

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ПЕРФОРОВАНИХ НОЖІВ КУТЕРА

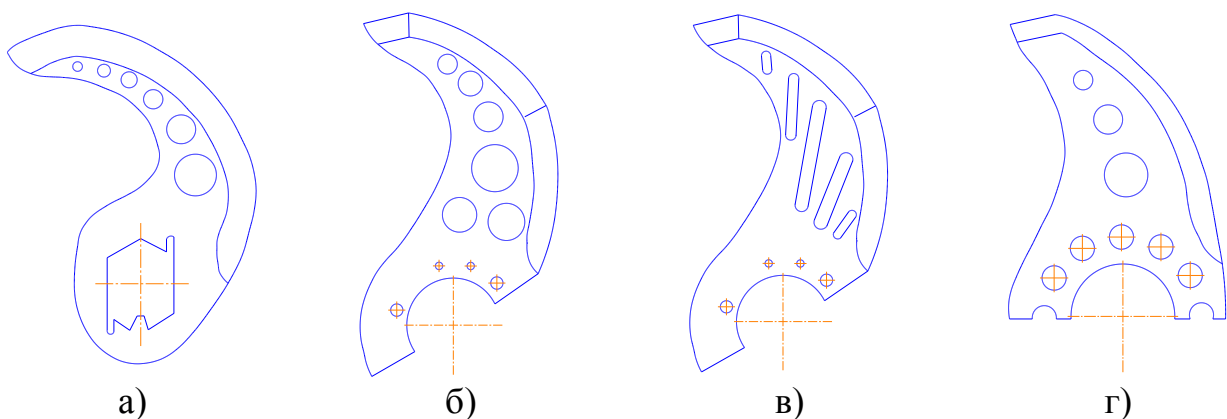
Наведено результати числового моделювання умов навантаження перфорованих ножів кутера та їх напружено-деформованого стану. Визначено, що найбільший вплив на зниження міцності ножа роблять отвори перфорації, які розташовані біля посадочної ділянки ножа. На основі отриманих даних розроблено конструкцію перфорованих ножів підвищеної міцності.

Ключові слова: кутер, перфоровані ножі, міцність.

Останнім часом значного поширення у приготуванні м'ясних емульсій в кутерах дістали перфоровані ножі. Їх використання дозволяє інтенсифікувати перемішування та емульгування рідких фаршів, підвищуючи таким чином продуктивність машини й покращуючи якість продукту.

Розглянемо [1; 2] низку конструкцій ножів із перфорацією на бокових поверхнях, які можуть виготовлятися на замовлення, згідно з рисунком 1 а-в, або якими стандартно комплектуються кутери, подані на рисунку 1 г [3]. Для всіх моделей ножів характерна загальна конструктивна ознака – отвори перфорації розташовуються рівномірно по всій довжині ножа.

Проте відомі конструкції перфорованих ножів мають недоліки. Насамперед це понижена міцність та жорсткість ножа, що призводить до обмежень щодо обробки кускової м'ясної сировини. Також наявна незначна ефективність емульгування, якщо кутер працює за умови неповністю завантаженої чаші, оскільки наскрізні отвори розташовані по всій довжині ножа і біля периферії робочої частини знаходиться мала кількість отворів.



- а) ніж із круглими отворами перфорації;
- б) ніж із багаторядним розташуванням отворів перфорації;
- в) ніж із отворами подовженої форми;
- г) ніж кутерів марки Swopper Alpina.

Рисунок 1 – Схеми конструкцій перфорованих ножів кутера:

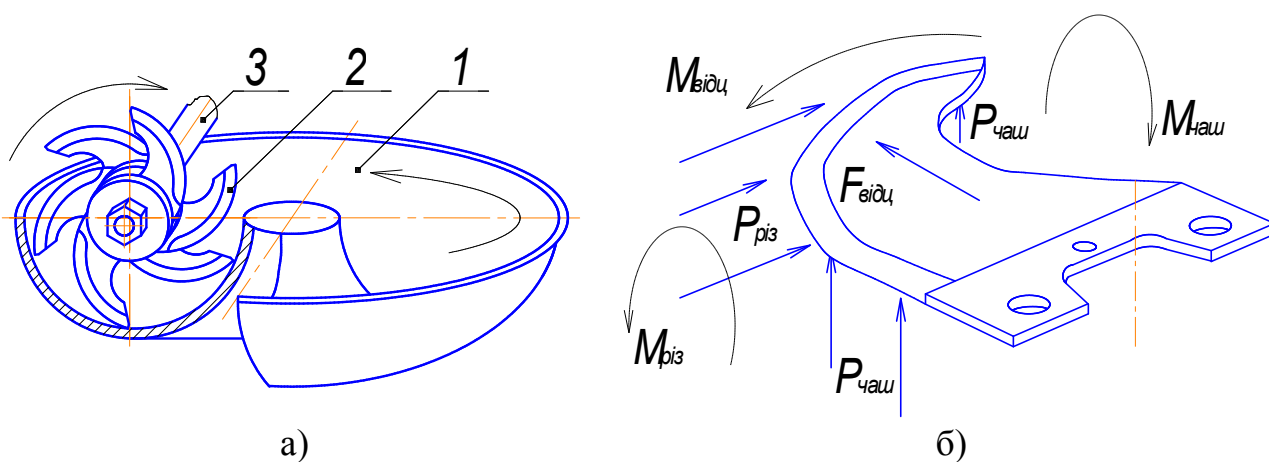
Німецькою фірмою BE Maschinenmesser GmbH & Co. KG. проведено дослідження щодо ефективності використання перфорованих ножів у процесі виготовлення емульсій та щодо визначення їх напружено-деформованого стану [4]. Вказується, що стало можливим зменшити тривалість кутерування на 28% та витрати електроенергії на 8%. Але в роботі не наведено кількісно-порівняльний аналіз напружено-деформованого стану звичайних і та перфорованих ножів, немає даних про значення зусиль, які діють на ніж і їх відносну вагу в загальній схемі навантаження ножа.

У роботі [5] подано результати досліджень напружено-деформованого стану перфорованих ножів і розроблено нові конструкції. Але не вказуються значення зусиль, що були прикладені до ножів, і не має порівняльного аналізу напружень, що виникли. Крім того, запропоновані конструкції ножів мають деякі недоліки.

Доцільним є проведення досліджень, що дозволять визначити раціональну схему розташування отворів перфорації з метою підвищення довговічності ножів кутера.

Метою статті є визначення напружено-деформованого стану перфорованих ножів кутера і підвищення їх довговічності.

Зважаючи на технічні особливості кутерів, що ускладнюють експериментальне визначення зусиль, які діють на ножі, раціональним є використання з цією метою числових методів, а саме спеціалізованих САПР. Задля визначення видів САПР, які необхідно застосовувати, визначимо види навантажень, що діють на ніж кутера, як показано на рисунку 2.



а) схема робочої зони кутера; б) види зусиль, що діють на ніж.

Рисунок 2 – Схеми визначення зусиль, які діють на ніж під час його роботи

У ході обертання ножового вала 1 відбувається процес подрібнення сировини, при цьому на ножі 2 діє лобовий тиск $P_{різ}$, який включає в себе зусилля різання та тиск на поверхню заточки ножа, та відцентрові сили $F_{відц}$. Внаслідок обертання чаші 3 відбувається подання сировини в зону різання, при цьому на бокову сторону ножа діє тиск $P_{чаш}$. Тиск $P_{різ}$ призводить до виникнення згинального моменту $M_{різ}$, який діє в площині ножа. Тиск $P_{чаш}$ призводить до виник-

нення згинального моменту $M_{чаш}$, який діє в площині, що перпендикулярна площині ножа. Відцентрові сили $F_{відц}$ призводять до виникнення згинального моменту $M_{відц}$, що певною мірою протидіє моменту $M_{різ}$.

З метою визначення зусиль, що діють на ніж під час його роботи, було проведено числове моделювання гідродинаміки сировини за умови руху ножа в програмному комплексі Flow Vision, який призначений для моделювання тривимірних течій рідини в технічних і природних об'єктах та візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки.

