

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗАЛЬНОЇ ДІЇ НОЖІВ КУТЕРА

**Некоз О. І., д.т.н., професор,**  
Національний університет харчових технологій,  
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна

**Осипенко В. І., д.т.н., професор,**

**Боровик А. І., к.т.н., доцент,**

**Батраченко О. В.,**

**Кульбака В. О.**

Черкаський державний технологічний університет,  
бульв. Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна

***Анотація.** Обоснована система уравнений, с использованием которой выполнены аналитические исследования влияния конструктивных, геометрических и кинематических параметров ножевой головки и чаши куттера на эффективность резального действия ножей куттера. Предложен новый путь повышения эффективности резального действия ножей и, соответственно, производительности куттеров – использование ножей, конструкция которых позволяет увеличить время для прохождения сырья между ними. Путем численного моделирования подтверждена повышенная прочность новых ножей.*

***Ключевые слова:** куттер, производительность, ножи, исследование.*

## THE INCREASE OF CUTTING EFFICIENCY OF CUTTER KNIVES

**Nekoz O. I., D.Tech.Sc., professor,**  
National university of food technologies,

Volodimirskya str., 68, Kyiv, Ukraine

**Osyenko V. I., D.Tech.Sc., professor,**

**Borovyk A. I., Ph.D., associate professor,**

**Batrachenko O. V.,**

**Kulbaka V. O.**

Cherkasy State Technological University,  
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, Ukraine

*The system of equations, with the help of which analytic study of the influence of design, geometrical and kinematic parameters of knife head and bowl of a cutter on cutting efficiency of cutter knives is carried out, is substantiated. A new way of the increase of cutting efficiency of cutter knives and, respectively, of cutters productivity – the use of knives, the construction of which allows to increase time for raw material passing between knives – is offered. By the way of numeral design the improved durability of new knives is confirmed.*

***Keywords:** cutter, productivity, knives, research.*

**Постановка проблеми.** Підвищення продуктивності кутерів було і залишається актуальною задачею, що обумовлено відносно високою питомою собівартістю такого обладнання та жорсткими вимогами галузі до ефективності інвестицій через високу конкуренцію на ринку. Проте відомі шляхи вирішення цієї задачі (збільшення кількості ножів у ножовій головці та об'єму чаши) не мають необхідної ефективності.

**Аналіз джерел.** Дані робіт [1–3], в яких наведено результати високошвидкісної відеозйомки процесу роботи ножів кутера та аналітичного визначення її параметрів, становлять значний науковий та практичний інтерес. Як впливає з цих джерел, тільки перший з боку подачі сировини чашею ніж здійснює різання протягом усього руху в чаші кутера. Другий ніж виконує різання на ділянці, що менша половини такого шляху. Проте в [1–3] не наве-

