

УДК 664

А.А. Бренч, канд. техн. наук, А.К. Наварай, С.Н. Ходакова

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЯСНОГО СЫРЬЯ

Предложены высокоэффективные конструкции рабочих органов машин для переработки мясного сырья, разработанные на основе законов золотой пропорции.

Наиболее перспективным направлением пищевой промышленности и пищевого машиностроения является создание высокоэффективного технологического оборудования, которое на основе использования прогрессивной технологии значительно повышает производительность труда и способствует экономии исходного сырья, топливно-энергетических и материальных ресурсов.

В данной работе нами предложены новые принципы конструирования рабочих органов машин для переработки мясного сырья с использованием законов «золотой» пропорции на примерах обвалочных прессов, волчков, мясорубок и куттеров.

Обвалочные прессы. Широкий ассортимент продукции, выпускаемый мясоперерабатывающими предприятиями Республики связан с глубокой переработкой птицы. В настоящее время для механической обвалки тушек цыплят на предприятиях в основном применяются прессы типа РВС-1000, Уникон-500 [3].

Как показывает опыт эксплуатации прессов, эти машины имеют ряд существенных недостатков: значительное потребление электрической энергии; недостаточная эксплуатационная надежность; низкое качество получаемой продукции.

В конструкции рабочего узла обвалочного пресса не учитывается соотношение мяса и кости в исходном сырье. Пропускная способность перфорированного сепаратора и сепарирующего узла (узла отжатия) не увязана с производительностью шнека. Решением данного недостатка является предложение выполнить рабочие органы таким образом, чтобы суммарная площадь живого сечения сепаратора и кольцевого зазора узла отжатия была равна площади поперечного сечения канавки шнека в последнем витке. При этом площадь живого сечения сепаратора F_c можно определить по формуле

$$F_c = \frac{F_{ш}}{1,618},$$

где F_c – площадь живого сечения сепаратора; $F_{ш}$ – площадь поперечного сечения канавки шнека в последнем витке; 1,618 = Φ – коэффициент пропорциональности (значение «золотого» сечения), учитывающий среднее отношение мяса к кости в тушках различных видов птицы.

В серийно выпускаемых прессах не учитывается направление движения мясной фракции, подаваемой нагнетающим шнеком в отверстия сепаратора. Отверстия расположены радиально к продольной оси сепаратора по всей его цилиндрической рабочей поверхности, что приводит к дополнительному сжатию и сдавливанию продукта, снижению качества отделения мяса от кости.

Угол наклона осей отверстий уменьшается по ходу движения продукта и определяется по формуле

$$\beta_i = 90 - \alpha_i,$$

где β_i – угол наклона оси отверстия; α_i – угол наклона ребра нагнетающего шнека.

Угол наклона ребер шнека увеличивается по ходу движения продукта, т.е.

$\alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1$. Соответственно, угол наклона осей отверстий уменьшается, т.е. $\beta_3 < \beta_2 < \beta_1$. В этом случае сила N нормального давления на продукт поверхности ребра нагнетающего шнека совпадает с осями отверстий перфорации сепаратора и напрямую, без дополнительных сопротивлений, проталкивает мясную фракцию через отверстия, что и необходимо для эффективной работы пресса.

Работа, совершаемая шнеком за один оборот, вычисляется по формуле

$$A = [N_1 \sin \alpha (1 + f) + N_2 (\sin \alpha + f (\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \beta + \cos \alpha))] \cdot R_{\text{шн.}} \cdot 2\pi,$$

где N_1 – нормальная сила воздействия продукта на виток шнека в зоне выдавливания жидкой фракции, Н; N_2 – нормальная сила воздействия костного остатка на последний виток шнека в зоне кольцевого зазора, Н; α – угол наклона ребра шнека, град; β – угол наклона конической части втулки, град; f – коэффициент трения продукта о материал рабочих органов.

Изготовление рабочих органов механических прессов для обвалки мясного сырья по вышеприведенным рекомендациям позволит создать единую, гармоничную и взаимосвязанную систему, все составляющие которой работают на конечную цель – высококачественную обвалку сырья при максимальной производительности и минимальных энергозатратах, что в целом обусловит повышение эксплуатационных характеристик механических прессов.

Мясорубки и волчки. На мясоперерабатывающих предприятиях пищевой промышленности широко применяются машины для измельчения мясного сырья: мясорубки типа МИМ и волчки типа МП-1-160 и К6-ФВЗП-200. Качество вареных колбас и их выход определяются рядом факторов, главные из которых – предварительное измельчение мяса и температурный режим процесса. На качество измельчения в значительной мере влияют конструктивные особенности режущего механизма, состоящего, как правило, из определенного набора ножевых неподвижных решеток и вращающихся многоперых ножей [1].

