

О. І. Некоз, д.т.н., професор,  
І. М. Литовченко, к.т.н., доцент,  
Національний університет харчових технологій  
С. Б. Вербицький,  
Технологічний інститут молока і м'яса НААН  
О. В. Батраченко,  
С. І. Микитюк  
Черкаський державний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ КОНТАКТУ НОЖІВ КУТЕРА ІЗ СИРОВИНОЮ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ МІЦНОСТІ

*Исследованы особенности обтекания ножей куттера сырьем в процессе его измельчения. Установлено, что сырье при куттеровании контактирует не со всей боковой поверхностью ножа. Пройдя заточку лезвия, сырье огибает сопряженную боковую поверхность ножа, не касаясь ее. На основе полученных результатов разработано техническое решение, позволяющее существенно (в 1,4 раза и выше) повысить прочность ножей куттера без повышения температуры сырья при его измельчении.*

**Ключевые слова:** куттер, ножи, контакт с сырьем, прочность ножей.

*The features of raw materials flowing of cutter blades in the process of its comminution are studied. It is determined that the raw material being comminuted does not contact the whole lateral surface of a blade. After passing the sharp edge of a blade the raw material flows by the conjugate lateral surface of a blade without contacting it. On the basis of obtained results a technical solution which allows to rise considerably (1,4 times and more) cutter blades strength without the rise of raw material temperature in the process of its comminution is developed.*

**Key words:** cutter, blades, contact with raw materials, blades strength.

**Постановка проблеми.** Виготовлення ковбасних виробів було і залишається тим видом харчових виробництв, який здатен забезпечити високу рентабельність. Як відомо, на вихід та на якість виготовлених ковбасних виробів значним чином впливають технологічні параметри тонкого подрібнення м'ясної сировини, яке найчастіше виконують за допомогою кутерів. Саме тому вдосконалення конструкцій кутерів є предметом постійної уваги провідних світових виробників зазначених машин – фірм CFS (Нідерланди), Kilia (Німеччина), Alpina (Швейцарія), LASKA (Австрія) та ін [1; 2]. Різнноманітні моделі кутерів пропонують і вітчизняні виробники. Так, підприємство ПП «Ал-нат» (м. Черкаси) володіє офіційними правами на випуск кутерів Л5-ФКБ та Л5-ФКМ, які в минулі роки випускались ВАТ «Темп». З огляду на це вважаємо доцільним пошук нових шляхів, здатних забезпечити підвищення технічного рівня вітчизняного обладнання.

Слід зазначити, що ефективність процесу кутерування визначається, головним чином, конструктивними та кінематичними параметрами робочих органів кутера – ножів. Основними вимогами при проектуванні різальних робочих органів кутерів є мінімізація товщини

ножа, площі його бокової поверхні та кута заточування леза [3; 4]. Це пояснюється такими факторами: зменшення кута заточування дозволяє зменшити енерговитрати на різання сировини, підвищити ступінь та якість її подрібнення; зменшення товщини ножа дозволяє зменшити енерговитрати на долання лобового опору та знизити нагрів сировини при її русі по заточці леза; зменшення площі бокової поверхні ножа сприяє зменшенню інтенсивності нагріву сировини внаслідок зменшення площі контакту з нею та зниженню витрат енергії на подолання сил тертя об сировину.

Важливою є також належна міцність ножів кутера, оскільки руйнування ножа при роботі машини спричиняє виведення машини з експлуатації на тривалий час і вимагає значного обсягу ремонтних робіт. Технологічна необхідність зменшення товщини та площі бокової поверхні ножів кутера певним чином суперечить вимозі забезпечення їх належної міцності. Зменшення товщини ножа дозволяє мінімізувати негативне явище нагріву сировини при кутеруванні, але в той же час погіршується механічна та утомна міцність ножа.

Відомі способи підвищення міцності ножа (вибір значення його товщини, марки

його матеріалу, виду заточки леза, інші конструктивні зміни) не є достатньо ефективними і не дозволяють успішно вирішити зазначене вище технічне протиріччя. Тому актуальним є пошук нових шляхів забезпечення міцності ножів кутера.

