

УДК 637.531.45;658.567

Поступила в редакцию 22.07.2023
Received 22.07.2023

**В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Б. Торган, И. Е. Дацук, С. А. Зеленко,
М. Д. Агрощик**

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь.*

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ОБОСНОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ, КОНСТРУКТИВНЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО МЕХАНИЗМА ЭМУЛЬГАТОРА

Аннотация. Установлены существенные недостатки в конструкциях ножа и ножевых решетках, основные из которых сводятся к следующему: а) при уменьшении диаметра отверстий и увеличении их количества проходное (живое) сечение решетки уменьшается; б) ножевые решетки, входящие в стандартный комплект машины, имеют одинаковую толщину, что приводит к росту гидравлического сопротивления при уменьшении диаметра отверстий; в) в системе нож-решетка не используются законы скользящего резания.

Обоснованы геометрические параметры ножевых решеток, построена математическая модель, позволяющая через геометрические параметры одной решетки получать одинаковое проходное сечение решеток, входящих в стандартный комплект. Выполнен гидравлический расчет ножевых решеток, построена математическая модель, позволяющая получать равные между собой гидравлическое сопротивление всех решеток по линейным потерям давления.

Существенно улучшена конструкция трущейся пары нож-решетка, построена математическая модель, позволяющая использовать законы скользящего резания и определять оптимальную длину режущей кромки лезвия ножа в зависимости от ширины рабочей поверхности ножевой решетки.

Ключевые слова: эмульсатор, нож, ножевая решетка, пропускная способность, гидравлическое сопротивление, потери давления, законы скользящего резания, длина режущей кромки лезвия ножа, удельные энергозатраты, производительность.

**V. Ya. Grudanov, A. A. Brench, A. B. Torgan, I. E. Datsuk, S. A. Zelenko,
M. D. Atroshchik**

Educational institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus

IMPROVING THE QUALITY AND EFFICIENCY OF THE BUSINESS PROGRESS OF THIN GRINDING OF RAW MEAT ON THE BASIS OF SUBSTANTIATION OF THE GEOMETRIC STRUCTURAL AND HYDRAULIC PARAMETERS OF THE CUTTING MECHANISM OF THE EMULSIFIER

Annotation. Significant shortcomings in the designs of the knife and knife gratings the main of which are as follows: with a decrease in the diameter of the holes and an increase in their number the passage the live cross-section of the lattice decreases; the knife gratings included in the standard set of the machine have the same thickness which leads to an increase in hydraulic resistance with a decrease in the diameter of the holes; in the knife-grid system, the laws of sliding cutting are not used.

The geometric parameters of the knife gratings are substantiated, a mathematical model is constructed that allows, through the geometrical parameters of one grating, to obtain the same flow area of the gratings included in the standard set. The hydraulic calculation of the knife gratings has been performed, a mathematical model has been built, which makes it possible to obtain equal hydraulic resistance of all gratings from linear pressure losses.

The design of the rubbing knife grating pair has been significantly improved a mathematical model has been built that allows using the laws of sliding cutting and determining the optimal length of the cutting edge of the knife blade depending on the width of the working surface of the knife grating.

Keywords: laws of sliding cutting, length of the cutting edge of the knife blade, specific energy words: emulsifier, knife, knife grid, throughput, hydraulic resistance, pressure consumption, productivity.

Введение. На мясоперерабатывающих предприятиях наибольшее применение нашли эмульсаторы немецкой фирмы KARL SHNELL, получившей всемирную известность в пищевой промышленности [1].

Машины этого немецкого машиностроительного предприятия отличаются традиционной надежностью и постоянными инновациями с целью разработки и создания экономичных аппаратов высокого качества, адаптированных к конкретным технологическим задачам. В настоящее время фирма KS концентрирует свою деятельность на производстве машин и установок для промышленной переработки мясопродуктов, питания животных, деликатесных продуктов, изделий из плавленого сырья и кондитерских изделий.

