УДК 637.5.02

ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ НОЖІВ М'ЯСОРІЗАЛЬНИХ ВОВЧКІВ

Некоз О. І., *д.т.н., професор,*
Національний університет харчових технологій,
вул. Володимирська, 68, Київ, 01033
Філімонова Н. В.,
Філімонов С. О., *к.т.н.,*
Батраченко О. В.,
Хом'як А. В.
Черкаський державний технологічний університет,
бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна, 18006

Аннотация. *Исследовано напряженно-деформированное состояние ножей мясорежущих волчков. Установлено, что при равномерной нагрузке на лезвия ножа использование силового кольца не приводит к существенному повышению прочности лезвий. Предложены и обоснованы пути уменьшения металлоемкости ножей при одновременном обеспечении их заданной прочности.*

Ключевые слова: *волчок, нож, лезвия, прочность, уменьшение металлоемкости.*

THE DECREASE OF STEEL INTENSITY OF MEAT-GRINDERS KNIVES

Nekoz O. I., *Dr.Tech.Sc., professor,*
National university of food technologies,
Volodymyrska str. 68, Kyiv, Ukraine, 01601
Filimonova N. V.,
Filimonov S. O., *Ph.D.,*
Batrachenko O. V.,
Khom'yak A. V.
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, Ukraine, 18006,

Abstract. *The mode of deformation of meat-grinders knives is investigated. It is set that at even load on knife blades the use of power ring does not result in substantial increase of blades durability. The ways of the decrease of knives steel intensity at simultaneous providing of their set durability are offered and grounded.*

Keywords: *meat-grinder, knife, blades, durability, decrease of steel intensity.*

Постановка проблеми. Як відомо, до складу технологічних ліній більшості м'ясопереробних підприємств входять м'ясорізальні вовчки. Вони використовуються для подрібнення м'яса при виготовленні ковбас, м'ясних консервів та паштетів [1]. На ефективність роботи цих машин та на якість отримуваного напівфабрикату головним чином впливає конструкція та технічний стан різального інструменту – ножів та решіток. Але поряд із цим висока вартість та недостатня довговічність різального інструменту обумовлюють значні експлуатаційні витрати, знижуючи економічний ефект від використання вовчків. Пошук нових ефективних шляхів зменшення витрат на різальний інструмент був і залишається предметом численних наукових досліджень [2, 3], основним напрямком яких є підвищення зносостійкості ножів технологічними методами.

На думку авторів цієї роботи, одним із шляхів зменшення експлуатаційних витрат на різальний інструмент може бути зменшення собівартості ножів завдяки істотному зменшенню їх металоємності. При цьому ефективність роботи ножів має бути незмінно високою. Успішне вирішення цього завдання можливе при виконанні такої вимоги: одні з лез

мають виконувати більш інтенсивну роботу по подрібненню сировини порівняно з іншими лезами. В такому випадку стане можливим зменшити кількість лез ножа без погіршення ефективності його роботи, тобто стане можливим зменшити собівартість ножа.

У світлі зазначеної вимоги певний інтерес становлять результати експериментальних досліджень, наведені в роботі [4]. Згідно з ними зношування, а отже і ефективність роботи, різних лез ножа вовчка набуває різних значень, найбільш ефективна робота лез спостерігається в межах сектора з кутом 90÷120°, який виміряний від кінця витка шнеку в напрямі обертання ножа. Про неоднакову ефективність роботи лез ножа вовчка зазначається також в роботі [5]. Але в той же час відомо [6], що ніж повинен мати максимальну кількість лез з метою забезпечення максимального ступеня подрібнення сировини, а також, що леза повинні мати мінімальну ширину з метою забезпечення максимальної пропускної здатності (продуктивності) різального вузла. При цьому леза ножа повинні зберігати високу міцність.

Таким чином можна зазначити, що необхідно розробити нові конструкції ножів вовчка зменшеної собівартості. Проте успішному вирішенню цього завдання перешкоджає відсутність докладних відомостей про залежність міцності ножів від їх конструктивного виконання. Необхідно дослідити напружено-деформований стан ножів вовчка та розробити їх нові конструкції, які нададуть можливість зменшити собівартість ножів при високій їх міцності та ефективності роботи.