**Аналіз джерел.** Міцність звичайних ножів кутера забезпечується вибором необхідного значення їх товщини та належного режиму термічної обробки [3]. Відомо [5], що для ножів із максимальним радіусом 250 мм значення товщини обирається не менше 3 мм, для ножів із максимальним радіусом 300 мм – не менше 5 мм, а для ножів із радіусом понад 300 мм обирається значення товщини ножа не менше за 6 мм. Проте ножі з більшою товщиною леза спричиняють більш інтенсивний нагрів фаршу, що, як відомо, є негативним чинником.

Відома конструкція ножа, що дозволяє мінімізувати його товщину та забезпечити його належну міцність [6]. Ніж виконаний таким, що має змінну товщину (рис. 1). Товщина  $a$  ножа в зоні посадочної частини 1 перевищує товщину  $b$  в зоні 2 кінця леза ножа. Таке конструктивне виконання дозволяє забезпечувати мінімальну товщину ножа  $b$  в зоні найбільших лінійних швидкостей кутерування (в зоні найбільших лобових тисків). У той же час забезпечується найбільша товщина  $a$ , що необхідна

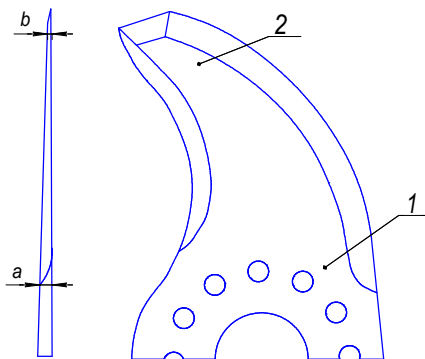


Рис. 1. Ніж змінної товщини

Задля прийняття обґрунтованих та ефективних конструкторських рішень щодо підвищення міцності ножів кутера необхідним є чітке уявлення про особливості контакту ножа із сировиною під час обтікання його перерізу. В роботі [7] наведено результати числового моделювання обтікання потоком сировини перерізу ножа стандартної конструкції. Були визначені значення зусиль, що діють на заточку ножа (внаслідок обертання ножа) та на його бокову поверхню (внаслідок подачі сировини чашею). Проте в даній роботі не досліджено особливості обтікання ножа сировиною, що не дозволяє визначити раціональні шляхи підвищення міцності ножів.

в зоні найбільшого напруження матеріалу ножа (в зоні посадочної частини). Це пояснюється характером напруженого стану ножа: незважаючи на те, що найбільших переміщень зазнає саме кінець ножа, найбільші напруження виникають в зоні посадочної частини (в зоні закріплення ножа в ножовому блоці), що пояснюється положеннями теорії опору матеріалів напруженого стану консольно закріпленої балки та підтверджується даними [7]. Проте запропоновані заходи щодо забезпечення підвищеної міцності ножа не відзначаються належною ефективністю.

Прикладом іншого шляху забезпечення міцності ножа при його роботі може бути конструкція [8]. Ця конструкція (рис. 2) передбачає, що ніж має односторонню заточку 1 і дві паралельні бокові сторони 2 і 3. Особливістю ножів запропонованої конструкції є наявність силової фаски 4 у місці переходу від поверхні 2 до поверхні 5. Силова фаска 4 призначена для контакту із сировиною при роботі ножа задля створення зусилля, яке б компенсувало згинаюче зусилля, що виникає внаслідок контакту сировини із заточкою 1. Недоліком такої конструкції є спричинений наявністю силової фаски 4 та збільшенням площі поверхні силового контакту інтенсивніший нагрів сировини.

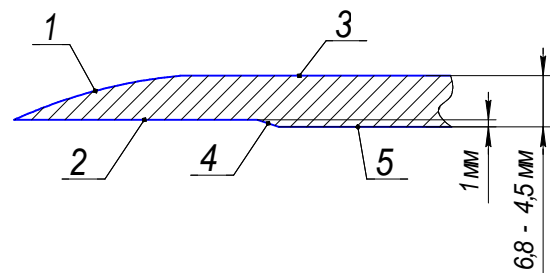


Рис. 2. Поперечний переріз ножа із силовою фаскою

Виконаний аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що забезпечення міцності ножів кутера одночасно з мінімізацією інтенсивності нагріву сировини продовжує залишатись актуальною задачею. Відомі конструктивні рішення не повною мірою відповідають вимогам оптимізації конструкції ножів. Отже, актуальним є пошук нових шляхів забезпечення міцності ножів кутера.

