и достигают 0,02 мм, а наибольшие деформации испытывает нож с углом заточки 90°.

В этой же главе проведена оптимизация процесса измельчения мясного сырья в измельчителе по технико-экономическому показателю.

Методологический подход в разрешении основного технического противоречия заключается в оптимизации процесса измельчения мясного сырья по технико-экономическому показателю, в качестве которого используется отношение суммарных энергетических затрат в стоимостном выражении к расходу продукции, подаваемой на измельчение при ограничениях на величину интенсивной нагрузки q (Н/м²) на решетку:

$$R = \frac{C_{\Sigma} \sum_{i=1}^n N_{\Sigma i}}{Q} \rightarrow \min, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad w_{\max} \leq [w], \quad f_{\max} \leq [f], \quad (1)$$

где C_3 – цена электроэнергии, р/кВт·ч; $\sum_{i=1}^n N_{zi}$ – суммарные потери мощности привода измельчителя, $i = 1, 2, \dots, n$; N_{31} – мощность резания при продавливании сырья через отверстия выходной решетки; N_{32} – мощность трения мясного сырья при прохождении сквозь отверстия; N_{33} – мощность трения мясного сырья о внутреннюю поверхность цилиндрического корпуса; N_{34} – мощность трения мясного сырья о винтовую поверхность шнека; N_{35} – мощность деформации мясного сырья в процессе перемещения внутри цилиндрического корпуса измельчителя; N_{36} – мощность резания мясного сырья лезвийными кромками ножа; N_{37} – мощность деформации мясного сырья в межперьевом пространстве ножа; $w_{max} [w]$ – максимальный и допустимый прогиб решетки от радиального изгибающего момента, м; $f_{max} [f]$ – максимальный и допустимый прогиб ножа, м.

С учетом уравнения движения сырья в процессе его подачи внутри цилиндрического корпуса шнековым механизмом и резания крестообразным ножом, а также диссипативных потерь энергии на трение и деформацию, использовано выражение для определения производительности измельчителя в зависимости от его основных конструктивных параметров и угловой скорости вращения винтового шнека:

$$Q = \rho \frac{M_{прив.} - M_{тр.}^{ц.о.к.} + M_{рез}^{нож} + M_{деф.}^{нож.} + M_{тр.}^{н.р.}}{F_{отв.}^{рез.} + F_{отв.}^{тр.} + F_{деф.}^{мяс.} + F_{ц.о.к.}^{тр.} + F_{шн.}^{тр.}} \frac{\pi d^4}{4} \eta \left[1 - \frac{4mS_{лез}}{\pi(D_n + D_6)} \right] \cdot \omega \quad (2)$$

Из анализа критерия (1) следует, что при небольшой производительности Q соотношение $\frac{C_3 \sum_{i=1}^n N_{zi}}{Q}$ будет увеличиваться, при чрезмерном увеличении Q мощность привода на переработку мясного сырья будет значительно возрастать, а, следовательно будет возрастать и соотношение $\frac{cC_3 \sum_{i=1}^n N_{zi}}{Q}$. Отсюда очевидно су-

ществование компромисса между показателями, вступающими в конфликт, определяемыми функциональной зависимостью $Q =$

$f(\omega)$.

Обоснована экстремальная характеристика процесса измельчения мясного сырья, которая позволяет осуществлять выбор оптимальной угловой скорости, а, следовательно, и производительности волчка при минимуме энергозатрат.

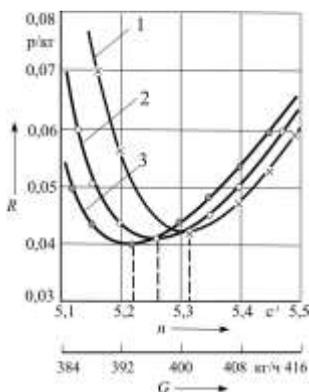


Рис. 3. Зависимость затрат электроэнергии на единицу измельчаемого мясного сырья от частоты вращения шнека измельчителя:

1 – жиловочная подмороженная говядина; 2 – мясо свинины; 3 – мясо птицы.

