

Следует отметить, что достижение указанного эффекта возможно только при соблюдении всех перечисленных условий. При отклонении хотя бы от одного условия нарушается равномерное распределение массы продукта на единицу площади рабочей поверхности матрицы, дестабилизируется движение теста через перфорированную поверхность, уменьшается производительность матрицы и ухудшается качество формования.

### *Литература*

1. Берман Г.К. и др. Основные направления совершенствования формующего оборудования в производстве макаронных изделий: Обзор.- М.: ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1977.- 52 с.
2. Васютинский Н.А. Золотая пропорция.- М.: Мол. Гвардия, 1990.-238 с.
3. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи.- М.: Наука, 1969.- 112 с.
4. Груданов В.Я. и др. Совершенствование конструкций машин и аппаратов пищевых производств: Учеб. пособие для вузов.- Мн.:ИПП Минэкономки Республики Беларусь, 1996.- 248 с.
5. Назаров Н.И. и др. Интенсификация процессов макаронного производства: Обзорная информация.- М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1978.- 31 с.

УДК 621.926.7.088.8

## **РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ НОЖА ВОЛЧКА**

*С.Н. Ходакова,*

*\*Г.И. Белохвостов, к.т.н.*

*УО «Могилевский государственный университет продовольствия»*

*\* ГПИ «МИНСКПРОЕКТ»*

*Могилев, \*Минск, Беларусь*

Повышение качества мясной продукции и ее пищевой ценности, более полное использование сырья и различных белковых добавок - одна из важнейших задач на мясоперерабатывающих предприятиях республики Беларусь. Для осуществления данной задачи необходимо постоянно совершенствовать все технологические процессы и проводить их в рациональных и оптимальных режимах.

Одной из основных технологических операций при изготовлении колбасного фарша является его механическая обработка, т.е. измельчение мяса. Поэтому проблема повышения надежности и долговечности режущих инструментов является достаточно актуальной. Эффективность измельчения в значительной степени определяется применением наиболее рациональной формы режущих инструментов с учетом первоначального состояния сырья и технологических требований к готовой продукции. Геометрические параметры режущих элементов, форма режущих кромок и витков шнека оказывают решающее влияние как на качество резания, так и на энергетические затраты.

Резание может осуществляться перемещением рабочего инструмента перпендикулярно к лезвию и под острым углом к нему. В первом случае процесс называется рубкой, во втором – резкой (резанием со скольжением).

Рубка - основана на том, что клин, перемещаясь перпендикулярно лезвию и проникая в толщу продукта, уплотняет его тонкий слой и создает в продукте контактные напряжения. По достижении определенного предела уплотнения и

контактных напряжений (что зависит от прочности, структуры и других свойств продукта), происходит одно из двух возможных разрушений: у вязких продуктов – срез (или, как принято говорить, перерубание) уплотненных до предела стенок клеточек, у хрупких продуктов – скалывание, или раскалывание.

При срезе отрезанный или отрубленный слой продукта отгибается рабочей гранью клина и постепенно отделяется от основной части продукта, остающейся за опорной гранью ножа. Если разрезаемый продукт достаточно гибкий и мягкий (сырые овощи, фрукты, мясо, рыба), а угол заточки клина незначительный, происходят плавное отгибание отрубленного пласта и перемещение его по лицевой грани ножа.

Если же разрезаемый продукт недостаточно гибкий (вареные мясо, рыба, черствый хлеб) или если угол заточки клина слишком велик, то при отгибании отрубленного пласта лицевой гранью клина часто происходит дополнительное скалывание: у волокнистых продуктов по направлению волокон, у неволокнистых – под острым углом к плоскости среза. Поверхности среза при этом получаются зазубренными, и отрубленный пласт продукта не сохраняется целиком, а распадается на отдельные части. Скалывание наблюдается также при рубке волокнистых продуктов, когда движение лезвия направлено вдоль волокон продукта, и при рубке хрупких продуктов (костей, сухарей) даже при незначительных углах заточки. В первом случае уже при сравнительно небольшом проникновении клина в толщу продукта в последнем образуется трещина вдоль волокон. Поверхности скалывания при этом получаются ровными, без зазубрин, но не плоскими, а повторяющими конфигурацию слоев обрабатываемого продукта.