**Метою роботи** є дослідження умов обтікання ножів кутера сировиною при кутеруванні та розробка заходів, що здатні забезпечити підвищення міцності ножів.

**Основна частина.** З метою визначення особливостей гідродинаміки сировини при

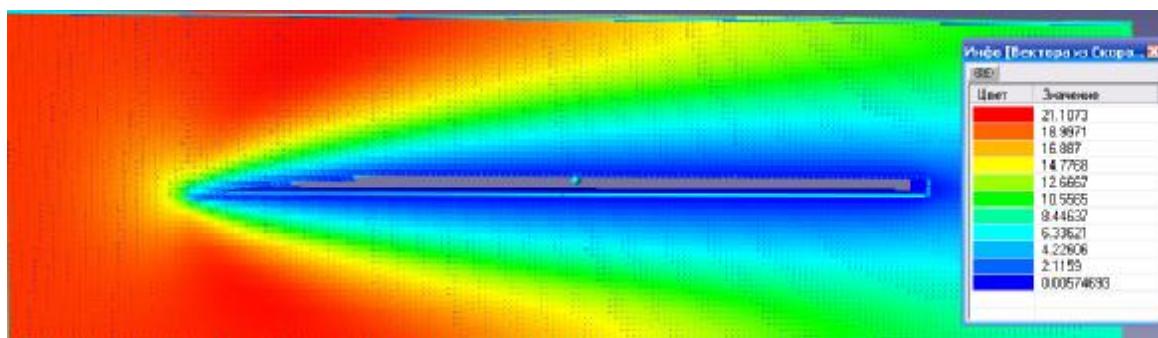
обтіканні ножів кутера було проведено числове моделювання руху сировини навколо поперечного перерізу ножа кутера. З цією метою було використано програмний комплекс FlowVision, який призначений для тривимірного моделювання течій рідини в технічних і природних об'єктах та візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки.

Для моделювання тонкого подрібнення м'ясної сировини в кутері було застосовано такі вихідні дані: швидкість руху рідини задавалась в межах 20...120 м/с (як при обертанні ножів) [3]; режим руху рідини – ламінарний; густина рідини – 1050 кг/м<sup>3</sup>, в'язкість рідини – 30...700 Па·с [9]. Кут заточки леза ножа – 5° (як усереднене значення кінематичного кута різання ножів, що використовуються на практиці).

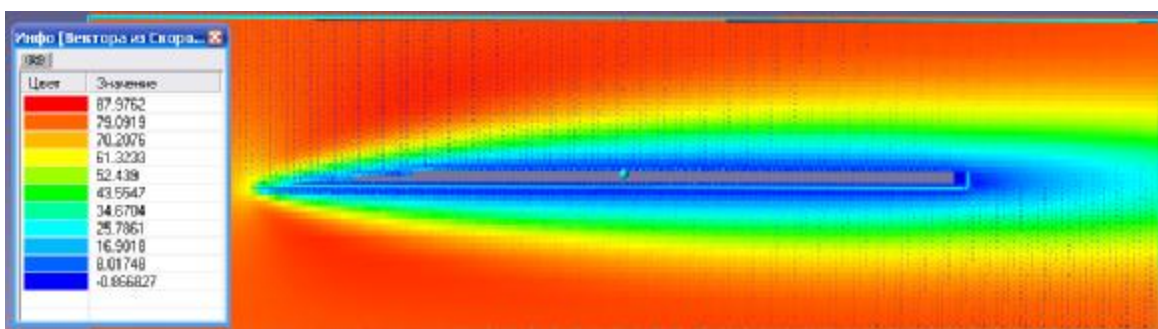
В результаті числового моделювання був визначений розподіл значень швидкості та тиску потоку в зонах, де відбуваються процеси

межового шару. Так, на рис. 3–5 зображено розташування векторів швидкості для руху потоку фаршу. Як випливає з рис. 3–5, при обтіканні ножа напрямок руху сировини істотно змінюється: після руху по заточці леза потік спрямовується далі, огинаючи верхню бокову поверхню ножа, проте і та частина потоку, що огинає ніж знизу, також суттєво відхиляється від початкового напрямку після контакту із різальним крайком леза. Граничні шари сировини рухаються зі швидкістю, значення якої прямує до нуля на відстані від поверхні ножа до 2 мм.