Режущий механизм KS состоит из ножевой головки с 2-мя сменными лезвиями, вращающейся вместе с валом двигателя, и сменной измельчительной решетки, закрепленной неподвижно в режущем корпусе. Благодаря возможности осевой регулировки интервала между ножевыми вставками и измельчительной решеткой можно регулировать производительность, температуру и степень измельчения продукта.

Применяются также ножевые головки с 3-мя и 6-ю сменными лезвиями (вставками) [2,3,4,5,6].

Цель работы — повышение качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на основе совершенствования конструктивных, геометрических и гидравлических параметров режущих инструментов эмульсатора.

Предварительные сведения. В стандартной опции машины KS входят:

1) система резки: две ножевые головки (3 или 6 лучевые); три заменяемые решетки с диаметром отверстий от 0,5 до 18 мм; регулировочная гайка; двухлопастной выбрасыватель.

2. Микропроцессорное управление;

3. Контроль температуры продукта;

4. Откидная разгрузочная труба;

5. Отдельный пульт управления;

6. Откидная решетка на приемной воронке.

Дополнительно могут быть поставлены:

1. Коллоидная головка;

2. Металлоуловитель;

Технические данные эмульсаторов фирмы KARL SHNELL приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические данные эмульсаторов фирмы KS
Table 1. Technical data of KS emulsifiers

Модель эмульсатора	Диаметр режущего блока, мм	Объем воронки, л	Число оборотов, об/мин	Мощность двигателя, кВт	Производительность, кг/ч	Масса, кг
FD 225/100	225	165	2975	74	3500	960
FD 225/130	225	165	2960	95	4500	1020
FD 225/140	225	165	2950	107	5500	1050
FV 175/30	175	30	1450/2900	7,5/10	*	500
FV 175/100	175	100	1450/2900	7,5/10	*	950
FV 175/160	175	160	1450/2900	7,5/10	*	1150
F28/F46/F75/F100/KBFG	200/248/320	80-150	2880	21-74	1800-400	570-735
Настольный эмульсатор	86	30	5700	5,5	90-800	85
F/F18/F25	150/200	50	2880	7-18	800-1800	100-210

* — производительность зависит от вида сырья, степени измельчения и диаметра отверстий решеток.

Как видно из табл. 1, наружный диаметр ножевых решеток изменяется от 86 до 225 мм; диаметр отверстий перфорации ножевых решеток изменяется от 0,5 до 18 мм, а их количе-

ство — от 90 до 6000 шт., при этом ножевые головки могут иметь 2, 3 и 6 лезвий (вставок). Анализ конструкции режущего механизма фирмы KS и изучение опыта эксплуатации эмульсификаторов этой фирмы на промышленных предприятиях, в частности, на Ошмянском мясокомбинате, свидетельствуют о наличии существенных недостатков в конструкции ножа и ножевых решеток, основные из которых сводятся к следующему:

- ♦ при уменьшении диаметра отверстий и увеличении их количества проходное (живое) сечение ножевой решетки уменьшается, что снижает производительность, ухудшает качество продукта и увеличивает удельные энергозатраты;

- ♦ ножевые решетки, входящие в стандартный комплект машины, имеют одинаковую толщину равную 10 мм, а это означает, что в процессе измельчения сырья каждая ножевая решетка имеет различное гидравлическое сопротивление, причем с уменьшением диаметра отверстий и увеличением их количества гидравлическое сопротивление решетки возрастает, что приводит к резкому увеличению энергозатрат вплоть до остановки машины.

Так, например, расчеты показывают:

- ♦ при диаметре отверстий $d_0 = 10$ мм в ножевой решетке с наружным диаметром $D_n = 200$ мм и количестве отверстий $Z_0 = 90$ коэффициент пропускной способности $K = 0,248$;

- ♦ при $d_0 = 5$ мм; $Z_0 = 362$ шт. и $D_n = 200$ мм; $K = 0,227$;

- ♦ при диаметре отверстий $d_0 = 1,2$ мм в ножевой решетке с наружным диаметром $D_n = 200$ мм и количестве отверстий $Z_0 = 5422$ шт., коэффициент пропускной способности $K = 0,195$.

