

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ В ЭМУЛЬСИТАТОРАХ

А.А. БРЕНЧ¹, М.О. ФИЛИППОВИЧ², Л.Т. ТКАЧЕВА¹

¹Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Ошмянский мясокомбинат», Ошмяны, Республика Беларусь

На основе математической модели перфорированной пластины разработаны и изготовлены новые конструкции ножевых решеток эмульсатора, имеющие одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности, минимальное гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление на прокачку рабочего тела и наибольшую пропускную способность. Применение разработанного режущего инструмента в зависимости от требуемой степени измельчения позволяет: снизить прирост температуры на 15,1...18,3 %, повысить производительность на 10,3...18,1 % и уменьшить удельную энергоёмкость на 7,1...10,8 %.

On the basis of mathematical model of the punched plate new designs of knives of lattices of the grinder, having identical throughput on all working surface, the minimal hydraulic resistance on prorolling of a working body, and the greatest throughput are developed and made. Application of the developed cutting tool depending on a required degree of crushing allows: to lower a gain of temperature on 15,1 ... 18,3 %, to raise productivity on 10,3 ... 18,1 % and to reduce specific power consumption on 7,1 ... 10,8 %.

Введение

Мясопродукты представляют собой сложные по химическому составу и структурному строению вещества. Нагревание измельчаемого мясного сырья вызывает в нем нежелательные физико-химические изменения. С целью предотвращения перегрева процесс измельчения осуществляют в несколько стадий. Вначале сырье измельчается в волчках путем использования в режущем узле ряда ножей и перфорированных решеток, диаметр которых ступенчато изменяется до 0,003 м в выходных решетках. Для более тонкого измельчения применяются куттеры. Также для тонкого измельчения мясного сырья применяются эмульсаторы [1, 2]. Данные машины оснащены режущим механизмом, состоящим из вращающейся с валом двигателя ножевой головки, оснащенной 3-мя или 6-ю сменными лезвиями (вставками) и решеткой, закрепляемой в корпусе режущей камеры. Наличие осевой регулировки зазора между ножевыми вставками и решеткой позволяет изменять пропускную способность, температуру и степень измельчения обрабатываемого продукта.

Однако, несмотря на разнообразие типов мясоизмельчительных машин, в ряде случаев они не обеспечивают выполнение технологических требований по качественному измельчению мясного сырья. В работе эмульсаторов часто наблюдается ухудшение качества отрезания и затаскивание пленок и волокон в образующийся между ножом и решеткой зазор: необходимо постоянное плотное прилегание вращающихся ножей к плоскостям решеток, что в свою очередь приводит к более интенсивному износу трущейся пары и к снижению эксплуатационной надежности машины.

Основная часть

Математическая модель решетки эмульсатора

Комплексные исследования структурно-механических и ряда технологических характеристик фарша при измельчении не позволяют научно обоснованно подойти к расчету, осуществлению и прогнозированию этого процесса с целью получения готовых продуктов высокого качества при стабилизированных выходах. В результате любого механического воздействия (перемешивания, растирания, измельчения, резания и пр.) на продукт изменяются величины его физических свойств и технологические показатели. Для получения желаемого эффекта необходимо подвести к продукту определенное количество полезной энергии, которая вызывает изменение качества продукта. Другая часть

энергии из общей расходуется на преодоление сил сопротивления и трения, преобразуясь в теплоту.

Решетка эмульсатора (перфорированная пластина) должна иметь одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности и минимальное гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление на прокачку рабочего тела.

Разобьем теперь перегородку (рис. 1) на условные концентрические окружности, радиусы которых определяются по формуле:

$$R_n = (\sqrt{\Phi})^n R_0, n = 1, 2, 3, 4 \dots, \quad (1)$$

где R_0 – радиус центрального отверстия;

Φ – коэффициент «золотой» пропорции ($\Phi = 1,618$) [3].