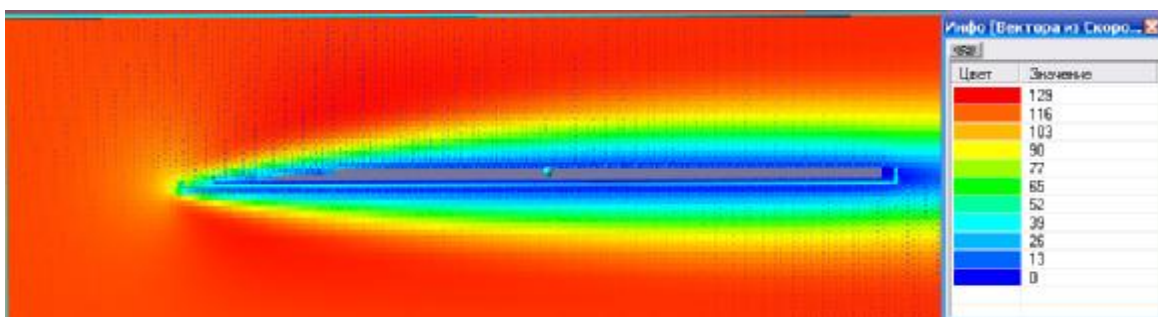
На рис. 6 зображено розташування векторів швидкості потоку, що має в'язкість 700 Па·с (як для подрібнення кускової м'ясної сировини на початку процесу кутерування). Видно, що потік сировини, після контакту із різальним крайком леза, суттєво відхиляється від початкового напрямку руху.



**Рис. 3.** Розподіл швидкостей потоку сировини при обтіканні поперечного перерізу ножа (в'язкість сировини – 30 Па·с, швидкість різання – 20 м/с)



**Рис. 4.** Розподіл швидкостей потоку сировини при обтіканні поперечного перерізу ножа (в'язкість сировини – 30 Па·с, швидкість різання – 80 м/с)



**Рис. 5.** Розподіл швидкостей потоку сировини при обтіканні поперечного перерізу ножа (в'язкість сировини – 30 Па·с, швидкість різання – 120 м/с)

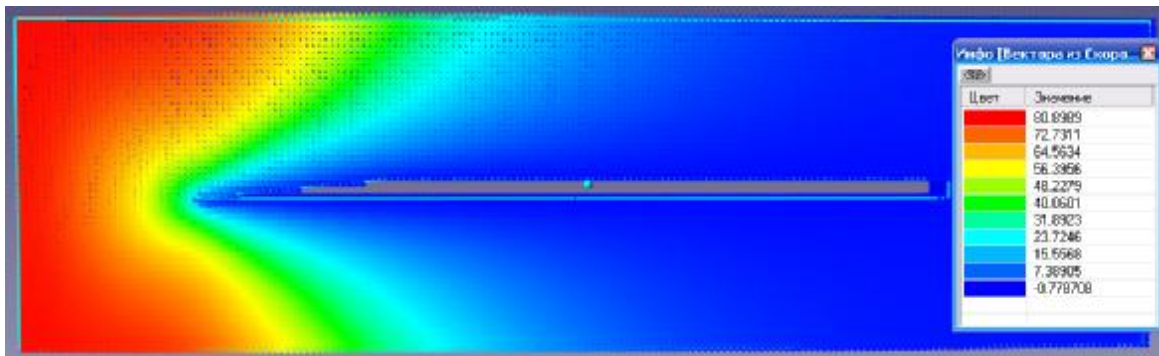


Рис. 6. Розподіл швидкостей потоку сировини при обтіканні поперечного перерізу ножа (в'язкість – 700 Па·с, швидкість різання – 80 м/с)

Причому потік відхиляється з однаковою інтенсивністю як поверх профілю ножа, так і знизу від нього, що можна пояснити високими пружними властивостями кускової м'ясної сировини. При цьому режимі руху сировини контакт ножа з нею взагалі відбувається по незначній за площею ділянці заточки леза.