Аналіз джерел. Усі відомі конструкції ножів вовчка мають таку спільну конструктивну ознаку, як рівномірне розташування лез відносно центру обертання ножа [7]. Таке конструктивне виконання ножів обумовлено загальноприйнятими уявленнями про особливості подачі сировини шнеком вовчка. Але за такої конструкції ножі мають невиправдано високу металоємність, а отже – і собівартість.

Дослідженню міцності ножів вовчка присвячено достатньо малу кількість праць. Так, в роботі [8] представлено результати експериментальних досліджень міцності маточини ножа залежно від геометрії його посадочного отвору. Проте в роботі не наведено ґрунтовного аналізу напружено-деформованого стану лез ножів, що обмежує пошук нових шляхів вдосконалення їх конструкції. В роботі [9] представлено результати чисельних експериментів із дослідження міцності ножів вовчка, що мають силове кільце та додаткові «висячі» леза. Проте в цій роботі не проведено порівняння напружено-деформованого стану ножів різних конструкцій, не наведено аналізу впливу силового кільця на підвищення міцності лез та не запропоновано раціональних шляхів підвищення міцності лез.

Метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану ножів вовчка, пошук раціональних шляхів підвищення міцності лез та розробка нових конструкцій ножів, які нададуть можливість зменшити їх собівартість та забезпечити високу міцність та ефективність роботи.

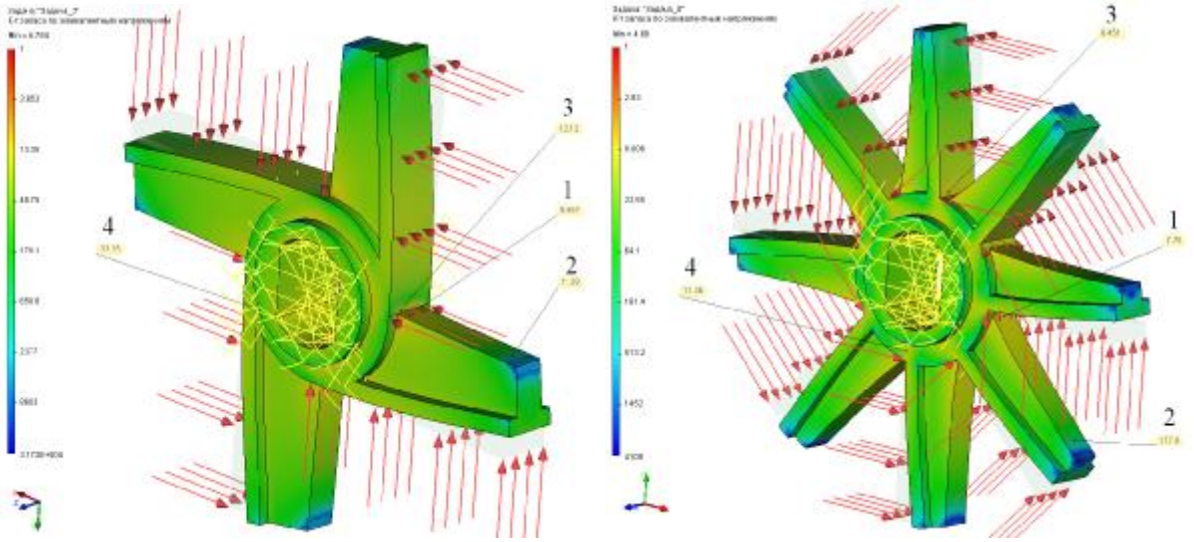
Основна частина. Зважаючи на достатню складність конструкції ножів та їх елементів, поставлену задачу доцільно вирішити шляхом проведення чисельних експериментів. Для моделювання напружено-деформованого стану відомих та розроблених конструкцій ножів вовчка використовувався програмний комплекс *T-FLEX Analysis*, в основі алгоритму якого лежить метод скінченних елементів.