Информация о ходе процесса измельчения с датчиков передается в микропроцессор, который непрерывно вычисляет критерий оптимизации - затраты электроэнергии на единицу массы получаемого фарша.

Поскольку между производительностью измельчителя и частотой вращения шнека установлена однозначная функциональная связь, то непрерывно измеряется частота вращения шнека, а микропроцессор вычисляет величину производной энергетических затрат от частоты вращения шнека, определяет знак производной и если $dR/d\omega > 0$, то микропроцессор уменьшает частоту

Для конкретных технологических и конструктивных размеров пары нож-решетка и физико-механических характеристик материала, из которого они изготовлены, получены экстремальные характеристики процесса измельчения мясного сырья.

Зависимости (рис. 3), позволяют проверить чувствительность оптимума, т.е. установить насколько будут существенны потери эффективности при отклонениях от заданного оптимума. Возможные колебания частоты вращения в пределах $\pm 0,1-0,2$ с⁻¹ приведут к увеличению энергозатрат на 1,5-3,5 % и потерям прибыли в связи с увеличением себестоимости фарша.

По результатам выполненных исследований предложена стратегия автоматической оптимизации процесса измельчения мясного сырья в измельчителе.

вращения шнека, а если $dR/d\omega < 0$, то увеличивает.

При увеличении давления сырья на решетку больше допустимого значения включается реверс привода до выравнивания давления при снижении расхода мясного сырья. При технологическом сбое измельчитель полностью отключается и подвергается очистке.

Таким образом, обоснована возможность экстремального управления производительностью измельчителя по минимальной величине удельных энергозатрат при ограничениях на технологические параметры. При этом открываются реальные перспективы в решении задач рационального использования энергии в мясоперерабатывающей промышленности.

В третьей главе приведены экспериментальные исследования зависимости энергопотребления процесса измельчения мяса от конструктивного исполнения режущего механизма.

Для экспериментальных исследований процесса измельчения мясного сырья с использованием режущего механизма различного исполнения и при различных режимах резания была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка.

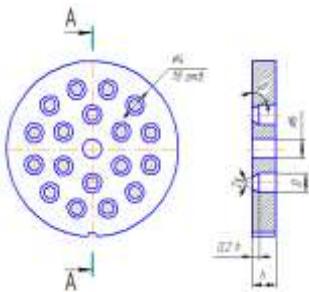


Рис. 4. Чертеж перфорированной решетки

Эксперимент по определению энергозатрат на измельчение мясного сырья состоял из 3 частей:

- измельчение мясного сырья с использованием перфорированных решеток с углом резания, образующейся между торцевой поверхностью решетки и режущими кромками крестового ножа при различных частотах вращения шнека;
- измельчение мясного сырья с использованием крестообразных ножей: лопасти которого имеют в поперечном сечении форму параллелограмма; лопасти которого имеют во всех поперечных сечениях форму классического клина при различных частотах вращения шнека;
- измельчение мясного сырья с использованием крестообразных ножей на задних поверхностях которых имеются режущие

лезвия, расположенные по дугам концентричных окружностей и без таких лезвий.

Для проведения первой части эксперимента были изготовлены перфорированные решетки с различными углами заострения. Диаметр рабочих отверстий решеток $d = 4$ мм, при различных углах заострения $\beta = 90^\circ$, $\beta = 80^\circ$, $\beta = 70^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\beta = 50^\circ$. Частоты вращения 200, 300, 400, 500 и 600 об/мин. По результатам полученных данных были построены графики (рис. 5 - 8).

