

УДК 637.5.02

**О. І. Некоз, д.т.н., професор,**Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна**О. В. Батраченко, к.т.н.,****К. А. Мирошніченко**Черкаський державний технологічний університет  
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна**ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ЗМЕНШЕННЯ НАГРІВУ ФАРШУ  
ПРИ ЙОГО ПОДРІБНЕННІ В ЕМУЛЬСИТАТОРІ**

*В роботі запропоновано новий шлях зменшення нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі емульситатора – застосування решітки з кільцем жорсткості та ножа, леза якого мають відповідні пази. Шляхом математичного моделювання встановлено, що перехід від ребер жорсткості до кільця дозволяє зменшити максимальні напруження та підвищити коефіцієнт запасу міцності. Застосування кільця жорсткості змінної товщини дозволяє додатково підвищити коефіцієнт запасу міцності решітки. Визначено геометричні параметри решітки зовнішнім діаметром 175 мм, при яких буде забезпечено найвищу її міцність.*

**Ключові слова:** емульситатор, перфорована решітка, зменшення нагріву сировини.

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах однією з тенденцій розвитку підприємств харчової промисловості є пошук нових технологічних рішень, що дозволяють змінити машино-апаратне оснащення технологічних ліній з метою зменшення капітальних та експлуатаційних витрат.

Характерним прикладом такого підходу є вибір раціональних шляхів подрібнення м'ясної сировини при виготовленні ковбасних виробів. При виготовленні варених ковбас, сосисок, сарделок та паштетів ця тенденція виражається у все ширшому застосуванні машин, відомих як емульситатори. Емульситатори використовуються для тонкого якісного подрібнення фаршу після кутера або замість кутера [1].

Емульситатори з робочими органами типу «ніж-решітка» виготовляються такими виробниками, як *Karl Schnell GmbH & Co.* (рис. 1, а) [2], *Inotec GmbH Maschinentwicklung und Vertrieb*, *GEA Food Technologies*, *Maschinenfabrik Laska GmbH* тощо. Машинам такого типу властива низка недоліків, які обумовлені тим, що для кінцевого тонкого подрібнення в їх різальних механізмах використовують перфоровані решітки з отворами малого діаметра (1,0÷0,5 мм). Такі решітки виготовляються [3] з радіальними ребрами жорсткості, що ділять решітку на низку секторів (рис. 1, б). Решітка має периферійне кільце жорсткості 1, цент-

ральне кільце жорсткості 2, ребра жорсткості 3 і перфоровані ділянки 4 з робочими отворами.

Одним із суттєвих недоліків є те, що при використанні зазначених решіток надто підвищується температура фаршу при подрібненні. Це викликає денатурацію білків фаршу, що призводить до погіршення якості та зменшення кількості виготовленого кінцевого продукту. Ймовірно припустити, що генерування надлишкової кількості теплоти при терті ножів об решітки обумовлено наявністю неперфорованих ділянок – ребер жорсткості 3, через що істотно підвищується робота сил тертя.

Актуальним є пошук шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в різальному механізмі емульситатора.

**Аналіз джерел.** В роботах [4–7] наведено результати досліджень роботи емульситаторів, проте питання впливу конструктивних параметрів решітки на величину нагріву фаршу в них не висвітлено. Пошук шляхів вдосконалення конструкції решіток емульситатора нерозривно пов'язаний з необхідністю забезпечення належної їх міцності та жорсткості. В роботі [8] наводяться методики аналітичного визначення напружено-деформованого стану перфорованих пластин, до яких і відноситься решітка емульситатора. Проте в цій роботі не приділено уваги врахуванню впливу елементів жорсткості пластин на їх напружено-деформований стан. В роботі [9] автори досліджують жорсткість кришок консервної та-

ри, що мають такі елементи, як кільця жорсткості. Проте геометрія зазначених у роботі елементів жорсткості не дозволяє використати отримані результати для аналізу жорсткості решіток емульсаторів. Автори роботи

[10] вказують на доцільність використання методів чисельного моделювання при аналізі напружено-деформованого стану перфорованих конструкцій складної конфігурації та на переваги таких методів.