Для моделювання режиму різання кускової парної м'ясної сировини та її фаршу в кутері з чашею об'ємом 250 л (максимальний радіус ножа складає 290 мм) за наявності частоти обертання ножового вала 3600 хв^{-1} і 1800 хв^{-1} (як для кутерів Л5-ФКБ-М [6]) було застосовано такі вихідні дані: ламінарний режим руху рідини; швидкість потоку – 80 м/с та 40 м/с; густина рідини – 1050 кг/м^3 , в'язкість рідини $30 \div 700 \text{ Па}\cdot\text{с}$ [7]. Кут заточки леза ножа – 13° , лезо виконано у вигляді ділянки кола зі зміщеним центром, що забезпечує мінімізацію кінематичного кута різання.

Визначено, що максимальний тиск діє на ділянці різального окрайка леза. Значення тиску, за умови в'язкості рідини $700 \text{ Па}\cdot\text{с}$, що відповідає стану кускової парної м'ясної сировини, сягає $7,1 \cdot 10^6 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Це відображено на рисунку 3. Результати числового моделювання наведено на рисунку 4.

Для моделювання процесу обтікання м'ясною сировиною бокових проєкцій ножа внаслідок обертання чаші з радіусом розташування вісі ножового вала 350 мм за наявності частоти обертання чаші 8 хв^{-1} і 16 хв^{-1} ([6]) було застосовано такі вихідні дані: ламінарний режим руху рідини; швидкість потоку – 0,33 м/с і 0,59 м/с; густина рідини – 1050 кг/м^3 , в'язкість рідини $30 \div 700 \text{ Па}\cdot\text{с}$ [7]. Визначено, що максимальний тиск діє на центральній ділянці бокової поверхні ножа. Значення тиску, за умови в'язкості рідини $700 \text{ Па}\cdot\text{с}$ та частоти обертання чаші 16 хв^{-1} , сягає $6000 \text{ Па}\cdot\text{с}$, що відображено на рисунку 5.

Результати числового моделювання гідродинаміки потоку за умови обтікання бокової проєкції ножа кутера наведено на рисунку 6.

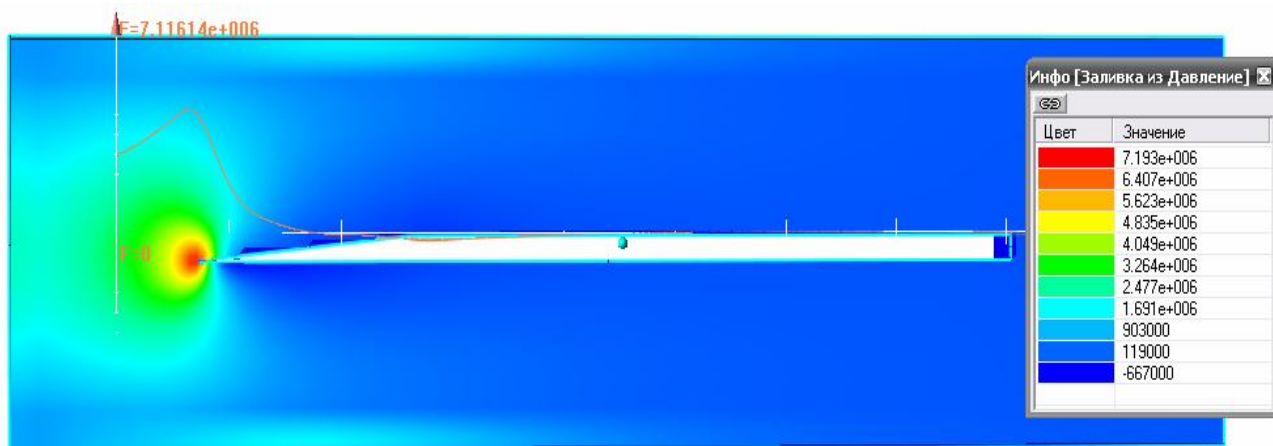


Рисунок 3 – Значення лобових тисків, що діють на переріз ножа під кутерування.