Коэффициент пропускной способности характеризует степень использования рабочей площади ножевой решетки и определяется как отношение суммарной площади отверстий к общей площади ножевой решетки, т.е.

$$K = \frac{\Sigma f_0}{F_p} \text{ или, } K = \frac{\pi d_0^2 \cdot Z_0}{4 \cdot F_p} \quad (1)$$

где Σf_0 — площадь отверстий, мм²; Z_0 — количество отверстий, шт.; F_p — площадь ножевой решетки.

С другой стороны, техническая производительность машины определяется по формуле [7, 8, 9, 10].

$$Q_T = S \cdot v_0 \cdot \rho_0 \cdot \psi_0, \quad (2)$$

где Q_T — техническая производительность эмульсификатора, кг/ч; S — площадь проходного (живого) сечения ножевой решетки, м²; v_0 — скорость продвижения сырья через отверстия ножевой решетки, м/с; ρ_0 — плотность сырья кг/м³; ψ_0 — коэффициент использования площади отверстий ножевой решетки ($\psi_0 = 0,8 \dots 0,9$).

Из формулы (2) следует, что при переходе решетки на другую с более мелкими отверстиями (из одного комплекта), при уменьшении S имеет место падение Q_T , что недопустимо. Ножевые решетки, входящие в стандартный комплект режущих инструментов эмульсификатора, должны иметь равное проходное (живое) сечение между собой, независимо от диаметра отверстий и их количества, при этом геометрические параметры ножевых решеток необходимо взаимовязать определенными соотношениями.

Геометрические параметры ножевых решеток. Построение математической модели [11, 12, 13, 14, 15].

Рассмотрим комбинацию из трех ножевых решеток №1, №2 и №3.

Определяем проходное сечение решетки №1.

$$S_1 = f_1 \cdot Z_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot Z_1. \quad (3)$$

Определяем проходное сечение решетки №2.

$$S_2 = f_2 \cdot Z_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot Z_2. \quad (4)$$

Определяем проходное сечение решетки №3.

$$S_3 = f_3 \cdot Z_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot Z_3. \quad (5)$$

По условию $S_1 = S_2 = S_3$

или

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \cdot Z_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot Z_2 = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot Z_3 \quad (6)$$

$$d_1^2 \cdot Z_1 = d_2^2 \cdot Z_2 = d_3^2 \cdot Z_3 \quad (7)$$

$$Z_2 = \frac{d_1^2 \cdot Z_1}{d_2^2} = Z_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad (8)$$

и

$$Z_3 = \frac{d_2^2 \cdot Z_2}{d_3^2} = Z_2 \left(\frac{d_2}{d_3} \right)^2 \quad (9)$$

Окончательно получаем

$$Z_{n+1} = \left[Z_n \left(\frac{d_n}{d_{n+1}} \right)^2 \right] \quad (10)$$

где n — порядковый номер ножевой решетки; d — диаметр отверстий в ножевой решетке; Z — количество отверстий в ножевой решетке, а квадратные скобки обозначают целую часть числа.

Таким образом, определение геометрических параметров одной решетки через геометрические параметры другой позволяет получить одинаковое проходное (живое) сечение решеток, входящих в стандартный комплект режущих инструментов.

Гидравлический расчет ножевых решеток. Построение математической модели. Определение потерь напора или давления является практически важной задачей, связанной с расчетом энергии, которая необходима для перемещения измельчаемого сырья через перфорированную ножевую решетку [16, 17, 18, 19, 20].