Було створено 3D-моделі конструкцій ножів вовчка, які найчастіше використовуються на практиці [7], задано вид матеріалу ножів та нерухомі поверхні ножів, якими вони встановлюються на палець шнеку вовчка. Як елементи розрахункової сітки використано тетраедри; розмір сітки – 0,02, відносний; радіус покращення сітки – 5; рівень згладжування поверхневої сітки – 3. Значення зусилля, що прикладене до лез ножа, – 10 кН (визначення величини зусилля проводилось із використанням даних експериментальних досліджень [10] та прийнятого значення потужності головного приводу сучасних вовчків зазначеного типорозміру – 60 кВт). Визначення напружень проводилось для чотирьох типів конструкцій ножів у найбільш характерних точках. Візуалізацію отриманих при моделюванні результатів наведено на рис. 1, 2. Результати розрахунків подано в табл. 1.

Як випливає з табл. 1, значення напружень, що виникають в характерних точках ножів різних конструкцій, істотно відрізняються між собою. Так, при зменшенні ширини леза для вказаних типів ножів (рис. 1, а і 1, б) напруження в точці 1 збільшуються з 42,1 до 137,2 МПа. Так само напруження в точці 3 збільшуються з 19,7 до 111,5 МПа. Відповідним чином зменшуються значення коефіцієнта запасу міцності.

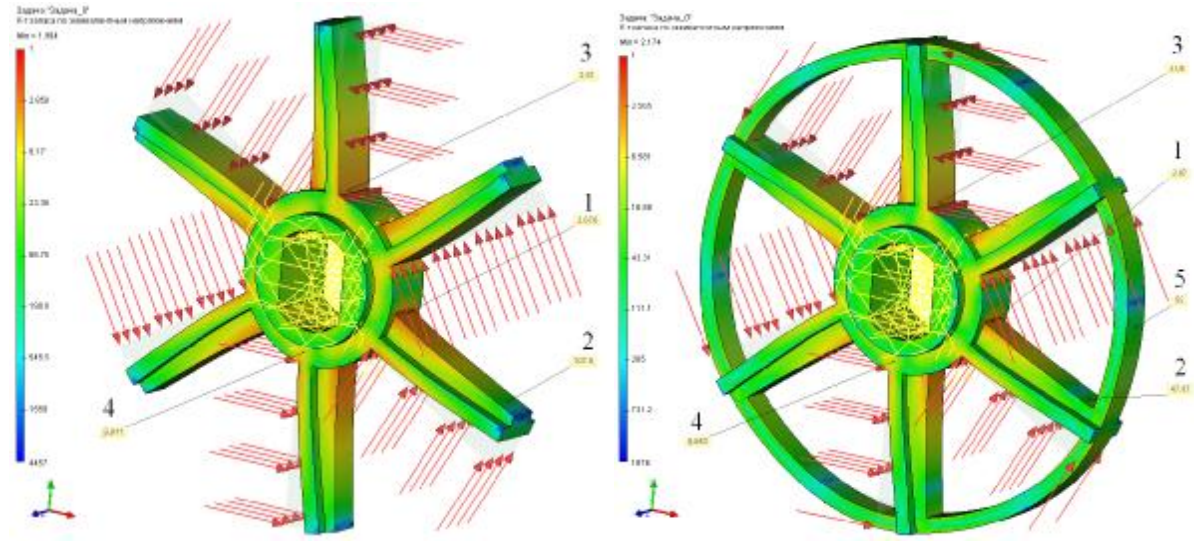
Цікавим є вплив наявності силового кільця на підвищення міцності лез. Як випливає з рис. 2, наявність силового кільця незначним чином впливає на підвищення міцності лез. Так, значення коефіцієнта запасу міцності в точках 1 і 3 (рис. 2, б) підвищуються лише на 13 та 8 % відповідно.

Це можна пояснити тим, що на усі леза ножа діє однакове навантаження, внаслідок чого вони деформуються (відхиляються) на однакову величину. Через це силове кільце намагається провернутись навколо осі обертання ножа, що не дозволяє йому з максимальною ефективністю підвищувати міцність лез.



