

О.І. Некоз, д-р техн. наук (НУХТ, Київ)

В.І. Осипенко, д-р техн. наук (ЧДТУ, Черкаси)

О.В. Батраченко (ЧДТУ, Черкаси)

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ НОЖОВОГО ВАЛА КУТЕРА

Подано розроблену методика з визначення потужності приводу ножового вала, яка дозволяє більш коректно враховувати конструктивні особливості ножів на випадок використання кутера. З енергетичної точки зору доцільно використовувати кутери малого робочого об'єму, але з максимальним коефіцієнтом завантаження чаші.

Представлена разработанная методика по определению мощности ножового вала, которая позволяет более корректно учитывать конструктивные особенности ножей на случай использования кутера. С энергетической точки зрения целесообразно использовать кутеры маленького рабочего объема, но с максимальным коэффициентом загрузки чаши.

The developed methods on the determination of the capacity of cutting shaft gear which permits to take into account constructional peculiarities of knives in case of using cutter are presented. From the energetic point of view it is expedient to use cutters of small working size but with maximum coefficient of bowl loading.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для забезпечення подальшого підвищення технічного розвитку кутерів, зокрема вітчизняних, необхідно якісно вирішувати низку різнопланових задач проектування. Однією з таких задач є коректне визначення енергоємності роботи кутера. Відомі вирази не дозволяють диференціювати розрахунки для різного конструктивного виконання робочих органів кутера. За умови широкої різноманітності конструкцій ножів, ножових головок та чаш, які на теперішній час пропонуються споживачеві, таке становище не можна вважати задовільним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Керуючись відомими [1-3] методиками, визначення потужності приводу ножового вала кутера проводиться за виразом:

$$N_{\text{роб.пр.}} = \frac{a \cdot S_1 \cdot z \cdot n}{60 \cdot 1000 \cdot \eta}, \quad (1)$$

де a – питома витрата енергії, Дж/м² ($a=200\div 320$ Дж/м²); S_1 – площа перерізу шару фаршу, що подається під ножі, м²; z – кількість ножів у ножовій головці кутера; n – частота обертання ножової головки, хв⁻¹; η – ККД передачі.

Недоліками (1) є недостатня точність обрахунків унаслідок неможливості відобразити вигляд кривої леза ножа, кут його заточування, вид та температуру сировини. На думку авторів, кількість ножів, що одночасно беруть участь у робочому процесі, дорівнює не загальній кількості z ножів у ножовій головці, а $(2z+3)/6$ від неї. Також за (1) неможливо провести порівняльний розрахунок споживаної потужності під час обробки однакового об'єму сировини на кутерах із чашами різної місткості (із повністю завантаженими чашами малого об'єму та із недозавантаженими чашами більшого об'єму). Не відображено втрату енергії на подолання сил тертя та адгезію ножів об сировину під час різання.

Такою, що найбільш коректно відображає особливості роботи кутера, на думку авторів, є методика розрахунку величини роботи на кутерування за [4], де кожна з компонент розраховується окремо:

$$A = A_1 + A_2 + A_3, \quad (2)$$

де A_1 – величина роботи, що витрачається на різання сировини; A_2 – величина роботи, що витрачається на тертя ножів об сировину; A_3 – величина роботи, що витрачається на переміщення сировини під час різання.

Ця методика дозволяє врахувати частку як зусилля різання, так і сил тертя. Але в іншому має недоліки аналогічні (1); не наведено виразів з визначення площі тертя бокової поверхні ножів.

Можна зробити висновок, що існуючі методики не в змозі достатньо повно відобразити особливості роботи машини та забезпечити ефективне використання проектних розрахунків.

Мета та завдання статті: отримати математичні вирази, що більш точно враховують вплив базових параметрів кутерування на складові споживаної потужності кутера.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пропонуємо визначати загальну споживану потужність кутера таким чином:

$$N_{роб.пр.} = N_{риз} + N_{тр},$$

де $N_{роб.пр.}$ – потужність, що витрачається на робочий процес, тобто на кутерування; $N_{риз}$ – потужність, що витрачається на різання сировини, кВт; $N_{тр}$ – потужність, що витрачається на тертя ножів об сировину, кВт.

Визначимо кожен із вказаних складових, користуючись на початкових етапах розрахунку схемами, що зображені на рисунку 1.