Отметим, что отверстия в кольцах располагаются на центральных радиусах каждого кольца. При этом предположении нетрудно показать, что пропускная способность любого кольца будет примерно одинаковой, если выбирать количество отверстий в каждом кольце равным соответствующим числу Фибоначчи. Действительно, пропускная способность n -го кольца с числом отверстий a равна

$$K_{i,n} = \frac{a_i f_0}{\pi(R_n^2 - R_{n-1}^2)}, \quad (2)$$

где $f = \pi r_0^2$ – площадь отверстия.

Соответственно для $(i+1)$ -го кольца с числом отверстий $(n+1)$ имеем

$$K_{i+1,n+1} = \frac{a_{n+1} f_0}{\pi(R_{i+1}^2 - R_i^2)}, \quad (3)$$

По условию $K_{i,n} \approx K_{i+1,n+1}$, следовательно,

$$\frac{a_n f_0}{\pi(R_i^2 - R_{i+1}^2)} : \frac{a_{n+1} f_0}{\pi(R_{i+1}^2 - R_i^2)} = 1. \quad (4)$$

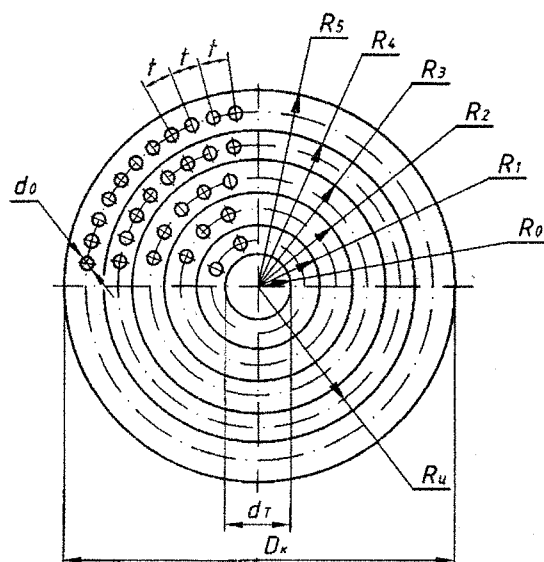


Рис. 1 Схема перегородки, перфорация которой рассчитана на основе соотношения «золотой» пропорции: D_k – диаметр наружного корпуса перегородки; d_t – диаметр посадочного отверстия; d_o – диаметр отверстий; R_0 – радиус посадочного отверстия; R_1 – радиус первого условного кольца; $R_{2..5}$ – радиусы второго...пятого условных колец; R_n – центральный радиус n -го условного кольца

Отсюда получаем:

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} \approx \frac{R_{i+1}^2 - R_i^2}{R_i^2 - R_{i-1}^2} = \frac{\alpha^{i+1} R_0^2 - \alpha^i R_0^2}{\alpha^i R_0^2 - \alpha^{i-1} R_0^2} = \Phi \quad (5)$$

Таким образом, чем больше количество отверстий a_n в кольцах, тем точнее будет соблюдаться условие $K_{i,n} \approx K_{i+1,n+1}$ и, тем самым, будет уменьшаться аэродинамическое (гидравлическое) сопротивление перегородки.

Данная модель справедлива при любом диаметре отверстий и различных их количествах, но значения диаметров отверстий и их число должно быть принято из ряда чисел Фибоначчи [4].

Результаты

экспериментальных исследований

В колбасном цехе ОАО «Ошмянский мясокомбинат» для проведения исследований был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, состоящий из промышленного эмульсатора KS F10/031 и контрольно-измерительных приборов.

Конструктивными и режимными входными регулируемые параметрами эмульсатора выбраны коэффициент проходного сечения ножовой решетки ($K_{пр}$), толщина решетки (σ , мм), частота вращения ножа ($n_{пр}$, об/мин) и коэффициент заполнения загрузочной воронки (K_3).

Коэффициент проходного сечения ножовой решетки определяется по формуле:

$$K_{пр} = \frac{F_p}{\sum F_o} = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{n.o.}^2}{4} \cdot \frac{1}{\pi \cdot d_o^2 \cdot z} = \frac{d_p^2 - d_{n.o.}^2}{d_o^2 \cdot z} \quad (6)$$

где F_p – площадь ножовой решетки, m^2 ,
 $\sum F_o$ – суммарная площадь отверстий в решетке, m^2 ,
 d_p – диаметр решетки, м,
 $d_{n.o.}$ – диаметр посадочного отверстия, м,
 d_o – диаметр отверстия в ножовой решетке, м,
 z – количество отверстий в ножовой решетке.