а) б)

Рис. 1. Напружено-деформований стан ножів вовчка (значення коефіцієнта запасу міцності): а) чотирилезовий ніж; б) восьмилезовий ніж із лезами зменшеної ширини



а) б)

Рис. 2. Напружено-деформований стан ножів вовчка із вузькими лезами (значення коефіцієнта запасу міцності): а) шестилезовий ніж; б) шестилезовий ніж із силовим кільцем

Отримані в роботі [4] дані дають змогу розробити нові схемні рішення конструкцій ножів вовчка. Зважаючи на те, що ефективна подача сировини шнеком здійснюється лише в зоні сектора з кутом 90÷120°, доцільно розташувати леза саме в межах цього сектора. В той же час наявність лез в інших секторах ножа не є обов’язковою, беручи до уваги низьку завантаженість їх сировиною та високу матеріалоємність.

З огляду на зазначене, раціональною можна вважати конструкцію ножа, що зобра-

жена на рис. 3, а. Така конструкція дозволяє забезпечити належну продуктивність і подрібнювальну здатність різального вузла, а також суттєво зменшити собівартість ножа.

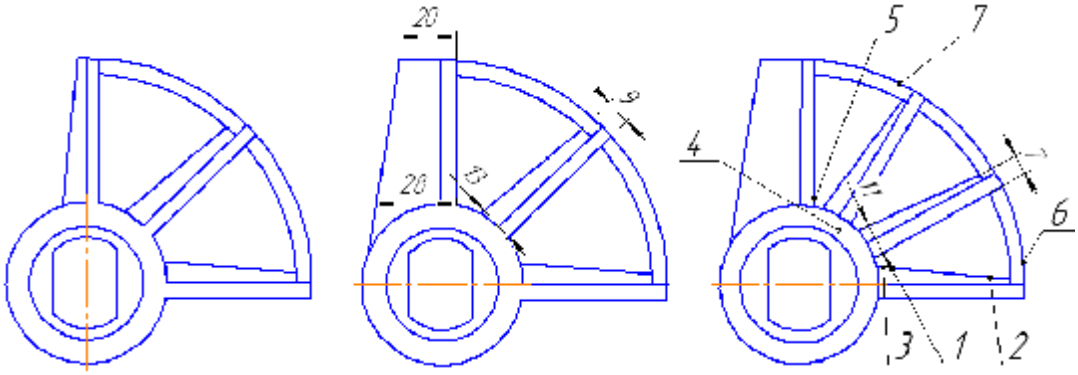
Враховуючи дані, що подані в табл. 1, зокрема недостатній вплив силового кільця на підвищення міцності лез у випадку їх рівномірного навантаження, запропоновано новий шлях підвищення міцності лез. Лезо № 4, яке знаходиться в зоні кінця витка шнеку і позаду якого майже не відбувається подачі сировини шнеком, запропоновано виконувати підвищеної ширини порівняно з іншими лезами (рис. 3, б). Це дозволяє підвищити міцність лез завдяки передачі зусилля, яке діє на них, на опорне широке лезо за допомогою силового кільця. В такому випадку напруження, що виникають у вузьких лезах (рис. 3, б), будуть меншими, аніж у попередньому випадку (рис. 3, а).

Застосування опорного широкого леза дозволяє розробити іншу конструкцію ножа – використати не два, а три вузьких леза, що матимуть зменшену ширину (рис. 3, в). Це дозволяє в межах сектора з кутом 90° розмістити більшу кількість лез, що, як відомо, дає змогу підвищити ступінь подрібнення сировини. В той же час зменшення ширини лез дозволяє зберегти високу пропускну здатність різального вузла.