Визначаючи N_{piz} , будемо виходити із класичного розуміння споживаної потужності під час обертання робочого органа машини:

$$N_{piz} = \frac{M_{piz} \cdot \omega}{\eta}, \text{ кВт,}$$

де M_{piz} – момент, що створюється силами різання, Н·м; ω – кутова швидкість обертання ножової головки, рад/с; η – ККД передачі.

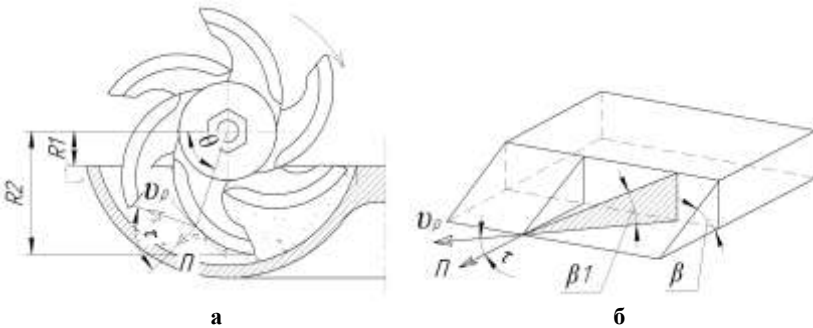


Рисунок 1 – Схеми до розрахунку потужності: а – ножова головка; R_1, R_2 – границі контакту ножа із сировиною; v_p – сила різання; p – нормаль до догичної до леза ножа; τ – кут ковзання; б – ділянка леза ножа; β – дійсний кут заточування леза; β_1 – кінематичний кут заточування

Для визначення M_{piz} будемо вираховувати сумарне значення моменту, користуючись поняттям інтегралу:

$$M = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2z+3}{6} P_{piz} \cdot R dR,$$

де z – кількість ножів у ножовій головці; P_{piz} – величина зусилля різання, Н; R, R_1, R_2 – відповідно поточний, мінімальний та максимальний радіуси ножів, м.

Як видно з рисунка 1а, при ножовій головці із $z=6$ безпосередній контакт із сировиною має 2,5 довжини різальної кромки ножа. Для випадку, коли $z=3$ безпосередній контакт має 1,5 довжини різальної кромки ножів. Отже, визначаємо кількість ножів, що одночасно беруть участь у робочому процесі, як $(2z+3)/6$.

Величина сили різання найчастіше неоднакова по довжині леза ножа, тому для коректного відображення конструкції ножів слід враховувати сумарну силу різання, яка діє на лезо:

$$P_{\text{риз}} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} P d\theta,$$

де θ , θ_1 , θ_2 – відповідно поточний кут, що визначає вигляд кривої леза в полярній системі координат, кут за найменшим радіусом ножа та кут за його найбільшим радіусом; P – сила різання на ділянці леза, що відповідає куту θ .

З огляду на це, значення моменту сил різання буде визначатись як подвійний інтеграл від виразу

$$M = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{R_1}^{R_2} \frac{2z+3}{6} P \cdot R d\theta dR.$$

Слід зазначити, що величина сили різання залежить, у свою чергу, як відомо, від вигляду кривої леза ножа, тобто – від кінематичного кута (кутів) різання β_1 (рисунок 1), та від швидкості різання [2]:

$$P = \frac{11,1P_0 \cdot v}{\sin \beta_1} = \frac{2\pi \cdot 11,1 \cdot P_0 \cdot n \cdot R}{\sin \beta_1}, \text{ Н}, \quad (3)$$

де P_0 – значення зусилля для різання без ковзання, Н/м; v – лінійна швидкість різання, м/с; n – частота обертання, с^{-1} ; R – поточний радіус ножа, м; β_1 – кінематичний кут різання.

Із урахуванням (3) кінцевий вираз із визначення моменту різання набуде такого вигляду:

$$\begin{aligned} M &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{R_1}^{R_2} \frac{11,1\pi \cdot (2z+3) \cdot P_0 \cdot n \cdot R^2}{6 \cdot \sin \beta_1} d\theta dR = \\ &= \frac{11,1\pi \cdot (2z+3) \cdot P_0 \cdot n \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{18} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{d\theta}{\sin \beta_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Значення кінематичного кута різання β_1 залежно від конфігурації різальної кромки можна визначити за [5] (таблиця).

