

УДК 637.531.4

В. Я. ГРУДАНОВ<sup>1</sup>, А. А. БРЕНЧ<sup>1</sup>, Л. Т. ТКАЧЕВА<sup>1</sup>, М. О. ФИЛИППОВИЧ<sup>2</sup>

**ТОНКОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МЯСНОГО СЫРЬЯ  
НОВЫМ РЕЖУЩИМ МЕХАНИЗМОМ В ЭМУЛЬСИТАТОРАХ**

<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет

<sup>2</sup>ОАО «Ошмянский мясокомбинат»

(Поступила в редакцию 06.03.2010)

**Введение.** Для тонкого измельчения мясного сырья при производстве колбасных изделий в ряде случаев применяются эмульсификаторы [1, 2]. Данные машины оснащены режущим механизмом, который состоит из вращающейся с валом двигателя ножевой головки, оснащенной 3 или 6 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.

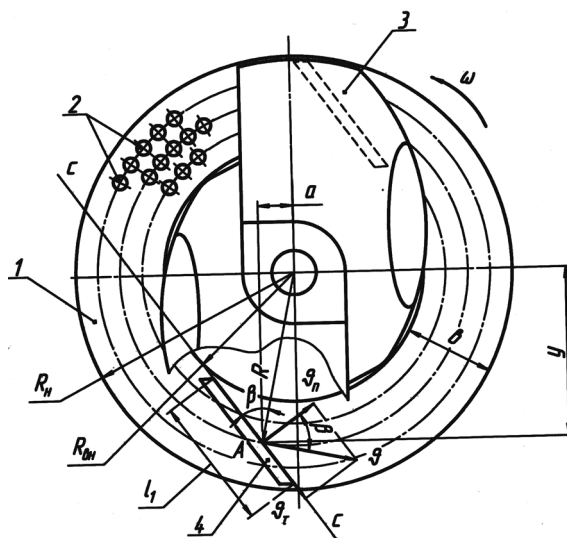
Несмотря на разнообразие типов мясоизмельчительных машин, в ряде случаев они не обеспечивают выполнение технологических требований по качественному измельчению мясного сырья. В работе эмульсификаторов часто наблюдается ухудшение качества отрезания и затаскивание пленок и волокон в образующийся между 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.

**Разработка новых конструкций режущего механизма эмульсификатора.** При скользящем резании сопротивление перерезанию волокон и стенок клеток продукта уменьшается с возрастанием угла скольжения. Однако, в системе «нож – решетка» необходимо использовать не только законы скользящего резания, но и максимальную длину режущей кромки лезвия.

Как видно из рис. 1, коэффициент скольжения  $K_{\beta}$  определяется по формуле

$$K_{\beta} = \frac{V_{\tau}}{V_n} = \operatorname{tg} \beta = \frac{a}{y}.$$

Рис. 1. Схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия: 1 – ножевая решетка; 2 – отверстия перфорации; 3 – вращающийся нож; 4 – лезвие ножа;  $l_1$  – длина режущей кромки лезвия;  $R_n$  – наружный радиус решетки;  $R_{вн}$  – внутренний радиус решетки;  $CC$  – касательная к внутренней окружности  $R_{вн}$ ;  $V$  – линейная скорость произвольной точки  $A$ ;  $V_n$ ,  $V_{\tau}$  – нормальная и касательная составляющие линейной скорости  $V$ ;  $\beta$  – угол скольжения;  $a$ ,  $y$  – координаты точки  $A$ ;  $R$  – радиус вращения точки  $A$ ;  $b$  – ширина кольца;  $\omega$  – угловая скорость ножа



Режущая кромка лезвия 4 вращающегося ножа 3 проходит по касательной  $CC$  к внутренней окружности  $R_{вн}$ . В этом случае длина  $l_1$  режущей кромки лезвия 4 будет максимальной, а коэффициент скольжения  $K_\beta$  наибольшим.

Согласно формуле (1), при увеличении  $y$  коэффициент скольжения  $K_\beta$  уменьшается, при  $y = \text{const}$  он возрастает с увеличением  $a$ . Если  $a = 0$ , то  $K_\beta = 0$ , т. е. имеет место рубящее резание.

Таким образом, расположение режущей кромки лезвия наклонно по касательной  $CC$  к внутренней окружности  $R_{вн}$  ножевой решетки позволяет получить наибольшую длину  $l_1$  лезвия 4 и, как следствие, создать наилучшие условия для скользящего резания и процесса измельчения в целом.

