УДК 637.02.73

Оценка зависимости производительности измельчителей мяса от их конструкции и физико-механических свойств сырья

Д-р техн. наук **В. В. ПЕЛЕНКО**[1], *канд. техн. наук* **Н. А. ЗУЕВ**[2], **Р. Г. ОЛЬШЕВСКИЙ**
[1]pelenko@mail.ifmo.ru, [2]zuev.nikolay@list.ru
Университет ИТМО
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
Канд. техн. наук **В. П. ИВАНЕНКО**[3], **А. Г. КРЫСИН**[4]
[3]vpi.vladimir@yandex.ru, [4]jol9912@yandex.ru
Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет
194021, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50

Производство мясной продукции занимает значительную долю в общем потреблении продовольствия страны, при этом одним из самых распространенных видов технических средств переработки мясного сырья являются волчки. В связи с этим совершенствование отечественного пищевого оборудования и, в частности волчков, на базе последних теоретических и технико-технологических разработок, является чрезвычайно актуальным и своевременным. Представленные нами исследования по данной тематике пищевой отрасли носят системный характер, отличаются высокой наукоемкостью, что дает возможность получать в целом хорошие результаты при внедрении новых разработок в отечественное пищевое машиностроение и пищевое производство. В публикации приведены материалы аналитических и экспериментальных исследований, позволяющие оценить влияние на производительность, энергоемкость и температурные режимы процесса измельчения, широкого спектра конструктивно-технологических параметров волчков, а также физико-механических характеристик мясного сырья. Разработанная математическая модель процесса измельчения мясного сырья позволяет определить приоритеты в совершенствовании узлов измельчительного оборудования и осуществлять оптимизацию его конструктивно-технологических параметров.

Ключевые слова: волчок, измельчение, мясо, математическая модель, кинематическая пара, решетка, нож, момент затяжки, энергоемкость.

Evaluation of meat grinder performance depending on their design and physical and mechanical properties of raw-material

D. Sc. **V. V. PELENKO**[1], *Ph. D.* **N. A. ZUEV**[2], **R. G. OLSZEWSKY**
[1]pelenko@mail.ifmo.ru, [2]zuev.nikolay@list.ru
ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9
Ph. D. **V. P. IVANENKO**[3], *Ph. D.* **A. G. KRYSIN**[4]
[3]vpi.vladimir@yandex.ru, [4]jol9912@yandex.ru
Saint-Petersburg State University of Trade and Economics
Russia, 194021, Saint-Petersburg, Novorossiyskaya st., 50

Meat production has a significant share of the total food consumption of the country, with grinders being one of the most common types of hardware processing of raw meat. Outdated equipment of food enterprises in Russia has not been replenished to the due extent by Russian models recently, and is being replaced by expensive imported samples that require original spare parts. It is not economically efficient for the equipment of average complexity in particular, e. g. meat grinders. That is why the improvement of the Russian food processing equipment, and grinders in particular, based on recent theoretical and technical-technological development is of great importance. Our research on this subject of food industry is of systemic nature, it is highly knowledge-intensive, that allows us to obtain good general results when new developments are being introduced in the Russian food engineering and food production. The materials of analytical and experimental studies are given to evaluate the impact of a wide range of structural and technological parameters of grinders as well as physical and mechanical characteristics of raw meat on performance, power consumption and temperature regimes of the grinding process The mathematical model of the raw meat grinding process has been developed to determine priorities for improving components of grinding equipment and to carry out the optimization of its design and technological parameters.

Keywords: grinder, grinding, meat, mathematical model, kinematic pair, plate, knife, torque, power consumption.

Актуальность технического перевооружения процессов переработки сырья в пищевой промышленности РФ диктуется необходимостью повышения экономической эффективности и гарантией успешной деятельность предприятий отрасли [1–3]. В настоящее время устаревающий парк оборудования пищевых производств заменяется, как правило, на дорогостоящую импортную технику, обслуживание которой и обеспечение запасными частями в большинстве случаев ставит предприятия в прямую зависимость от диктата поставщика. Стратегически грамотное, экономически обоснованное переоснащение мясоперерабатывающей отрасли отечественным технологическим оборудованием должно стать главным направлением при формировании технической политики научных организаций и промышленных предприятий.

В России качество разработки и объемы выпуска мясоизмельчительного оборудования не находят пока должной реализации. Торговые салоны, магазины и выставки заполнены зарубежными образцами волчков и мясорубок, в то время как отечественные машиностроительные заводы не загружены заказами в полной мере. В силу указанных обстоятельств, развитие отечественного пищевого машиностроения на базе современных научных и инновационных технологических разработок и идей является весьма актуальным, что касается и такого мясоперерабатывающего оборудования, как куттера, волчки и мясорубки.