Экспериментально установлено, что при использовании перфорированной решетки с углом резания $\beta = 90^\circ$ мощность, затрачиваемая на измельчение продукта в среднем на 14,6 % больше, чем при использовании решетки с углом резания $\beta = 80^\circ$, и на 26,7% больше, чем при использовании решетки с углом резания $\beta = 50^\circ$. При этом при использовании решетки с $\beta = 90^\circ$ производительность в среднем меньше на 4%, чем при $\beta = 80^\circ$ и на 6% меньше, чем при $\beta = 50^\circ$. Также было установлено, что средняя мощность на измельчение жилованной говядины на 11% и 18% больше, чем на измельчение мяса свинины и мяса птицы соответственно. Кроме того, при использовании решеток с острым углом резания визуально качество измельчённого продукта существенно повысилось, что выразилось в практическом отсутствии перетёртости мяса. Стоит отметить, что при использовании решетки с острым углом резания исчез такой негативный факт, как намотка жил на крестообразный нож.

Для проведения второй части эксперимента были изготовлены два крестообразных ножа. Первый нож содержал ступицу с посадочным отверстием, на которой размещены лопасти, имеющие в поперечном сечении форму параллелограмма с режущими лезвиями на противоположных поверхностях. Лопасти второго крестообразного ножа имели во всех поперечных сечениях форму классического клина с углом α при вершине 15° . При этом контакт лопасти подвижного ножа и решетки осуществлялся по режущей кромке лопасти. Угол β между поверхностью лопасти, обращенной к поверхности резания решетки и решеткой равен 3° .

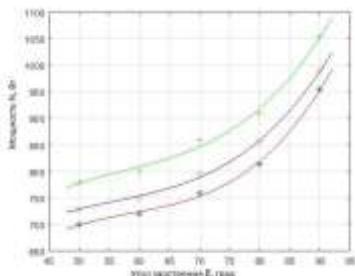


Рис 5. График зависимости потребной мощности от угла заострения решетки: +жалованная говядина, Δ мясо свинины, *мясо птицы

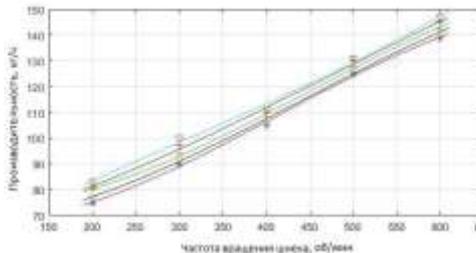


Рис. 6 - График зависимости производительности измельчителя от частоты вращения шнека для перфорированных решеток с различным углом заострения рабочих отверстий Δ - $\beta = 90^\circ$, + $\beta = 80^\circ$, $\diamond \beta = 70^\circ$, $\circ \beta = 60^\circ$, * - $\beta = 50^\circ$

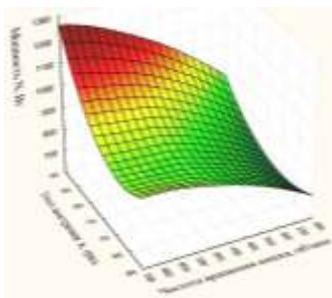


Рис. 7 - График зависимости мощности от угла заострения рабочих отверстий перфорированной решетки и частоты вращения шнека

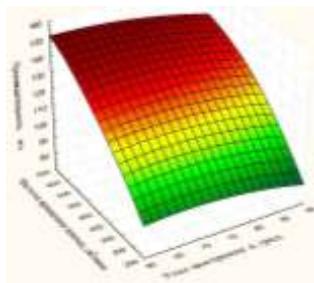


Рис. 8. График зависимости производительности измельчения от частоты вращения шнека и угла заострения рабочих отверстий

Проведенный эксперимент показал, что потребная мощность при измельчении мясного сырья ножом с лопастями в форме параллелограмма в среднем больше на 12,5 %, чем при использовании ножа с лопастями в форме клина, а производительность ниже на 4,24%.

Для проведения третьей части эксперимента был изготовлен крестообразный нож с лопастями, на задних поверхностях которых имеются режущие лезвия, расположенные по дугам concentрических окружностей (рис. 9).