Анализ литературных данных показывает, что в настоящее время определились два направления в повышении износостойкости трущихся деталей режущего механизма: первое связано с выбором материалов для режущих комплектов и с поиском новых технологий для их термической обработки; второе – совершенствование конструкции ножей и решеток режущего механизма. При этом следует отметить, что имеющиеся в литературе сведения о влиянии геометрических параметров трущейся пары на их износостойкость и процесс измельчения мясopодуKтов разноречивы и требуют тщательной проверки. В стандартный комплект режущих инструментов, как правило, входят два многоперых вращающихся ножа и три неподвижные перфорированные ножевые решетки: подрезная, приемная и выходная. Целевое назначение их – качественно измельчать мясо при минимальных энергозатратах.

Для достижения поставленной цели необходимо, чтобы геометрические параметры всех пяти элементов были взаимосвязаны между собой. В серийном наборе эта взаимосвязь полностью отсутствует не только между ножами и решетками, но и между одними только решетками. Такая взаимосвязь отсутствует также и между режущими механизмами разных по производительности мясорубок и волчков, что делает невозможной унификацию режущих инструментов для всего класса мясорезательных машин.

С другой стороны, наши специальные исследования позволили впервые установить и теоретически обосновать положение о том, что в основе рядов R5, R10, R20, R40 и R80 заключены законы золотой пропорции, значение которой (1,618), в свою очередь, определяется из известного математического ряда Фибоначчи: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233 и т.д. Из ряда Фибоначчи следует, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = 1,618 = \Phi,$$

где Φ - золотая пропорция; a - число из ряда Фибоначчи; n - порядковый номер числа.

Это весьма важное обстоятельство и было использовано нами при совершенствовании конструкции ножей, решеток и всего механизма мясоизмельчительных машин. Исключая промежуточные математические выкладки, остановимся на главных моментах конструирования нового режущего механизма.

1. Диаметры отверстий перфорации в ножевых решетках выбираются как одно из чисел ряда Фибоначчи, начиная с цифры 8, и определяются по формуле

$$d_1 = 1,618 \cdot d_2, \quad (1)$$

где d_1 - диаметр отверстий перфорации приемной решетки; d_2 - диаметр отверстий перфорации выходной решетки; 1,618 - значение золотой пропорции.

2. Количество отверстий перфорации в ножевых решетках выбирается как одно из ряда чисел Фибоначчи и определяется по уравнению

$$Z_1 = \left[\frac{Z_2}{2,618} \right], \quad (2)$$

где Z_1 - количество отверстий перфорации приемной решетки; Z_2 - количество отверстий перфорации выходной решетки; 2,618 - значение золотой пропорции в квадрате, т.е. $(1,618)^2 = 2,618$ (квадратные скобки обозначают целую часть числа).

3. Наружные диаметры ножевых решеток определяются по формуле

$$D_2 = 1,272 D_1, \quad (3)$$

где D_1 - наружный диаметр приемной ножевой решетки; D_2 - наружный диаметр выходной ножевой решетки; 1,272 - коэффициент пропорциональности, равный $\sqrt{1,618} = 1,272$.

4. Толщина ножевых решеток уменьшается по ходу движения измельчаемого сырья и определяется по уравнению

$$b_2 = \frac{b_1}{4,236}, \quad (4)$$

где b_1 - толщина приемной решетки; b_2 - толщина выходной решетки; 4,236 - коэффициент пропорциональности, $4,236 = \Phi^3$.

Определение геометрических параметров режущего механизма по формулам (1)...(4) позволило получить следующее:

- проходное (ножевое) сечение рабочей камеры остается постоянным от подрезной решетки до выходной (в серийных конструкциях сечение уменьшается вдвое);
- гидравлические сопротивления ножевых приемной и выходной решеток равны между собой и равны гидравлическому сопротивлению подрезной решетки (в серийных гидравлическое сопротивление выходной решетки в 4 раза больше сопротивления приемной);
- постоянно значение коэффициента перфорации по рабочей поверхности ножевой решетки и решеток между собой.

Куттеры. 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.

Таким образом, для повышения эффективности процесса куттерования важно рационально выбрать оптимальные режимы работы куттера и конструктивные параметры рабочих органов, обеспечивающих, прежде всего, постоянное значение угла скольжения β по всей длине лезвия ножа. Зная закономерности повышения температуры фарша и полезную мощность, расходуемую режущим механизмом, можно рассчитать энергетические характеристики процесса.