Таблиця – Залежність кінематичного кута різання від кривої, у вигляді якої виконано лезо ножа

Вигляд кривої леза	Кінематичний кут різання	Параметри
Пряма, що зміщена відносно радіуса	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + \frac{1}{tg^2\theta}}}$	θ – поточний кут; β – кут заточування
Гіперболічна спіраль	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + (-\theta)^2}}$	θ – поточний кут; β – кут заточування
Логарифмічна спіраль	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + tg^2\tau}}$	τ – кут між дотичною та радіус-вектором
Архімедова спіраль	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_0}{A} + \theta\right)^2}}$	r_0 – початковий радіус-вектор; A – коефіцієнт
Ексцентричне коло	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + \left(\frac{e \cdot \cos\theta + r}{e \cdot \sin\theta}\right)^2}}$	R – радіус кола; e – ексцентриситет
Розгортка кола	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + \frac{r^2 - R^2}{R^2}}}$	R – радіус кола; r – радіус-вектор
Інверсія розгортки кола	$\beta_1 = \arctg \frac{tg\beta}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_0^2 + u^2}{\alpha \cdot u \cdot r_0} + \frac{r_0}{u}\right)^2}}$	r_0 – радіус кола; ψ – кут повороту ножа; $u = \alpha \cdot r_0 \cdot \psi$

Геометричні форми лез, що найчастіше використовуються на практиці, показано на рисунку 2.

Для ілюстрації відмінності в розрахунку за (1) та за (4) зробимо порівняльний розрахунок споживаної потужності для кутерів із різними геометричними параметрами, але за умови однакової площі перерізу шару сировини в чашах. Тобто, визначимо випадок найменшої витрати енергії: у разі недовантаженої чаші більшого діаметра або у разі повністю завантаженої чаші меншого діаметра (рис. 3).

У разі зменшення радіуса ножів для збереження заданої лінійної швидкості різання слід відповідно збільшити частоту обертання ножової головки, у розрахунку врахуємо це.

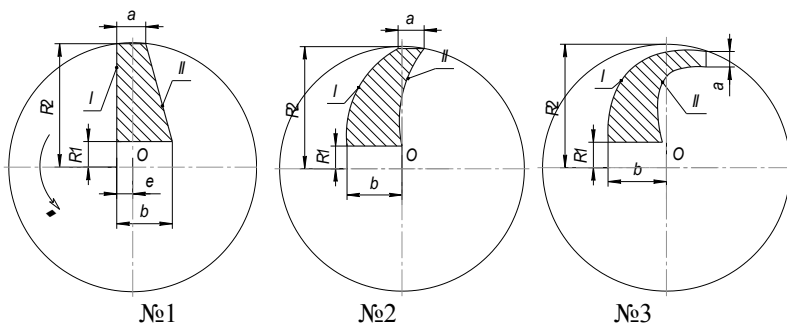


Рисунок 2 – Геометричні форми ножів кутера: №1: I – пряма, паралельна радіусу кола на відстані e ; II – пряма, розташована під кутом до I; №2: I – ділянка кола радіусом R_0 або одна із спіралей; II – ділянка кола радіусом R_1 ; №3: I – інверсія розгортки кола

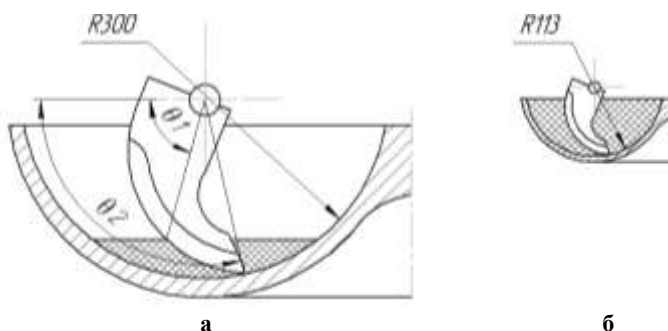


Рисунок 3 – Схема до порівняльного розрахунку споживаної потужності для кутерів із однаковою площею перерізу шару сировини в чаші: а – чаша кутера Л5-ФКБ із радіусом жолоба 300 мм; б – чаша кутера із радіусом жолоба 113 мм

Прийнявши площу перерізу шару сировини $16 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$, визначимо, що відношення $\delta = N_a / N_6$ споживаної потужності кутера із більшим робочим об'ємом N_a до споживаної потужності кутера із меншим робочим об'ємом N_6 дорівнює: для ножів із прямим лезом, що співпадає із радіусом ножової головки $\delta = 3,8$; для ножів із прямим лезом, що не співпадає із радіусом ножової головки $\delta = 3,71$; для ножів із лезом у вигляді ексцентричного кола $\delta = 2,3$; для ножів із лезом у вигляді інверсії розгортки кола $\delta = 1,25$. З огляду на це, можна стверджувати,

що з енергетичної точки зору недоцільно використовувати кутери великого робочого об'єму із неповністю завантаженими чашами.