При движении измельчаемого сырья в рабочей камере эмульсатора с учетом потери энергии на преодоление гидравлического сопротивления ножевой решетки уравнение движения среды по закону Бернулли будет иметь следующий вид:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = H_{\text{пот}} \quad (11)$$

где P_1, P_2 — давление среды соответственно до и после ножевой решетки, Па; V_1, V_2 — скорость сырья соответственно до и после ножевой решетки, м/с; ρ — плотность среды, кг/м³; $H_{\text{пот}}$ — потери энергии (напора) на данном участке рабочей камеры, Па. Линейные потери напора в Па определяются по формуле:

$$H_{\text{л}} = \lambda \frac{l_0}{d_0} \cdot \frac{V^2}{2} \rho \quad (12)$$

где λ — коэффициент трения; l_0 — толщина отверстий перфорации ножевой решетки, м; d_0 — диаметр отверстий перфорации ножевой решетки, м; V — скорость движения сырья в отверстиях, м/с.

Величина потерь напора на преодоление местных сопротивлений в Па пропорциональна скоростному напору и плотности сырья и определяется как

$$H_{\text{м}} = \sum \xi \frac{V^2}{2} \rho \quad (13)$$

где ξ — безразмерный коэффициент местного сопротивления.

При прохождении через ножевую решетку сырье вначале испытывает внезапное сужение, а затем — внезапное расширение — местные сопротивления. Таким образом, общие потери давления в рабочей камере можно определить как сумму линейных и местных потерь давления транспортируемого потока сырья:

$$H_{\text{пот}} = H_{\text{л}} + H_{\text{м}} \quad (14)$$

Однако, как показывают расчеты, даже при постоянном значении проходного (живого) сечения с уменьшением диаметра отверстий при увеличении их количества, резко возраста-

ет гидравлическое сопротивление решетки, которое складывается из местных и линейных потерь. Линейные потери в основном определяются длиной отверстия, которая является толщиной решетки. В стандартном комплекте режущих инструментов эмульсаторов все решетки имеют одинаковую толщину. В этом случае потери давления (линейные) H_{λ} можно существенно снизить за счет уменьшения толщины ножевой решетки: при увеличении числа отверстий толщина решетки должна уменьшиться.

Для определения оптимальной толщины решетки проведем следующие вычисления, исходя из условия

$$H_{\lambda}^1 = H_{\lambda}^2 = H_{\lambda}^3 = \dots$$

или

$$H_{\lambda}^n = H_{\lambda}^{n+1} = H_{\lambda}^{n+2} = \dots$$

где n — порядковый номер ножевой решетки, считая от решетки с самыми крупными отверстиями

Для первой решетки:

$$H_{\lambda}^1 = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{V_1^2}{2} \cdot \rho_1 \cdot z_1 \quad (15)$$

Для второй решетки:

$$H_{\lambda}^2 = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2} \cdot \rho_2 \cdot z_2 \quad (16)$$

Принимаем, что

$$\lambda_1 \approx \lambda_2; v_1 \approx v_2; \text{ и } \rho_1 \approx \rho_2 \quad (17)$$

Тогда

$$H_{\lambda}^1 = H_{\lambda}^2 \quad (18)$$

и

$$\frac{l_1}{d_1} \cdot z_1 = \frac{l_2}{d_2} \cdot z_2 \quad (19)$$

где Z_1 и Z_2 — количество отверстий соответственно в первой и второй решетках,

$$l_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} = l_2 \frac{d_1}{d_2} \quad (20)$$

$$l_2 = l_1 \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{z_1}{z_2} \quad (21)$$

В общем виде

$$l_{n+1} = l_n \frac{d_{n+1}}{d_n} \cdot \frac{z_n}{z_{n+1}} \quad (22)$$

Таким образом, новую толщину ножевой решетки можно определить в зависимости от первоначальной толщины, количества новых отверстий и с учетом нового диаметра отверстий и в этом случае все решетки, входящие в стандартную комплектацию, будут иметь равное между собой гидравлическое сопротивление по линейным потерям давления.

Используя формулы (21) и (22), можно определить оптимальные параметры новых ножевых решеток, входящих в комплект режущих инструментов эмульсатора, которые представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что новые ножевые решетки при диаметрах отверстий 10, 5 и 1,2 мм имеют одинаковое проходное (живое) сечение при $K = \text{const}$ по сравнению с серийными, для которых $K \neq \text{const}$.