На рис. 7 показано розподіл полів тисків навколо перерізу ножа (вісь ординат, відносно якої визначають значення тиску в рідині, розташована горизонтально; значення, що розташовані справа від вертикальних осей абсцис – від'ємні). Саме цей режим руху сировини об-

рано для ілюстрації, оскільки в'язкість 30 Па·с відповідає кінцевій стадії кутерування (фаршу тонкого ступеня подрібнення), а, як було показано вище, мінімальній в'язкості сировини відповідає її мінімальне відхилення від початкового напрямку руху при обтіканні ножа. Як видно з рис. 7, в зонах, що граничать із корпусом ножа, значення тиску в рідині стає від'ємним, що вказує на відсутність її контакту з поверхнею ножа. Натомість на ділянці заточки леза спостерігаються максимальні контактні тиски.

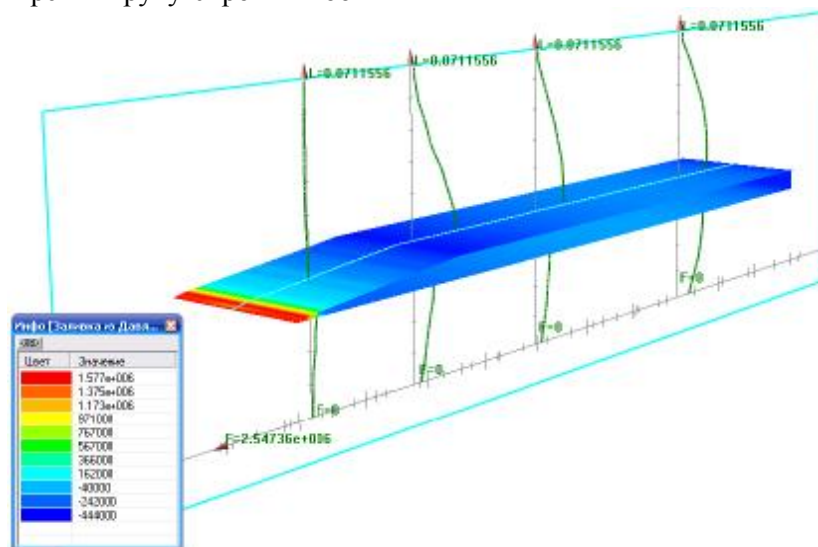


Рис. 7. Гідродинамічний тиск на верхню та нижню частину профілю ножа стандартної конструкції (в'язкість – 30 Па·с, швидкість різання – 80 м/с)

Загалом, за результатами моделювання руху сировини видно, що при обтіканні профілю ножа як на початку кутерування (при в'язкості потоку 700 Па·с), так і в кінці процесу кутерування (при в'язкості потоку 30 Па·с) спостерігається наступне явище. При обтіканні верхньої частини профілю ножа потік сировини після руху по заточці леза продовжує рухатись, огинаючи верхню горизонтальну сторону

ножа, не контактуючи з нею на відстані до 2 мм (гідродинамічні тиски стають від'ємними). Це явище спостерігається для усього діапазону лінійних швидкостей різання, що застосовуються на практиці (20...120 м/с). Відхилення шару сировини, що відрізається, від напрямку руху ножа, є більш вираженим при обробці сировини з підвищеною в'язкістю (для кускової сировини та м'ясного шроту).



Таким чином, встановлено, що з сировиною контактує поверхня заточки леза ножа та, деякою мірою, його нижня бокова поверхня (рис. 3), тоді як контакт сировини з верхньою боковою поверхнею не спостерігається.

Отримані результати відповідають експериментальним даним німецьких дослідників (*Günther Hammer, Stefan Stoyanov*), що використовували в своїй роботі високошвидкісну відеозйомку процесу кутерування [10; 11]. Німецькі автори, зокрема, встановили, що з шести ножів кутера ефективно працюють (занурюються у сировину) лише перші два. До того ж, відомості, наведені у [10; 11], підтверджують, що потік сировини після розрізання рухається під деяким кутом до площини обертання ножів (кути в межах від  $5^\circ$  до  $20^\circ$ ).