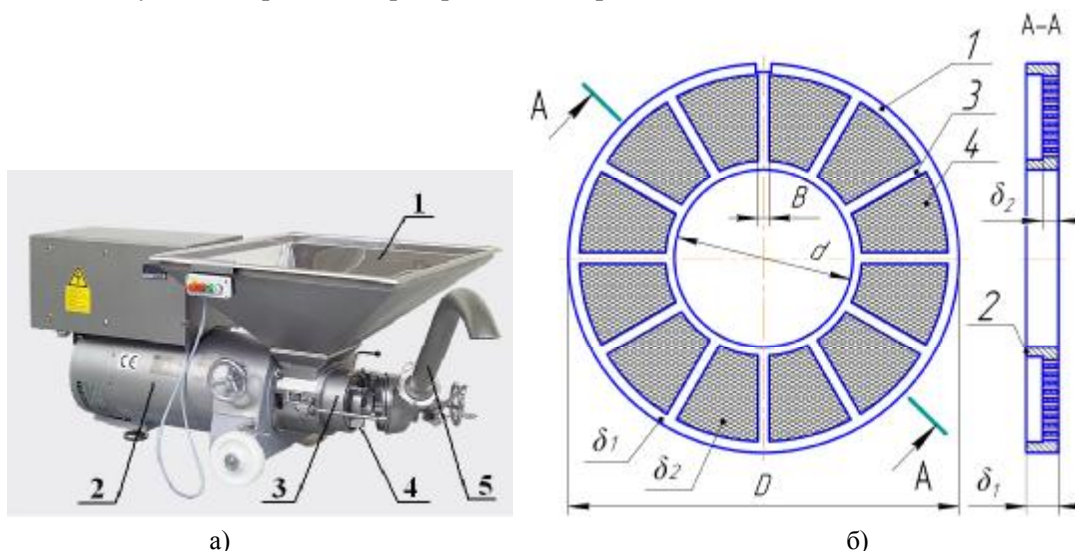


Рис. 1. Будова емульсатора марки *Karl Schnell FD 175*:

- а) загальний вигляд емульсатора: 1 – бункер; 2 – електродвигун; 3 – місце розташування різального механізму; 4 – вивантажувальна крильчатка; 5 – вивантажувальний патрубок;  
 б) будова перфорованої решітки: 1 – периферійне кільце жорсткості; 2 – центральне кільце жорсткості; 3 – ребро жорсткості; 4 – перфорована частина

Загалом можна зазначити, що у відомих працях не наведено математичних моделей, які б дозволили проаналізувати напружено-деформований стан решіток емульсатора та запропонувати нові шляхи підвищення їх міцнісних характеристик.

**Метою роботи є** розробка та обґрунтування шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в різальному механізмі емульсатора.

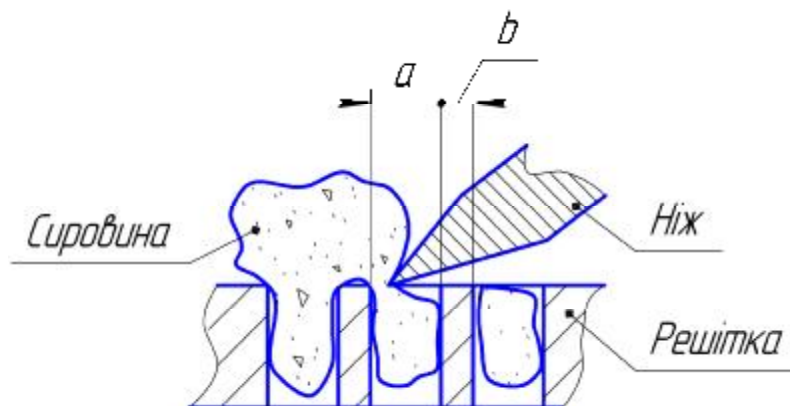
**Основна частина.** Ефективним шляхом зменшення нагріву фаршу при подрібненні може бути зменшення площі контакту ножа з перфорованою решіткою. Зважаючи на конструктивні особливості решіток з мілкими отворами, як резерв зменшення вказаної площі доцільно розглядати саме ребра жорсткості (рис. 1, б). При цьому, згідно з положеннями теорії вирішення винахідницьких задач, виникає таке технічне протиріччя: «Ребра жорсткості повинні бути наявні, щоб забезпечувати високу міцність та жорсткість решітки, і ребра жорсткості повинні бути відсутні, щоб не збільшувати нагрів фаршу при подрібненні».