Таблиця 1

Значення напружень у характерних точках ножів стандартної будови

№ точки ножа	Вид конструкції ножа стандартної будови							
	чотирилезовий звичайний		восьмилезовий		шестилезовий з лезами малої ширини		шестилезовий з силовим кільцем	
	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$
1	42,1	8,70	51,4	7,76	140,4	2,68	137,2	3,07
2	31,6	11,20	23,8	177,6	20,9	107,6	9,09	47,97
3	19,7	12,12	60,4	6,45	135,5	2,81	111,5	3,06
4	12,8	33,25	32,6	11,36	57,7	9,01	51,7	8,65
5	-	-	-	-	-	-	22,9	17,47



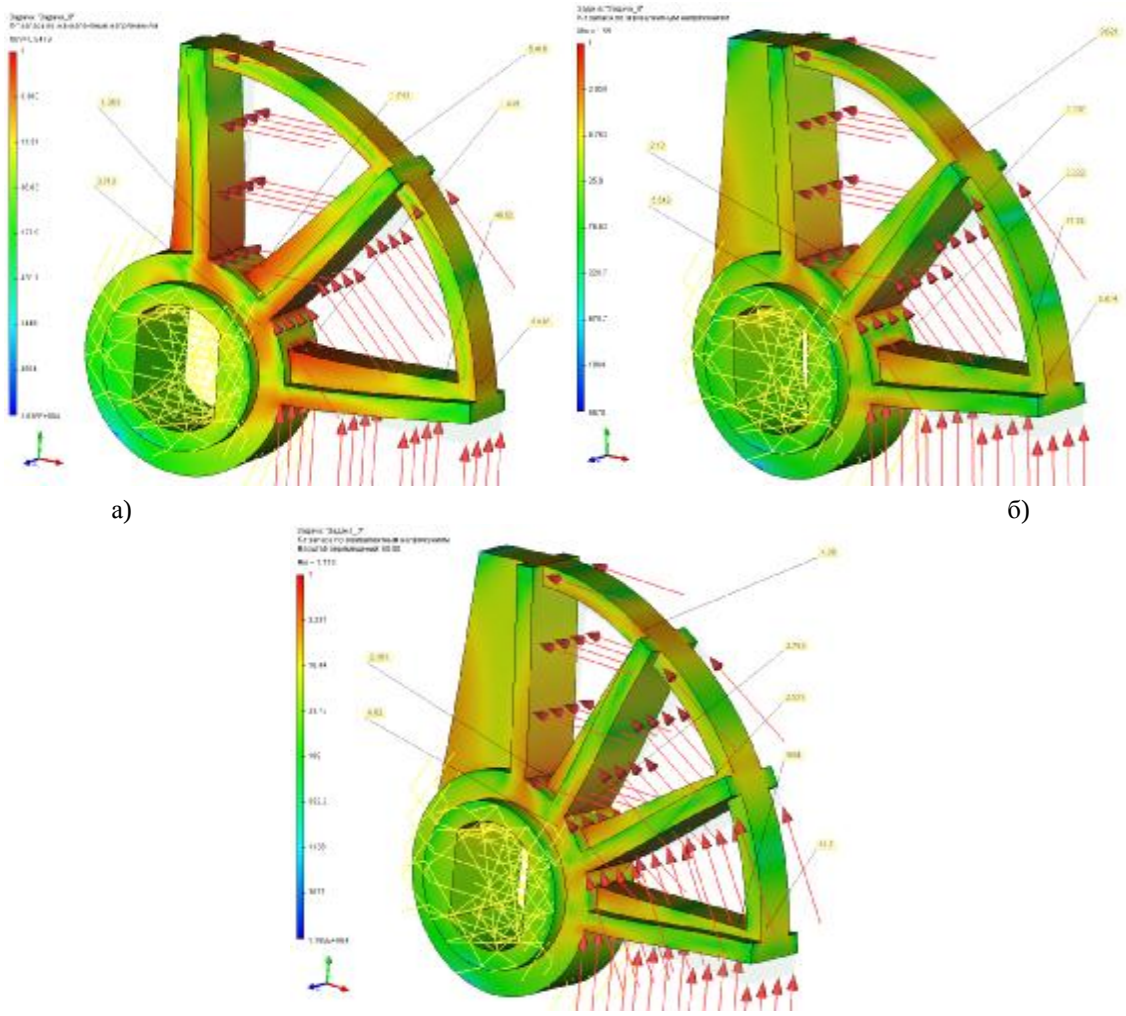
а) б) в)

Рис. 3. Ножі вовчка розробленої будови та схема розташування точок вимірювання напружень:
а) трилезовий секторний ніж; б) трилезовий секторний ніж з посиленим опорним лезом;
в) чотирилезовий секторний ніж з лезами мінімізованої ширини та посиленим опорним лезом

З метою перевірки висунутих положень та обґрунтування достатньої міцності розроблених конструкцій ножів було проведене чисельне моделювання напружено-деформованого стану ножів розробленої будови. Візуалізацію отриманих при моделюванні результатів наведено на рис. 4, а, результати чисельного моделювання подано в табл. 2.