Процес взаємодії ножа з сировиною можна бачити на рис. 8 (сировина 1 подається чашею кутера в напрямку на об'єктив відеокамери). Шар сировини 2, який відрізається від основного об'єму 1, рухається під гострим кутом до площини обертання ножа 3. Таким чином, шар сировини 2 рухається по площині заточки ножа 3 і спрямовується далі в напрямку, близькому до початково заданого. Такий

характер руху сировини підтверджують матеріали, наведені у [12]. Отже, встановлено, що контакт сировини з боковою поверхнею ножа, що примикає до заточки, відсутній. Це дозволяє запропонувати нові шляхи підвищення міцності ножів.

Нами запропоновано нову конфігурацію перерізу ножа (рис. 10), міцність якого є вищою порівняно з міцністю ножа з перерізом стандартної (рис. 9) конфігурації. З метою перевірки адекватності розроблених конструктивних рішень було проведене числове моделювання напружено-деформованого стану ножів кутера (стандартної та розробленої конструкції) в програмному комплексі T-Flex Analysis. При моделюванні використовувались такі вихідні дані: лобовий тиск на поверхню заточки ножа – 2,5 МПа [7]; максимальний тиск на бокову поверхню ножа – 6 кПа [7]; використовувалась тетраедрична розрахункова сітка (10 вузлів) із відносним розміром 0,03. Досліджувався напружено-деформований стан стандартних ножів кутерів фірми «*Convenience Food Systems*» (поперечний переріз ножа за рис. 9) та ножів розробленої конструкції (поперечний переріз за рис. 10); максимальний радіус ножів – 300 мм.

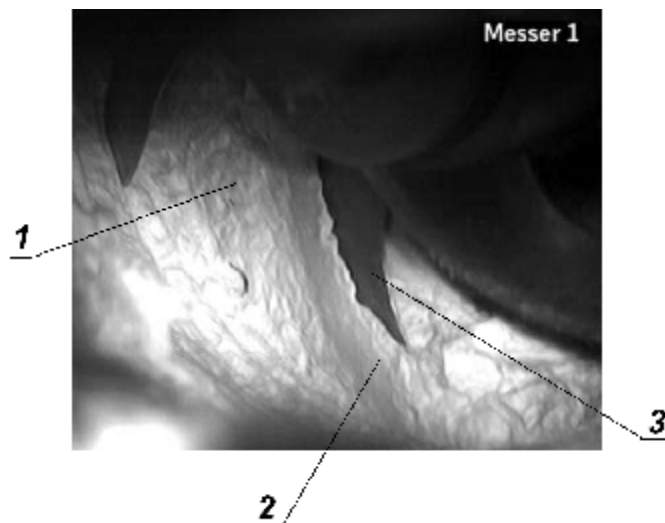


Рис. 8. Рух шару сировини, що відрізається ножом при кутеруванні

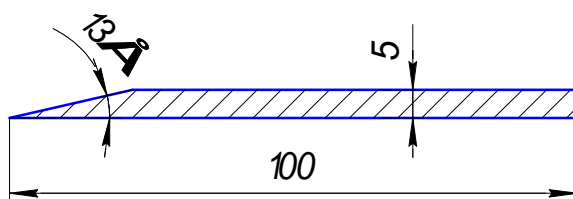


Рис. 9. Стандартна конфігурація перерізу ножа

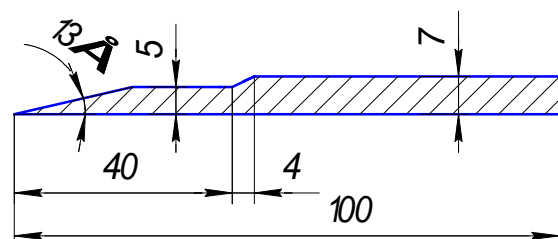


Рис. 10. Розроблена конфігурація перерізу ножа

Візуалізацію результатів моделювання напружено-деформованого стану ножів зображено на рис. 11 і 12, а значення напружень  $\sigma_{max}$  та коефіцієнта запасу міцності  $K_{з.м.}$  в характерних точках ножів наведено в табл. 1.