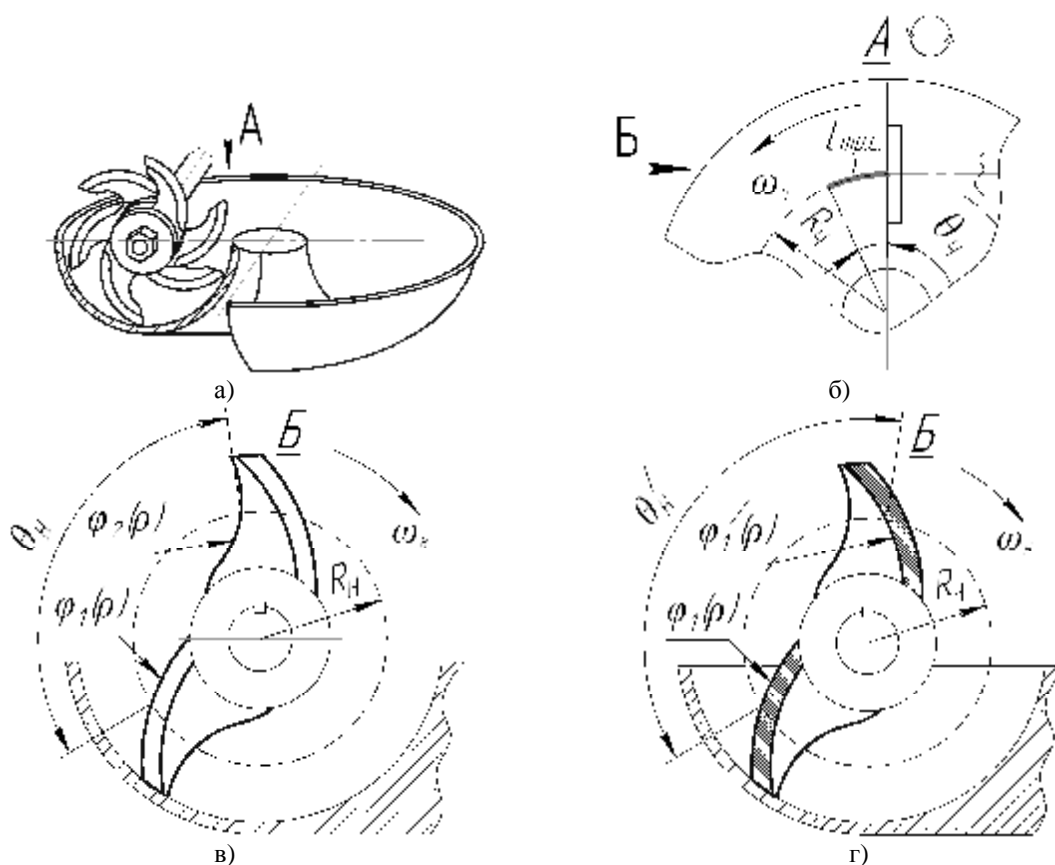
дено аналітичних виразів по визначенню необхідних параметрів, відсутнє врахування впливу геометрії ножів на продуктивність кутера і не запропоновано шляхів її підвищення.

**Метою статті** є підвищення різальної дії ножів кутера і відповідно продуктивності тонкого подрібнення м'ясної сировини.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Проведемо визначення досліджуваних параметрів кутера, використовуючи схему, зображену на рис. 1. Товщину шару сировини (довжину траєкторії переміщення точки сировини чашею кутера), яка вимірюється поміж двома різальними діями ножів, можна визначити так, м:

$$I_{mp.c.} = u_q \cdot t_q, \quad (1)$$

де  $v_q$  – лінійна швидкість точки сировини у чаші, м/с;  $t_q$  – тривалість переміщення точки сировини чашею кутера у час, в який геометрія першого ножа, що здійснив різальну дію, не перешкоджає надходженню сировини в зону різання перед різальною дією наступного ножа, с.



**Рис. 1. Схеми до визначення розрахункових параметрів:**  
 а) робочої зони кутера; б) чаші; в) ножової головки стандартної будови;  
 г) ножової головки розробленої будови

З умови фізичної постановки задачі (рис. 1, б, в) можна визначити, що  $t_q = t_n$ , де  $t_n$  – величина проміжку часу поміж проходженням визначеної точки зони різання тильною стороною першого ножа та різальною кромкою наступного ножа, що здійснюватиме різання.

Значення  $t_n$  можна визначити залежно від конструктивних і кінематичних параметрів ножової головки:

$$t_n = \frac{q_n}{w_n}, \quad (2)$$

де  $\theta_n$  – величина кута, що визначає вільний простір для проходження сировини, яка подається чашею в зону різання, поміж двома різальними діями ножів, рад;  $\omega_n$  – кутова швидкість обертання ножової головки та ножів кутера, рад/с.

В свою чергу, як відомо, кутова швидкість залежить від частоти обертання як, рад/с:

$$w_n = \frac{p \cdot n_n}{30}, \quad (3)$$

де  $n_n$  – частота обертання ножової головки та ножів кутера,  $\text{хв}^{-1}$ .

Аналогічно можна визначити лінійну швидкість точки шару сировини, що подається чашею кутера:

$$u_q = \frac{p \cdot n_q \cdot R_q}{30}, \quad (4)$$

де  $n_q$  – частота обертання чаші кутера,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$R_q$  – радіус обертання точки шару сировини, м.