В результате произведенных расчетов для серийной решетки с диаметром отверстий 10 мм $K_{пр1} = 0,46$; для разработанной решетки с диаметром отверстий 10 мм $K_{пр2} = 0,47$; для серийной решетки с диаметром отверстий 5 мм $K_{пр3} = 0,35$; для разработанной решетки с диаметром отверстий 5 мм $K_{пр2} = 0,45$.

Также одним из определяющих факторов, влияющих на качество и энергоемкость процесса измельчения мясного сырья в эмульсаторах, является толщина ножовой решетки, которая варьируется в пределах от 6 до 12 мм ($\sigma_1 = 6$ мм, $\sigma_2 = 8$ мм, $\sigma_3 = 10$ мм, $\sigma_4 = 12$ мм).

Коэффициент заполнения загрузочной воронки варьировался в пределах от 0,25 до 1 ($K_{31} = 0,25$, $K_{32} = 0,5$, $K_{33} = 0,75$, $K_{34} = 1$).

Для определения оптимальных режимных параметров работы эмульсатора в эксперименте задавали частоту вращения ножа в диапазоне от 1500 до 3000 об/мин ($n_1 = 1500$ об/мин, $n_2 = 2000$ об/мин, $n_3 = 2500$ об/мин, $n_4 = 3000$ об/мин).

В качестве выходных параметров выбраны производительность эмульсатора (Π , кг/ч), прирост температуры сырья во время измельчения (Δt , °C) и удельная энергоемкость процесса ($n_{уд}$, Вт·ч/кг).

Таким образом, для экспериментальных исследований процесса тонкого измельчения в эмульсаторах были выбраны следующие характеристики:

- коэффициент проходного сечения ножовой решетки $K_{пр}$;
- толщина ножовой решетки (σ , мм);
- частота вращения ножа (n , об/мин);
- коэффициент заполнения загрузочной воронки (K_3);
- производительность эмульсатора (Π , кг/ч);
- прирост температуры сырья во время измельчения (Δt , °C)

- удельная энергоемкость процесса ($n_{уд}$, Вт·ч/кг)

После обработки результатов эксперимента получена графическая зависимость прироста температуры от управляемых переменных: коэффициента проходного сечения решетки ($K_{пр}$); толщины решетки (σ), частоты вращения (n) и коэффициента заполнения воронки (K_3), представленная на рис. 2.

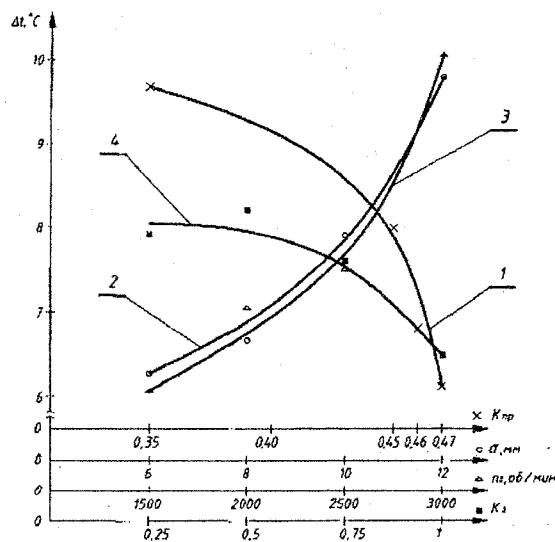


Рис. 2. Зависимость прироста температуры эмульсатора от управляемых переменных: 1 – $K_{пр}$; 2 – σ ; 3 – n ; 4 – K_3

Полученный график позволяет наглядно оценить степень влияния режимно-конструктивных параметров эмульсатора на прирост температуры обрабатываемого сырья в процессе измельчения.