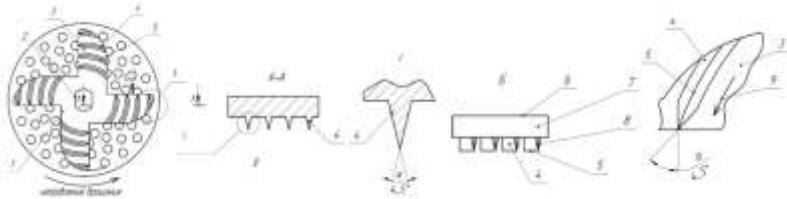


Рис. 9. Конструкция крестообразного ножа с лопастями, на задних поверхностях которых имеются режущие лезвия (1 – ступица ножа; 2 – посадочное отверстие; 3 – лопасть ножа; 4 – режущее лезвие; 5 – режущая кромка; 6 – режущая кромка на поверхности лопасти; 7 – передняя поверхность лопасти; 8 – режущая кромка на фронтальной поверхности лезвия, расположенного на спинке лопасти; 9 – направление вращения лопасти)

В ходе проведения эксперимента были испытаны ножи с режущими лезвиями на задних поверхностях лопастей и без таких лезвий. Ножи отличались друг от друга только наличием или отсутствием режущих лезвий на задних поверхностях лопастей.

В процессе испытания ножей встал вопрос об оптимальном количестве режущих лезвий на задних поверхностях лопастей (на единицу длины в радиальном направлении). Испытания показали, что чем плотнее расположены лезвия (чем их больше на единицу длины), тем энергоэффективность ножа выше. Оптимальным, по результатам испытаний, следует считать наличие одного режущего лезвия на длине 7...10 мм.

Энергозатраты на процесс измельчения мяса при использовании крестообразных ножей предложенной конструкции (758 Вт) оказались на 17,6% ниже по сравнению с энергозатратами на процесс измельчения с ножами без режущих лезвий на задних поверхностях лопастей (920 Вт).

В данной главе также приведены результаты эксперимента по определению влияния времени эксплуатации перфорированной решетки на температуру в зоне резания.

Исследованию были подвергнуты четыре перфорированные решетки различной степени износа, которые были предоставлены ООО «Мясокомбинат Нальчикский». На предприятии перфорированные решетки заменяются и при необходимости передаются на переточку через каждые 2 смены (18 часов работы измельчи-

теля).

Проведенный эксперимент показал, что при перебоях в подаче сырья до 2 минут температура в зоне резания повышается до 60 °С. При возобновлении подачи сырья неминуем нагрев измельчаемого продукта, что негативно повлияет на физико-химические и микробиологические свойства измельченного продукта.

Во второй части эксперимента было определено влияния износа перфорированной решетки на температуру в зоне резания измельчителя.

В измельчитель были поочередно установлены решетки с периодом работы 0, 9, 14, 18 часов. Для каждой решетки были измерены значения температуры в зоне резания. Показания снимались при устоявшемся значении.

Результаты эксперимента выявили резкий скачок температуры в зоне резания при эксплуатации перфорированной решетки более 9 часов (1 смена). На предприятии решетки эксплуатируются 18 часов (2 смены), при этом температура в зоне резания достигает 23,6 °С. Нагрев измельченного продукта вызывает в нем нежелательные физико-механические изменения, изменение водно-жиро-белковой фракции, а также бактериологическое обсеменение измельченного продукта.

Для анализа качества мясного фарша и колбасы «Говяжьей», в процессе изготовления которых использованы сконструированные режущие узлы, были проведены исследования в ФБУ «Кабардино-Балкарский ЦСМ», имеющим в своей структуре аккредитованную испытательную лабораторию.

По органолептическим и физико-химическим показателям фарш проверялся на соответствие требованиям ГОСТ Р 55365-2012 Фарш мясной, колбаса полукопченая «Говяжья» - на соответствие требованиям ГОСТ 31785-2012 Колбасы полукопченые Технические условия, показатели безопасности – на соответствие Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции.

Проведенный анализ показал, что сконструированные в работе режущие узлы способствуют измельчению исходного сырья в полном соответствии с предъявляемыми требованиями. Сырье

не перетирается и не выдавливается из рабочих отверстий решетки, а разрезается на кусочки вклинивающимися в него режущими лезвиями ножей.