Сформулированная позиция подкрепляется литературными данными об изменении соотношения между импортом и собственным производством мяса и мясопродуктов в Российской Федерации.

Так, доля собственного производства мяса и мясопродуктов в России к 2013 г. поднялась по сравнению с 2007 г. с 40% до 67%, достигнув в 2013 г. абсолютного максимума.

Последнее обстоятельство еще более обостряет проблему развития отечественного мясоперерабатывающего оборудования.

Наибольшее распространение в процессах переработки мясного сырья нашли волчки, мясорубки и куттера.

До недавних пор мясорубки выполнялись из наиболее доступных металлов — чугуна, простых сталей. В последние годы, с бурным развитием технического прогресса, комплектующие элементы мясорубок и волчков изготавливают из легированных сталей, алюминиевых сплавов, а также полимерных композиций. В течение всего исторического периода выпуска волчков и мясорубок постоянному совершенствованию подвергались механизмы измельчения, привод, появляются специальные ножи и измельчительные решетки. В конце XX века из простейшего механического устройства мясорубка превратилась в высокопроизводительный агрегат с рядом автоматических устройств, компьютерными программами управления, охлаждением теплонапряженных рабочих зон, автоматической мойкой. Задача автоматизации таких систем по своей сложности может быть отнесена к области разработки искусственного интеллекта и поэтому требует привлечения специалистов смежных отраслей знаний [4–8].

Резание мясного сырья — процесс энергоемкий и необратимый. Измельчение в мясорубках сопровождается уменьшением размера частей продукта, увеличением площади их поверхности, сжатием, перетиранием, выделением сока, перемешиванием, трением кусков о стенки корпуса, трением кусков между собой, трением о поверхность шнека, трением деталей режущего механизма, повышением температуры, явлением «шлюзования» (обратный ток мясного сырья в зазоре между корпусом и шнеком). Ножи и решетки перетачиваются после каждых 20–30 ч работы, при этом становятся все тоньше, поэтому за год приходится неоднократно заказывать ремонтные комплекты и периодически менять их в процессе эксплуатации.

В рамках перспективной позиции, заключающейся в том, что нет ничего более практичного, чем хорошая теория, для оптимизации конструктивно-технологических параметров волчков, минимизации параметров износа элементов и корректного описания особенностей процесса измельчения необходима разработка корректной математической модели процесса.

Математическая модель процесса измельчения в волчках

Структурный анализ измельчительного оборудования показывает, что только основных параметров оптимизации его конструкции и процесса измельчения насчитывается более 20, а общее количество этих переменных приближается к 30 наименованиям. О необходимости разработки корректной математической модели расчета конструктивных элементов волчков и параметров процесса измельчения пищевых материалов свидетельствует неполнота освещения в литературе теории резания и деформации мясного сырья, ее незавершенность [9–18], а также недостаточное научное обоснование разрабатываемых вариантов волчков, подтверждаемое чрезмерным многообразием конструктивных особенностей существующей измельчительной техники.

Такое положение дел обусловлено тем объективным обстоятельством, что минимальное количество параметров, по которому необходимо осуществлять оптимизацию процесса измельчения (экструзии и резания) мясного сырья в волчках слишком велико.

Наиболее общим подходом, позволяющим учесть влияние на процесс измельчения максимального количества определяющих факторов, является энергетический. Прописывая математическую модель процесса в форме уравнения движения измельчаемого материала, начиная от загрузочной камеры и до его истечения из выходной решетки после резания и переходя уравнению сохранения энергии, получим выражение для производительности волчка в зависимости от его основных конструктивных параметров [9–11].

Основными конструктивно-технологическими характеристиками волчка приняты параметры, соответствующие исходным данным работы [19].

Дополнительным, определяющим содержание и смысл данной публикации элементом уточненной математической модели, является момент затяжки гайки решетки $M^{\text{р}}_{\text{зат}}$, который предопределяет величину момента трения в паре нож-решетка $M^{\text{н.р}}_{\text{тр}} = f(M^{\text{р}}_{\text{зат}})$, а так же ряд других технологических параметров (например, температуру фарша).

Для описания процесса перемещения мясного сырья в цилиндре волчка и резания при продавливании через

выходную решетку использовалось уравнение сохранения энергии в форме уравнения баланса мощностей. При этом в структуре сложных процессов экструзии и резания кроме отмеченных в работе [19], выделена такая значимая компонента составляющих потерь мощности волчка, как мощность трения в кинематической паре нож-решетка.