Як впливає з табл. 1, значення напружень, що виникають в характерних точках ножа розробленої конструкції, істотно менші за аналогічні значення напружень ножа стандартної конструкції. Так, в точці 1 (рис. 12) ножа розробленої конструкції виникають напруження  $\sigma_{max}=51,90$  МПа, що на 12,82 МПа менші за напруження в ножі стандартної конструкції (рис. 11). Загалом, для ножа розробленої конструкції характерним є істотне зменшення напружень,

причому як на ділянці збільшеної товщини, так і на інших ділянках, зокрема, на ділянці леза (що можна пояснити підвищенням жорсткості ножа). Заслуговує на увагу зміна напруженого стану в найбільш навантаженій ділянці ножа, точки 7: напруження  $\sigma_{max}$  в ножі розробленої конструкції зменшуються з 93,83 МПа до 66,43 МПа, що приводить до підвищення значення коефіцієнта запасу міцності  $K_{з.м.}$  з 6,62 до 9,27.

Загалом, при використанні розробленої конфігурації поперечного перерізу ножа можливим зменшити максимальні значення напружень  $\sigma_{max}$  в 0,1...2,2 разу та підвищити коефіцієнт запасу міцності  $K_{з.м.}$  в найбільш напруженій ділянці ножа в 1,4 рази.

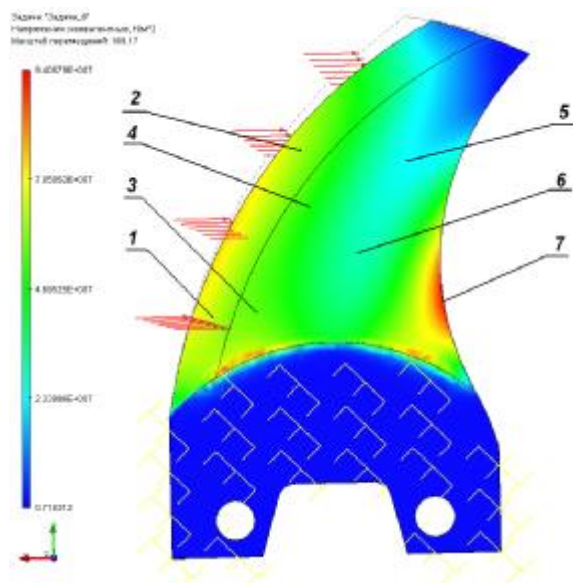


Рис. 11. Ніж стандартної будови

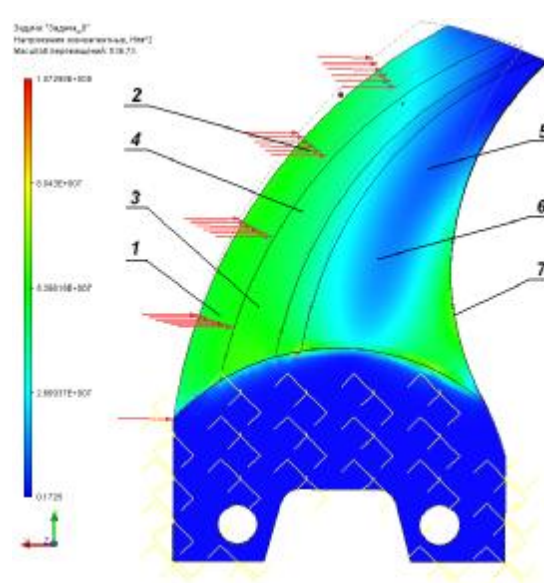


Рис. 12. Ніж запропонованої будови

Таблиця 1

Значення напружень ножів кутера

№ точки ножа	Ніж стандартної будови		Ніж запропонованої будови	
	$\sigma_{max}$ , МПа	$K_{з.м.}$	$\sigma_{max}$ , МПа	$K_{з.м.}$
1	64,72	9,58	51,90	11,85
2	61,91	9,85	50,63	12,22
3	55,54	11,15	52,62	11,71
4	51,74	12,27	45,39	13,64
5	23,63	24,01	10,34	64,77
6	31,77	19,52	13,88	44,43
7	93,83	6,62	66,43	9,27

Отримані дані дозволяють проводити заходи як з підвищення міцності та довговічності ножів, так і зі зниження інтенсивності нагріву сировини при кутеруванні шляхом зменшення ширини ножа. На розроблену конструкцію ножа кутера подано заявку на винахід.

