

УДК 641.512

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИНИ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ГАСТРОНОМІЧНИХ ПРОДУКТІВ

Пільненко А.К., к.т.н.

*Донецький національний університет економіки і торгівлі імені
Михайла Туган-Барановського*

тел. (062) 304-50-46

Анотація – у роботі виконано обґрунтування та перевірку інженерної методики розрахунку машини для нарізання гастрономічних продуктів.

Ключові слова – методика розрахунку, машина для нарізання, гастрономічні продукти, процес різання.

Постановка проблеми. У закладах ресторанного господарства значне місце в технологічному процесі механічної обробки харчових продуктів займає подрібнення продуктів способом різання.

Найбільш поширені на ринку України конструкції машин для різання гастрономії, що складаються з обертового дискового ножа, опорного стола, механізму подачі і регулювання товщини різання [1]. Слайсери використовуються у супермаркетах, на підприємствах ресторанного господарства, а також на підприємствах, які фасують м'ясу, сирну та рибну продукцію. Для підвищення продуктивності в машинах збільшують діаметр дискового ножа, швидкість подачі, максимальну площу різання.

У великій кількості використовують слайсери з прямолінійною подачею завантажувального лотка. Методика розрахунку машин для нарізання харчових продуктів з прямолінійною подачею продукту відома та впроваджена.

У сучасному харчовому виробництві невирішеними залишаються питання процесу різання харчових продуктів при коливальній подачі продукту. Насамперед це стосується стадії проектування та інженерного розрахунку машин.

Розроблена та впроваджена інженерна методика розрахунку машини для нарізання дисковим ножом при коливальному способі подачі гастрономічних продуктів [2]. Також визначені раціональні кінематичні параметри процесу різання гастрономічних продуктів, але не встановлено вплив конструктивних, кінематичних та динамічних

параметрів процесу на технологічні параметри роботи машини (продуктивність, потужність).

У науковій літературі відсутні дані, які вказують на вплив конструктивних та кінематичних параметрів машини для нарізання гастрономічних продуктів на технологічні параметри роботи машини.

Аналіз останніх досліджень. Спосіб різання харчових продуктів дисковим ножом при коливальному способі подачі свідчить про значний вплив його на якість зрізу та енергопродуктивність [3].

Всі дослідники сходяться в оцінці важливості енерговитрат при різанні як узагальненого показника ефективності процесу різання. Правильне врахування усіх факторів, що впливають на енерговитрати при різанні, мають вирішальне значення при розробці конструкції ріжучих машин [3,4].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Обґрунтування і визначення впливу конструктивних та кінематичних характеристик машини на технологічні параметри роботи машини, аналіз і перевірка інженерної методики розрахунку.

Основна частина. Особливість інженерної методики розрахунку параметрів різання дисковим ножом полягає в тому, що обертовий дисковий ніж 4 нерухомо закріплений в корпусі 1 машини, а подача продукту в зоні різання здійснюється механізмом 8, що забезпечує коливальний рух лотка 7 з продуктом на дисковий ніж 4 і гравітаційну подачу на товщину скибочки. Коливальний спосіб подачі продукту здійснює кривошипно-коромисловий механізм 6 відповідно до рис. 1.

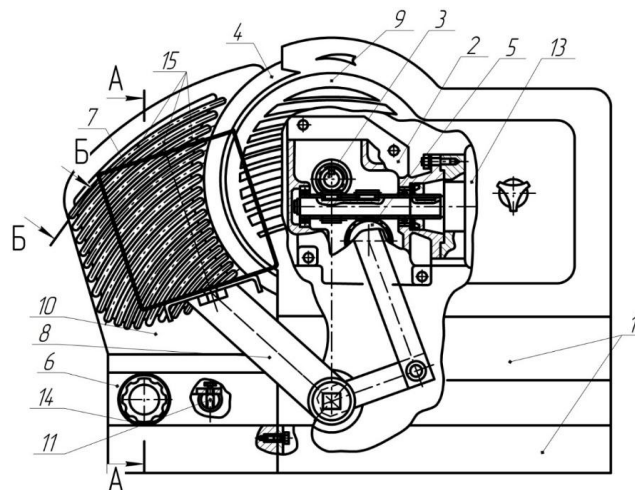


Рис. 1. Машина для нарізання гастрономічних продуктів: 1 – корпус; 2 – черв'ячний редуктор, 3 – приводний вал дискового ножа, 4 – дисковий ніж, 5 – приводний вал кривошипно-коромислового механізму; 6 – механізм регулювання товщини; 7 – завантажувальний лоток; 8 – важіль подачі продукту; 9 – щиток; 10 – опорний стіл; 11 –направляюча, 13 – електродвигун, 14 – ручка, 15 – прутки столу.