Во втором случае при рубке хрупкого продукта происходит двойное скалывание: в направлении движения ножа и под некоторым углом к нему. Поверхности скалывания в обоих направлениях получаются неровными, ломаными. При рубке неоднородных по структуре продуктов скалывание часто происходит ниже опорной грани клина.

Резка основана на том, что нож, перемещаясь под острым углом к лезвию и проникая в толщу продукта, уплотняет его, как и при рубке, однако в отличие от последней одновременно перепиливает волокна и стенки клеточек продукта независимо от их расположения и структуры мельчайшими, незаметными для глаза зубцами лезвия. Благодаря этому при резке разрушение продукта наступает при значительно меньших контактных напряжениях, чем при рубке.

Величина первоначального проникновения лезвия в продукт при резке не должна превышать высоты зубцов лезвия, тогда как при рубке необходимо более глубокое проникновение лезвия, высокое уплотнение и контактные напряжения в продукте. Отрезаемый таким образом слой продукта плавно отгибается лицевой гранью клина и скользит по нему до полного отделения от основной части продукта. Поверхности продукта при резке почти всегда получаются гладкими независимо от структуры обрабатываемого продукта.

Общая сила резания равна геометрической сумме ее нормальной (к лезвию)  $P_n$  и касательной  $P_t$  составляющих, а модуль ее

$$P = \sqrt{P_n^2 + P_t^2},$$

Коэффициентом скольжения лезвия  $K_B$  называется отношение касательной и нормальной составляющих силы резания точки лезвия относительно продукта.

Угол  $\beta$  между нормалью к лезвию в некоторой его точке и силой резания называется углом скольжения лезвия. Тогда тангенс угла скольжения окажется численно равным коэффициенту скольжения:

$$K_{\beta} = \frac{P_t}{P_n} = \operatorname{tg} \beta$$

Крайние значения указанных величин следующие: при чистой рубке угол и коэффициент скольжения равны нулю. При  $\beta = 90^{\circ}$   $K_{\beta} = \infty$  лезвие только скользит по продукту, не разрезая его (чистое скольжение).

От величины коэффициента скольжения зависят расход энергии на резку и, как указывалось ранее, чистота поверхностей среза.

Нормальная к лезвию составляющая  $P_n$  усилия резания, которая в наибольшей степени вызывает смятие продукта, уменьшается с увеличением коэффициента скольжения.

Нормальная к лезвию составляющая сил трения продукта о грани ножа уменьшается при увеличении угла и коэффициента скольжения. Таким образом, и нормальная составляющая и полная величина общего усилия  $P$ , действующего на инструмент, при резке значительно меньше, чем при рубке. Однако самое главное преимущество резки заключается в качественной обработке.

В настоящее время процесс резания в волчках отечественного и зарубежного производств осуществляется ножами, режущие кромки которых расположены на осях ножа, что обеспечивает в большей степени рубящее резание. Для увеличения коэффициента скольжения с тем, чтобы перейти к скользящему резанию, режущие кромки 3 (рис. 1) были выполнены по касательной к основанию 1 ножа.

При измельчении продукта нож испытывает ряд сопротивлений (рис.2):

$P_1$  - сопротивление измельчению;

$P_2$  и  $P_3$  – сопротивления проникновению в продукт лезвия ножа;

$T_2$  и  $T_3$  – трение на гранях ножа.

Активную силу, приложенную к ножу и вызывающую перечисленные реакции, обозначим  $P_n$ .

Считая движение ножа установившимся, можем применить к нему уравнения статики. Будем считать силу  $P_3$  известной.

Проектируя все силы на направление опорной грани ножа, получим

$$P_n - P_1 - P_2 \sin \alpha - T_2 \cos \alpha - T_3 = 0, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол заточки лезвия ножа.

