

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.001

А. Р. Завербний, Ю. В. Кодра  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра проектування та експлуатації машин

## ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИН ДЛЯ РІЗАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

© Завербний А. Р., Кодра Ю. В., 2018

**Визначено значення основних конструкційних параметрів різання хлібобулочних виробів на скибки. Наведено рекомендації щодо вибору параметрів як вхідних даних, які необхідні під час проектування машин для різання хлібобулочних виробів.**

**Ключові слова:** хлібобулочні вироби, параметри різання, автоматизація, кут заточки, потужність.

**The value of the basic structural parameters during cutting of bakery products into slices is determined. It's given the recommendations for choosing parameters as input data which are necessary for the design of machines for cutting bakery products.**

**Key words:** bakery products, cutting parameters, automation, sharpening angle, power.

**Вступ. Постановка проблеми.** Подрібнення матеріалів різанням застосовують для одержання продукту певної форми і розмірів. Процес різання широко використовують у кондитерському, хлібопекарському, консервному, цукровому, м'ясопереробному та інших харчових виробництвах. На сучасному етапі створюється ще одна група обладнання, у яку входять машини та механізми для різання хлібобулочних виробів, фасування хлібних виробів та їх індивідуального і групового пакування. Ці машини призначені для покращення споживчих властивостей хлібобулочних виробів, забезпечення санітарно-гігієнічних вимог, а також для надання виробам привабливого вигляду. До цієї групи обладнання належать машини для різання хліба.

Розрізаний на скибки й упакований у плівку хліб має довший термін зберігання і довше зберігає свої смакові якості. Попит на такий хліб є і він реалізується переважно у місцях громадського харчування, лікувальних закладах, а також у роздрібній торгівлі.

Автоматизація процесу різання хлібобулочних виробів є актуальною проблемою, оскільки це у комплексі з обладнанням для транспортування і пакування у плівку дає змогу збільшити ступінь підготовки продуктів до безпосереднього споживання, покращити їхні споживчі властивості.

**Аналіз публікацій** показав, що є достатня кількість матеріалів щодо теорії подрібнення і різання матеріалів, зокрема матеріалів харчового виробництва (овочів, м'ясопродуктів, тіста, кондитерських виробів тощо) [1]. Що стосується різання хлібобулочних виробів, то публікації переважно ілюстративні й описові [2].

**Мета роботи** – визначення значень параметрів різання, що забезпечують максимальну продуктивність процесу різання за мінімальних затрат енергії, зокрема залежності сили і потужності різання від кута заточення ножа за різних кутів нахилу пилорами.

**Виклад основного матеріалу.** Розрізняють такі види рухів під час різання матеріалів (рис. 1, а):

- робочий рух – переміщення інструмента відносно виробу;
  - рух подачі – переміщення виробу нормально до вектора швидкості робочого руху;
  - рух крокової подачі – переміщення виробу нормально до вектора швидкості руху подачі.
- Схема розрізання буханки хліба на скибки наведена на рис. 1.

