

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КУТТЕРА

*А.Л. Желудков, С.В. Акуленко, К.К. Гуляев*

Рассмотрены основные пути интенсификации процесса куттерования мясного сырья, направленные на использование систем автоматизации процесса, оптимизацию режимов резания и конструкций режущих органов. Показано, что интенсификация процесса куттерования (увеличение скорости резания и линейной скорости чаши) ведет к увеличению прироста температуры сырья и удельной энергоемкости процесса.

### **Введение**

Качество колбасных изделий и выход готовой продукции зависят от ряда факторов. Среди них решающее место принадлежит тонкому измельчению мяса в куттере, причем на качество измельчения в значительной мере влияет форма ножей.

Основная цель процесса резания заключается в том, что каждый первоначальный кусок продукта должен быть разделен без остатка и отходов на более мелкие части с определенными, заранее заданными формой, размерами и качеством поверхности среза. Важнейшим элементом машин для тонкого измельчения сырья является рабочий орган (нож), от параметров которого (конфигурация, заточка, жесткость, прочность и др.) зависит и качество выполнения технологической операции.

Для повышения эффективности процесса куттерования важно рационально выбрать оптимальные конструктивные параметры рабочих органов и режимы проведения процесса, обеспечивающие получение продукта с заданной степенью измельчения, сохраняя его пищевую и биологическую ценность.

Целью представленной работы является определение влияния режимных параметров куттерования на основные технологические показатели процесса.

Пути повышения эффективности работы куттера. Тенденция развития современного оборудования для тонкого измельчения мясного сырья направлена на автоматизацию процесса с использованием программного управления, а также на использование вычислительных устройств, которые управляют дозировкой сырья, временем и порядком его загрузки. Окончание процесса контролируется по косвенным параметрам, например, по температурной кривой нагрева фарша или по заданному времени по каждому виду колбасных изделий.

Среди известных систем автоматизации процесса тонкого измельчения необходимо отметить систему фирмы «Laska» для куттера К-130 и систему управления куттера К-330 фирмы «Kramer Grebe». Эти системы позволяют контролировать температуру фарша в процессе куттерования, а их автоматический цикл задается максимально допустимой температурой или временем измельчения. Получение готовых колбас с заданными структурно-механическими свойствами при помощи этих систем возможно лишь при использовании сырья со стабильным составом и структурой.

Более точное определение оптимального времени куттерования можно осуществлять с помощью специальных приспособлений и приборов, реагирующих на изменение структурно-механических характеристик фарша в процессе его изготовления [1]. Для сокращения продолжительности оценки качества продукта по его консистенции В.Д. Косым разработан вискозиметр для контроля структурно-механических свойств фарша. Применение данного прибора в процессе измельчения позволяет определять изменения структурно-механических характеристик фарша в потоке.

Таким образом, с помощью предложенного вискозиметра можно автоматизировать процесс тонкого измельчения мясного сырья на различных моделях куттера с различными геометрическими и кинематическими параметрами.

Особое место при интенсификации процесса куттерования мясного сырья занимает использование вакуумного куттерования. Во время измельчения на куттере образуется фаршевая система, насыщенная воздухом. Чем выше скорость резания, чем больше частота вращения ножей, тем больше воздуха вводится в фарш. Этот воздух разрыхляет систему, образует малые и большие пузырьки воздуха на разрезе колбасных батонов. Кислород этого воздуха приводит к окислению белка и жира и сокращению срока годности готовой продукции. Для ликвидации этого явления применяют куттеры с герметично закрытой чашей, в которой создают пониженное давление – вакуум. Рекомендуемая глубина вакуума 60 % – 85 % [2].

Широкое распространение вакуумных куттеров в первую очередь обусловлено рядом их преимуществ [2, 3]: удаление воздуха и его активной составляющей – кислорода – повышает водосвязывающую способность белка. В связи с этим получают более стойкую и менее разделяющуюся эмульсию, что уменьшает отеки бульона после варки; конечный фарш получается более плотным. Объем фарша уменьшается на 8 %, что позволяет экономить колбасную оболочку; удаление воздуха подавляет развитие аэробных микроорганизмов. В результате готовая продукция имеет более интенсивный, устойчивый цвет, увеличивается срок ее годности.