Для прогнозирования и расчетов основных технологических характеристик обрабатываемого сырья после обработки экспериментальных данных получено уравнение, позволяющее определять прирост температуры во время измельчения:

$$\Delta t = 0,0038 K_{np}^{-1,29} \sigma^{0,63} n^{0,66} K_3^{-0,11},$$

где K_{np} – коэффициент проходного сечения ножевой решетки; σ – толщина ножевой решетки, мм; n – частота вращения ножа, об/мин; K_3 – коэффициент заполнения загрузочной воронки.

После анализа значимости влияния каждого входного параметра, по показателю степени, было получено следующее уравнение:

$$\Delta t = 0,0038 K_{np}^{-1,29} \sigma^{0,63} n^{0,66}. \quad (8)$$

Для графического отражения влияния конструктивных параметров режущего инструмента на производительность построена зависимость производительности от управляемых переменных K_{np} , σ , n , K_3 (рис. 3).

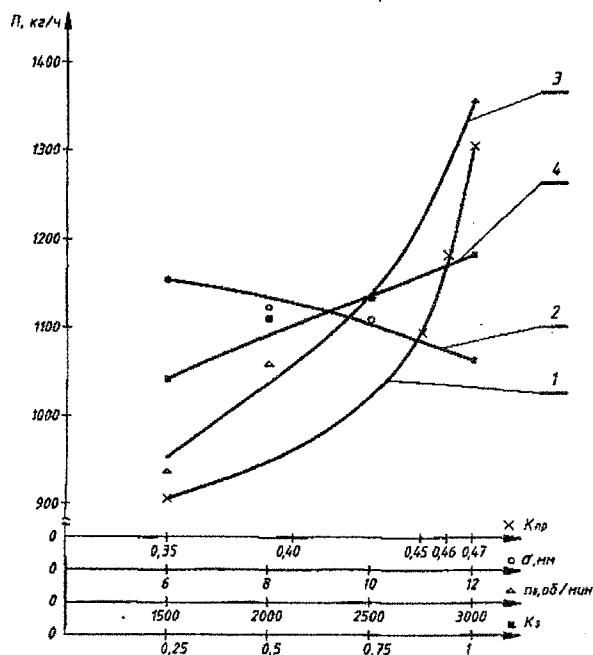


Рис. 3. Зависимость производительности эмульсатора от управляемых переменных: 1 – K_{np} ; 2 – σ ; 3 – n ; 4 – K_3 .

При обработке полученных экспериментальных данных получена зависимость производительности конструктивных параметров эмульсатора

$$P = 70,53 K_{np}^{1,05} \sigma^{-0,1} n^{0,51} K_3^{0,09}. \quad (9)$$

После анализа значимости влияния каждого входного параметра, по показателю степени, было получено следующее уравнение:

$$P = 70,53 K_{np}^{1,05} n^{0,51}. \quad (10)$$

Комплексные исследования структурно-механических и технологических характеристик фарша при тонком измельчении фарша в эмульсаторе позволили научно обоснованно подойти к расчету, осуществлению и прогнозированию этого процесса с целью получения готовых продуктов высокого качества.

На рис. 4 представлена зависимость удельной энергоёмкости эмульсатора ($n_{y\partial}$, Вт·ч/кг), выбранная основным энергетическим параметром, характеризующим работу эмульсатора от K_{np} , σ , n и K_3 .

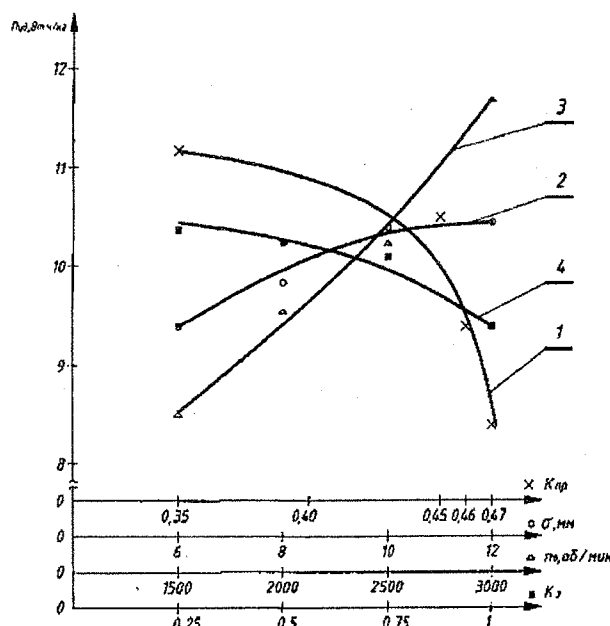


Рис. 4. Зависимость удельной энергоёмкости эмульсатора от управляемых переменных: 1 – K_{np} ; 2 – σ ; 3 – n ; 4 – K_3 .