Продуктивність машини визначається згідно принципової схеми різання, рис. 2. Враховуючи конструктивні та кінематичні параметри продуктивність визначається за формулою:

$$Q = h \cdot \varphi_{\text{різ}} \cdot R_n \cdot L_{\text{прод}} \cdot n_{\text{важ}} \cdot \rho \cdot K_{\varphi} \cdot 3600, \text{ кг/год} \quad (1)$$

де h – товщина продукту, м; $\varphi_{\text{різ}}$ – кут дуги різання, м; R_n – радіус ножа, м; $L_{\text{прод}}$ – довжина продукту, м; $n_{\text{важ}}$ – частота обертання важеля подачі продукту, м/с; ρ – щільність продукту, кг/м³; K_{φ} – коефіцієнт використання висоти завантажувального лотка.

Прийняті наступні вихідні дані: $h = 0,015$ м; $\rho = 950$ кг/м³; $K_{\varphi} = 0,9$; $n_{\text{ножа}} = 3,6$ с⁻¹; $R_n = 0,15$ м; $H = 0,10$ м; $R_{\text{важ}} = 0,18$ м; $O_1O_2 = 0,28$ м; $\lambda = 8$.

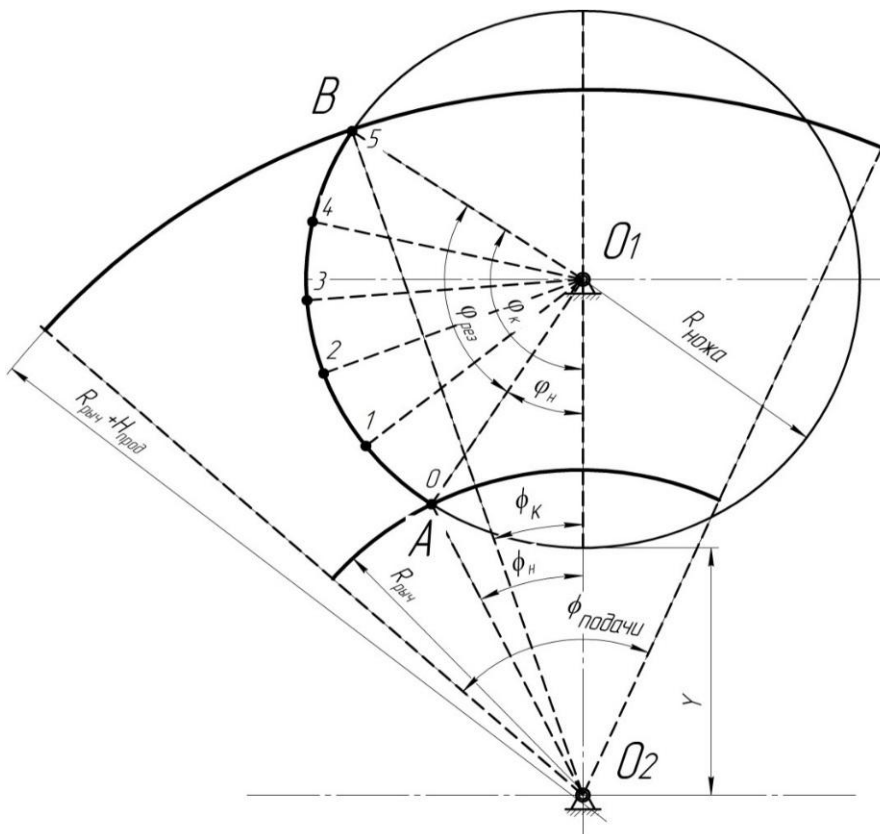


Рис.2. Схема для розрахунку процесу різання дисковим ножом при коливальному способі подачі продукту.