Зважаючи на зазначене, товщину шару сировини, який чашею кутера подається в зону різання поміж двома різальним діями ножів, можна визначити за виразом (1), виконавши при цьому елементарні алгебраїчні перетворення, м:

$$l_{\text{мр.с.}} = \frac{p \cdot n_q \cdot R_q}{30} \cdot \frac{q_n}{p \cdot n_n} = \frac{q_n \cdot n_q \cdot R_q}{n_n}, \quad (5)$$

Слід зазначити, що величина кута  $\theta_n$  залежить як від кількості ножів в одній площині

різання (в одному ножовому блоці), так і від їх геометричної форми, а саме – від виду кривих, у вигляді яких виконано різальну кромку лека кожного ножа та його тильну сторону (рис. 1, в). З огляду на це, величина кута  $\theta_n$  визначається за виразом

$$q_n(r) = \frac{2p}{z'_n} - j_1(r) + j_2(r), \quad (6)$$

де  $z'_n$  – кількість ножів в одній площині різання (в одному ножовому блоці), зазвичай  $z'_n = 2$ ;

$\varphi_1(\rho)$  та  $\varphi_2(\rho)$  – полярні рівняння кривих, у вигляді яких виконано відповідно різальну кромку і тильну сторону ножів, причому рівняння виражені як функції кута  $\varphi$  від радіуса  $\rho$ .

Для того щоб визначити рівняння  $\varphi_1(\rho)$  і  $\varphi_2(\rho)$ , необхідно з'ясувати, які типи конструкцій ножів кутера найчастіше використовуються на практиці. Відома [4] значна кількість конструкцій ножів кутера, проте можна виділити ті типи, що набули найбільшого поширення (рис. 2).

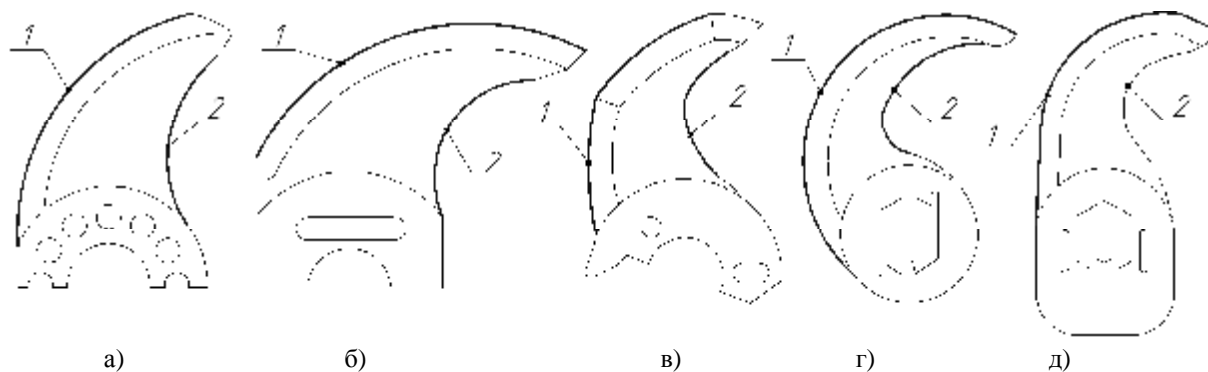


Рис. 2. Типи конструкцій ножів для кутерів марок:

а) Alpina (I); б) Л5-ФКБ (II); в) Laska (III); г) Seydelmann (IV); д) Kraemer+Grebe (V)

Відповідно до зазначених типів конструкцій ножів рівняння  $\varphi_1(\rho)$  та  $\varphi_2(\rho)$  можуть бути визначені наступним чином. Для ножів типів I, II і III, зазначені поверхні яких мають форму ділянки кола, рівняння  $\varphi_1(\rho)$  і  $\varphi_2(\rho)$  набудуть вигляду рівняння кола в полярній системі координат. Рівняння кола в декартовій системі координат, як відомо, має вигляд:  $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$ , де  $(x_0; y_0)$  – координата центру кола з радіусом  $R$ . Перехід від декартової системи координат до полярної відбувається за допомогою перетворень:  $x = r \cdot \cos j$  та  $y = r \cdot \sin j$ . В такому разі, враховуючи, що крива 1 – ділянка кола радіусом  $R_0$ , а крива 2 – ділянка кола радіусом  $R_1$ , їх рівняння в полярній системі координат набудуть вигляду (після вираження  $\varphi$  через  $\rho$ ):

$$j_1(r) = \arccos \left( \frac{r^2 + x_0^2 + y_0^2 - R_0^2}{2r\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right) + \arctg \left( \frac{y_0}{x_0} \right), \quad (7)$$

$$j_2(r) = \arccos \left( \frac{r^2 + x_1^2 + y_1^2 - R_1^2}{2r\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \right) + \arctg \left( \frac{y_1}{x_1} \right), \quad (8)$$