Таблица 2. Конструктивные параметры ножевых решеток
Table 2. Design parameters of knife grids

№ п/п	Параметр	Обозначение	Серийные решетки			Новые решетки		
1	Наружный диаметр решетки, мм	D_n	200			200		
2	Общая площадь решетки, мм ²	F_p	314000			314000		
3	Диаметр отверстий, мм	d_o	10	5	1,2	10	5	1,2
4	Количество отверстий, шт	Z_o	90	362	5422	90	397	6887
5	Площадь проходного (живого) сечения, мм ²	S	77851	71092	61290	77851	77910	77859
6	Коэффициент пропускной способности решетки	K	0,248	0,227	0,195	0,248	0,248	0,248
7	Толщина ножевых решеток, мм	b	10	10	10	10	5	3

Кроме того, уменьшение толщины у новых решеток с 10 мм до 5 мм и до 3 мм соответственно обуславливает равенство их гидравлических сопротивлений по линейным потерям давления.

Таким образом, новые ножевые решетки обеспечивают одинаковую производительность эмульсатора.

Совершенствование конструкции режущего механизма эмульсатора. Построение математической модели. При скользящем резании сопротивление перерезанию волокон и стенок клеток продукта уменьшается с возрастанием угла скольжения или, что то же самое, — с увеличением коэффициента скольжения и длины режущей кромки лезвия. Поэтому в системе нож-решетка необходимо использовать не только законы скользящего резания, но и максимальную длину режущей кромки лезвия. На рис. 1 представлена схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия в трущейся паре нож-решетка.

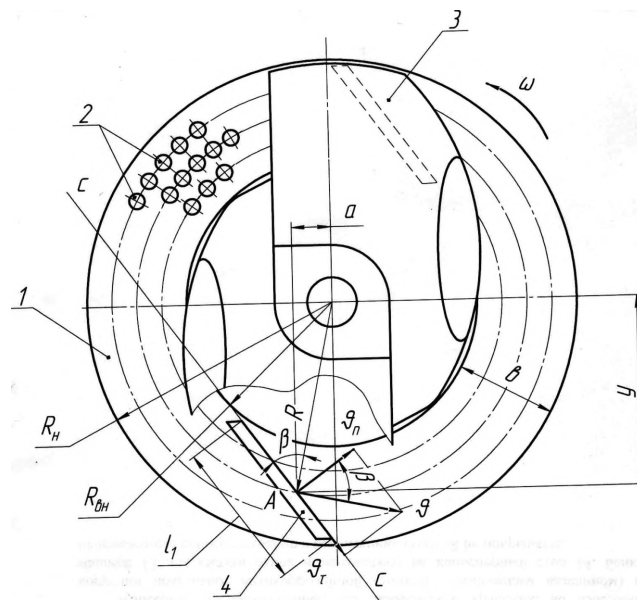


Рис. 1. Схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия
1 — ножевая решетка; 2 — отверстие перфорации; 3 — вращающийся нож; 4 — лезвие ножа; l — длина режущей кромки лезвия; R_n — наружный радиус решетки; R_{in} — внутренний радиус решетки; $C-C$ — касательная к внутренней окружности R_{in} ; V — линейная скорость произвольной точки A ; V_n , V_r — нормальная и составляющая линейной скорости V ; β — угол скольжения; a , y — координаты точки A ; R — радиус вращения точки A ; b — ширина кольца

Fig. 1. Scheme for determining the slip coefficient along the length of a straight blade
1 — knife grid; 2 — perforation hole; 3 — rotating knife; 4 — knife blade; l — is the length of the cutting edge of the blade; R_n — is the outer radius of the lattice; R_{in} — is the inner radius of the grating; $C-C$ — tangent to the inner circle R_{in} ; V — is the linear speed of an arbitrary point A ; V_n , V_r — are the normal and component of the linear velocity V ; β — is the slip angle; a , y — coordinates of point A ; R — is the radius of rotation of point A ; b — ring width

Как видно из рис. 1 коэффициент скольжения K_β определяется по формуле [21, 22, 23].

$$K_\beta = \frac{V_r}{V_n} = \operatorname{tg} \beta \frac{a}{y} \quad (23)$$

Режущая кромка лезвия 4 вращающегося ножа 3 проходит по касательной СС к внутренней окружности $R_{\text{вн}}$ и в этом случае длина l режущей кромки лезвия 4 будет максимальной, а коэффициент скольжения K_β — наибольшим.