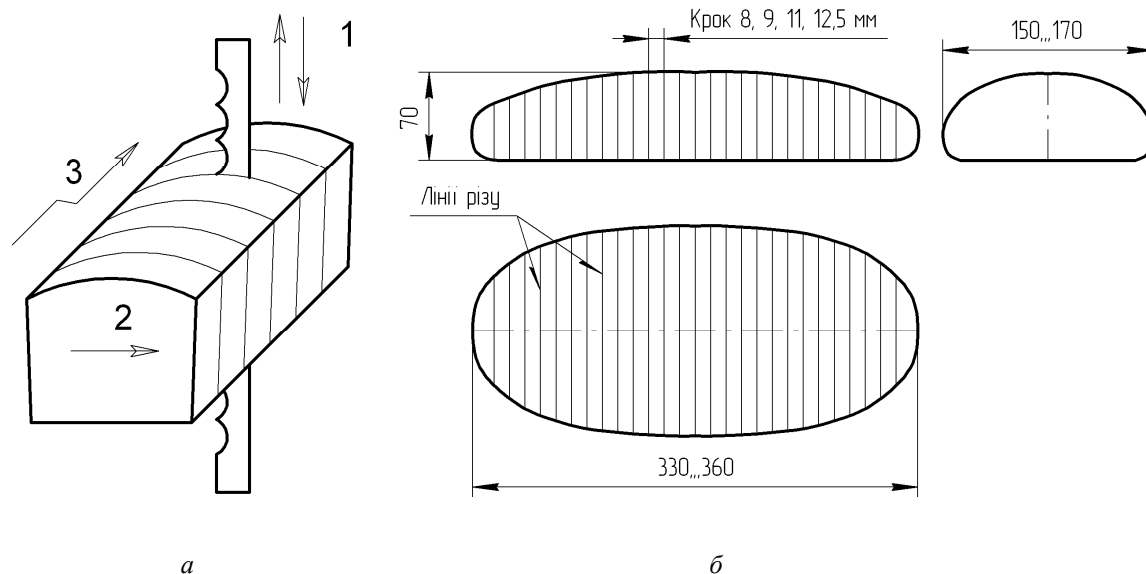


Рис. 1. Схема розрізання формового і череневого хліба:  
1 – робочий рух; 2 – рух подачі; 3 – рух крокової подачі

Для різання хлібобулочних виробів застосовують ножі з двосторонньою заточкою під загальним кутом  $2\alpha$ . Для визначення залежності сили різання від конструкційних і кінематичних параметрів скористаємося схемою, на якій відображено сили, що діють на грані ножа під час різання. Ця схема показана на рис. 2.

Сила різання

$$P = P_1 + 2(P_{пр} \cdot \sin\alpha + P_{тс} \cdot \cos\alpha + P_{тб}),$$

де  $P_1$  – сила, витрачена на розділення (руйнування);  $P_{пр}$  – опір пружним деформаціям;  $P_{тс}$  – сила тертя на скосах ножа;  $P_{тб}$  – сила тертя на бокових гранях ножа.

Із схеми за рис. 2

$$P_{пр} = P_1 \cdot \sin\alpha;$$

$$P_{тс} = P_1 \cdot f \cdot \cos\alpha;$$

$$P_{тб} = P_N \cdot f = P_{пр} \cdot \cos\alpha \cdot f = P_1 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \cdot f,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалів ножа і виробу.

Тоді сила різання

$$\begin{aligned} P &= P_1 + 2(P_1 \cdot \sin^2\alpha + P_1 \cdot f \cdot \cos^2\alpha + P_1 \cdot f \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha) = \\ &= 2 \cdot P_1 \cdot [0,5 + \sin^2\alpha + f \cdot \cos\alpha \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha)]. \end{aligned}$$

Сила, витрачена на розділення

$$P_1 = p \cdot L \cdot \cos\beta,$$

де  $p$  – питоме зусилля під час різання;  $L$  – ширина шару виробу.

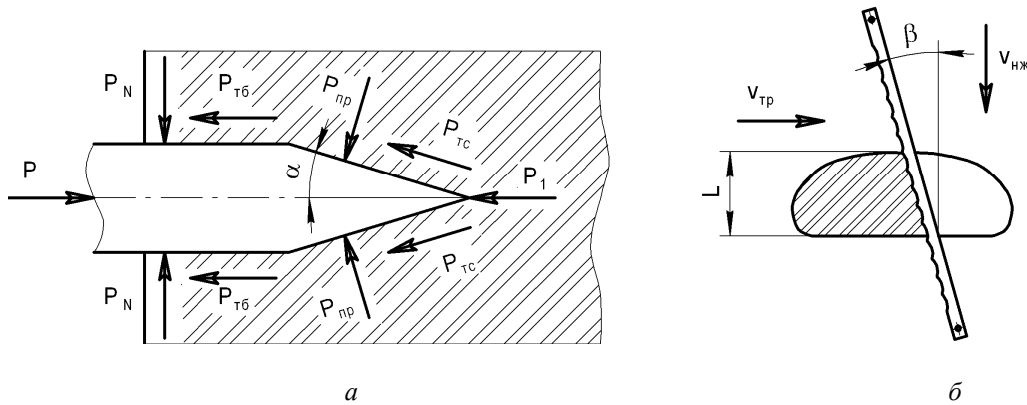


Рис. 2. Сили, що діють на грані ножа під час різання

Отже, сила різання одним ножом

$$P = 2 \cdot p \cdot L \cdot \cos\beta \cdot [0,5 + \sin^2\alpha + f \cdot \cos\alpha \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha)],$$