Визначаючи N_{mp} , використаємо вираз:

$$N_{mp} = 2P_{\sigma} \cdot S \cdot \mu \cdot v = 4\pi \cdot P_{\sigma} \cdot S \cdot \mu \cdot n \cdot R, \text{ кВт},$$

де P_{σ} – сила бокового тиску сировини на бокову поверхню ножа, Н·м; n – частота обертання ножової головки, с⁻¹; $\mu=f$ – коефіцієнт тертя сировини по сталі (під час розрахунку першої стадії кутерування або ж під час кутерування мороженої сировини); $\mu=p$ – липкість сировини по сталі (під час розрахунку другої стадії кутерування); R – поточний радіус ножа, м

Площу бокової поверхні ножа можна визначити, використовуючи геометричний зміст інтеграла як площу криволінійної трапеції:

$$S = \int_a^b (y_2(x) - y_1(x)) dx,$$

де $y_2(x)$ та $y_1(x)$ – рівняння кривих, що є відповідно верхньою та нижньою основою трапеції; b та a – межі інтегрування.

Користуючись даними рисунка 2 та таблиці 1, виконаємо визначення S для найбільш широко вживаних типів лез ножів. Для ножів із різальною кромкою у вигляді прямої площа леза визначається як площа прямокутної трапеції $S_s = \frac{a+b}{2}(R_2 - R_1)$.

Для ножів із різальною кромкою у вигляді спіралі Архімеда:

$$S = \int_{R_1}^{R_2} (r_{01} + A \cdot \theta_1 - r_{02} - A \cdot \theta_2) d\theta, \text{ де } R_1, R_2 = f(\theta).$$

Для ножів із різальною кромкою у вигляді ексцентричного кола:

$$S = \int_{R_1}^{R_2} \left(\sqrt{R_2^2 - (y - y_2)^2} - x_2 \left(\sqrt{R_1^2 - (y - y_1)^2} - x_1 \right) \right) dy, \text{ де } (x_1; y_1) \text{ та } (x_2; y_2)$$

– координати центрів кіл радіусом відповідно R_1 та R_2 .

Висновки. Розроблено математичні вирази, що дозволяють із більшою точністю визначати складові споживаної потужності кутера. Стало можливим розраховувати співвідношення складових сил різання та тертя ножів об сировину на різних стадіях кутерування (ураховувати випадок використання кутера – у технологічній лінії після вовчка, або буде проводитись і попереднє і кінцеве подрібнення).

За розробленим виразом (6) стало можливим проводити порівняльні розрахунки енергоємності кутерування на кутерах різної проду-

ктивності. Встановлено, що обробка сировини на кутерах більшої продуктивності за умов неповністю завантаженої чаші є менш доцільною з енергетичної точки зору, ніж обробка на кутерах меншої продуктивності із повністю завантаженою чашею (збільшення споживаної потужності відбувається від 1,25 до 3,8 разу).

Результати даної роботи можуть бути застосовані під час:

- проектування оптимальних конструкцій кутерів;
- вибору моделі кутера в технологічну лінію.

Напрямок подальших досліджень може бути експериментальне дослідження точності запропонованої методики у порівнянні з раніше відомими.

Список літератури

1. Чижикова, Т. В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов [Текст] / Т. В. Чижикова. – М. : Легкая пром-сть, 1982.–302 с.
2. Пелеев, А. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. [Текст] / А. И. Пелеев – М. : Пищевая пром-сть, 1971.–532 с.
3. Механічні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва [Текст] : навч. посібник / П. С. Берник [та ін.]. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2004. – 336 с.
4. Клименко, М. Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук / М. Н. Клименко. – М., 1990. – 50 с.
5. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы режущих аппаратов [Текст] / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Некоз, В.І. Осипенко, О.В. Батраченко, 2010.

УДК 637.14

Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук

І.В. Золотухіна, канд. техн. наук

К.А. Сефіханова, здобувач

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ МОЛОЧНОГО ЗГУСТКУ ТА ТРИВАЛОСТІ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ НА КОНСИСТЕНЦІЮ МОЛОЧНО-БІЛКОВИХ КРЕМІВ

Розглянуто питання актуальності розробки технології приготування молочно-білкових кремів з додаванням рослинної сировини місцевого походження. Досліджено вплив температури молочного згустку та тривалості гомогенізації на консистенцію молочно-білкових кремів.