С увеличением  $K_\beta$  суммарная сила сопротивления перерезанию продукта  $P$  и ее нормальная составляющая  $P_n$  уменьшаются, что приводит к снижению энергозатрат на процесс измельчения.

Нормальная  $P_n$  и касательная  $P_\tau$ , составляющие сопротивления перерезанию  $P$  (рис. 2), определяются по следующим выражениям:

$$P_n = P \cos \beta = ql \cos^2 \beta, \quad (2)$$

$$P_\tau = P \sin \beta = ql \sin \beta \cos \beta, \quad (3)$$

$$P = ql_1 \frac{1}{\sqrt{1 + K_\beta^2}}, \quad (4)$$

где  $q$  – удельное сопротивление продукта на единицу длины лезвия, Н/м;  $l_1$  – длина режущей кромки лезвия ножа, участвующая в отрезании слоя продукта, м.

Из данных формул следует, что с увеличением  $K_\beta$  суммарная сила сопротивления перерезания  $P$  и ее нормальная составляющая  $P_n$  уменьшаются, при этом  $P_n$  более значительно, чем  $P$ . Касательная составляющая  $P_\tau$  вначале возрастает, достигая максимума при  $K_\beta = 1$ , а затем убывает, приближаясь по величине к  $P$ .

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

$$l_1 = \sqrt{b^2 + 2R_n(R_n - b)} \quad (5)$$

( $b$  – ширина кольца (рабочей поверхности решетки)).

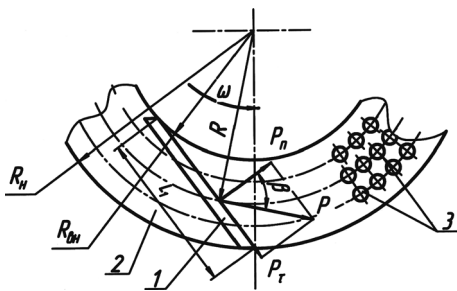


Рис. 2. Схема определения оптимальной длины режущей кромки лезвия ножа: 1 – лезвие ножа; 2 – ножевая решетка; 3 – отверстия перфорации;  $P$  – сила сопротивления перерезанию продукта;  $P_n$  – нормальная составляющая силы  $P$ ;  $P_\tau$  – касательная составляющая силы  $P$ ;  $l_1$  – длина режущей кромки лезвия;  $\beta$  – угол скольжения

Мощность проталкивания и резания продукта ножом через отверстия решетки находим по выражению

$$N_{\text{общ}} = M\omega = \frac{\pi n \left[ ql_1 + P_3 \left( \frac{\sin \alpha + f_2 \cos \alpha}{\cos \alpha - f_2 \sin \alpha} + P_3 f_3 \right) (R_n + R_{вн}) \right]}{60 \cos \beta}.$$

Подставляя уравнение (5) в формулу (6), получаем выражение

$$N_{\text{общ}} = \frac{\pi n \left[ q(\sqrt{b^2 + 2R_n(R_n - b)}) + P_3 \left( \frac{\sin \alpha + f_2 \cos \alpha}{\cos \alpha - f_2 \sin \alpha} + P_3 f_3 \right) (R_n + R_{\text{вн}}) \right]}{60 \cos \beta}, \quad (7)$$

которое позволяет определить затраты мощности, зная реологические характеристики измельчаемого продукта и геометрические параметры режущей пары, что дает возможность интенсифицировать процесс для создания оптимальных условий тонкого измельчения мясного сырья в эмульсаторах.

Режущие кромки лезвий ножа выполнены наклонно по касательной к внутреннему радиусу ножевой решетки и имеют максимальную длину, что обеспечивает высококачественный процесс скользящего резания.

Была также разработана новая конструкция ножевой решетки, имеющая одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности независимо от места расположения отверстий, и постоянное значение коэффициента пропускной способности  $K_n$ . С этой целью отверстия располагаются по концентрическим окружностям, а диаметр отверстий принимается как одно из первых значений ряда предпочтительных чисел (ПЧ), например,  $R5$ , т. е.  $d_0 = 1, 2, 3, 5, 8$  и  $13$  мм.