Повышенные режущие свойства узла благотворно влияют на температуру деталей механизма измельчения, что также способствует сохранению качественных показателей исходного сырья.

В четвертой главе приведено описание технологической линии для производства колбас полукопченых.

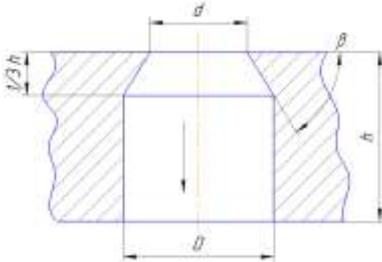


Рис.10. Конструктивная форма рабочего отверстия решетки (d- вход, D- выход, h- толщина решетки, β - угол резания)

Технической задачей разработки конструкции перфорированной решетки является повышение эффективности и качества работы измельчителей пищевых продуктов.

Для этого предлагается в ножевой головке измельчителя вместо перфорированной решетки с рабочими отверстиями в форме круглого цилиндра постоянного сечения, использовать решетку с рабочими отверстиями, имеющими острый угол резания (рис. 10)

При использовании конструкции представленной на рис. 10, резание мясопродукта происходит с двух сторон - как со стороны режущей кромки крестообразного ножа, так и с противоположной стороны. Отрезание происходит быстрее, из-за этого уменьшаются силы и моменты трения и усилие, требуемое для отрезания мясопродукта. В итоге на измельчение мясопродукта в конкретном отверстии требуется существенно меньше энергии.

Кроме того, для решения задачи ресурсосбережения, при измельчении пищевых продуктов, была разработана комбинированная решетка, выполненная в виде двух дисков, режущего и несущего, имеющего сквозные соосно расположенные рабочие отверстия, где рабочие отверстия на режущем диске имеют форму усеченного конуса и их размеры увеличиваются в направлении выхода измельченного продукта, а в несущем диске имеют

цилиндрическую форму и остаются постоянными, равными диаметру основания усечённого конуса рабочего отверстия режущего диска.

Следует отметить, что, если переточка решёток измельчителей, используемых в промышленности, организована удовлетворительно, то в бытовых условиях их переточка практически отсутствует. Поэтому для сохранения энергетического эффекта, качества измельчения пищевых продуктов и удобства эксплуатации (с одновременным сохранением режущих свойств решетки и исключения необходимости в переточках) предлагается использовать в конструкции принцип «сменности».

Для повышения энергоэффективности процесса измельчения также предлагается использовать крестообразный нож, лопасти которого имеют во всех поперечных сечениях форму классического клина с углом α при вершине не более 15° (рис. 11).

Чтобы уменьшить силу трения, поверхность клина, контактирующая с поверхностью решетки, следует затачивать под определенным углом (например, $2...3^\circ$). Это исключает контакт подвижного ножа (номинально) и решетки по площадкам определенных размеров.

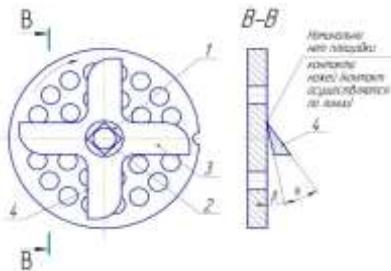


Рис.11. Схема взаимодействия крестообразного ножа и решетки (1-ступица; 2- квадратное отверстие; 3- лопасть ножа; 4- режущая кромка лопасти; α - угол заострения клина; β - угол между нижней поверхностью лопасти, обращенной к решетке и поверхностью резания решетки)

Безусловно, реально исключить контакт между подвижным ножом и решеткой не представляется возможным. Поэтому, с целью уменьшения силы трения между подвижным ножом и решеткой, реальный контакт может быть прямолинейным или криволинейным (по форме режущей кромки на лопасти крестообразного ножа).

Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что с точки зрения энергоэффективности процесса измельчения

пищевого продукта, лопасти крестообразного ножа должны иметь форму классического клина во всех поперечных сечениях. Причем, угол заострения α при вершине клина должен быть не более 15° .