Вирішення цього протиріччя авторами базувалося на двох основних засадах:

- проведення функціонального аналізу взаємодії ножа та решітки;
- пошук конструктивних способів підвищення міцності решітки.

За допомогою функціонально-вартісного аналізу було встановлено, що щільний контакт лез з решіткою в зонах поза межами отворів не є обов'язковим, оскільки процес різання сировини в цих зонах не здійснюється (рис. 2). Таким чином, згідно з задачею, бажано, щоб контакт лез ножа з ребрами жорсткості був відсутній, оскільки він є шкідливим.

Контакт лез з ребрами жорсткості можна було б усунути, якби орієнтування ребер було змінено. Цього можна досягти, якщо замість ребер жорсткості застосувати кільце жорсткості. Як відомо, в деталях типу днищ, кришок та дисків доцільно застосовувати саме кільця жорсткості, оскільки при згинанні диска кільце працює на розтягування-стискання, на відміну від радіальних ребер, які працюють переважно на згинання. Це обумовлює більшу міцність і жорсткість дисків з кільцями жорсткості.



**Рис. 2. Схема взаємодії ножа з перфорованою решіткою:**

*a* – зона обов'язкового контакту леза ножа з решіткою;  
*b* – зона, в якій контакт леза з решіткою не є обов'язковим

Враховуючи означене вище, авторами запропоновано нову будову різального механізму емульсаторів (рис. 3). До складу різального механізму входить перфорована решітка 1, з якою контактує обертовий ніж 2 з лезами 3. Решітка має периферійне кільце жорсткості 4, центральне кільце жорсткості 5 та робочі отвори 6. Поміж центральним 5 та периферійним 4 кільцями жорсткості наявне проміжне кільце жорсткості 7.

Леза ножа 3 мають проміжні ділянки 8 (пази). Проміжні ділянки 8 розташовані над проміжним кільцем жорсткості 7 таким чином, що проміжні ділянки ножа 8 не труться об кільце. Ширина кільця жорсткості 7 може бути змінною: ширина кільця *a* з боку контакту решітки з ножом є меншою за ширину *b* з протилежного боку (за рахунок наявності кута розширення  $\alpha_k$ ). Внаслідок такого конструктивного виконання загальна площа тертя лез 3 ножа об перфоровану решітку значно зменшується, що приводить до зменшення роботи тертя різальної пари і до зменшення нагріву фаршу.

При розрахунку решіток на міцність та жорсткість використовуємо наступні залежності. Питомі згинальні моменти:

$$M_x = -D \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$M_y = -D \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right), \quad (2)$$

де  $\omega(x; y)$  – функція прогину пластини;  
 $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Циліндрична жорсткість пластини:

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (3)$$

де  $E$  – модуль пружності;  
 $\delta$  – товщина пластини.

Питомий крутний момент:

$$H_{xy} = -D(1 - \mu) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \quad (4)$$

Питомі поперечні сили:

$$N_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 \omega, \quad (5)$$

$$N_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 \omega. \quad (6)$$

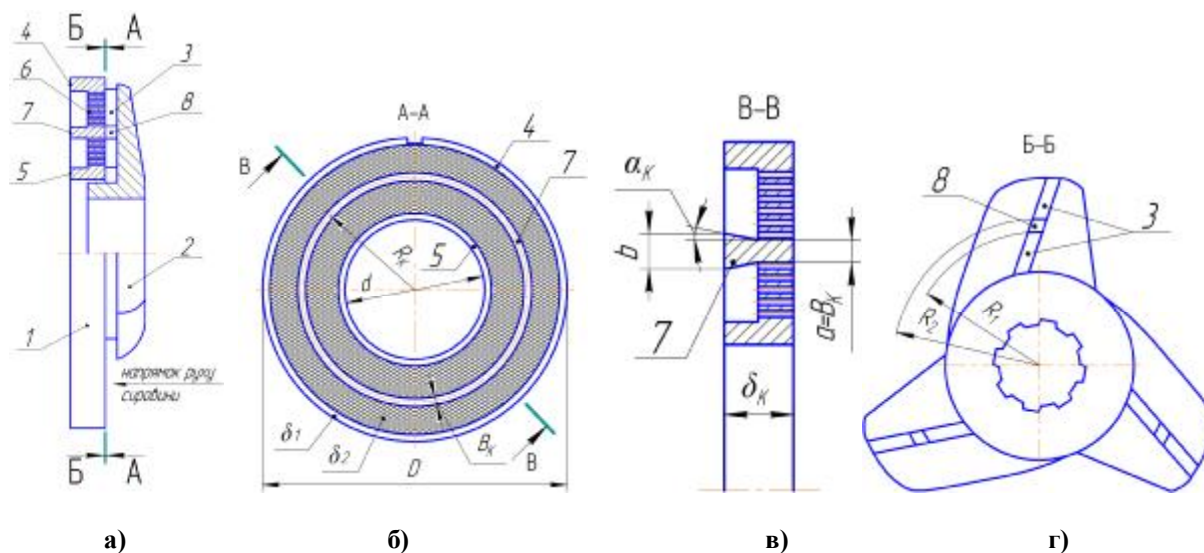
Оператор Лапласа:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}. \quad (7)$$

Підсумкове рівняння для функції  $\omega(x; y)$ , яке визначає напружений та деформований стан пластини, має такий вигляд:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \nabla^2 \nabla^2 \omega(x; y) = \frac{q(x; y)}{D}, \quad (8)$$

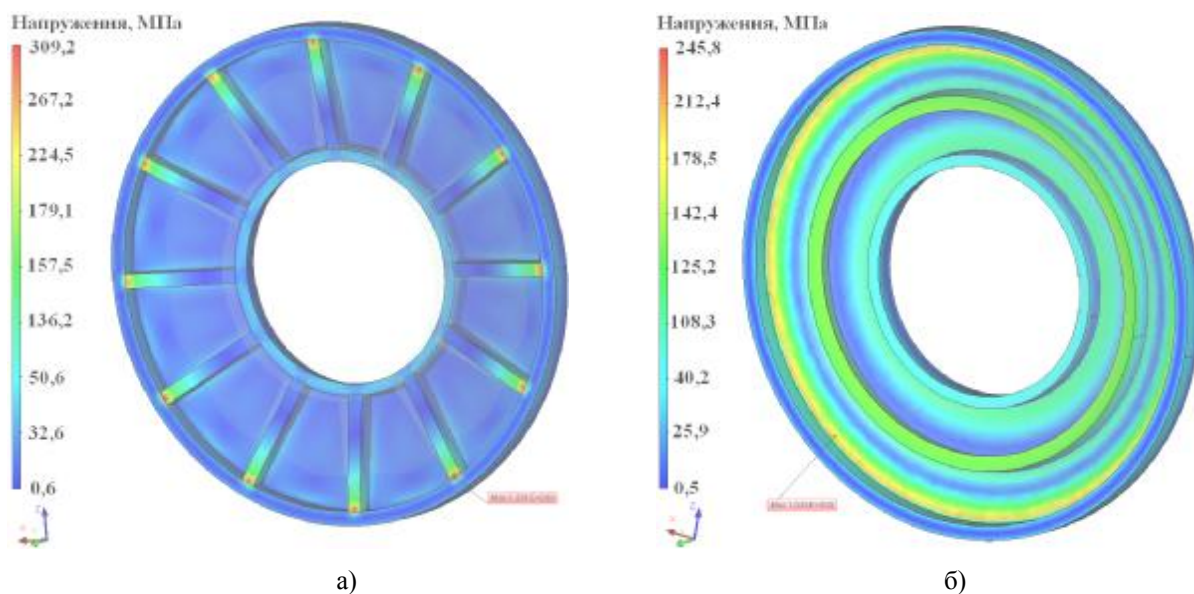
де  $q(x; y)$  – інтенсивність поперечного навантаження.