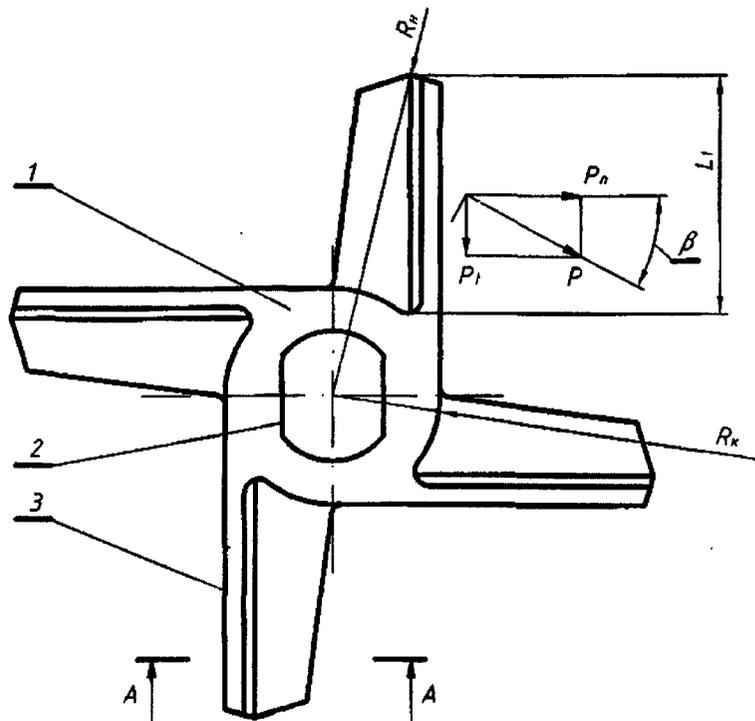
Силы трения на гранях ножа равны

$$T_2 = P_2 f, \quad T_3 = P_3 f, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения продукта о нож.

Подставляя их в уравнение проекций, получим

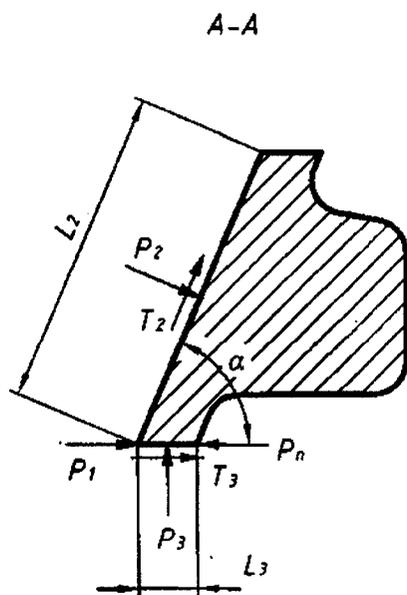
$$P_n = P_1 + P_2 (\sin \alpha + f \cos \alpha) + P_3 f. \quad (3)$$



- 1 – основание ножа;
- 2 – посадочное отверстие;
- 3 – режущая кромка (лезвие) нож;
- $R_n$  – радиус ножа;
- $R_k$  – радиус кольца основания;
- $\beta$  – угол скольжения.

- $P$  – общая сила резания;
- $P_n$  – нормальная составляющая к общей силе резания;
- $P_t$  – касательная составляющая к общей силе резания;
- $L_1$  – длина режущей кромки.

Рисунок 1 - Расчетная модель ножа



Сумма проекций сил на ось, перпендикулярную первой, будет

$$P_2 \cos \alpha - P_3 - T_2 \sin \alpha = 0.$$

Подставляя сюда значение  $T_2$ :

$$P_2 = \frac{P_3}{\cos \alpha - f \sin \alpha}. \quad (4)$$

- $P_1$  – сила сопротивления измельчению;
- $P_2$  и  $P_3$  – силы сопротивления проникновению в продукт лезвия ножа;
- $L_2$  и  $L_3$  – длины граней лезвия;
- $P_n$  – нормальная составляющая к общей силе резания;
- $\alpha$  – угол заточки;
- $T_2$  и  $T_3$  – силы трения на гранях ножа.

Рисунок 2 - Схема сил, действующих на нож при измельчении

Силу сопротивления измельчению продукта ( $P_1$ ) считаем равномерно распределенной по длине рабочего участка лезвия и направленной перпендикулярно к нему. При известной величине  $q$  – удельном сопротивлении продукта резанию на единицу длины лезвия, сила  $P_1$  определяется как произведение

$$P_1 = q \cdot L_1,$$

где  $L_1$  – длина рабочего участка лезвия.