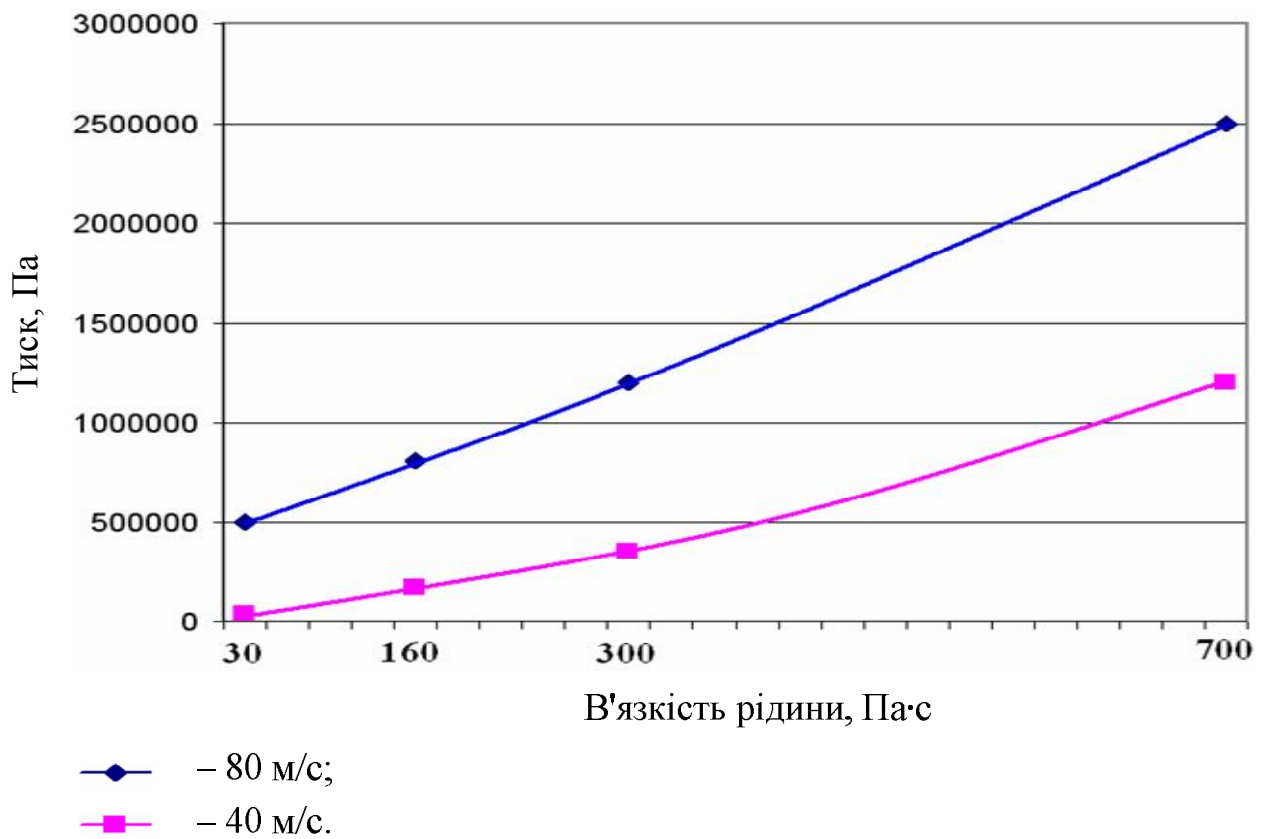


Рисунок 4 – Середні значення лобових тисків, що діють на переріз ножа під час кутерування