**Рис. 3. Запропонована будова різального механізму:**  
 а) вид різального механізму збоку; б) решітка з кільцем жорсткості;  
 в) поперечний перетин решітки; г) ніж зміненої будови

Враховуючи складність геометрії решіток відомої та запропонованої будови, було використано чисельне моделювання методом скінчених елементів у середовищі програмного комплексу *T-Flex Analysis*. За основу було взято решітку відомої будови емульсатора *Karl Schnell FD 175* із зовнішнім діаметром 175 мм та робочими отворами діаметром

1,0 мм. Товщина перфорованої частини решіток становила 2 мм, елементів жорсткості – 5÷9 мм. Як матеріал решіток було обрано сталь леговану з межею міцності на розрив 400 МПа. Прикладене навантаження в усіх випадках становило 0,3 МПа. Візуалізацію отриманих результатів зображено на рис. 4 (приклад) та на рис. 5–8.



**Рис. 4. Візуалізація напружено-деформованого стану решіток:**  
 а) відомої будови з радіальними ребрами жорсткості;  
 б) запропонованої будови з кільцем жорсткості  
 ( $R_k = 63,25$  мм;  $B_k = 6$  мм;  $\delta_k = 5$  мм;  $\alpha_k = 0^\circ$ )

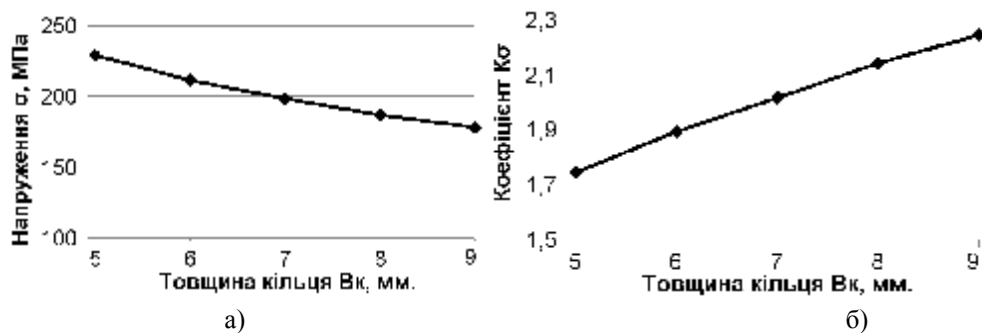


Рис. 5. Залежність показників міцності решітки від товщини кільця жорсткості  $B_k$  ( $R_k = 63,25$  мм;  $\delta_k = 5$  мм): а) максимальні напруження  $\sigma$ ; б) коефіцієнт запасу міцності  $K_\sigma$

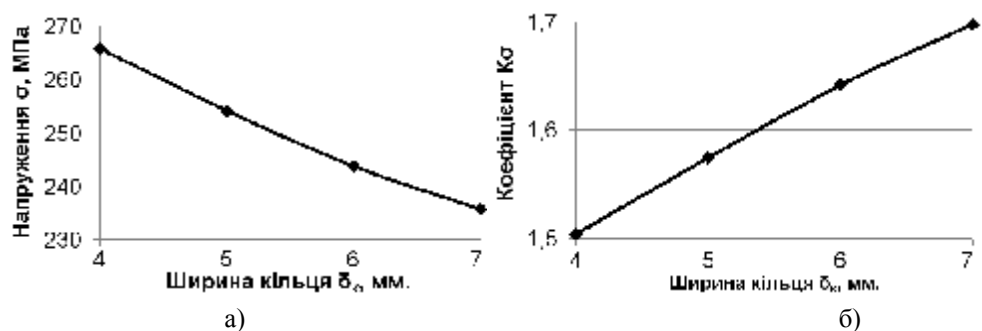


Рис. 6. Залежність показників міцності решітки від ширини кільця жорсткості  $\delta_k$  ( $B_k = 6$  мм;  $R_k = 63,25$  мм): а) максимальні напруження  $\sigma$ ; б) коефіцієнт запасу міцності  $K_\sigma$