Конструкционные параметры рабочих органов наряду с использованием систем автоматизации процесса также оказывают влияние на интенсификацию процесса куттерования. Материалы, из которых они изготавливаются, выбираются с учетом условий их эксплуатации, свойств и физического состояния разрезаемого продукта, кинематики режущего органа и других факторов.

В качестве рабочих органов куттеров на предприятиях мясоперерабатывающей промышленности применяют ножи, имеющие различную конструкцию и форму.

По конструкции куттерные ножи можно разделить на четыре группы:

- 1) куттерный нож с прямолинейной режущей кромкой;
- 2) куттерный нож с режущей кромкой, образованной непрерывной кривой линией (серповидный);
- 3) куттерный нож с режущей кромкой в виде зубчатой линии;
- 4) куттерный нож с режущей кромкой в виде ломаной линии.

Нож с прямолинейной режущей кромкой имеет два лезвия, по одному с каждой стороны относительно его продольной оси, которая является осью симметрии. Лезвия могут быть наклонены под углом  $15^{\circ}$  –  $20^{\circ}$  к этой оси (радиусу вращения) [7].

Необходимо отметить, что ножи с прямолинейной режущей кромкой, по сравнению с серповидными ножами, имеют меньшую площадь трения с фаршем, так как средняя боковая поверхность ножа с прямолинейной режущей кромкой, контактирующая с фаршем за один оборот, значительно меньше, чем поверхность серповидного в тех же условиях. Этот нож имеет ряд очевидных преимуществ по отношению к серповидному ножу: при их изготовлении уменьшается процент отходов металла за счет более рационального раскроя и существенно упрощается его изготовление; увеличивается долговечность ножа за счет двух режущих кромок; упрощается перезаточка режущих кромок.

Однако в процессе использования ножей подобной конфигурации преобладает рубящее резание. При таком способе плохо перерезается соединительная ткань, которая на несколько порядков более прочная, чем мышечная. Поэтому эти ножи целесообразно использовать для перемешивания.

На мясоперерабатывающих предприятиях широкое применение нашли серповидные куттерные ножи, режущая кромка которых выполнена в виде кривой, построенной по определенной спирали. При этом для профилирования ножей могут использоваться кривые

следующего вида: архимедова спираль, логарифмическая спираль, эвольвента и дуга окружности со смещенным центром.

Проводились исследования по определению наиболее эффективных форм лезвия [8]. Эффективность работы ножей определялась по величине мощности на ножевом валу, длительности измельчения и качеству фарша. Исследования показали, что минимальная величина мощности на ножевом валу получена при использовании ножей в виде логарифмической спирали и спирали Архимеда.

При такой форме ножей достигается необходимое качество измельчения за счет высокого коэффициента скольжения, однако ножи серповидной формы имеют весьма существенные недостатки: высокая стоимость изготовления; требуется сложное заточное оборудование при высокой квалификации обслуживающего персонала; завышенный расход металла при их изготовлении.

Для приготовления в куттере эмульсий из сырой свиной шкурки рекомендуется применять ножи с зубчатой линией лезвия, так как прочность основного белка свиной шкурки-коллагена очень высока. Поэтому нужно иметь нож, который был бы способен измельчать его. Для этих целей используется нож, измельчающий как своеобразная пила, зубья которой перепиливают коллагеновые волокна, резко увеличивая влагосвязывающую способность. Однако специфика использования ножей данной конструкции ограничивает их эксплуатацию при производстве колбасных изделий [9].

В современных куттерах широкое применение получили ножи, режущая кромка которых образована ломаной линией, вписанной в кривую второго порядка. Это универсальные ножи, обеспечивающие высокую степень измельчения и усиленный эмульгирующий эффект. Ломаная линия, как правило, состоит из четырех-пяти отрезков, имеющих разную длину [10]. Вершины ломаной линии, как своеобразные зубья, создают дополнительное усилие резания. Данная форма режущей кромки обеспечивает снижение затрат на изготовление и последующую эксплуатацию (перезаточку) по сравнению с серповидными ножами и ножами с зубчатой линией режущей кромки.