**Висновки.** Встановлено, що, на відміну від загальноприйнятих явлень, при роботі но-

жів кутера контакт сировини з ножом відбувається не по всій його боковій поверхні. Це спричинено тим, що після руху по заточці леза сировина спрямовується далі в заданому заточкою напрямку, огинаючи ту бокову сторону ножа, що спряжена із заточкою. Такий характер огинання профілю ножа обумовлений високими значеннями в'язкості сировини та швидкості

різання ножом. Зазначене явище спостерігається для усього діапазону значень в'язкості потоку 30...700 Па·с та швидкості різання 20...120 м/с, причому більшій в'язкості потоку відповідає більше відхилення шару сировини, що розрізається, від напрямку руху ножа.

Отримані дані доводять можливість підвищення міцності ножів кутера шляхом виконання зазначених ножів такими, що їх поперечний переріз має змінну висоту (мінімальну на ділянці леза та максимальну на тильній ділянці). За результатами числового моделювання напружено-деформованого стану ножів встановлено, що ножі розробленої конструкції (як для кутерів фірми «Convenience Food Systems») мають підвищену (в 1,4 разу і більше) міцність. Визначено новий шлях підвищення міцності ножів кутера без підвищення інтенсивності нагрівання сировини.

Напрямок подальших досліджень може бути експериментальна перевірка якості обробки сировини (інтенсивність нагріву фаршу) ножами стандартної та розробленої конструкцій. Це обумовлює необхідність подальших досліджень процесу кутерування.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вербицкий С. Б. Измельчение мясного сырья / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко, А. В. Батраченко // Мясной бизнес (Київ). – 2010. – № 5. – С. 84–96.
2. Максимов Д. А. Конструкции современных куттеров / Д. А. Максимов, А. О. Якушев // Мясные технологии. – 2010. – № 9. – С. 20–24.
3. Василевский О. М. Машины периодического действия для приготовления фарша / О. М. Василевский, О. В. Соловьев, Д. О. Трифонова // Мясные технологии. – 2007. – № 5. – С. 42.
4. Клименко М. Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий: автореф. дисс. на соискание науч. степени докт. техн. наук / М. Н. Клименко. – М.: МИПБТ, 1990.
5. Промисловий каталог фірми «Антес» [Електронний ресурс]. – Росія, 2011. – Режим доступу: <[www.antes.ru](http://www.antes.ru)>.
6. Kuttermesser und damit versehener Messerkopf // патент ФРН на винахід № DE 202007016294 U1, кл. B02C18/20, 2008.
7. Підвищення міцності перфорованих ножів кутера / Некоз О. І., Литовченко І. М., Батраченко О. В., Філімонова С. О. // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: Дон. нац. ун-т економіки та торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, 2011.
8. Kuttermesser und Messerkopf sowie Kutter mit Kuttermesser // європейський патент на винахід № EP 1994989 A2, кл. B02C18/20, 2008.
9. Структурно-механические свойства продуктов / Под ред. А. В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
10. Hammer G. Über das Kuttern von Brühwurstbrat / G. Hammer, S. Stoyanov // Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach. – 2008. – № 47. – S. 243–251.
11. Хаммер Г. Участие второго ножа куттера в измельчении фарша / Г. Хаммер, С. Стоянов // Мясные технологии. – 2010. – № 7. – С. 42–46.
12. Відеоматеріали електронного ресурсу періодичного видання «М'ясна промисловість» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2011. – Режим доступу: <[www.fleischwirtschaft.de/fleischwirtschaft/downloadkuttermesser](http://www.fleischwirtschaft.de/fleischwirtschaft/downloadkuttermesser)>.

Стаття надійшла до редакції 23.01.2012.