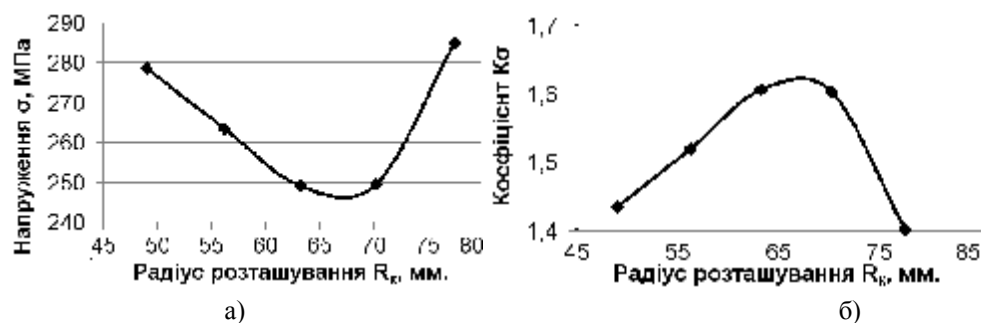


Рис. 7. Залежність показників міцності решітки від радіуса розташування кільця жорсткості  $R_k$  ( $B_k = 6$  мм;  $\delta_k = 5$  мм): а) максимальні напруження  $\sigma$ ; б) коефіцієнт запасу міцності  $K_\sigma$

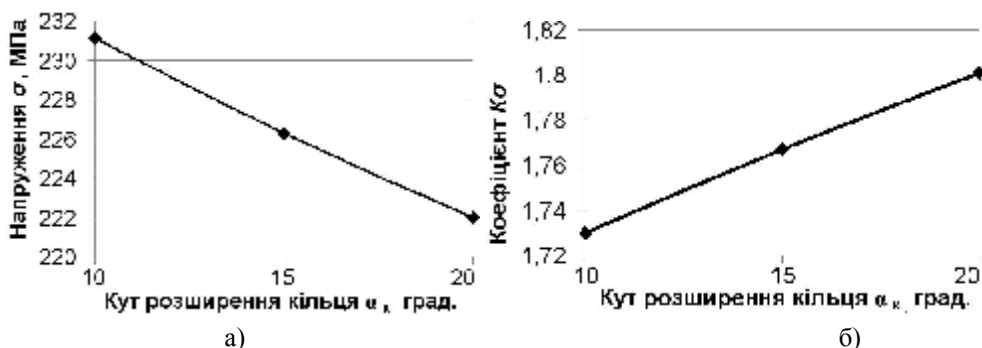


Рис. 8. Залежність показників міцності решітки від кута розширення кільця жорсткості  $\alpha_k$  ( $B_k = 6$  мм;  $\delta_k = 5$  мм;  $R_k = 63,25$  мм): а) максимальні напруження  $\sigma$ ; б) коефіцієнт запасу міцності  $K_\sigma$

Отримані в ході чисельного моделювання експерименту значення напружень та коефіцієнта запасу міцності були апроксимовані методом найменших квадратів (табл. 1).

Максимальні напруження в решітці відомої будови становили 309,2 МПа, коефіцієнт запасу міцності – 1,29.

Таблиця 1

## Рівняння регресії отриманих графічних залежностей та їх параметри

Номер рисунка	Рівняння регресії	Значення коефіцієнтів рівняння	Номер рисунка	Рівняння регресії	Значення коефіцієнтів рівняння
1	2	3	4	5	6
5, а	$y = ax^b$	$a = 458,784$ $b = -0,431$	5, б	$y = ab^x x^c$	$a = 0,823$ $b = 0,99$ $c = 0,497$
6, а	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$	$a = 254,2$ $b = 19,408$ $c = 0,64$ $d = -1,632$	6, б	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	$a = 1,271$ $b = -0,17$ $c = -0,173$ $d = 0,005$
7, а	$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	$a = -1011,723$ $b = 72,838$ $c = -1,336$ $d = 0,008$	7, б	$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	$a = 9,036$ $b = -0,427$ $c = 0,009$ $d = -0,0001$
8, а	$y = a + bx + cx^2$	$a = 242,2$ $b = -1,21$ $c = 0,01$	8, б	$y = a + bx + cx^2$	$a = 1,647$ $b = 0,009$ $c = -0,0001$