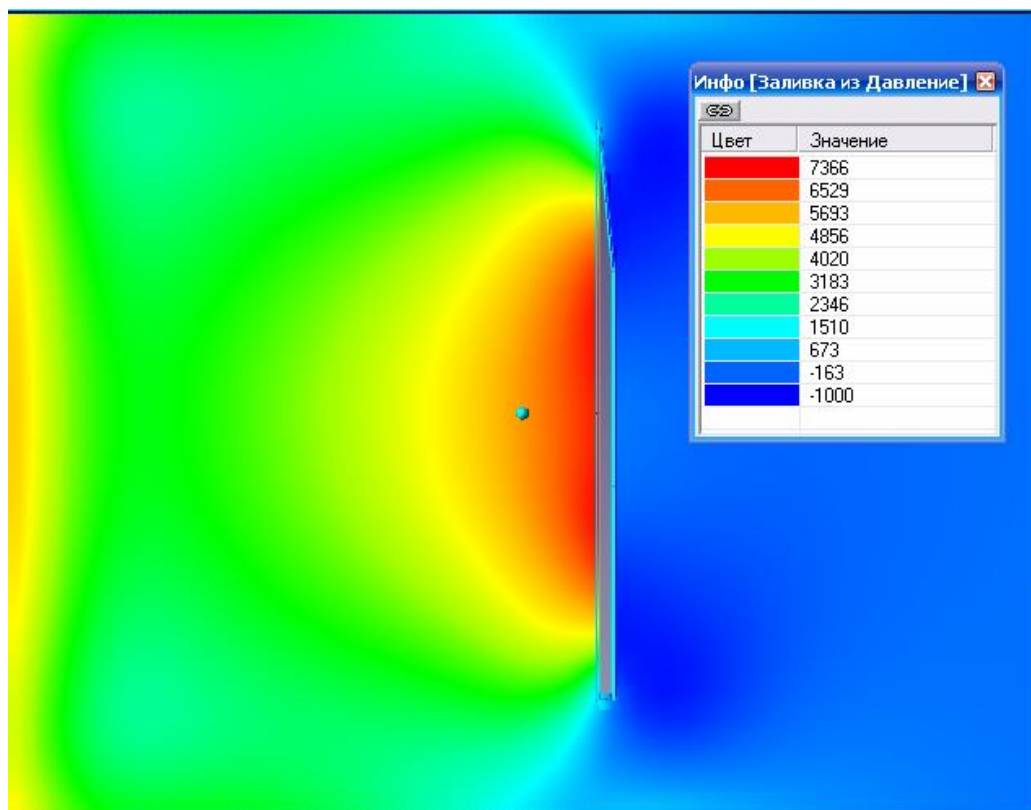


Рисунок 5 – Значення тисків, що діють на переріз ножа внаслідок подання сировини чашею