Як випливає з результатів розрахунку, застосування опорного леза збільшеної ширини приводить до підвищення коефіцієнта запасу міцності лез на 25 %, що у 2-3 рази більше, ніж при використанні силового кільця в звичайних конструкціях ножів (рис. 2, б). Отримані значення коефіцієнтів запасу міцності ($K_{з.м.}$=2,5; 2,76) лез чотирилезового ножа з

посиленим опорним лезом (рис. 4, в) дозволяють зробити висновок про придатність застосування розробленої конструкції в практичному використанні. При використанні в конструкції вовчка двозаходових робочих шнеків доцільним є застосування двох секторів із лезами в конструкції ножа.



а) б)

в)

Рис. 4. Напружено-деформований стан ножів розробленої будови (значення коефіцієнта запасу міцності):
а) трилезовий секторний ніж; б) трилезовий секторний ніж з посиленим опорним лезом;
в) чотирилезовий секторний ніж з лезами мінімізованої ширини та посиленим опорним лезом

Таблиця 2

Значення напружень та коефіцієнта запасу міцності в корпусі ножів розробленої будови

№ точки ножа	Вид конструкції ножа розробленої будови					
	Ніж секторний трилезовий		Ніж секторний трилезовий посилений		Ніж секторний чотирилезовий	
	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max}, МПа	$K_{з.м.}$
1	244,5	1,63	181,2	2,22	158,6	2,53
2	8,45	48,52	35,3	11,32	41,5	9,64
3	229,5	1,74	178,7	2,24	114,9	2,76
4	107,8	3,71	72,2	5,55	60,5	6,62
5	293,8	1,36	188,0	2,13	170,2	2,36
6	73,9	5,04	68,1	5,87	34,3	11,70
7	79,4	5,42	110,4	3,62	91,1	4,39

Висновки. В даній роботі шляхом застосування чисельного моделювання досліджено напружено-деформований стан лез ножа вовчка. Встановлено, що, на відміну від відомих припущень, при рівномірному навантаженні лез ножа використання в конструкції лише силового кільця (без опорного леза) не приводить до суттєвого підвищення міцності лез.

На основі отриманих в роботі результатів розроблено нові конструкції ножів вовчка, використання яких дозволяє суттєво (близько двох разів) зменшити витрати на купівлю ножів. Встановлено, що використання в конструкції ножа опорного леза разом із силовим кільцем дає змогу підвищити міцність лез на величину до 25 %. Це дозволяє в межах визначеного сектора розташувати більшу кількість лез без погіршення пропускної спроможності різального вузла вовчка та міцності ножа.

На розроблені конструкції ножів подано заявку на винахід. Отримані результати обумовлюють необхідність подальших досліджень вовчків.