а сумарна сила різання пилорамами

$$P_{\Sigma} = 2 \cdot p \cdot L \cdot z \cdot \cos\beta \cdot [0,5 + \sin^2\alpha + f \cdot \cos\alpha \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha)],$$

де  $z$  – кількість ножів.

Залежність сили  $P_{\Sigma}$  різання від кута  $\alpha$  заточки ножа із різних кутів нахилу пилорами  $\beta$  показана на рис. 3.

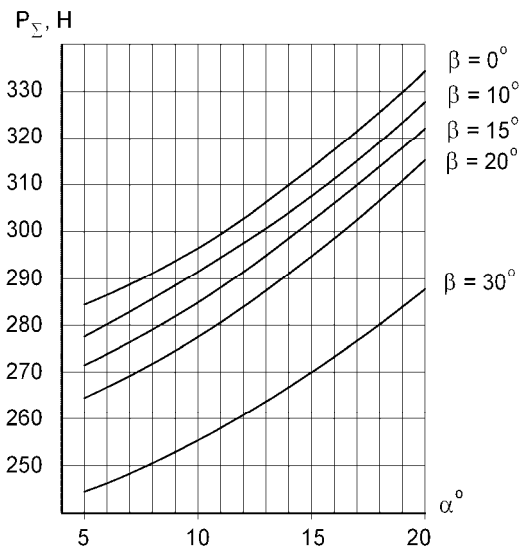


Рис. 3. Залежність сили  $P_{\Sigma}$  різання від кута  $\alpha$  заточення ножа за різних кутів нахилу пилорами  $\beta$

Для визначення сили  $P_{\Sigma}$  різання прийнято такі значення вхідних параметрів:

$f = 0,3$  – коефіцієнт тертя матеріалів ножа і виробу;

$p = 50$  Н/м – питоме зусилля при різанні;

$L = 100$  мм =  $0,1$  м – ширина шару виробу;

$z = 34$  – кількість ножів.

Для визначення залежності потужності різання від конструкційних і кінематичних параметрів скористаємося відомою залежністю

$$N = P_{\Sigma} \cdot v,$$

де  $P_{\Sigma}$  – сумарна сила різання пилорамами;  $v$  – середня приведена швидкість руху ножа відносно виробу,

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_t^2},$$

де  $v_n$  і  $v_t$  – нормальна і тангенціальна швидкості руху ножа відносно виробу.

Нормальна швидкість руху ножа відносно виробу – це швидкість транспортера, тобто  $v_n = v_{тр}$ .

Тангенціальна швидкість руху – це швидкість ножа у напрямку, перпендикулярному до напрямку руху транспортера, тобто  $v_t = v_{нж}$ .

$$\text{Тоді } N = P_{\Sigma} \cdot \sqrt{v_{тр}^2 + v_{нж}^2}.$$

Залежність потужності  $N$  різання від кута  $\beta$  нахилу пилорами за різних кутів  $\alpha$  заточення ножа показано на рис. 4. Для визначення цієї залежності прийнято реальні значення швидкостей машини для різання хлібобулочних виробів моделі МНХ-7 (рис. 5).

$v_{тр} = 0,034$  м/с – швидкість транспортера;

$v_{нж} = 0,82$  м/с – швидкість ножа.