де  $x_0, y_0$  – координати центра кола радіусом  $R_0$  (стосовно ножів типу III вибір значень параметрів кола проводиться відповідно до обраної ділянки різальної кромки);

$x_1, y_1$  – координати центра кола радіусом  $R_1$ .

Для ножів типу IV, різальна кромка яких виконана у вигляді Архімедової спіралі, рівняння функції  $\varphi_1(\rho)$  можна визначити з рівняння цієї спіралі –  $r = r_0 + A \cdot j$ . Звідси:

$$j = \frac{r - r_0}{A}, \quad (9)$$

де  $\rho_0$  – початковий радіус-вектор;

$$A = \frac{a}{2p} \text{ – де } a \text{ – крок спіралі.}$$

Для ножів типу V, різальна кромка яких виконана у вигляді евольвенти, рівняння функції  $\varphi_1(\rho)$  можна визначити з рівняння евольвенти. В цьому випадку рівняння евольвенти у полярній системі координат запишеться таким чином:

$$r = \frac{r}{m} \sqrt{(j - j_0)^2 + m^2}, \quad (10)$$

де  $\varphi_0$  – величина зміщення центру евольвенти відносно осі обертання ножа;

$m$  – масштабний коефіцієнт.

Рівняння кривої I визначимо з рівняння евольвенти в полярній системі координат, що було зазначено вище:

$$j_1(r) = j_0 - m \sqrt{\left(\frac{r}{r}\right)^2 - 1}. \quad (11)$$

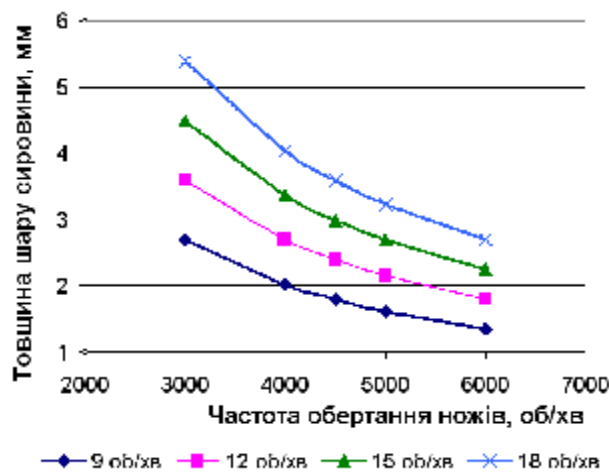


Рис. 3. Залежність товщини шару сировини від кінематичних параметрів кутера

Як впливає з даних рис. 3 і 4, при існуючих конструктивних і кінематичних параметрах ножової головки і чаші кутера неможливо досягти такого значення  $l_{mp.c.}$ , яке б дозволяло гарантовано забезпечити підвищення кількості циклів різання за один оберт ножової головки. Це суттєвим чином зменшує продуктивність кутера [3].

Авторами пропонується збільшити значення кута  $\theta_n$  та підвищити частоту обертання  $n_n$  чаші кутера, що зрештою може дозволити підвищити значення  $l_{mp.c.}$ . Збільшення значення  $\theta_n$  можливо досягти, застосувавши ножі нової конструкції, які мають заглиблення на стороні, що контактує із шаром фаршу, який подається чашею кутера (рис. 5, б). Викорис-

тання функції  $\varphi_2(\rho)$ , відповідно до конструкції ножа, можна визначити з рівнянь (8), (9) або (11). Значення радіус-вектора  $\rho$  в рівняннях (6–11) приймається рівним обраному значенню поточного радіуса обертання точок ножів  $\rho = R_n$ .