**Висновки.** У роботі запропоновано новий шлях зменшення нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі емульсатора – застосування решітки з кільцем жорсткості та ножа, леза якого мають відповідні пази.

Шляхом математичного моделювання встановлено, що перехід від ребер жорсткості до кільця дозволяє зменшити максимальні напруження на 25,8 % (з 309,2 до 245,8 МПа) та підвищити коефіцієнт запасу міцності з 1,29 до 1,63. Застосування кільця жорсткості змінної товщини дозволяє додатково підвищити коефіцієнт запасу міцності решітки на 10,4 % (з 1,63 до 1,8). Визначено геометричні параметри решітки зовнішнім діаметром 175 мм, при яких буде забезпечено найвищу її міцність:  $R_k = 66,5$  мм;  $B_k = 6$  мм;  $\delta_k = 5$  мм;  $\alpha_k = 20^\circ$ .

При запропонованій будові різального механізму загальна площа тертя лез ножа об перфоровану решітку зменшується на 25 %,

що приводить до зменшення роботи тертя різальної пари та до зменшення нагріву фаршу. Одночасно з цим покращуються показники міцності решітки (на 36,2 %), що дозволяє забезпечити її підвищену довговічність.

## Список літератури

1. Вербицкий С. Б. Измельчение мясного сырья / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко, А. В. Батраченко // Мясной бизнес. – 2010. – № 5. – С. 84–96.
2. Промисловий каталог фірми Karl Schnell GmbH & CO. KG [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2015. – Режим доступу: [www.karlschnell.de](http://www.karlschnell.de)
3. Промисловий каталог фірми Karl Schnell GmbH & CO. KG [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2015. – Режим доступу: [www.ks-hopla.de](http://www.ks-hopla.de)