В точке B ($y = 0$), $V_n = 0$ и $K_\beta = \infty$, т.е. резания не будет. При увеличении y K_β уменьшается. При $y = \text{const}$ K_β возрастает с увеличением a . Если $a = 0$

$K_\beta = 0$ — имеет место рубящее резание.

Таким образом, расположение режущей кромки лезвия наклонно по касательной СС к внутренней окружности $R_{\text{вн}}$ ножевой решетки позволяет получить наибольшую длину l лезвия 4 и, как следствие, создать наилучшие условия для скользящего резания и процесса измельчения в целом.

С увеличением коэффициента скольжения K_β суммарная сила сопротивления перерезанию продукта P и ее нормальная составляющая P_n уменьшаются, что и приводит к снижению энергозатрат на процесс измельчения.

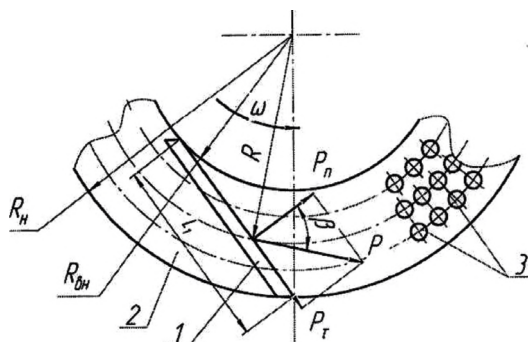


Рис. 2. Схема определения длины режущей кромки лезвия ножа.

P — сила сопротивления перерезанию продукта; P_n — нормальная составляющая силы P ;

P_τ — касательная составляющая силы P ; β — угол скольжения

Fig. 2. Scheme determining the length of the cutting edge of the knife blade P — is the force resistance to cutting the product; P_n — is the normal component of the P ; P_τ — is the tangential component of the force P ; β — slip angle

Нормальная P_n и касательная P_τ составляющие сопротивления перерезанию P (рис. 2) определяется по формулам:

$$P_n = P \cos \beta = q l \cos^2 \beta; \quad (24)$$

$$P_\tau = P \sin \beta = q l \sin \beta \cos \beta \quad (25)$$

где q — удельное сопротивление продукта на единицу длины лезвия, Н·м; l — длина режущей кромки лезвия ножа, участвующая в отрезании слоя продукта, м.

$$P = q \cdot l \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + K_\beta^2}}; \quad (26)$$

$$P_n = q \cdot l \cdot \frac{1}{1 + K_\beta^2}; \quad (27)$$

$$P_\tau = q \cdot l \cdot \frac{K_\beta^2}{1 + K_\beta^2}; \quad (28)$$

Из формул (24 — 26) следует, что с увеличением коэффициента скольжения K_β суммарная сила сопротивления перерезания P и ее нормальная составляющая P_n уменьшаются, причем P_n более значительно, чем P . Касательная составляющая P_τ вначале возрастает, достигая максимума при $K_\beta = 1$, после чего убывает, приближаясь по величине к P .

Из рис. 2 определяем оптимальную длину режущей кромки лезвия ножа:

$$L = \sqrt{b^2 + 2R_n (R_n - b)}, \quad (29)$$

где b — ширина кольца (рабочей поверхности решетки).