Принимая за обобщенные координаты продольное перемещение X мясного сырья вдоль оси цилиндрического корпуса волчка и угловое перемещение ω вокруг этой оси, запишем уравнение сохранения энергии в каждый момент времени в виде:

$$\mathrm{d}V = \frac{M_{\text{прив}} - M_{\text{тр}}^{\text{ц.ок}} - M_{\text{нож}}^{\text{рез}} - M_{\text{нож}}^{\text{деф}} - M_{\text{тр}}^{\text{н.р}}}{F_{\text{рез}}^{\text{отв}} + F_{\text{тр}}^{\text{отв}} + F_{\text{тр}}^{\text{ц.ос}} + F_{\text{тр}}^{\text{ш}} + F_{\text{деф}}^{\text{мяс}}} \mathrm{d}\omega. \quad (1)$$

Момент сил трения в паре нож-решетка (дополнительный компонент)

$$M_{\text{тр}}^{\text{н.р}} = f(M_{\text{зат}}^{\text{р}}), \quad (2)$$

где $M_{\text{зат}}^{\text{р}}$ — момент затяжки гайки выходной решетки, Н·м.

Считая обобщенные силы независимыми от обобщенных скоростей, после интегрирования выражения (1) получим:

$$V = \frac{M_{\text{прив}} - M_{\text{тр}}^{\text{ц.ок}} - M_{\text{нож}}^{\text{рез}} - M_{\text{нож}}^{\text{деф}} - M_{\text{тр}}^{\text{н.р}}}{F_{\text{рез}}^{\text{отв}} + F_{\text{тр}}^{\text{отв}} + F_{\text{тр}}^{\text{ц.ос}} + F_{\text{тр}}^{\text{ш}} + F_{\text{деф}}^{\text{мяс}}} \omega. \quad (3)$$

Записывая уравнение движения сырья в процессе его подачи внутри цилиндрического корпуса шнековым механизмом и резания многоперьевым ножом, а также учитывая диссипативные потери энергии на трение и деформацию, получаем выражение для производительности волчка в зависимости от его основных конструктивных и технологических параметров:

$$Q = \rho \frac{M_{\text{прив}} - M_{\text{тр}}^{\text{ц.ок}} - M_{\text{нож}}^{\text{рез}} - M_{\text{нож}}^{\text{деф}} - M_{\text{тр}}^{\text{н.р}}}{F_{\text{рез}}^{\text{отв}} + F_{\text{тр}}^{\text{отв}} + F_{\text{тр}}^{\text{ц.ос}} + F_{\text{тр}}^{\text{ш}} + F_{\text{деф}}^{\text{мяс}}} \times$$
$$\times \frac{\pi d^2}{4} n \left[1 - \frac{4mS_{\text{лез}}}{\pi(D_{\text{н}} + D_{\text{в}})}\right] \omega. \quad (4)$$

Таким образом, удалось создать уточненную математическую модель функционирования волчка, устанавливающую зависимость производительности измельчительно-режущего оборудования от более чем 20 влияющих факторов — физико-механических характеристик мясного сырья и основных конструктивно-технологических параметров волчка, включая наиболее энергоемкий — момент трения в кинематической паре нож-решетка.

Результаты экспериментального определения затрат мощности на преодоление момента затяжки выходной решетки волчка

Как известно [9–11, 19], кроме полученной модели (4), существуют различные варианты расчета производительности и других параметров волчков и мясорубок:

— по *пропускной способности* режущего механизма;

— через *коэффициент заполнения объема витков шнека* продуктом;

— через *режущую способность* механизма.

Эти расчеты непрерывно уточнялись, дополнялись и видоизменялись. Однако, в них не учитывалось влияние момента затяжки гайкой выходной решетки волчка на производительность процесса измельчения и потери мощности, а также и другие факторы. Как показывают материалы исследований, приведенные в работах [12–18], отдельные аспекты сформулированной проблемы в литературе освещаются, однако системного решения задачи создания замкнутой математической модели процесса функционирования волчков не дано.