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. Некоз О. І. Імпульсно-плазмове зміцнення ножів м'ясорізальних вовчків / О. І. Некоз, О. В. Колісніченко, Kondrat Z. Zdislav, О. В. Батраченко // Тертя та зношування : зб. наук. праць Національного авіаційного університету (Київ). – 2010. – № 2. – С. 47–56.
3. Некоз С. О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплекту м’ясорізальних вовчків : дис… канд. техн. наук. / С. О. Некоз. – К. : УДУХТ, 2001. – 165 с.
4. Некоз О. І. Дослідження інтенсивності зношування лез ножа вовчка / О. І. Некоз, Н. В. Філімонова, С. О. Філімонов, О. В. Батраченко, А. В. Хом’як // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 2. – С. 84–96.
5. Haack, E., Schnäckel, W. and Haack, O. (2003) Optimal Fördern und Zerkleinern – Grundlagen und Vorgänge bei der Fleischbearbeitung mit Maschinen der Wolftechnologie – 3. *Fleischwirtschaft*, 83 (6), pp. 41–47.
6. Некоз О. І. Методика розрахунку продуктивності м'ясорізальних вовчків / О. І. Некоз, С. Б. Вербицький, П. В. Іванов, О. В. Батраченко // Вісник ДонНУЕТ (Донецьк). – 2011. – № 1. – С. 26–32.
7. Промисловий каталог фірми *Lumbeck & Wolter GmbH & CO. KG* [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2013. – Режим доступу : <*www.lumbeck-wolter .de*>.
8. Горбатов А. В. Исследование напряженного состояния ступицы ножа волчка / А. В. Горбатов, Н. А. Шквырский, А. Г. Андрющенко, В. И. Довженко, И. Н. Калашникова // Мясная индустрия СССР. – 1981. – № 1. – С. 48–52.
9. Stoyanov, S., Schnäckel, W. and Haack, O. (2003) Schneidwerkzeuge stabil konstruieren - Festigkeitsberechnungen von Messern und Lochscheiben eines Fleischwolfes – 5. *Fleischwirtschaft*, 83 (8), pp. 39–44.
10. Бубыренко В. К. Исследование волчков с целью повышения их эффективности и долговечности рабочих органов: автореф. дисс. на соиск. научной степени канд. техн. наук / В. К. Бубыренко. – М. : МТИММП, 1977. – 24 с.

References

1. Verbickiy, S. B., Shevchenko, V. V. and Batrachenko, A. V. (2010). Grinding of meat raw material. *M‘asnoi biznes*, (5), pp. 84–96. [in Russian]
2. Nekoz, O. I., Kolisnichenko, O. V., Kondrat Z. Zdislav and Batrachenko, O. V. (2010). Impuls and plazm strengthening of meat-grinders knives. *Collection of Advanced studies «Friction and wear» of National aviation university*, (2), pp. 47–56. [in Ukrainian]
3. Nekoz, S. O. (2001). The increase of work efficiency and durability of cutting set of meat-grinders: diss… candidate of tech. sciences. Kyiv: *UDUKHT*, 165 p. [in Ukrainian]
4. Nekoz, O. I., Filimonova, N. V., Filimonov, S. O., Batrachenko, O. V. and Khom’yak, A. V (2013). The research of intensity of wear of meat-grinder knife blades. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitety*, (2), pp. 84–96. [in Ukrainian]

5. Haack, E., Schnackel, W. and Haack, O (2003). Optimal Fordern und of Zerkleinern - Grundlagen of und of Vorgange of bei der of Fleischbearbeitung of mit of Maschinen of der of Wolftechnologie – 3. *Fleischwirtschaft*, 83 (6), pp. 41–47.
6. Nekoz, O. I., Verbickiy, S. B., Ivanov, P. V. and Batrachenko, O. V. (2011). The method of the calculation of meat-grinders productivity. *Visnyk of DonNUET*, (1), pp. 26–32. [in Ukrainian]
7. Industrial catalogue of Lumbeck & Wolter GMBH & CO. KG firm (2013), available at: *www.lumbeck-wolter.de*.
8. Gorbatov, A. V., Shkvyrskiy, H. A., Andryuschenko, A. H., Dovzhenko, V. I. and Kalashnikova, I. N. (1981). The research of tense state of meat-grinder knife. *M'asnaya industriya SSSR*, (1), pp. 48–52. [in Russian]
9. Stoyanov, S., Schnackel, W. and Haack, O. (2003). Schneidwerkzeuge stabil konstruieren - Festigkeitsberechnungen of von of Messern of und of Lochscheiben of eines of Fleischwolfes - 5. *Fleischwirtschaft*, 83 (8), pp. 39–44.
10. Bubyrenko, V. K. (1977). The research of meat-grinders with the purpose of the increase of their efficiency and durability of workings organs: diss… candidate of tech. sciences. Moscow: MTIMMP, 24 p. [in Russian]