Заключение. На основе анализа литературных данных и патентно-информационных исследований, а также изучения основных закономерностей теории резания материалов сформулированы основные направления совершенствования конструкций режущих инструментов машин для тонкого измельчения мясного сырья. В частности установлено, что наилучшие показатели по энергозатратах и качеству готового продукта обеспечивает скользящее резание мясного сырья, а не рубящее, имеющее место в режущих механизмах эмульсатора.

На основе закономерностей скользящего резания получена формула для определения наибольшей длины режущей кромки лезвий вращающегося ножа в зависимости от ширины кольцевой рабочей поверхности перфорированных ножевых решеток, при этом определен оптимальный угол наклона режущей кромки лезвия ножа, позволяющей получить наибольший коэффициент скольжения.

Дано теоретическое обоснование геометрических и конструктивных параметров отдельно взятой ножевой решетки и ножевых решеток, входящих в стандартный комплект режущих инструментов машин, а именно:

- ♦ на основании теории предпочтительных чисел разработана расчетная модель перфорированной ножевой решетки, позволяющая получить одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности при концентрическом расположении отверстий решетки; [1];
- ♦ предложена новая теоретическая формула для расчета геометрических параметров ножевых решеток, входящих в комплект стандартного набора режущих инструментов: данная формула позволяет рассчитывать параметры перфорации одной решетки в зависимости от характеристик другой, что позволяет получить одинаковое проходное (живое) сечение для всего комплекта ножевых решеток;
- ♦ выполнен гидравлический расчет ножевых решеток и впервые выведена формула для расчета толщины ножевой решетки в зависимости от диаметра и количества отверстий перфорации: формула позволяет подравнивать гидравлические сопротивления ножевых решеток, входящих в стандартный набор режущих инструментов.

Новые технические решения защищены патентами РБ на изобретения №5244 и №5431.

Для оценки эффективности работы новых технических решений и проверки основных теоретических предпосылок необходимо проведение экспериментальных исследований, для чего требуется разработать, смонтировать и наладить лабораторный стенд и изготовить опытные образцы ножевых решеток и ножей.

Список использованных источников

1. Груданов В. Я. Теоретические основы повышения качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на эмульсаторах / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Б. Торган, И. Е. Дацук, С. А. Зеленко, В. В. Василевская // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2022. — №2 (56). — С. 45–55.
2. Адрианов, А. С. Литые решетки к волчкам с отверстиями малого диаметра / А. С. Адрианов, Г. А. Мартынов. — М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1980. — С.19–22. — (Экспресс информация, сер. мясная промышленность).
3. Антипов, С. Т. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 2. Том 2 / С. Т. Антипов, В. Я. Груданов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков, В. А. Панфилов, О. А. Ураков, В. А. Шаршунов; под ред. В. А. Панфилова и В. Я. Груданова — Минск: БГАТУ, 2008. — 591 с.
4. Антипов, С. Т. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 3 / С. Т. Антипов, В. Я. Груданов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков, В. А. Панфилов, О. А. Ураков, В. А. Шаршунов; под ред. В. А. Панфилова и В. Я. Груданова — Минск: БГАТУ, 2008. — 620 с.
5. Бабиченко, Л. В. Основы технологии пищевых производств: учебник для мех. фак. торг. вузов / Л. В. Бабиченко. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Экономика, 1983. — 216 с.
6. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 1 / С.Т. Антипов, В. Я. Груданов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков, В. А. Панфилов, О. А. Ураков, В. А. Шаршунов; под ред. В. А. Панфилова и В. Я. Груданова. — Минск: БГАТУ, 2007. — 420 с.