Из полученного нами соотношения (4) следует, что производительность и энергосиловые показатели функционирования волчков и мясорубок зависят от мощности двигателя, диаметра измельчительных решеток, диаметра отверстий в решетках, числа отверстий и геометрии их расположения, толщины решеток, геометрии заточки лезвия ножа, формы лезвийной кромки, числа лезвий, ширины лезвий, чистоты обработки рабочих поверхностей, физико-механических (реологических) показателей сырья, скорости вращения шнека и, в том числе, от *момента силы затяжки* гайки решетки. Величина момента затяжки весьма существенно влияет на температурные, энергетические параметры процесса измельчения и качественные характеристики мясного сырья [11], поэтому нами были проведены натурные эксперименты по количественной оценке этого воздействия.

На рис. 1 показана экспериментальная установка для определения влияния момента затяжки на энергетические и тепловые параметры процесса измельчения мясного сырья в волчках.

Измерение температуры режущей пары нож-решетка, а также величины потребляемой волчком мощности осуществлялось с использованием цифрового профессионального мультиметра «МАСТЕР PROFESSIONAL» М-890G$^+$ (Метод измерения — АЦП с двойным интегрированием). Относительная погрешность измерения реальной мощности по величине силы тока (до 1 А) составляет 1%, для предела шкалы прибора — 0,05%. Абсолютная погрешность измерения мультиметром температуры составляет 1 °С, при относительной погрешности для реальных значений 0,5%.

Количественное значение момента затяжки режущей пары нож-решетка гайкой корпуса устанавливалось посредством моментной отвертки «PROXXSON QUALITY INSPEKTION №08257 М13» с пределом измерения 10 Н·м, шагом 0,1 Н·м при абсолютной погрешности измерения 0,05 Н·м и относительной погрешности прибора не выше 1%.

На рис. 2 показаны результаты экспериментального исследования прироста температуры ΔT режущего узла нож-решетка волчка в зависимости от момента затяжки гайки $M_{\text{зат}}^{\text{р}} = M_{\text{зат}}$ и времени работы τ. Из графика видно, что с увеличением момента затяжки гайки от 1,0 до 10 Н·м прирост температуры режущего узла увеличивается от 1,5 до 7 °С за 60 с работы.

На рис. 3 показаны экспериментальные данные по увеличению потребляемой мощности при различной затяжке гайки, связанному с преодолением сил трения в паре нож-решетка.

Момент трения в паре нож-решетка, как следует из полученного графика, при различных усилиях затяж-

Рис. 1. Установка для определения влияния момента затяжки на энергетические и тепловые параметры процесса измельчения в волчках

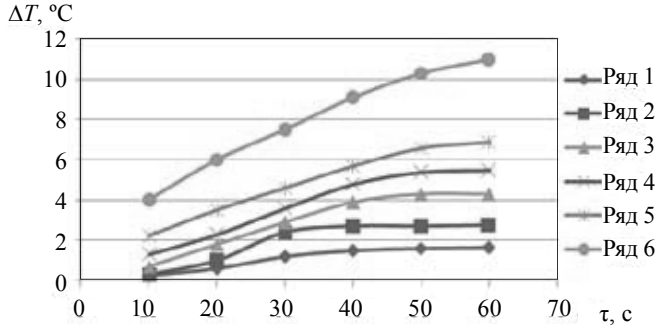

Рис. 2. График зависимости прироста температуры ΔT режущего узла волчка от момента затяжки гайки $M_{зат}$ и времени работы τ: 1 — 1,0 Н·м; 2 — 2 Н·м; 3 — 3 Н·м;4 — 4 Н·м; 5 — 5 Н·м; 6 — 10 Н·м

ки гайки может составлять до 30% общих затрат энергии на процесс измельчения.

Как известно из практики и литературных источников [9–11, 21], технология затяжки гайки сводится в настоящее время только лишь к качественному действию, без его количественной оценки, идентификации и нормирования — зажать гайку до упора, после чего отвернуть на четверть оборота назад. Количественно реальный, достигнутый момент затяжки, а тем более момент трения в кинематической паре нож-решетка не определен.

На основе разработанной математической модели (4) и полученных экспериментальных данных (рис. 2, 3) имеется возможность учета этого значимого фактора на энергетику процесса измельчения.