На рис. 3, 4 представлено результати визначення  $l_{mp.c.}$ . Розрахунки виконано за виразами (1–8) стосовно випадку використання ножів конструкції типу I. Значення параметрів при цьому (рис. 3) є такими:  $n_n = 3000, 4000, 4500, 5000, 6000 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n_c = 9, 12, 15, 18 \text{ хв}^{-1}$  ( $n_c = 18 \text{ хв}^{-1}$  стосовно рис. 4);  $R_c = 0,4 \text{ м}$ ;  $z_n = 2$ ;  $x_0 = 0,141 \text{ м}$ ;  $y_0 = 0,055 \text{ м}$ ;  $R_0 = 238 \text{ м}$ ;  $x_1 = 0,2 \text{ м}$ ;  $y_1 = 0,132 \text{ м}$ ;  $R_1 = 0,138 \text{ м}$ ;  $R_n = 0,165 \text{ м}$ . Геометричні параметри ножового блока:  $R_{n,max} = 0,3 \text{ м}$ ,  $R_{n,min} = 0,105 \text{ м}$ . Геометричні параметри чаші:  $R_{c,max} = 0,7 \text{ м}$ ,  $R_{c,min} = 0,1 \text{ м}$ .

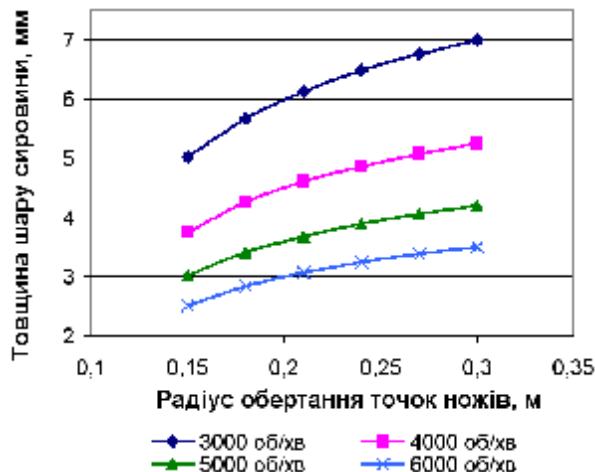


Рис. 4. Залежність товщини шару сировини від радіусу обертання точок ножів

тання заглиблення, порівняно зі стандартною будовою ножа (рис. 5, а), дозволяє збільшити проміжок часу, протягом якого сировина подається в зону різання наступного ножа.

На рис. 6 наведено результати розрахунку значення  $l_{mp.c.}$  при використанні ножів розробленої будови ( $\delta = 0,046 \text{ м}$ ) з яких впливає, що значення  $l_{mp.c.}$  збільшується на 22%. На рис. 7 – те саме, але при  $z_n = 3$  та збільшених порівняно зі стандартними значеннях  $n_c$ . При цьому визначення параметра  $\theta_n$  проводилось за виразом (рис. 1, г):

$$q'_n(r) = \frac{2p}{z'_n} - j_1(r) + j'_1(r), \quad (12)$$

де  $\varphi'_1(\rho)$  – полярне рівняння кривої, що є границею заглиблення на боковій стороні ножа

(визначається аналогічно  $\varphi_1(\rho)$ , але при менших значеннях параметрів: для ділянки кола –

$R'_0 = R_0 - \delta$ , м; для Архімедової спіралі –  $a' = a - \delta$ ; для евольвенти –  $m' = m - \delta$  тощо).

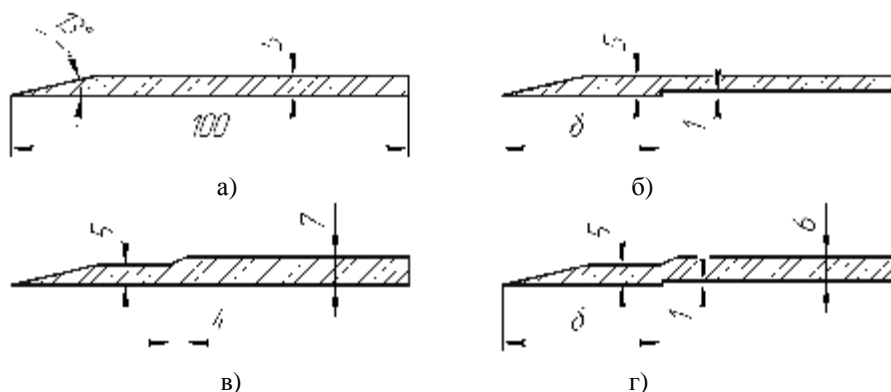


Рис. 5. Види поперечних перерізів ножів різної будови ( $R_{n,max} = 0,3$  м): а) стандартної (тип I); б) розробленої (тип II); в) відомої (тип III); г) розробленої (тип IV)