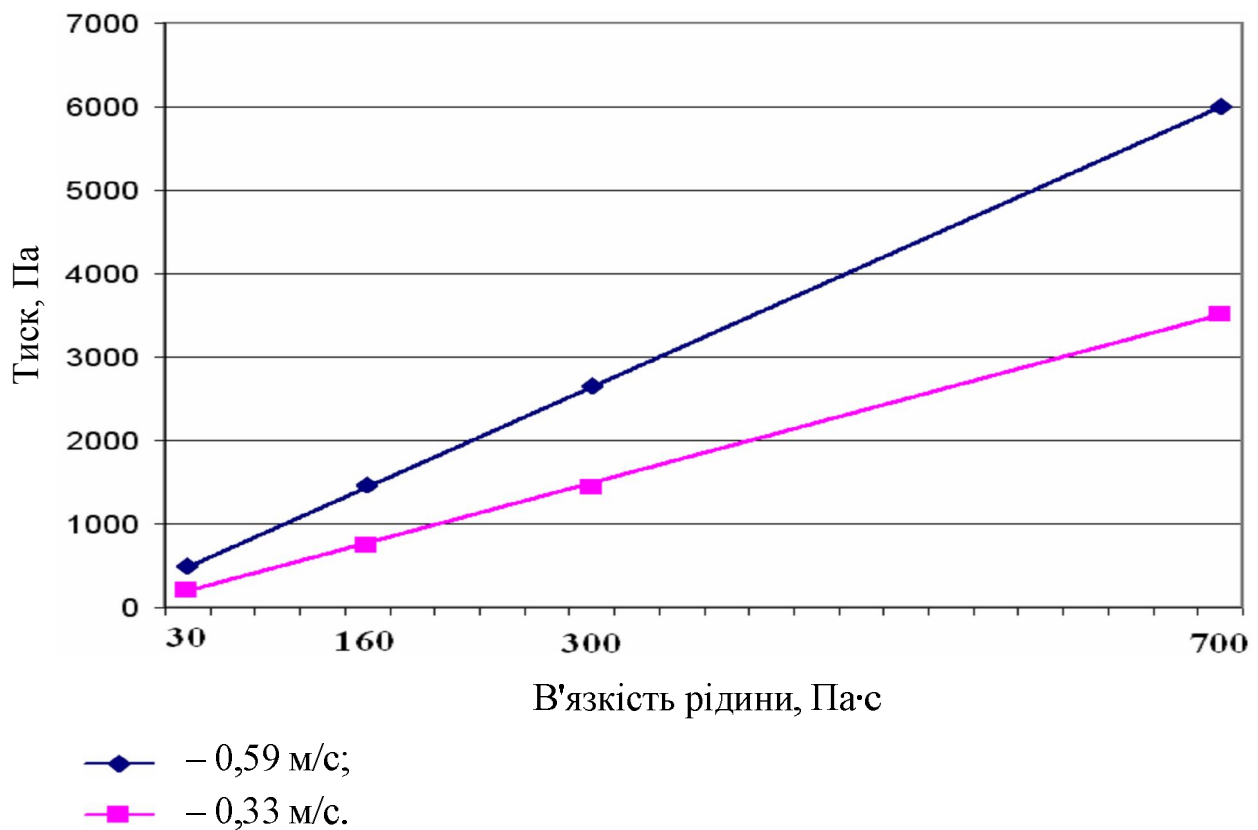


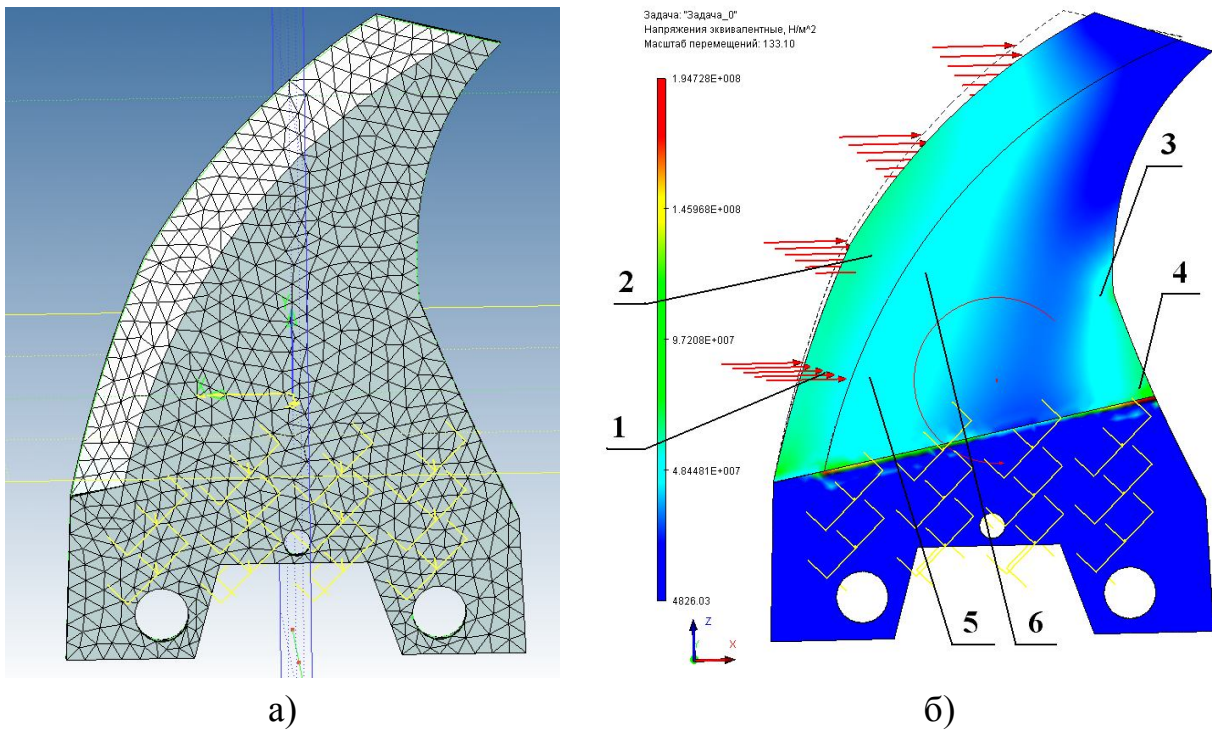
Рисунок 6 – Середні значення тисків, що діють на переріз ножа внаслідок подання сировини чашею