Тогда активная сила (сила нормального давления на лезвие ножа)  $P_n$  с учетом формулы (3)

$$P_n = qL_1 + P_3 \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + P_3 f$$

Общее усилие на резание (на данном прямолинейном участке лезвия ножа)

$$P = \frac{P_n}{\cos \beta} = \frac{qL_1 + P_3 \left( \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + f \right)}{\cos \beta} \quad (5)$$

Работа, совершаемая режущей гранью лезвия

$$A_1 = P L_1 \sin \beta$$

С учетом формулы (5)

$$A_1 = \left( qL_1 + P_3 \left( \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + f \right) \right) L_1 \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (6)$$

Работа по преодолению сопротивления проникновению в продукт лезвия ножа

$$A_2 = T_2 L_2 + T_3 L_3$$

С учетом вышеизложенного (см. формулы (2) и (4))

$$A_2 = P_3 f \left( \frac{L_2}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + L_3 \right) \quad (7)$$

Тогда работа, совершаемая четырехлопастным ножом, с учетом двух режущих кромок каждого пера, будет определяться по следующей формуле

$$A = 8 \cdot (A_1 + A_2) = 8 \cdot \left[ \left( qL_1 + P_3 \left( \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + f \right) \right) L_1 \cdot \operatorname{tg} \beta + P_3 f \left( \frac{L_2}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + L_3 \right) \right]$$

Данная формула позволяет определить энергетические затраты на измельчение, зная реологические характеристики измельчаемого продукта и геометрические параметры ножа, что дает возможность интенсифицировать процесс для создания оптимальных условий измельчения мясного сырья ножами из всего типоразмерного ряда волчков.

### *Литература*

1. Тимошук И.И. и др. Общая технология мяса и мясопродуктов./ И.И. Тимошук, Н.А. Головаченко, С.А. Сенников.- Урожай, 1989.-216с.
2. Косой В.Д. Совершенствование процесса производства вареных колбас.-М.: Пищевая промышленность, 1983.-273с.
3. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности.-М.: Пищевая промышленность, 1971.-520с.
4. Даурский А.Н., Мачихин Ю.А. Резание пищевых материалов: Теория процесса, машины, интенсификация.-М.: Пищевая промышленность, 1980.-240с.
5. Груданов В.Я., Самошкина С.Н., Белохвостов Г.И., Павлов М.Я. Повышение эксплуатационной надежности режущего механизма машин для измельчения мясного сырья Вестн ААН РБ, 1999 г. №1
6. Груданов В.Я., Самошкина С.Н., Белохвостов Г.И., Павлов М.Я. Энергосберегающий режущий механизм для измельчения мясного сырья Междун. Аграрный журнал 1999 г. №3

УДК 621.926.7.088.8

## **РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ КУТТЕРНОГО НОЖА**

*А.А. Бренч*

УО «Могилевский государственный университет продовольствия»  
Могилев, Беларусь

Для определения оптимальных режимов измельчения мяса в куттерах с различными геометрическими характеристиками конструкций ножей необходимо изучить зависимости реологических свойств продукта от влаго- и жиросодержания, степени измельчения, растворимости белков, дисперсного состава фарша, энергетические характеристики процесса, а также выход и качество готовых изделий от продолжительности измельчения.

Качество процесса измельчения колбасного фарша зависит от структурно-механических свойств, которые характеризуются величиной предельного напряжения сдвига, величиной поверхности частиц фарша, поверхностно-связанной влагой, пластической вязкостью и потерями жидкости при термообработке.

В процессе куттерования колбасного фарша также изменяются дисперсный состав и эффективный диаметр частиц фарша, при этом постепенно исчезает поперечная исчерченность волокон, фарш уплотняется, а частицы трудно отличить друг от друга.

Во время куттерования изменяются и физико-химические свойства, в частности, растворимость белков, водосвязывающая способность, реологические характеристики и прочность структурной сетки фарша. На качество измельчаемого сырья существенное влияние оказывают и конструктивные особенности рабочих органов куттеров и характер изменения угла скольжения  $\beta$ .

Особенностью обработки мяса в куттерах является совмещение процессов интенсивного резания и перемешивания мяса, находящегося в чаше. При воздействии куттерных ножей на мясное сырье значительно увеличивается поверхность контакта белков мышечной ткани и воды, что позволяет использовать (в отличие от других способов) естественную влагосвязывающую способность мяса, при этом происходит образование специфического водно-жиро-белкового геля, что и обеспечивает высокое качество колбасного фарша.