Однако детальное изучение процесса куттерования, включающее влияние геометрических и конструктивных характеристик рабочих органов, существенно влияющих не только на качество измельчения и приготовления фарша, но и на энергетические характеристики куттеров до настоящего времени не проводилось.

Процесс резания в куттерах отечественного и зарубежного производств осуществляется серповидными ножами, режущая кромка которых выполнена в виде кривой, построенной по определенной спирали, при этом были исследованы: спираль Архимеда, гиперболическая спираль, циклические кривые (циклоида, эпициклоида и гипоциклоида), эвольвента окружности и другие.

При анализе вышеприведенных спиралей было выявлено, что постоянство β (угла скольжения) можно достичь, очертив лезвие только логарифмической спиралью с уравнением

$$R = a^{\varphi}, \quad (5)$$

где R – радиус-вектор спирали; a – постоянный коэффициент; φ – полярный угол.

Логарифмическая спираль – это единственная кривая, дуги которой всегда подобны одна другой: они могут менять свои размеры, но не форму. При $\beta = 0^\circ$ и $\beta = 90^\circ$ логарифмическая спираль вырождается в прямую линию и окружность соответственно. Такая спираль подобна самой себе, остается инвариантной при геометрических преобразованиях, называется «золотой» логарифмической спиралью и была положена в основу расчетной модели куттерного ножа, т.к. в наибольшей степени отвечает предъявляемым требованиям к конструкции рабочих органов куттеров [2].

Основным недостатком ножей, выполненных по спирали, является трудность выполнения заточки. Эта проблема решается путем выполнения лезвия в виде ломанной с i -м количеством прямолинейных участков по закону логарифмической спирали.

При этом важно установить математическую зависимость работы A , затраченной на процесс измельчения, от длины лезвия и силы резания на каждом участке ломанной прямой.

После проведения необходимых расчетов было получено уравнение для определения работы, совершаемой i -м прямолинейным участком лезвия:

$$A_i = P_i L_i \sin \beta = (q L_i + F \left(\frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} + f \right)) L_i \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (6)$$

где q – удельное сопротивление продукта резанию на единицу длины лезвия, Н/м^2 ; P_i – сила резания, соответствующая i -му прямолинейному участку; L_i – длина i -го прямолинейного участка; f – коэффициент трения продукта о нож; F – сила давления измельчаемого продукта на боковую поверхность ножа, Н ; α – угол заточки ножа, рад.

Известно, что с увеличением радиус-вектора R возрастает площадь вновь образованной поверхности продукта лезвием ножа. Учитывая уменьшение длин прямолинейных участков лезвия ($L_1 > L_2 > L_3 > L_4 > L_5$) и анализируя формулу (6), можно сделать

вывод, что работа, затрачиваемая на резание, прямо пропорциональна радиус-вектору данного прямолинейного участка. Учитывая, что угол скольжения $\beta = \text{const}$, создаются одинаковые наилучшие условия для измельчения продукта при оптимальных длинах участков лезвия ножа.

В результате данной работы показаны пути создания высокоэффективных конструкций рабочих органов оборудования для механической обработки мясного сырья на основе законов «золотого» сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосберегающий режущий механизм для измельчения мясного сырья / В. Я. Груданов [и др.] // Междунар. Аграрный журн. - 1999. - № 5. - С. 58-60.
2. **Бренч, А. А.** Расчетная модель куттерного ножа / А. А. Бренч // Материалы междунар. науч.-практ. семинара, посвященного 30-летию кафедры МАПП. – Могилев : Могилев. гос. ун-т продовольствия, 2004. - С. 95-99.
3. **Наварай, А. К.** Исследование процесса механической обвалки мясного сырья / А. К. Наварай, А. Л. Желудков, В. Я. Груданов // Архитектура, строительство, транспортные коммуникации. Аграрно-технические и аграрно-инженерные науки : тез. докл. 8-ой респ. науч. конф. студентов и аспирантов «НИРС - 2003». – Мн. : БНТУ, 2004. - С. 48.

Могилевский государственный университет продовольствия
Материал поступил 09.11.2005

A.A. Brench, A.K. Navaraj, S.N. Hodakova
Ways of perfection of designs of working parts
of machines for processing meat raw material
Mogilev State University of Food

In article is presented the new direction in designing working elements of meat - processing machines with uses of laws of the Nature (a "gold" proportion).