Традиционно в конструкциях подвижных ножей предусматриваются элементы, предназначенные для предварительного и окончательного измельчения. Для совмещения предварительного и окончательного измельчения был сконструирован крестообразный нож с лопастями, на задних поверхностях которых имеются режущие лезвия, расположенные по дугам концентрических окружностей. Для предварительного измельчения продукта здесь используется так называемый в технике «эффект пилы».

В совокупности с перфорированной решеткой процесс резания осуществляется следующим образом: при вращении ножа измельчаемый продукт надвигается на него под давлением вдоль шнека, при этом режущие лезвия, расположенные на задней поверхности, осуществляют предварительное резание продукта. Далее продукт, подвергшийся предварительному измельчению, прижимается к перфорированной решетке, где подвергается окончательному измельчению передней режущей кромкой ножа.

Основные выводы и результаты

1. Определена зависимость напряжений и перемещений от угла заточки с помощью компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния ножа в программе SolidWorks. Установлено, что деформации ножа пропорциональны углу заточки. Для угла заточки 90° перемещения на кромке лопастей достигает $0,136 * 10^{-3}$ мм, что в 1,45 раза больше, чем для угла заточки 80° , и в 3 раза больше, чем для угла заточки 30° .

2. Установлены рациональные параметры измельчения мясного сырья в измельчителях с крестообразным ножом: частота вращения шнека при диаметре рабочих отверстий решетки 3,5 мм: жилованная подмороженная говядина $5,32 \text{ с}^{-1}$; мясо свинины- $5,27 \text{ с}^{-1}$; мясо птицы- $5,22 \text{ с}^{-1}$.

3. Установлены основные закономерности процесса измельчения мясного сырья в измельчителях с крестообразным ножом,

доказывающие энергоэффективность использования лопастей крестообразного ножа в форме классического клина с углом заострения при его вершине $\alpha 15^\circ$ и контактирующей с поверхностью решетки только режущими кромками лопастей. Энергоэффективность ножа на 10,6% выше, чем у ножа-прототипа;

4. Разработан крестообразный нож с лопастями, на задних поверхностях которых имеются режущие лезвия, расположенные по дугам концентричных окружностей, позволяющий совместить предварительное измельчение продукта с окончательным, что повышает энергоэффективность механизма на 17,6% в сравнении с ножом с лопастями в форме параллелограмма.

5. Оптимизирована конструкция решетки, предусматривающая комбинированные рабочие отверстия конус-цилиндр, энергоэффективность которой на 22% выше, чем у решетки с классическими рабочими отверстиями в форме круглого цилиндра постоянного сечения.

6. Разработана технологическая линия для производства колбас полукопченых, в которую входит разработанный измельчитель с крестообразным ножом показавший высокую энергетическую эффективность: экономия энергии составляет 20-25%.

7. Проведена оценка качества мясного фарша, полученного на разработанном измельчителе с крестообразным ножом, и колбасы полукопченой, которые полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 55365-2012, ГОСТ 31785-2012, ТР ТС 021/2011.

8. Проведенные производственные испытания предлагаемой технологии измельчения мясного сырья на ООО «Мясокомбинат Нальчикский» показали целесообразность и перспективность ее использования в мясоперерабатывающей промышленности. Экономический эффект от внедрения разработки составляет 25% от энергетических затрат на измельчение сырья.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Атаев, П.Л. Повышение энергоэффективности эксплуатации подвижных крестообразных ножей измельчителей пищевых продуктов / П.Л. Атаев, О.В. Исламова, А.З. Токов // Известия вузов. Пищевая технология. - 2019. - № 4 (370) - С. 91-94.