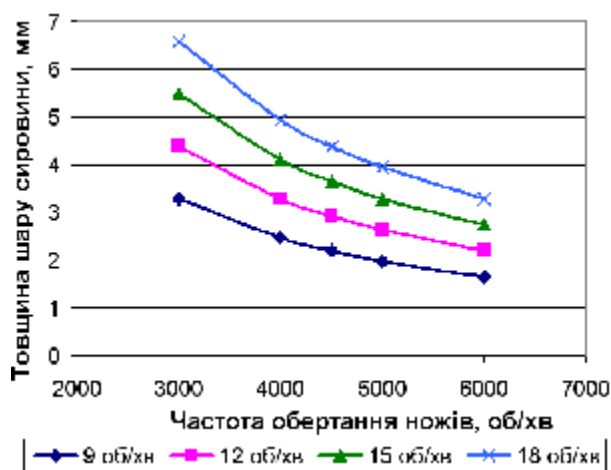


Рис. 6. Значення товщини шару сировини від кінематичних параметрів кутера при використанні ножів розробленої будови

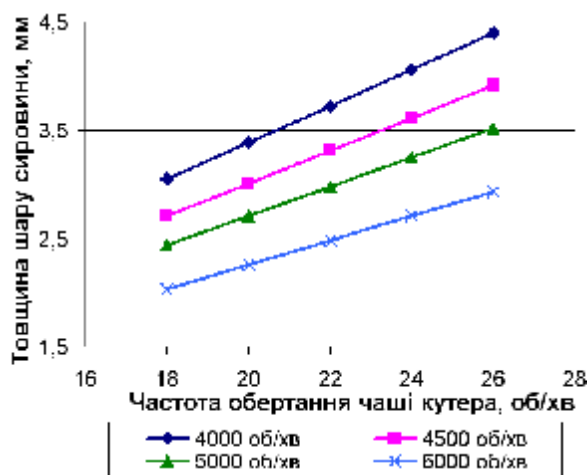


Рис. 7. Значення товщини шару сировини при використанні ножів розробленої будови та  $z'_n = 3$  в першому ножовому блоці

Як впливає з рис. 6, 7, використання запропонованих рішень (наявність заглиблень у ножах, збільшення  $z'_n$  з 2 до 3, збільшення частоти обертання чаші до 22  $\text{хв}^{-1}$ ) дозволяє забезпечити такі умови подачі сировини, що поміж двома різальними діями ножів нагнітається шар сировини товщиною 3,1 мм (при  $n_n = 4500 \text{ хв}^{-1}$  та  $R_n = 0,165$  м). Це лише на 8 % менше за значення товщини шару сировини (3,6 мм), яка нагнітається поміж двома різальними діями ножів у стандартному ножовому блоці (при  $z'_n = 2$ ). Таким чином, утворюється можливість забезпечити збільшення кількості різальних дій ножів у площині різання першого ножового блока з 2 до 3 за один його оберт. Цим самим створюються можливості для істотного підвищення продуктивності кутера, оскільки [1–3] найбіль-

шу роботу різання здійснюють ножі, що працюють у першій площині різання.

Задля забезпечення належної міцності ножів із заглибленням розробленої будови авторами запропоновано використати відому конфігурацію поперечного перерізу ножа (рис. 5, в), яка обґрунтована в роботі [5]. Авторами пропонується нова конфігурація поперечного перерізу (рис. 5, г). Така будова дозволяє очікувати одночасного досягнення підвищення продуктивності кутера, зменшення нагріву сировини та підвищення міцності ножа.

Чисельне моделювання напруженого стану ножів з перерізами типу I-IV проводилось за допомогою програмного комплексу *T-Flex Analysis*. Значення лобового тиску визначалося за [6] з умови обертання ножа радіусом 300 мм із частотою 4500  $\text{хв}^{-1}$  і задава-

лося в межах від 5,3 до 2,9 МПа по довжині леза. Тиск на бокову поверхню ножа приймався рівним 6 кПа [6]. Матеріал моделі – сталь легована із межею текучості

620,4 МПа. Результати моделювання (значення напружень  $\sigma_{max}$ , МПа та коефіцієнта запасу міцності  $K_{з.м.}$ ) наведено в табл. 1, а їх візуалізацію – на рис. 8.