Важность регламентации момента затяжки гайки связана со следующими существенными обстоятельствами:

— возможностью устранения опасности перегрева продукта и его недопущения (см. рис. 2);

— необходимостью обеспечения минимального усилия, обеспечивающего такое давление в зоне контакта режущей пары нож-решетка, которое исключает возможность проникновения мясных волокон между элементами этой пары и не допускает возможного явления расклинивания;

— созданием условий равенства деформационного прогиба решетки и ножа, что обеспечивает в плоскости их взаимодействия равномерное распределение внутренних контактных усилий. В этом случае происходит равномерный и минимальный взаимный износ решетки

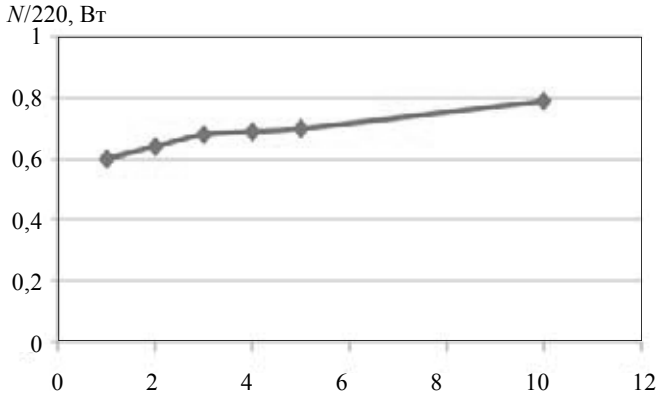

Рис. 3. График зависимости $\Delta I = f(M_{зат.})$

и ножа, а так же постоянно качественное по длине лезвия ножа резание мясного сырья, без передавливания мясных волокон и отжима жидкой фазы.

Последнее обстоятельство приводит к необходимости разработки для волчка математической модели взаимодействия элементов кинематической пары трения скольжения нож-решетка.

Алгоритм процедур состоит в определении максимальных прогибов ножа и решетки и обеспечении равенства этих величин. Для этого необходимо:

1. Рассчитать решетку как перфорированную пластину на прогиб.

2. Рассчитать нож на изгиб.

3. Приравнять величины для минимизации концентраций напряжений взаимодействующих между ножом и решеткой с целью исключения концентрации внутренних усилий взаимодействия в стыке нож-решетка и, как следствие, снижения износа на 30% (см. рис. 3).

Величины прогибов решетки при заданных ее размерах и известной нагрузке определяется условиями ее внешнего закрепления. Основных возможных вариантов закрепления решетки в волчке насчитывается около 18.

Рассмотрим наиболее желательный случай, когда решетка (рис. 4), перфорированная отверстиями, жестко закреплена по внутреннему контуру.

Основное дифференциальное уравнение симметричного изгиба круглой пластины постоянной толщины имеет вид

$$\frac{1}{r}\cdot\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left\{r\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left[\frac{1}{r}\cdot\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left(r\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}r}\right)\right]\right\}=\frac{q(r)}{D}, \qquad (5)$$

здесь r — расстояние от рассматриваемой точки до центра пластины, м; w — прогиб пластины, м; $q(r)$ — интенсивность внешней поперечной нагрузки, Н/м^2; D — цилиндрическая жесткость пластины, Н·м;

Запишем выражение для цилиндрической жесткости

$$D=\frac{E\delta_{\mathrm{p}}^3}{12(1-\upsilon^2)}, \qquad (6)$$

где E — модуль продольной упругости материала решетки, Па; δ_{p} — толщина решетки, м; υ — коэффициент Пуассона материала решетки.

В случае равномерно распределенной нагрузки $q(r) = q$ = const, когда она не зависит от координаты r выбранной точки, интегрирование уравнения (5) дает

$$w = -\frac{C_1 r^2}{4} - C_2 \ln r + C_3. \quad (7)$$

Решение (7), при выбранных условиях закрепления, в литературе не обнаружено, поэтому находим постоянные интегрирования из конкретных граничных условий самостоятельно. При этом нами принято: r — радиус решетки; b — радиус ее центрального отверстия; d — диаметр перфорирующих отверстий; n_r — количество отверстий, расположенных на длине радиуса решетки.

Тогда:

1) $r = b$; $w = 0$

$$0 = -C_1 \frac{b^2}{4} - C_2 \ln b + C_3. \quad (8)$$

2) $r = b$;

$$\varphi = -\frac{dw}{dr} = 0. \quad (9)$$

Определим $\frac{dw}{dr}$ из (7)

$$\frac{dw}{dr} = -C_1 \frac{r}{2} - \frac{C_2}{r}. \quad (10)$$

Условие (10) примет вид:

$$0 = -C_1 \frac{b}{2} - \frac{C_2}{b}. \quad (11)$$

3) Для выбранной схемы нагружения и закрепления перфорированной пластины (решетки) определим радиальный изгибающий момент в заделке при $r = b$:

$$M_r = \frac{q(a-b)^2}{2}. \quad (12)$$

Общее выражение для радиального изгибающего момента M_r имеет вид:

$$M_r = -D\left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\upsilon}{r}\frac{dw}{dr}\right). \quad (13)$$