Після визначення зусиль, що діють на ніж, було проведено числове моделювання напружено-деформованого стану перфорованих ножів кутера в програмному комплексі T-Flex Analys. У моделюванні використовувались такі вихідні дані: максимальний лобовий тиск на заточку ножа 2,5 МПа; максимальний тиск на бокову поверхню ножа 6 кПа; максимальна частота обертання ножа 3600 хв^{-1} [6]; використовувалась тетраедрична розрахункова сітка (10 вузлів) із відносним розміром 0,03, що відображено на рисунках 4, 6, 7. Досліджувався напружено-деформований стан стандартних ножів і ножів фірми ALPINA, згідно з рисунками 7б і 8а, за таких наступних геометричних параметрів: максимальний радіус ножат – 290 мм, товщина – 5 мм.

На основі аналізу напружено-деформованого стану ножа визначено, що найбільшим чином на зниження жорсткості корпусу ножа впливають отвори перфорації, які знаходяться біля посадочної частини. Разом з цим наявність перфорації на зазначеній ділянці корпусу ножа не можна вважати раціональною внаслідок її роботи в зоні чаші кутера, що найменш завантажена сировиною, та внаслідок найменших лінійних швидкостей точок ножа на цій ділянці. Зважаючи на вищесказано, нами розроблено конструкцію перфорованого ножа, отвори перфорації якого, відповідно до рисунка 8б, розташовано на периферії корпусу. Результати порівняльного аналізу напружено-деформованого стану відомих і розробленого типів ножів подано в таблиці 1.

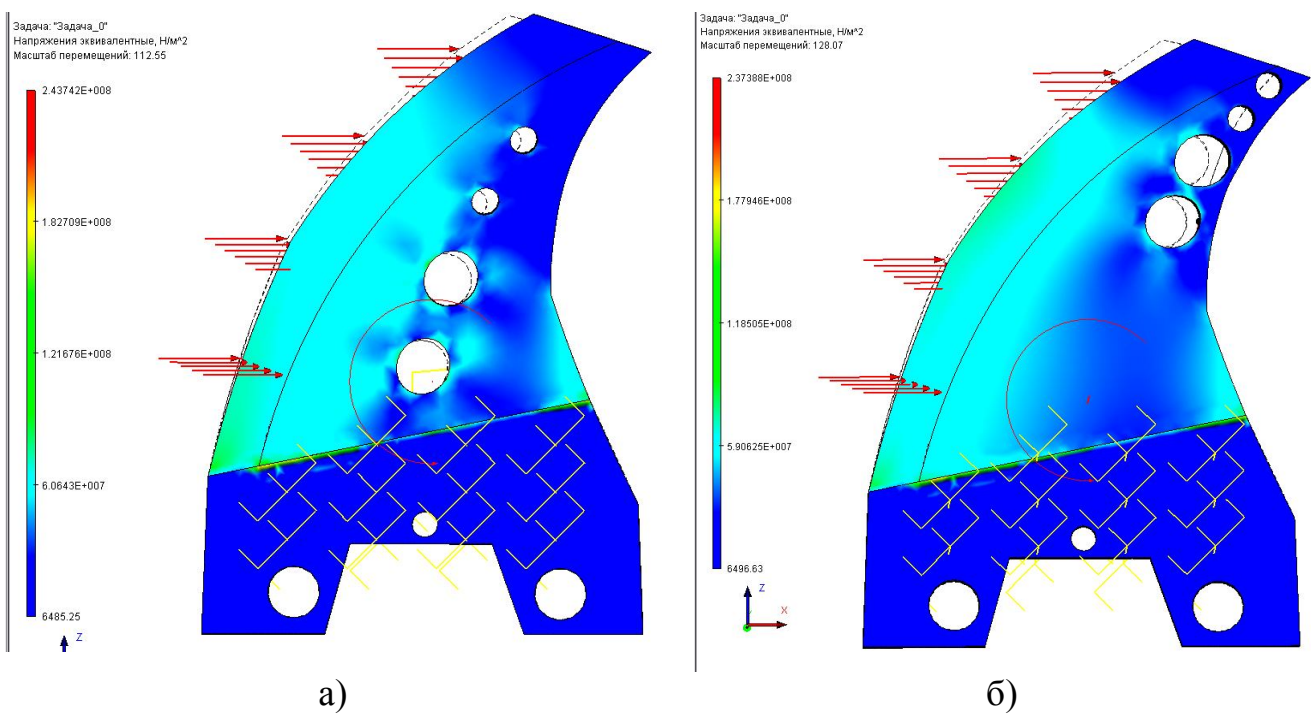
Як виходить з таблиці 1, значення напружень, що виникають у характерних точках ножа розробленої конструкції, істотно відрізняються від аналогіч-