7. Антипов, С. Т. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 2. Том 1 / С. Т. Антипов, В. Я. Груданов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков, В. А. Панфилов, О. А. Ураков, В. А. Шарпунов; под ред. В. А. Панфилова и В. Я. Груданова. — Минск: БГАТУ, 2008. — 580 с.
8. Технологическое оборудование мясокомбинатов / С. А. Бредихин [и др.]. — М.: Колосс, 1997. — 392 с.
9. Бренч, А. А. Разработка новых конструкций ножей для тонкого измельчения мясного сырья / А. А. Бренч, Л. Т. Ткачева, В. И. Никулин // Оборудование и технологии пищевых производств: тем. сб. науч. тр. / Донецк: ДонГУЭТ, 1999. — С. 108–112.
10. Быстров, С. А. Новая конструкция ножей для измельчения мяса на волчках / С. А. Быстров, В. А. Степанова. — Мясная индустрия СССР. — 1976. — №6. — С. 18–19.
11. Генин, Э. С. Основные направления создания оборудования для мясной промышленности / Э. С. Генин. — Мясная индустрия СССР. — 1987. — №6. — С. 1–4.
12. Горбатов, А. В. Влияние некоторых технологических факторов на реологические свойства колбасного фарша и готовых изделий // А. В. Горбатов, В. Д. Косой, В. В. Елкин. — Мясная индустрия СССР. — 1976. — №1. — С. 23–26.
13. Горбатов, А. В. Реология мясных и молочных продуктов / А. В. Горбатов. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 384 с.
14. Груданов, В. Я. Применение чисел Фибоначчи и Золотой пропорции в конструировании рабочих органов технологического оборудования / В. Я. Груданов, В. И. Иванцов // Тез. докл. 13-ой научно-техн. конференции «Научно-технический прогресс в пищевой промышленности». — Могилев: МТИ, 1993. — С. 130.
15. Груданов, В. Я. Технологическое оборудование пищевых производств (лабораторный практикум): учебн. пособие / В. Я. Груданов, И. М. Кирик; под ред. В. Я. Груданова. — Мн.: Изд. Центр БГУ, 2005. — 205 с.
16. Даурский, А. Н. Резание пищевых материалов. Теория процесса, машины, интенсификация / А. Н. Даурский, Ю. А. Мачихин. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 240 с.
17. Иванцов, В. И. Совершенствование конструкций вращающихся ножей для измельчения продуктов / В. И. Иванцов // Тез. докл. международной научно-техн. конференции «Научно-технический прогресс в пищевой промышленности». — Могилев: МТИ, 1995. — С. 64.
18. Ивашов, В. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: учебное пособие: в 2 ч. / В. И. Ивашов. — СПб.: Гиорд, 2007. — Ч. 2: Оборудование для переработки мяса. — 464 с.
19. Изменение структурно-механических свойств фарша при механической обработке / В. М. Зацерковный [и др.] // Мясная индустрия СССР. — 1982. — №2. — С. 27 — 29.
20. Клименко, М. Н. Оценка качества среза пищевых продуктов / М. Н. Клименко, И. Н. Лебедев // Респ. межвед. науч.-техн. сб., 1983. — Вып. 29: Пищевая промышленность. — С. 25–27.
21. Кармас, Э. Технология колбасных изделий / Э. Кармас. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 215 с.
22. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. — М.: Химия, 1973. — 762 с.
23. Косой, В. Д. Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептура и контроль качества) / В. Д. Косой, В. П. Дорохов. — М.: ДеЛи принт, 2006. — 766 с.

Информация об авторах

Груданов Владимир Яковлевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

Бренч Андрей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: abrench@mail.ru

Information about authors

Grudanov Vladimir Yakovlevich, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

Brench Andrey Alexandrovich, PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: abrench@mail.ru

Торган Анна Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: anechkatorgan@mail.ru

Дацук Игорь Евгеньевич, старший преподаватель кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: Datsukigor@gmail.com

Зеленко Сергей Анатольевич, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Sergeyzelenko@mail.ru

Атрошчик Максим Дмитриевич, студент 3 курса учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: Atroshchyk1@yandex.by

Torhan Anna Borisovna, PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: anechkatorgan@mail.ru

Datsuk Igor Evgenyevich, Senior Lecturer of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Datsukigor@gmail.com

Zelenko Sergey Anatolyevich, Senior Lecturer of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Sergey-zelenko@mail.ru

Atroshchyk Maksim Dmitrievich, student of the Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: Atroshchyk1@yandex.by