Определим из (1) величину

$$\frac{d^2 w}{dr^2} = -\frac{C_1}{2} + \frac{C_2}{r^2}. \quad (14)$$

Подставив (10) и (14) в (13), получим

$$M_r = -D\left[-\frac{C_1}{2}(1+\upsilon) + \frac{C_2}{r^2}(1-\upsilon)\right]. \quad (15)$$

Для сечения в заделке $r = b$ уравнение (15) с учетом (12), примет вид

$$\frac{q(a-b)^2}{2} = D\left[\frac{C_1}{2}(1+\upsilon) - \frac{C_2}{b^2}(1-\upsilon)\right]. \quad (16)$$

Таким образом, полученные уравнения (8), (11) и (16) являются системой трех уравнений с тремя неизвестными C_1, C_2, C_3.

Окончательное выражение для уравнения упругой линии (прогиба пластины) запишется:

$$w = -\frac{q(a-b)^2 r^2}{8D} + \frac{qb^2(a-b)^2}{4D}\ln r + \frac{qb^2(a-b)^2}{8D} - \frac{qb^2(a-b)^2}{4D}\ln b;$$

максимальное значение прогиба примет вид

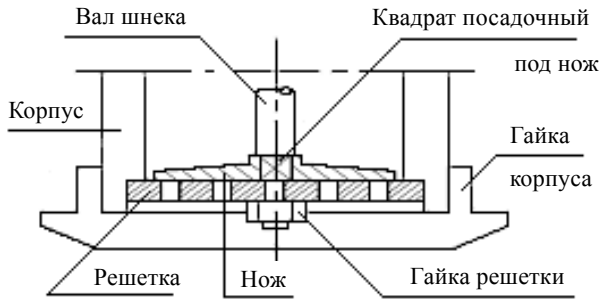

Рис. 4. Схема нагружения перфорированной решетки волчка

$$w_{max} = -\frac{q(a-b)^2}{4D}\left[\frac{(a-b)^2}{2} + b^2 \ln\frac{b}{a}\right]. \quad (17)$$

Вторым отличием от известных решений основного дифференциального уравнения симметричного изгиба круглой пластины постоянной толщины является наличие в решетке перфорированных отверстий, что влечет за собой существенное уменьшение цилиндрической жесткости.

Учитывая симметрию расположения перфорирующих отверстий, свойство аддитивности моментов инерции сечений при изгибе, а также пренебрегая краевыми эффектами концентрации напряжений в отверстиях, скорректированное значение цилиндрической жесткости может быть записано в следующем виде

$$D = \frac{E\delta_p^3}{12(1-\upsilon^2)}\left(\frac{a - n_r d - b}{a}\right). \quad (18)$$

Подставляя в соотношение (17) значение цилиндрической жесткости D пластины толщиной δ_p окончательно получим:

$$w_{max} = -\frac{3q(a-b)^2(1-\upsilon^2)}{E\delta_p^3}\left[\frac{(a-b)^2}{2} + b^2 \ln\frac{b}{a}\right]\left(\frac{a}{a - n_r d - b}\right). \quad (19)$$

Аналогичный расчет уравнения упругой линии ножа, работающего на изгиб, в подобных условиях нагружения и закрепления дает максимальную величину прогиба

$$f_{max} = -\frac{qs(a-b)^4}{8EJ}, \quad (20)$$

здесь J — момент инерции сечения ножа при сопротивлении изгибу.

Величина J определяется соотношением

$$J = \frac{S\delta_н^3}{12}, \quad (21)$$

где $\delta_н$ — толщина лезвия ножа; S — ширина лезвия.

Уравнение (20) с учетом (21) принимает вид

$$f_{max} = -\frac{3q(a-b)^4}{2E\delta_н^3}. \quad (22)$$

Условие обеспечения минимума концентрации напряжений в стыке нож-решетка и, тем самым, снижения износа записывается в виде

$$w_{max} = f_{max}. \quad (23)$$

С учетом соотношения (19) и (22) равенство (23) преобразуется к виду

$$\delta_р = \delta_н \left[1 + \frac{2b^2}{(a-b)^2} \ln \frac{b}{a}\right]^{\frac{1}{3}} \left(\frac{a}{a - n_r d - b}\right)^{\frac{1}{3}}. \qquad (24)$$

Таким образом, для обеспечения равномерного поля контактных напряжений в стыке нож-решетка и минимизации величины износа, толщина ножа и толщина решетки должны подчиняться соотношению (24).