Швидкість подачі визначається:

$$V_{\text{под}} = \omega_{\text{важ}} \cdot R_{\text{важ}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{важ}} \cdot R_{\text{важ}} = \frac{2\pi \cdot n_n \cdot R_n}{\lambda}, \text{ м/с} \quad (2)$$

З принципової схеми (рис. 2) довжина дуги різання дорівнює:

$$L_{\text{різ}} = \varphi_{\text{різ}} \cdot R_n = (\varphi_{\text{кін}} - \varphi_{\text{поч}}) \cdot R_n, \text{ м} \quad (3)$$

Визначення початкового і кінцевого кута різання висловимо з трикутників ΔO_1O_2 и ΔBO_1O_2 відповідно рис.2:

$$\phi_{\text{поч}} = \arccos\left(\frac{R_{\text{важ}}^2 - R_H^2 - O_1O_2^2}{2R_H O_1O_2}\right); \phi_{\text{кін}} = \arccos\left(\frac{(R_{\text{важ}} + H)^2 - R_H^2 - O_1O_2^2}{2R_H O_1O_2}\right). \quad (4)$$

$$\phi_{\text{поч}} = \arccos\left(\frac{0,28^2 - 0,15^2 - 0,28^2}{2 \cdot 0,15 \cdot 0,28}\right) = 0,617 \text{ рад} \quad 35^\circ;$$

$$\phi_{\text{кін}} = \arccos\left(\frac{(0,18 + 0,1)^2 - 0,15^2 - 0,28^2}{2 \cdot 0,15 \cdot 0,28}\right) = 1,3 \text{ рад} \quad 75^\circ.$$

Кут дуги різання дорівнює:

$$\begin{aligned} \phi_{\text{різ}} &= \phi_{\text{кін}} - \phi_{\text{поч}} = \arccos\left(\frac{(R_{\text{важ}} + H)^2 - R_H^2 - O_1O_2^2}{2R_H O_1O_2}\right) - \arccos\left(\frac{R_{\text{важ}}^2 - R_H^2 - O_1O_2^2}{2R_H O_1O_2}\right) = (5) \\ &= \phi_{\text{кін}} - \phi_{\text{поч}} = 1,3 - 0,617 = 0,683 \text{ рад} \quad 39,2^\circ; \end{aligned}$$

Продуктивність машини дорівнює:

$$Q = 0,015 \cdot (1,3 - 0,617) \cdot 0,15 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 3,6 \cdot 0,15}{8} \cdot 0,9 \cdot 950 \cdot 3600 = 320 \text{ кг/год}$$

Необхідна потужність електродвигуна $N_{\text{общ}}$ машини дорівнює:

$$N_{\text{общ}} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta}, \text{ Вт} \quad (6)$$

де N_1 – потужність на різання продукту, Вт; N_2 – потужність на подолання тертя продукту, Вт; N_3 – потужність, необхідна для подачі продукту на робочий орган; η – к.п.д приводу машини.

Для розрахунку споживаної потужності для процесу різання дисковим ножом прийняті наступні дані: $q_{\text{уд}} = 2000 \text{ Н/м}$; $\mu = 0,9$; $\delta = 0,005 \text{ м}$; $E = 100 \text{ кПа}$; $L = 0,12 \text{ м}$; $r = 0,12 \text{ м}$; $\phi_{\text{різ}} = 47^\circ$; $G = 8 \text{ Н}$; $G_{\text{пр}} = 530 \text{ Па}$; $S_{\text{пр}} = 0,015 \text{ м}^2$; $n_{\text{важ}} = 0,45 \text{ с}^{-1}$; $\lambda = 8$.

Потужність на подолання сил різання продукту дисковим ножом:

$$N_1 = M_{\text{кр}} \cdot \omega_{\text{ножа}} \quad (7)$$

Момент сил різання дисковим ножом дорівнює [2]:

$$\begin{aligned} M_{\text{кр}} &= \sigma_{\text{пр}} \cdot r^2 \int_{\phi_n}^{\phi_k} \frac{(\lambda - \cos \phi) \sin \phi}{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \phi} d\phi = \\ &= 2000 \cdot 0,15^2 \cdot \int_{0,617}^{1,3} \frac{(8 - \cos(40)) \sin(40) d\phi}{1 + 8^2 - 2 \cdot 8 \cdot \cos \phi} = 9,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (8)$$

$$N_1 = 9,6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3,6 = 217 \text{ Вт.}$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя продукту об поверхню дискового ножа [2,3]:

$$N_2 = M_{тр} \cdot \omega_n = 2\mu \cdot E \cdot \frac{\delta}{L_{прод}} (R_n - r) \cdot \phi_{різ} \cdot R_n^2 \cdot \omega_n =$$

$$2 \cdot 0,9 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,005}{0,102} \cdot (0,15 - 0,15) \cdot 0,682 \cdot 0,15^2 = 91 \text{ Вт.} \quad (9)$$