2. Атаев, П.Л. Исследование путей повышения энергоэффективности эксплуатации подвижных крестообразных ножей измельчителей пищевых продуктов. / П.Л. Атаев, О.В. Исламова, А.З. Токов // Материалы Международной научно-технической конференции «Инженерия техники будущего пищевых технологий». - 2018. - С. 154-161
3. Батыров, У.Д. Некоторые аспекты воплощения принципов ресурсосбережения в конструкциях узлов пищевых продуктов [Текст] / У.Д. Батыров, П.Л. Атаев, Т.Х. Карданов, А.З. Токов // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. - 2015.- №5. - С. 77-79.
4. Батыров, У.Д. Повышение эффективности и качества работы измельчителей пищевых продуктов / У.Д. Батыров, П.Л. Атаев, Т.Х. Карданов, А.З. Токов // Качество. Инновации. Образование. - 2015. - №2. – С. 225-227.
5. Исламова, О.В. Энергоэффективность - важнейший показатель качества пищевых измельчителей/ О.В. Исламова, А.З. Токов, Ф.А. Атаева// Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2019. - Том 81, № 1. - С. 56-63.
6. Исламова, О.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния ножа измельчителя мясного сырья в системе SOLIDWORKS / О.В. Исламова, А.З. Токов // Научно-технический вестник Поволжья. - 2018. - № 11. - С. 126-128.
7. Исламова, О.В. Снижение энергозатрат и повышение качества процесса измельчения пищевых сред. / О.В. Исламова, А.З. Токов // Перспективы науки. - 2018. - № 11. - С. 81-84.
8. Токов, А.З. Разработка высокоэффективной энергосберегающей установки для измельчения продуктов питания // Перспективные инновационные проекты молодых ученых. - 2015.- С.335-336.
9. Ataev, P.L. Development of Lattice Design for Increasing the Energy Efficiency of the Grinding Process of Food Products / P.L. Ataev, O.V. Islamova, A.Z. Tokov, A.A. Zhilayev // 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). - 2018. - P. 415-416.
10. Ataev, P.L. Selection of the Optimum Grinding Angle for Knives for Meat Grinders by Computer Simulation of the Stress-Strain State / P.L. Ataev, O.V. Islamova, A.Z. Tokov // 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). - 2018. - P. 412-414.
11. Batyrov, U.D. Research of Ways of Preserving the Quality of Grinded Food Products in the Process of Grinding / U.D. Batyrov, P.L.

Ataev, A.Z. Tokov, O.V. Islamova, // 2017 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS 2017. - 2017. - P. 304-306.

12. Batyrov, U.D. Study ways to improve the efficiency of operation of mobile cross knife grinders food / U.D. Batyrov, P.L. Ataev, A.Z. Tokov, T.H. Kardanov. // 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS 2016. - 2016. - P. 242-247.

13. Batyrov, U.D. Upgraded Rotary Cross-shaped Food Shredder Knife / U.D. Batyrov, P.L. Ataev, A.Z. Tokov, O.V. Islamova, T.H. Kardanov. // 2017 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS 2017. - 2017. - P. 301-303.

Патенты РФ

1. Патент 156979 Российская Федерация, В02С 18/36. Решетка к устройству для измельчения продуктов/ Атаев П.Л., Батыров У.Д., Карданов Т.Х., Токов А.З.; заявл. № 2015110496/13 от 24.03.2015; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32.

2. Патент 171672 Российская Федерация, В02С 18/36. Подвижный крестообразный нож измельчителя пищевых продуктов/ Атаев П.Л., Батыров У.Д., Карданов Т.Х., Токов А.З.; заявл. № 2016137379 от 19.09.2016; опубл. 08.06.2017, Бюл. № 16.

3. Патент 177834 Российская Федерация, В02С 18/36. Подвижный крестообразный нож измельчителя пищевых продуктов/ Атаев П.Л., Батыров У.Д., Карданов Т.Х., Токов А.З., Исламова О.В.; заявл. № 2017122513 от 26.06.2017; опубл. 14.03.2018, Бюл. № 8.

4. Патент 186537 Российская Федерация, В02С 18/36. Решетка механизма измельчения пищевых продуктов/ Атаев П.Л., Исламова О.В., Токов А.З., Жилиев А.А.; заявл. № 2018117033 от 07.05.2018; опубл. 23.01.2019, Бюл. № 3.

Подписано в печать 26.03.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова»
(КБГУ)

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «КБГУ»
Адрес университета и отдела полиграфии
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173