Запишем исходные данные, характеризующие конструктивные размеры пары нож-решетка и физико-механические характеристики материала, из которого они изготовлены для расчета максимальных прогибов решетки и ножа, а также требуемого значения толщины ножа.

$a = 30 \cdot 10^{-3}$ м — радиус решетки;

$b = 5 \cdot 10^{-3}$ м — радиус центрального отверстия;

$\delta = 4 \cdot 10^{-3}$ м — толщина решетки;

$q = 0{,}7 \cdot 10^{6}$ Па — давление мясного сырья;

$n_r = 3$; $d = 3 \cdot 10^{-3}$м; $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Н/м^2; $\nu = 0{,}3$.

$$D = \frac{E\delta_р^3}{12(1-\upsilon^2)} \left(\frac{a - n_r d - b}{a}\right) = 5973 \text{ Н·м},$$

D — цилиндрическая жесткость пластины.

Результаты расчетов позволяют определить конструктивно-технологические параметры волчков: максимальные прогибы перфорированной решетки и ножа: $w_{max} = 216 \cdot 10^{-6}$ м; требуемое значение толщины ножа: $\delta_н = 2{,}1 \cdot 10^{-3}$ м.

Список литературы

1. *Смирнова Г. П., Смирнов А. А., Буркацкая О. А.* Сравнительный анализ развития малого предпринимательства с СЗФО РФ. — Lambert Academic Publishing. 2011.
2. *Пеленко В. В., Зуев Н. А., Азаев Р. А. и др.* О необходимости развития отечественного машиностроения для мясопереработки // Процессы и аппараты пищевых производств. 2008. № 1.
3. *Пеленко В. В.* Мясоперерабатывающее оборудование отечественного производства для средних и малых предприятий/Азаев Р. А., Зуев Н. А., Ольшевский Р. Г. и др./Развитие теории и практики создания оборудования для переработки пищевой продукции/Межвуз. сб. науч. тр., ч. 2. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. С. 3–10.
4. *Smirnov A.* Artificial intelligence: Concepts and Applicable Uses. Lambert Academic Publishing. 2013.
5. *Smirnov A., Vorobiev S., Abraham A.* The Potential Effectiveness of the Detection of Pulsed Signals in the Non-Uniform Sampling. ISDA 2013 Proceedings. IEEE, 2013.
6. *Smirnov A.* Creating utility — based agent using POMDP and MDP // Ledentsov Readings. 2013. С. 697.
7. *Smirnov A.* Modeling improved POS tagger using HMM. 2013.
8. *Азаев Р. А., Верболоз Е. И., Пеленко В. В.* Разработка процесса и установки для обвалки мяса реберных костей // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1.
9. *Горбатов А. В.* Реология мясных и молочных продуктов. — М.: Пищепромиздат, 1979. 384 с.
10. *Даурский А. Н., Мачихин Ю. А.* Резание пищевых материалов. — М.: Пищевая промышленность, 1980. 240 с.
11. *Ивашов В. И.* Оборудование для переработки мяса. — СПб.: ГИОРД, 2007 Т. 1, 2 760 с.
12. *Чижикова Т. В.* Машины для измельчения мяса и мясных продуктов. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. 302 с.
13. Food Engineering Principles and Selected Application. London, ACADEMIC PRESS, 1979. 377 с.
14. *Горлач Р. В.* Оптимизация состава и технологии производства сталей мясоизмельчительных комплексов/Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — СПб, 2003.
15. *Андрианов А. С.* Повышение надежности измельчителей (волчков) на основе анализа технологических и эксплуатационных воздействий/Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — Москва, 1982.
16. *Горяев В. В.* Совершенствование конструкций и методики расчета режущего механизма волчков/Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — Москва, 1989.
17. *Пеленко В. В., Зуев Н. А. и др.* Обзор зарубежных волчков и смесителей для мясопродуктов // Процессы и аппараты пищевых производств. 2008. № 1.
18. *Пеленко В. В., Зуев Н. А., Ольшевский Р. Г., Азаев Р. А., Кузьмин В. В.* Фундаментальные особенности процесса резания пищевых продуктов лезвийным инструментом // Процессы и аппараты пищевых производств. 2008. № 1.
19. *Пеленко В. В. и др.* Разработка математической модели процесса измельчения мясного сырья в волчках/Пеленко В. В., Арет В. А., Кайка А. Х., Тарабановский Ф. Б., Ольшевский Р. Г., Бобров С. В., Зуев Н. А. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 2.
20. Способ определения коэффициента трения мясного сырья // Патент на изобретение № 2380686, РФ, МПК G01N 19/02;/Пеленко В. В., Арет В. А., Зуев Н. А., Азаев Р. А.; заявл. 26.12.2008; опубл. 27.01.20104; Бюл. № 3.
21. *Работнов Ю. Н.* Механика деформируемого твердого тела. — М.: Наука, 1979. 744 с.