де δ – товщина ножа, м; $\mu_{тр}$ – коефіцієнт тертя продукту; E – модуль пружності продукту, Па; $L_{прод}$ – довжина деформованого шару продукту, м; r – радіус кута заточки дискового ножа, м.

Потужність, що витрачається на подачу продукту на дисковий ніж [2,3]:

$$N_3 = M_{под} \cdot \omega_{рыч} = F_{впод} \cdot R_{рыч} \cdot \omega_{рыч} \quad (10)$$

Сила подачі дорівнює сумі сил,

$$F_{впод} = G + F_{тр} + R_{рез},$$

де G – вага продукту і завантажувального лотка, Н; $F_{тр}$ – сила тертя продукту поверхнею опорного столу, Н; $R_{різ}$ – сила різання дисковим ножом, Н. Сила різання дисковим ножом дорівнює:

$$R_{різ} = \frac{q_{уд} \cdot R_n \cdot \sin \varphi \cdot \phi_{різ}}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi}} = \frac{2000 \cdot 0,15_n \cdot \sin 40 \cdot 0,682}{\sqrt{1 + 8^2 - 2 \cdot 8 \cdot \cos 40}} = 55 \text{ Н} \quad (11)$$

Сила тертя продукту поверхнею опорного столу дорівнює:

$$F_{тр} = P_{пр} \cdot S_{пр} \cdot \mu_{тр}, \quad (12)$$

де $P_{пр}$ – тиск продукту, Па; $S_{пр}$ – площа контакту продукту з поверхнею опорного столу, м²; $\mu_{тр}$ – коефіцієнт тертя продукту.

$$N_3 = (8 + 530 + 0,015 \cdot 0,9 + 55) \cdot 0,18 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,45 = 29 \text{ Вт.}$$

Сумарна потужність електродвигуна:

$$N_{общ} = \frac{217 + 91 + 29}{0,9} = 374 \text{ Вт.}$$

Для експериментального дослідження процесу різання, енерговитрат, залежності обертового моменту на валу дискового ножа і навантажень на важелі подачі розроблений універсальний

експериментальний стенд [4], що дозволяє в режимі реального часу реєструвати експлуатаційні параметри процесу різання дисковим ножом при коливальному способі подачі продукту.

Відповідно до розробленої методики експериментальних досліджень визначалася споживана потужність машини $N = f(t)$. У результаті обробки даних експериментальних досліджень було отримано поліноміальне рівняння (13) зміни споживаної потужності машини в межах робочого циклу (рис.3):

$$M_{кр}(0,3...0,7) = -86,617 \cdot t^2 + 78,286 \cdot t - 7,817; \quad R^2 = 0,82. \quad (13)$$

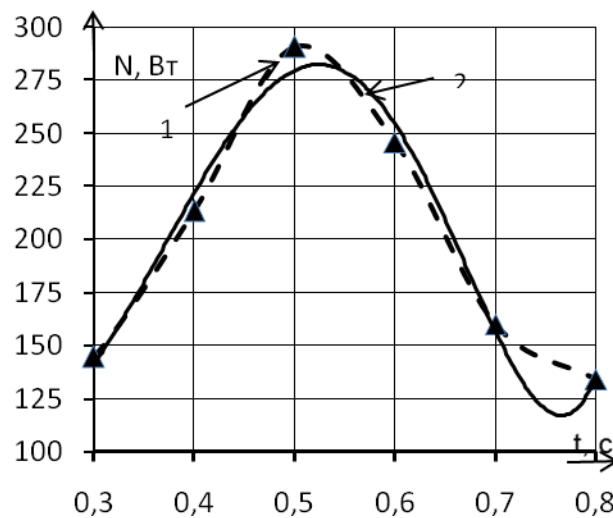


Рис. 3. Залежності зміни споживаної потужності машини в межах різання гастрономії: 1 - за осциллограмою; 2 - апроксимація.