В колбасном цеху ОАО «Ошмянский мясокомбинат» были проведены экспериментальные исследования процесса тонкого измельчения мясного сырья на промышленном эмульсаторе KS F10/031. В таблице представлены результаты данных исследований, соответствующие многофакторному плану эксперимента греко-латинского квадрата  $4 \times 4$ .

#### Результаты экспериментальных исследований

№ опыта	$K_{\text{пр}}$	$\sigma$ , мм	$n$ , об/мин	$K_3$	$\Delta t$ , °С	$\Pi$ , кг/ч	$n_{\text{уд}}$ , Вт·ч/кг
1	0,35	6	1500	0,25	7,00	720	9,4
2	0,45	6	2000	0,75	6,50	1100	9,7
3	0,46	6	2500	1,00	4,50	1350	8,3
4	0,47	6	3000	0,50	7,50	1650	10,1
5	0,35	8	3000	1,00	10,50	1200	12,5
6	0,45	8	2500	0,50	8,00	1100	11,0
7	0,46	8	2000	0,25	6,00	1070	9,4
8	0,47	8	1500	0,75	4,00	1150	7,2
9	0,35	10	2000	0,50	9,50	880	11,0
10	0,45	10	1500	1,00	6,00	980	8,9
11	0,46	10	3000	0,75	10,00	1430	11,5
12	0,47	10	2500	0,25	7,00	1250	9,9
13	0,35	12	2500	0,75	12,50	900	12,1
14	0,45	12	3000	0,25	13,00	1220	13,0
15	0,46	12	1500	0,5	8,00	950	8,8
16	0,47	12	2000	1,00	7,00	1250	8,6

После обработки результатов эксперимента получена графическая зависимость прироста температуры от управляемых переменных: коэффициента проходного сечения решетки ( $K_{\text{пр}}$ ); толщины решетки ( $\sigma$ ), частоты вращения ( $n$ ) и коэффициента заполнения воронки ( $K_3$ ) (рис. 3), которая 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 в результате обработки экспериментальных данных получено уравнение, позволяющее определять прирост температуры во время измельчения:

$$\Delta t = 0,0038 K_{\text{пр}}^{-1,29} \sigma^{0,63} n^{0,66} K_3^{-0,11}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент проходного сечения ножевой решетки;  $\sigma$  – толщина ножевой решетки, мм;  $n$  – частота вращения ножа, об/мин;  $K_3$  – коэффициент заполнения загрузочной воронки.

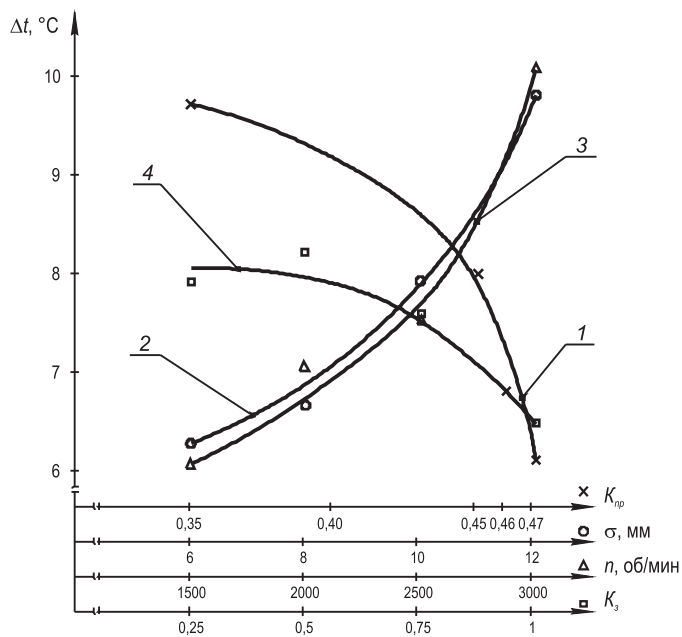


Рис. 3. Зависимость прироста температуры от управляемых переменных: 1 -  $K_{пр}$ ; 2 -  $\sigma$ ; 3 -  $n$ ; 4 -  $K_3$