них показників відомого типу перфорованого ножа та наближаються до показників стандартного ножа.



а) розрахункова сітка; б) значення напружень в корпусі ножа.

Рисунок 7 – Напружено-деформований стан стандартного ножа



а) конструкція фірми ALPINA; б) розроблена конструкція.

Рисунок 8 – Напружено-деформований стан перфорованих ножів

Таблиця 1 – Значення напружень ножів кутера

№ точки ножа	Ніж стандартної конструкції		Ножі перфоровані			
			фірми ALPINA		розроблений	
	σ_{max} , МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max} , МПа	$K_{з.м.}$	σ_{max} , МПа	$K_{з.м.}$
1	58	3,8	65	3,3	59	3,7
2	59	3,7	60	3,6	64	3,4
3	54	4,1	60	4,0	50	4,5
4	75	3,4	68	3,2	68	3,2
5	51	4,3	57	3,8	51	4,2
6	51	4,3	56	3,9	52	4,1

Так, у точці 1 ножа розробленої конструкції виникають напруження $\sigma_{max} = 59$ МПа, що на 4 МПа менше за напруження в перфорованому ножі відомої конструкції і лише на 1 МПа більше за напруження в звичайному ножі без перфорації. Зменшено напруження в точці 3 на 10 МПа порівняно з відомим перфорованим ножем і навіть на 4 МПа порівняно зі стандартним. Загалом стало можливим зменшити максимальні значення напружень σ_{max} у корпусі перфорованого ножа та підвищити коефіцієнт запасу міцності $K_{з.м.}$ порівняно з відомими до 20%. Унаслідок цього створюються більш сприятливі умови для подібнення кускової м'ясної сировини.

Висновки. Визначено залежність значення тисків, що діють на ніж під час його роботи, від в'язкості сировини та швидкості обертання робочих органів кутера. Максимальні значення тисків спостерігаються за умови обробки кускової м'ясної сировини: лобовий тиск – 2,5 МПа, тиск на бокову поверхню – 6 кПа. На основі аналізу напружено-деформованого стану стандартного та перфорованого ножів розроблено нову схему розташування отворів перфорації, яка дозволяє підвищити міцність ножа на 20% і підвищити ефективність обробки сировини. На розроблену конструкцію ножа подано заявку на винахід.

Перспективним напрямком подальших досліджень є числове моделювання умов обтікання сировиною отворів перфорації з метою визначення найбільш оптимального конструктивного виконання ножа для підвищення ефективності обробки сировини та визначення взаємозв'язку такого конструктивного виконання з напружено-деформованим станом ножа.

Література

1. Пат. Ніж кутера. DE19823412A1, B02C18/20, ФРН, 1999.
2. Пат. Ножі кутера. DE10141712C1, B02C18/20, ФРН, 2003.
3. Промисловий каталог фірми TIPPER TIE ALPINA GmbH, Швейцарія, 2010, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://www.tippertie.com>>.
4. Степанов В.С. Куттерные ножи: барьерные в комплекте с перфорированными / В.С. Степанов // Мясные технологии. – 2010. – № 6. – С.16-18.
5. Закалов О. Вплив форми і розмірів ножів кутера на їх довговічність та енергоспоживання / О. Закалов, А. Бортник // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2007. – № 1. – С. 152-158.

6. Промисловий каталог фірми ПП «Алнат» [Електронний ресурс]. – Україна, 2011. – Режим доступу: <<http://www.alnat.com>>.
7. Структурно-механические свойства продуктов / Под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1982. – 296 с.