Навантаження у процесі різання дисковим ножом при коливальному способі подачі мають циклічний характер. Зростання і зниження навантажень пояснюється зміною довжини дуги різання. Адекватність математичних моделей процесу різання визначали за допомогою середнього відсотку розбіжності теоретичних і експериментальних значень:

$$\bar{k} = \frac{1}{n} \sum \frac{|Y_{\text{експ}} - Y_{\text{теор}}|}{Y_{\text{теор}}} \cdot 100 \% \quad (14)$$

Для порівняння значень теоретичної потужності з експериментальними результатами дослідження використовувалися емпіричні та аналітичні залежності. Середній відсоток розбіжності значень споживаної потужності за результатами таблиці 1 становить $\bar{k} = 5,6\%$. Моделі вважаємо адекватними, так як виконується умова: $\bar{k} \leq 10\%$.

Таблиця 1 – Оцінка середньої погрішності споживаної потужності процесу різання продукту дисковим ножом

Потужність, Вт	Час процесу різання, с									
	0,1	0,16	0,22	0,28	0,34	0,4	0,46	0,52	0,58	0,64
Теоретична потужність, Вт	92	154	212	269	323	367	269	212	154	92
Експериментальна потужність, Вт	141	179	221	258	279	281	254	209	156	119
Відсоток розбіжності, %	53,2	16,23	4,24	4,08	13,6	23,4	5,57	1,41	1,29	29,34

Як було зазначено раніше, показники робочого процесу машини залежать від різних факторів, таких, як: реологічні характеристики продукту, розміри продукту, коефіцієнт ковзання, стан ріжучої кромки ножа, взаємне розташування робочого органу і продукту, кінематичні параметри, спосіб подачі продукту. У розробленій методикі розрахунку машин для нарізання харчових продуктів враховані основні чинники і при порівнянні з експериментальними результатами досліджень середня похибка розбіжності склала для споживаної потужності 5,6%.

Розроблена методика розрахунку параметрів процесу різання дисковим ножом при коливальному способі подачі харчового продукту дає можливість визначити технологічні, кінематичні, динамічні та енергетичні параметри [2,3].

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних характеристик на експлуатаційні параметри машини необхідно встановити певні фактори машини та інтервал значень, які будуть суттєво впливати на технологічні параметри машини.

Висновки. Запропонована методика розрахунку експлуатаційних характеристик машини для нарізання харчових продуктів дисковим ножом при коливальному способі подачі дозволяє найбільш повно врахувати вплив конструктивних і кінематичних параметрів на технологічні параметри машини.

Література:

1. *Заплетніков І.М.* Оцінка технічного рівня та якості машин для нарізання гастрономії / І.М. Заплетніков, А.К. Пільненко, В.Г. Топольник // Обладнання та технології харчових виробництв: тем. зб. наук. праць ДонНУЕТ. – Донецьк, ДонНУЕТ, 2012.– Вип. 30. – С. 125–134.

2. *Заплетніков І.Н.* Методика расчета процесса резания дисковым ножом при качательном способе подачи пищевого

матеріала / И.Н. Заплетников, А.К. Пильненко // Обладнання та технології харчових виробництв: тем. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013.– Вип.31.– С. 63–73.

3. *Пильненко А.К.* Удосконалення машин для нарізання гастрономічних продуктів: автореф. дис..канд.техн.наук: 05.18.12 / А.К. Пильненко. – Донецьк, 2013. – 20 с.

4. *Заплетніков І.М.* Розробка експериментального стенда комплексного дослідження експлуатаційних характеристик машин для нарізання гастрономічних продуктів / І.М. Заплетніков, А.К. Пильненко // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк, ДонНУЕТ, 2005. – Вип. 13., т.2. – С. 160–165.

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ГАСТРОНОМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

Пильненко А.К.

Аннотация - в работе выполнено обоснование и проверка инженерной методики расчета машины для нарезания гастрономических продуктов.

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR CUTTING MACHINES THE GASTRONOMIC PRODUCTS

A.Pilnenko

Summary

This work is devoted to the rationale and verification engineering design calculation for cutting machines gastronomic products.