Основным требованием к любому режущему инструменту является сохранение остроты режущей части и геометрических форм рабочего органа в течение наиболее длительного времени, то есть инструмент должен обладать достаточной жесткостью и высокой износостойкостью.

Способами повышения износостойкости режущих органов являются выбор материалов для изготовления режущих элементов и способа обработки, определение оптимальных условий работы и геометрических параметров рабочих органов.

В настоящее время при изготовлении куттерных ножей наиболее часто используют углеродистые, низколегированные и высоколегированные инструментальные стали [4]. Эти стали имеют высокую износостойкость и твердость после термической обработки (54...58 HRC). При производстве куттерных ножей наиболее распространены стали:

–углеродистые: У7А, У8А;

–низколегированные: 9ХС, ХВГ, Х12М, 3Х13, 4Х13, 12Х13, 30Х13, 12Х17, 40ХГ, 40ХГР, 35ХГ2;

–высоколегированные: 14Х17Н2, 20Х17Н2.

Ножи из низколегированных и высоколегированных сталей имеют по сравнению с ножами из углеродистых сталей более высокую износостойкость. Вместе с тем применение высоколегированных сталей нежелательно, так как продукты износа ножей, попадающие в фарш, содержат вредные для здоровья химические элементы (особенно никель).

В целях повышения износостойкости ножей применяются различные варианты поверхностного упрочнения материалов, из которых они изготовлены. При этом можно выделить следующие способы упрочнения:

– способы термической обработки и глубинного упрочнения структуры материала: закалка с последующим отпуском, нормализация, химико-термическая обработка, низкотемпературная обработка и др.;

– способы обработки, обеспечивающие поверхностное упрочнение материалов (3–200 мкм): электроискровое легирование, лазерная упрочняющая обработка, ультразвуковая поверхностная обработка, плазменный нагрев и др.

Оценивая эффективность вариантов упрочнения, необходимо иметь в виду следующее: поверхностные методы обработки не позволяют сохранить прочностные характеристики ножей при их перезаточке в процессе эксплуатации.

В зависимости от материалов, из которых изготовлены ножи, и вида применяемой упрочняющей технологии достигается увеличение износостойкости ножей в 1,1–3 раза, а прочность при ударном напряжении в 1,2–1,8 раза.

### Результаты исследований и их обсуждение

При проведении экспериментальных исследований использовались ножи, выполненные по патентам Республики Беларусь [5, 6].

На рисунке 1 представлена зависимость удельной энергоёмкости  $N_{уд}$  и прироста температуры  $\Delta t$  в процессе куттерования от скорости резания при коэффициенте скольжения ножа  $K_c=2,38$  и линейной скорости чаши  $v_q=0,43$  м/с.

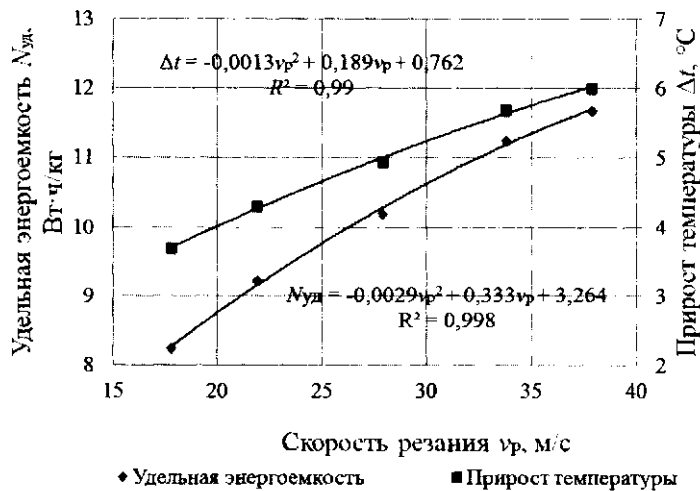


Рисунок 1 – Зависимость удельной энергоёмкости и прироста температуры от скорости резания

Из рисунка видно, что при изменении скорости резания  $v_p$  от 17,8 до 37,9 м/с температура куттеруемого сырья постоянно возрастает и экстремума функции не наблюдается. Такая закономерность изменения прироста температуры 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 температуры куттеруемого сырья.