Уравнение для определения удельной энергоёмкости процесса измельчения имеет вид:

$$n_{y\partial} = 0,13 K_{np}^{-0,72} \sigma^{0,15} n^{0,44} K_3^{-0,05}. \quad (11)$$

После анализа значимости влияния каждого входного параметра, по показателю степени, было получено следующее уравнение:

$$n_{y\partial} = 0,13 K_{np}^{-0,72} \sigma^{0,15} n^{0,44}. \quad (12)$$

Полученные экспериментальные зависимости удельной энергоёмкости процесса тонкого измельчения мясного сырья, производительности и прироста температуры сырья от режимных и конструктивных особенностей эмульсатора, позволяют наглядно доказать возможность применения разработанных конструкций режущего инструмента.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на прирост температуры оказывает коэффициент проходного сечения решетки, ее толщина и частота вращения ножа. Причем, как видно из графиков, при одинаковой степени измельчения ($d_0 = 10$ мм) использование разработанной конструкции решетки снижает прирост температуры сырья на 18,3 % по сравнению с серийной. При $d_0 = 5$ мм применение нового режущего инструмента позволяет снизить прирост температуры на 15,1 %.

2. Определяющими параметрами, влияющими на производительность, являются коэффициент проходного сечения решетки и частота вращения ножа. Причем, как видно из графиков, при одинаковой степени измельчения ($d_0 = 10$ мм) использование разработанной конструкции решетки повышает производительность на 18,1 % по сравнению с серийной. При $d_0 = 5$ мм применение нового режущего инструмента позволяет повысить производительность на 10,3 %.

3. Главными параметрами, влияющими на энергоемкость процесса тонкого измельчения из исследуемых параметров, являются коэффициент проходного сечения решетки, ее толщина и частота вращения ножа. Как видно из графиков, при одинаковой степени измельчения ($d_0 = 10$ мм) возможно уменьшить удельную энергоемкость на 7,1 %. Использование разработанного нового режущего инструмента с диаметрами отверстий $d_0 = 5$ мм позволяет уменьшить удельную энергоемкость на 10,8 %.

Заключение

На основе математической модели перфорированной пластины разработаны и изготовлены новые конструкции ножевых решеток эмульсатора, имеющие одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности, минимальное гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление на прокачку рабочего тела, и наибольшую пропускную способность.

Новый режущий механизм успешно прошел производственные сравнительные испытания в колбасном цехе ОАО «Ошмянский мясокомбинат» на базе промышленного эмульсатора KS F10/031.

Применение разработанного режущего инструмента в зависимости от требуемой степени измельчения позволяет: снизить приrost температуры на 15,1...18,3 %, повысить производительность на 10,3...18,1 % и уменьшить удельную энергоемкость на 7,1...10,8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимошук, И.И. Общая технология мяса и мясопродуктов / И.И. Тимошук, Н.А. Головаченко, С.А. Сенников. – Урожай, 1989. – 216 с.
2. Пелеев, А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А.И. Пелеев – М.: Пищевая пром-сть, 1971. – 520 с.
3. Груданов, В.Я. «Золотая» пропорция в инженерных задачах / В.Я. Груданов. – Могилев.: МГУ им. А.А. Кулешова, 2006. – 288 с.
4. Решетка к измельчителю мясо-костного сырья / Груданов В.Я., Манько А.П., Иванцов В.И., Белохвостов Г.И. // Патент РФ №2047368. М.кл.В02С 18/36, заявлено 16.11.92., опубли. 10.11.95. Бюлл. № 31.