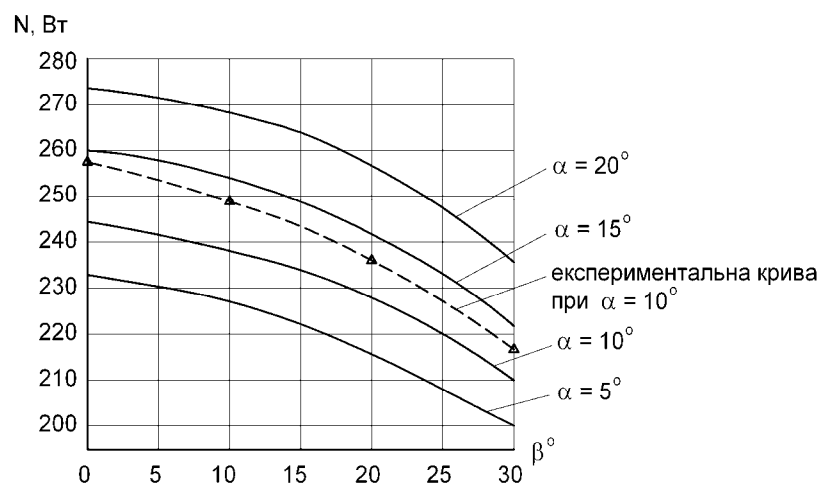


Рис. 4. Залежність потужності  $N$  різання від кута  $\beta$  нахилу пилорами за різних кутів  $\alpha$  заточки ножа



Рис. 5. Машина для різання хлібобулочних виробів моделі МНХ-7

**Висновки.** В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що збільшення кута нахилу пилорами зменшує силу різання, але призводить до

збільшення величини ходу пилорами і, як наслідок, ускладнює конструкцію привода. Доцільно обмежитися кутом нахилу 15...20°. Експериментальні дані, отримані на діючій установці моделі МНХ-7, підтверджують достовірність отриманих аналітичних залежностей. Похибка не перевищує 10 %.

1. Bernik P. S., Ctotsko Z. A. *ta in. Mehanichni procesy i obladnannia pererobnogo ta kharshovogo vyrobnytsva. Chastyna 1. Vydavnytsvo NU LP, 2004.336 s.* 2. Guliy I. S. *ta in. Obladnannia pidpnyemstv pererobnoyi ta kharshovoyi promyslovosti. Vinnytsia: Nova knyga, 2001, – 576 s.* 3. *Tekhnologichne obladnannia khlibopekarskykh i makaronnykh vyrobnytsv. Za red. O. T. Lisovenka. – Kyiv: Naukova dumka, 2000, – 282 s.* 4. Kargina G. A. *Issledovanie vibratsyonnykh elektromagnitnykh mashyn dlia rezki pishchevykh produktov v predpriyatiakh obshchestvennogopitaniia i razrabotka metodiki ikh rashcheta. Avtorefer. dyss. kand. tekhn. nauk, M., 1975.* 5. Machekhin S. A., Akopian V. B., Antipov S. T. *Mashiny i oborudovanie pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti: M.: Mashynostroenie, 2003. 736 s.* 6. Iminov R. V., Gromtsev S. A. *Eksperimentalnye issledovania narezki khlebobulochnykh izdeliy v rotnoy vibratsionnoy mashyne // Rhleboprodukty, 2008. No. 2, s. 48.* 7. Iminov R. V., Gromtsev S. A. *Rotornaia vibratsionnaia mashyna dlia narezki khlebobulochnykh izdeliy // Rhleboprodukty, 2008. № 4, s. 48.* 8. Iminov R. V., Antufiev V. T., Gromtsev S. A. *Eksperimentalnye issledovania narezki khlebobulochnykh izdeliy v rotnoy vibratsionnoy mashyne. "Izvestia SPbGUNIPT" No. 4, 2008.* 9. Astashov V. K. *Ultrasonic cutting as a nonlinear (vibro-impact) process / V. K. Astashov, V. I. Babitsky // Ultrasonics. 1998. Vol. 36, No. 1–5. P. 89–96.* 10. Babitsky V. I. *Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study / V. I. Babitsky, A. V. Mitrofanov, V. V. Silberschmidt // Ultrasonics. 2004. Vol. 42, No. 1–9. P. 81–86.*