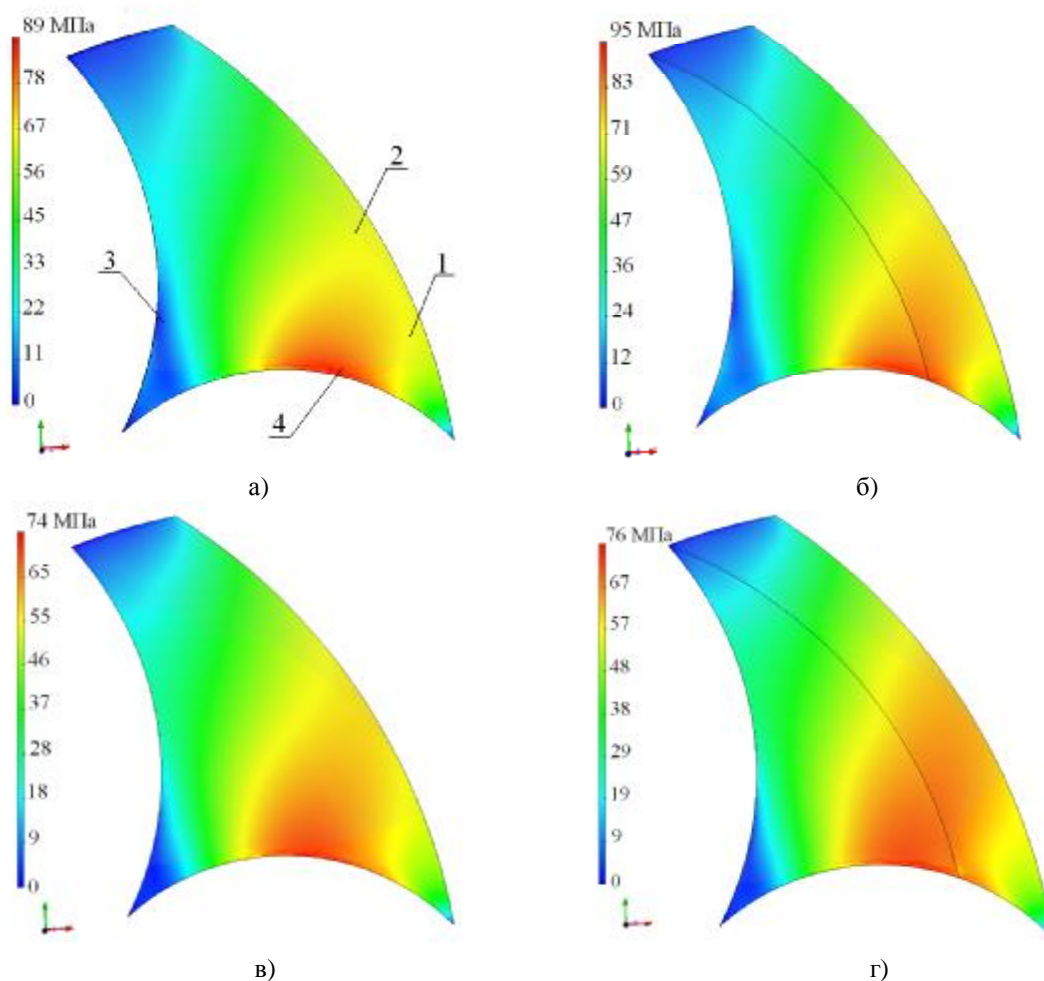


Рис. 8. Візуалізація напруженого стану ножів різної будови (нижня сторона, відповідно до рис. 3): а) стандартної типу I; б) розробленої типу II; в) розробленої типу III; г) розробленої типу IV