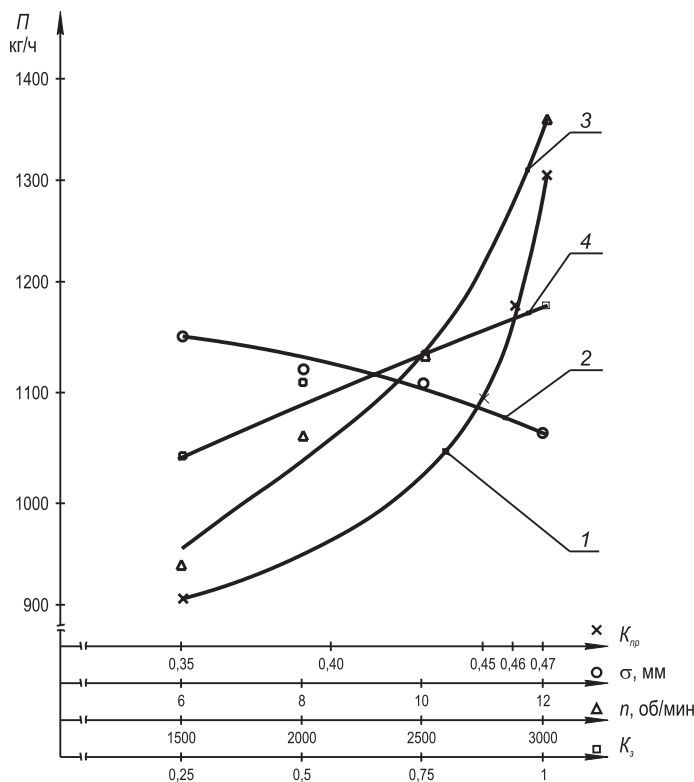


Рис. 4. Зависимость производительности от управляемых переменных: 1 -  $K_{пр}$ ; 2 -  $\sigma$ ; 3 -  $n$ ; 4 -  $K_3$

После анализа значимости влияния каждого входного параметра (по показателю степени) было получено следующее выражение:

$$\Delta t = 0,0038 K_{пр}^{-1,29} \sigma^{0,63} n^{0,66}. \quad (9)$$

Для графического отражения влияния конструктивных параметров режущего инструмента на производительность построена зависимость производительности от управляемых переменных  $K_{пр}$ ,  $\sigma$ ,  $n$ ,  $K_3$  (рис. 4).

При обработке экспериментальных данных получена зависимость производительности конструктивных параметров эмульсатора:

$$П = 70,53 K_{пр}^{1,05} \sigma^{-0,1} n^{0,51} K_3^{0,09}. \quad (10)$$

После анализа значимости влияния каждого входного параметра (по показателю степени) приняло такой вид:

$$П = 70,53 K_{пр}^{1,05} n^{0,51}. \quad (11)$$

На рис. 5 представлена зависимость удельной энергоемкости эмульсатора ( $n_{уд}$ , Вт·ч/кг), выбранная основным энергетическим параметром, характеризующим работу эмульсатора от  $K_{пр}$ ,  $\sigma$ ,  $n$  и  $K_3$ .

Уравнение для определения удельной энергоемкости процесса измельчения имеет вид

$$n_{уд} = 0,13 K_{пр}^{-0,72} \sigma^{0,15} n^{0,44} K_3^{-0,05}. \quad (12)$$

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

$$n_{уд} = 0,13 K_{пр}^{-0,72} \sigma^{0,15} n^{0,44}. \quad (13)$$

Полученные экспериментальные зависимости удельной энергоемкости процесса тонкого измельчения мясного сырья в эмульсаторе, производительности и прироста температуры сырья от режимных и конструктивных особенностей эмульсатора наглядно доказывают

возможность применения разработанных конструкций режущего инструмента.

При анализе полученных графических и математических зависимостей (9), (11), (13) установлено следующее.

Наибольшее влияние на прирост температуры оказывает коэффициент проходного сечения решетки, ее толщина и частота вращения ножа. Как видно на рис. 3, 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%. Определяющими параметрами, влияющими на производительность, являются коэффициент проходного сечения решетки и частота вращения ножа.

При одинаковой степени измельчения ( $d_0 = 10$  мм) использование разработанной конструкции решетки повышает производительность на 18,1% по сравнению с серийной (рис. 4). При  $d_0 = 5$  мм применение нового режущего инструмента позволяет повысить производительность эмульсатора на 10,3%. Основными параметрами, влияющими на энергоёмкость процесса тонкого измельчения из исследуемых параметров, являются: коэффициент проходного сечения решетки, ее толщина и частота вращения ножа.