При увеличении скорости резания также наблюдается повышение удельной энергоёмкости. Это повышение связано с увеличением усилия резания за счет повышения интенсивности сил трения. Усилия, деформирующие продукт, направлены нормально к поверхности трения и способствуют увеличению сил трения с повышением скорости резания. При этом повышается расход энергии на деформирование контактного слоя продукта и на преодоление сил зацепления продукта с микронеровностями ножа.

На рисунке 2 представлена зависимость удельной энергоёмкости  $N_{уд}$  и прироста температуры  $\Delta t$  в процессе куттерования от линейной скорости чаши при  $K_c=2,38$  и скорости резания  $v_p=27,9$  м/с.

При увеличении линейной скорости чаши функции прироста температуры 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.

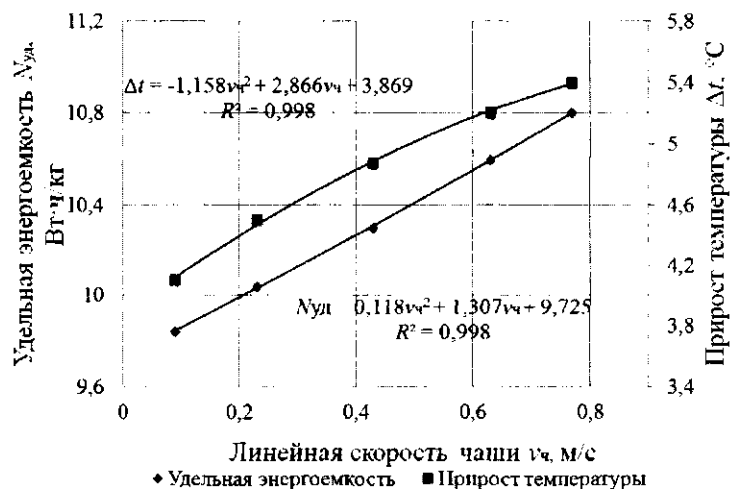


Рисунок 2 – Зависимость удельной энергоёмкости и прироста температуры от линейной скорости чаши

### Заключение

Обзор и анализ путей повышения эффективности работы куттера показал, что на эффективность куттерования влияют не только параметры режущего инструмента, но и режимы проведения процесса: скорость резания и линейная скорость чаши. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при интенсификации процесса основные показатели (удельная энергоёмкость и прирост температуры сырья) постоянно возрастают и экстремума не образуют.

### Литература

- 1 Косой, В.Д. Методология определения консистенции фарша сырокопченых колбас по структурно-механическим характеристикам / В.Д. Косой, А.Д. Малышев, В.П. Дорохов // Мясная индустрия. – 2001. – № 5. – С. 37–39.
- 2 Жаринов, А.И. Техничко-технологические аспекты приготовления мясных эмульсий / А.И. Жаринов, С.Г. Юрков // Мясная индустрия. – 2006. – № 2. – С. 22–25.
- 3 Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: учебное пособие для студентов вузов, В 2 ч. Ч.2. Оборудование для переработки мяса / В.И. Ивашов.– СПб.: ГИОРД, 2007.– 458 с.
- 4 Василевский, О.М. Машины периодического действия для приготовления фарша / О. М. Василевский, О.В. Соловьев, Д.О. Трифонова // Мясные технологии. – 2007. – № 5. – С. 42–47.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 Бренч, А.А. Совершенствование конструкций рабочих органов куттеров/ А.А. Бренч, Г.И. Белохвостов// Техника и технология пищевых производств: материалы IV Международной научно-технической конференции, Могилев/ УО МГУП; редкол. Т.С. Хасаншин [и др] – Могилев, 2003.– С. 274–275.
- 8 Клименко, М.Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий: дис. докт. техн. наук:05.18.12 / М.Н. Клименко; М., 1990. – 460 с.
- 9 Дуда, А.Н. Конструкция куттерных ножей влияет на качество измельчения фарша / А.Н. Дуда // Мясная индустрия. – 2003.– № 10. – С. 55–57.
- 10 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.

Поступила в редакцию 28.12.2015