References

1. Smirnova G. P., Smirnov A. A., Burkatskaya O. A. The comparative analysis of development of small business with the Northwest federal district the Russian Federation. — *Lambert Academic Publishing.* 2011. (in Russian)
2. Pelenko V. V., Zuev N. A., Azaev R. A. et al. About need of development of domestic engineering industry for meat processing. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2008. No 1. (in Russian)
3. Pelenko V. V. Meat-processing equipment of a domestic production for medium scale and Development of the Theory and Practice of Creation of the Equipment for Processing of Food Products. Interuniversity Collection of Scientific Works small enterprises, Vol. 2. — St. Petersburg 2005. p. 3–10. (in Russian)
4. Smirnov A. Artificial intelligence: Concepts and Applicable Uses. *Lambert Academic Publishing.* 2013.
5. Smirnov A., Vorobiev S., Abraham A. The Potential Effectiveness of the Detection of Pulsed Signals in the Non-Uniform Sampling. *ISDA 2013 Proceedings. IEEE*, 2013.
6. Smirnov A. Creating utility — based agent using POMDP and MDP. *Ledentsov Readings.* 2013. С. 697.
7. Smirnov A. Modeling improved POS tagger using HMM. 2013.
8. Azaev R. A., Verboloz E. I., Pelenko V. V. Development of the process and a device for deboning costal meat. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda.* 2012. No 1. (in Russian)
9. Gorbatov A. V. Rheology of meat and dairy products. — Moscow. 1979. 384 p. (in Russian)

10. Daurskii A. N., Machikhin Yu. A. Cutting of food materials. — Moscow. 1980. 240 p. (in Russian)
11. Ivashov V. I. Equipment for processing of meat. — St. Petersburg. 2007. Vol. 1, 2 760 p. (in Russian)
12. Chizhikova T. V. Machines for grinding of meat and meat products. — Moscow. 1982. 302 p. (in Russian)
13. Food Engineering Principles and Selected Application. London, *ACADEMIC PRESS,* 1979. 377 c.
14. Gorlach R. V. Optimization of composition and the production technology became for meat-processing complexes. St. Petersburg. 2003. (in Russian)
15. Andrianov A. S. Reliability augmentation of grinders (tops) on the basis of the analysis of technological and operational influences. — Moscow, 1982. (in Russian)
16. Goryaev V. V. Enhancement of constructions and a method of calculation of the cutting mechanism of tops. — Moscow, 1989. (in Russian)
17. Pelenko V. V., Zuev N. A. et al. The review of foreign tops and adders for meat products. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2008. No 1. (in Russian)
18. Pelenko V. V., Zuev N. A., Ol'shevskii R. G., Azaev R. A., Kuz'min V. V. Fundamental features of process of cutting of foodstuff lezviyny tool. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2008. No 1. (in Russian)
19. Pelenko V. V. et al. Development of a mathematical model of process of grinding of meat raw materials in tops. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2013. No 2. (in Russian)
20. Method of determination of friction coefficient of meat raw materials. Patent on the invention №2380686, RF, MPK G01N 19/02;/Pelenko V. V., Aret V. A., Zuev N. A., Azaev R. A. (in Russian)
21. Rabotnov Yu. N. Mechanics of a deformable solid body. — Moscow. 1979. 744 p. (in Russian)

Третья Международная научно-техническая конференция

Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

20–22 мая 2015 г.

Организаторы:
Университет ИТМО
Международная академия холода

MAX IAR

Планируется работа по двум секциям:

- Методы, приборы и средства автоматизации теплофизических измерений
- Исследование теплофизических свойств веществ. Результаты и анализ

На конференции предполагается обсудить:

- Состояние теплофизических измерений в области низких и умеренных температур (методы и приборы).
- Результаты исследований теплофизических свойств.
- Вопросы автоматизации теплофизических измерений.
- Состояние метрологии теплофизических измерений.

Университет ИТМО, кафедра физики, ауд. 2417
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Контакты: т/ф.: (812) 575-61-30, e-mail: info@tfi.spb.ru
http://tfi.spb.ru