Как видно на рис. 5, при одинаковой степени измельчения новая решетка ( $d_0 = 10$  мм) позволяет уменьшить удельную энергоёмкость на 7,1%. Использование разработанного режущего инструмента с диаметрами отверстий  $d_0 = 5$  мм позволяет уменьшить удельную энергоёмкость процесса измельчения на 10,8%.

**Заключение.** В результате проведенных исследований были разработаны новые конструкции режущего механизма эмульсатора. Режущие кромки лезвий ножа выполнены наклонно по касательной к внутреннему радиусу ножевой решетки и имеют максимальную длину, что обеспечивает высококачественный процесс скользящего резания. Разработаны новые конструкции ножевых решеток эмульсатора, имеющие одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности, минимальное гидравлическое сопротивление на прокачку рабочего тела и наибольшую пропускную способность.

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

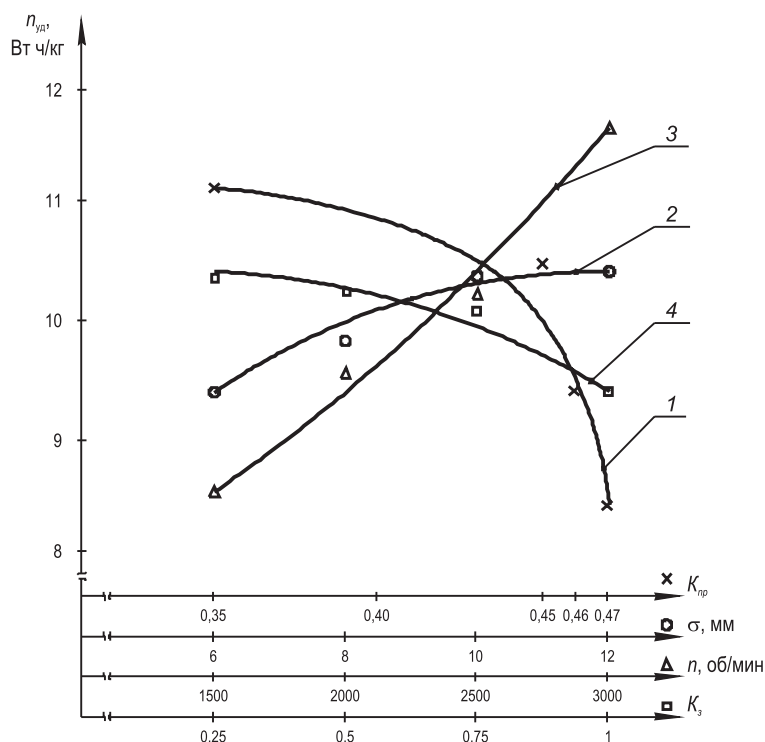


Рис. 5. Зависимость удельной энергоёмкости эмульсатора от управляемых переменных: 1 –  $K_{пр}$ ; 2 –  $\sigma$ ; 3 –  $n$ ; 4 –  $K_z$

## Литература

1. Тимошук, И. И. Общая технология мяса и мясопродуктов / И. И. Тимошук, Н. А. Головаченко, С. А. Сенников. – Минск: Урожай, 1989. – 216 с.
2. Пелеев, А. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А. И. Пелеев – М.: Пищевая промышленность, 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: пат. РФ № 2047368. М. кл. В02С 18/36 / В. Я. Груданов, А. П. Манько, В. И. Иванцов, Г. И. Белохвостов / заявлено 16.11.92, опубл. 10.11.95. Бюл. № 31 / Комитет Рос. Федерации по патентам и товарным знакам.

*V. Y. GRUDANOV, A. A. BRENCH, L. T. TKACHEVA, M. O. PHILIPPOVICH*

**THIN CRUSHING OF MEAT RAW MATERIALS WITH  
A NEW CUTTING MECHANISM IN CHIP CRUSHERS**

**Summary**

As a result of the conducted research new designs of a cutting mechanism of a chip crusher are developed. Cutting edges of knife blades are made inclined at a tangent to internal radius of a meat grinder plate and have the maximum length that ensures a high quality process of sliding cutting. New designs of meat grinder plates of a chip crusher with identical throughput on the whole working surface, minimal hydraulic resistance to pumping of a working body and the greatest throughput are created. Depending on the degree of crushing, application of the developed cutting tool enables to reduce temperature by 15.1–18.3% and specific power consumption by 7.1–10.8%, to increase productivity by 10.3–18.1%.