Таблиця 1

**Значення напружень у ножах різної будови**

№ точки ножа (згідно з рис. 8, а)	Ножі сталюї товщини 5 мм				Ножі змінної товщини 5÷7 мм			
	типу I		типу II		типу III		типу IV	
	$\sigma_{max}$	$K_{з.м.}$	$\sigma_{max}$	$K_{з.м.}$	$\sigma_{max}$	$K_{з.м.}$	$\sigma_{max}$	$K_{з.м.}$
1	57,5	10,8	64,7	9,6	50,8	12,2	55,6	11,2
2	57,2	10,8	62,4	9,9	50,3	12,3	54,1	11,5
3	33,7	18,4	41,0	15,1	26,9	23,1	30,6	20,3
4	89,5	6,9	94,9	6,5	74,2	8,4	76,2	8,1

Запропонована конструкція ножа (рис. 5, г) дозволяє підвищити його міцність. Застосування поперечного перерізу типу IV дозволяє зменшити напруження в точках 3 і 4 порівняно з перерізом типу II на 34 і 24,5 % відповідно. Стає можливим зменшити напруження в точках 3 і 4

і порівняно з ножем стандартної будови (переріз типу I) на 10,1 і 17,4 % відповідно. Це доводить раціональність прийнятих у роботі рішень та перспективність використання в кутерах ножів, що мають поперечний переріз розробленої будови (тип IV).

**Висновки.** Запропонована та обґрунтована система алгебраїчних рівнянь, що описує вплив конструктивних, геометричних та кінематичних параметрів ножової головки на різальну дію ножів кутера.

На основі результатів чисельних розрахунків запропоновано новий шлях підвищення продуктивності кутерів – використання ножів, конструкція яких дозволяє збільшити час для проходження сировини поміж ними.

Шляхом чисельного моделювання досліджено напружений стан нової конструкції ножів. Встановлено, що ножі запропонованої будови мають підвищену міцність.

### Список літератури

1. Hammer, G. & Stoyanov, S. (2008) Uber das Kattern von Bruhwurstbrat. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*, (47), S. 243-251.
2. Хаммер Г. Участие второго ножа куттера в измельчении фарша / Г. Хаммер, С. Стоянов // Мясные технологи. – 2010. – № 7. – С. 42–46.
3. Відеоматеріали електронного ресурсу періодичного видання «М'ясна промисловість» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2013. – Режим доступу : <[www.fleischwirtschaft.de](http://www.fleischwirtschaft.de)>.
4. Вербицкий С. Б. Измельчение мясного сырья / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко, А. В. Батраченко // Мясной бизнес (Киев). – 2010. – № 5. – С. 84–96.
5. Некоз О. І. Дослідження умов контакту ножів кутера із сировиною з метою підвищення їх міцності / О. І. Некоз, І. М. Литовченко, О. В. Батраченко, С. І. Микитюк // Вісник Черкаського дер-

жавного технологічного університету. – 2012. – № 1. – С. 108–114.

6. Некоз О. І. Визначення значень робочих зусиль, що діють на ніж кутера / О. І. Некоз, О. В. Батраченко, С. О. Філімонов, С. І. Микитюк // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2012. – № 1. – С. 22–27.

### References

1. Hammer, G. & Stoyanov, S. (2008) Uber das Kattern von Bruhwurstbrat. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*, (47), S. 243-251.
2. Hammer, G. & Stoyanov, S. (2010) The participation of the second cutter knife in meat grinding. *Meat technologies*, (7), pp. 42-46 [in Russian].
3. Video-materials of electronic resource of «Meat industry» magazine (2013), Germany. Available at: <[www.fleischwirtschaft.de](http://www.fleischwirtschaft.de)> [in Ukrainian].
4. Verbitskiy, S. B., Shevchenko, V. V. & Batrachenko, A. V. (2010) Meat grinding. *Meat business*, Kyiv, (5), pp. 84-96 [in Russian].
5. Nekoz, O. I., Lytovchenko, I. M., Batrachenko, O. V. & Mykytyuk, S. I. (2012) The research of terms of cutter knives contact with raw material for the increase of their durability. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitety*, (1), pp. 108-114 [in Ukrainian].
6. Nekoz, O. I., Batrachenko, O. V., Filimov, S. O. & Mykytyuk, S. I. (2012) The determination of values of workings efforts which operate on cutter's knife. *Obladnannya ta tekhnologii harchovyh vyrobnytstv*, (1), pp. 22-27 [in Ukrainian].