4. Тонкое измельчение мясного сырья новым режущим механизмом в эмульсификаторах / В. Я. Гурданов, А. А. Бренч, Л. Т. Ткачева, М. О. Филиппович // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. – 2010. – № 3. – С. 105–109. – (Серія аграрных навук).
5. Вербицкий С. Б. Залежність нагрівання подрібнювальних ковбасних фаршів від тривалості роботи емульсификатора / С. Б. Вербицкий // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / гол. ред. О. О. Шубін ; Донецьк. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – Вип. 28. – С. 10–15.
6. Haack W. Bearbeitungsvorgänge im Kutter - Konstruktive Voraussetzungen für qualitativ hochwertige Fleischwaren / W. Haack, W. Schnäckel, J. Wilke // Fleischwirtschaft. – 1999. – № 4. – P. 36–40.
7. Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses / W. Schnäckel, J. Krikmeier, D. Schnäckel, O. Haack // Fleischwirtschaft. – 2012. – 7. – P. 91–96.
8. Григолюк Э. И. Перфорированные пластины и оболочки / Э. И. Григолюк, Л. А. Фильштинский. – М. : Наука, 1970. – 556 с.
9. Ватренко О. В. Аналіз роботи мембран кришок консервної скляної тари / О. В. Ватренко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2014. – № 2. – С. 142–148.
10. Яхно Б. О. Напряженно-деформированное состояние цилиндрических толстостенных перфорированных оболочек / Б. О. Яхно, С. И. Трубачев // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». – 2013. – № 67. – С. 126–130. – (Серія : Машинобудування).
2. Karl Schnell GmbH & CO. KG (2015) [Internet]. Germany. Available from: <[www.karlschnell.de](http://www.karlschnell.de)>
3. Karl Schnell GmbH & CO. KG (2015) [Internet]. Germany. Available from: <[www.ks-hopla.de](http://www.ks-hopla.de)>
4. Gurdanov, V. Ya., Brench, A. A., Tkacheva, L. T. and Fylyppovych, M. O. (2010) Fine grinding of meat raw material by new cutting mechanism in emulsifiers. *Vesci Nacyyanal'noj akademii navuk Belarusi. Serya agrarnyx navuk*, (3), pp. 105–109 [in Russian].
5. Verbyczkyj, S. B. (2012) The dependence of heating of grinded sausage meat on emulsifier's life. *Obladnannya ta texnologiyi harchovyh vyrobnyctv*: themat. collection of scient. works. In: O. O. Shubin (Chief ed.); Donetsk. nats. un-t ekonomiky i torgivli im. M. Tugan-Baranovs`kogo, (28), pp. 10–15 [in Ukrainian].
6. Haack, W., Schnäckel, W. and Wilke, J. (1999). Bearbeitungsvorgänge im Kutter - Konstruktive Voraussetzungen für qualitativ hochwertige Fleischwaren. *Fleischwirtschaft*, (4), pp. 36-40.
7. Schnäckel, W., Krikmeier, J., Schnäckel, D. and Haack, O. (2012). Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. *Fleischwirtschaft*, (7), pp. 91–96.
8. Hryholiuk, E`I. and Fylshtynskyi, L. A. (1970) Perforated plates and shells. Moscow: Nauka, 556 p. [in Russian].
9. Vatrengo, O. V. (2014) The analysis of the work of lid membranes of tin glass containers. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, (2), pp. 142–148 [in Ukrainian].
10. Yakhno, B. O. (2013) Defected mode of cylindrical thick-walled perforated shells. *Visnyk NTUU «Kyivskyi politekhnichniyi instytut»*. Serii «Mashynobuduvannia», (67), pp. 126–130 [in Russian].

### References

1. Verbickiy, S. B., Shevchenko, V. V. and Batrachenko, A. V. (2010). Grinding of meat raw material. *Myasnoy biznes*, (5), pp. 84–96. [in Russian].

**O. I. Nekoz**, *D.Tech.Sc., professor*,  
National university of food technologies,  
Volodymyrskaya str., 68, Kyiv, Ukraine

**O. V. Batrachenko**, *Ph.D.*,

**K. A. Miroshnichenko**

Cherkassy state technological university,  
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, Ukraine

## **SUBSTANTIATION OF THE WAYS FOR REDUCTION OF FORCEMEAT HEATING DURING ITS GRINDING IN EMULSIFIERS**

*In the manufacture of boiled sausages, frankfurters, sausages and pastes emulsifiers are used for fine high-quality grinding of mincemeat after or instead of bowl cutter. Machines of this type have a number of characteristic drawbacks which are due to the fact that for the final fine grinding in cutting mechanism perforated plates with holes of small diameter (1,0-0,5 mm) are used. Such gratings are produced with radial stiffening ribs. Using these gratings with stiffeners the temperature of forcemeat increases greatly during grinding. The aim of this work is to develop and study the ways of reducing the heating of forcemeat when grinding in cutting mechanism of the emulsifier.*

*In this paper a new way of reducing the heating of raw material during its grinding in cutting unit of emulsifier is offered – the use of a perforated plate with stiffening ring and the knife, blades of which have grooves. Through mathematical modeling it is established that transition from the use of stiffening ribs to the use of the ring allows to reduce the maximum voltage by 25.8 %. The use of stiffening ring of varying thickness allows to increase the safety factor of the grating by 10.4 %. Geometric parameters of the grating are determined with outer diameter of 175 mm, for which the highest strength will be provided. With the proposed design of the cutting mechanism total area of blades of friction perforated grate is reduced by 25 %, leading to a decrease in heating of forcemeat. At the same time the strength of the grating is improved by 36.2 %.*

**Keywords:** *emulsifier, perforated plate, reduction of heating of raw materials.*

*Рецензенти: В. І. Осипенко, д.т.н., професор,  
Т. М. Вітенько, д.т.н., професор.*