

УДК 637.5.02:519.87

ББК 36.92

## МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НОЖІВ КУТЕРА

*Батраченко Олександр Вікторович* к.т.н., доцент

*Черкаський державний технологічний університет*

*Batrachenko O.*

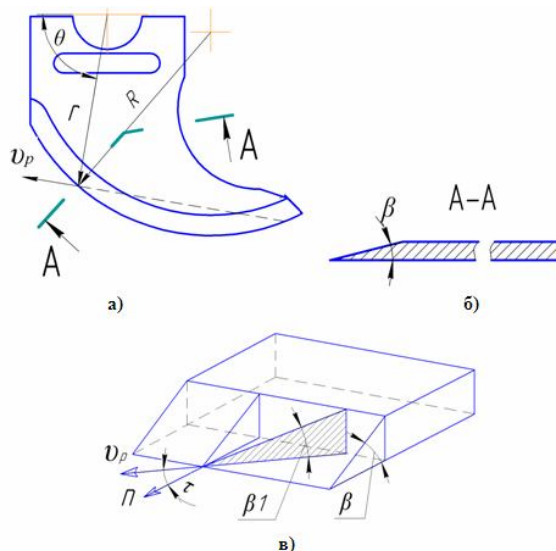
*Cherkaski reigning tehnologichny universitet*

**Анотація:** в статті наведено результати чисельного моделювання умов навантаження ножів кутера. Встановлено значення тисків, які діють на поверхню леза ножа, залежно від кута загострення леза та від кінематичних і фізико-механічних параметрів потоку. Отримані дані можна використовувати при визначенні міцності ножів кутера та шляхів їх вдосконалення.

**Ключові слова:** ніж кутера, лезо, кут загострення, тиск, міцність, чисельне моделювання.

### Постановка проблеми

В технологічному процесі виготовлення ковбасних виробів та паштетів важливе місце займає такий вид обладнання, як кутери. Вони призначені для попереднього і тонкого подрібнення сировини, проведення її перемішування та вакуумування [1]. Параметри процесу подрібнення сировини в кутері визначають, як якість, так і кількість виготовленої продукції, що здійснює суттєвий вплив на величину рентабельності її виробництва.



**Рис. 1.** Схема до визначення кінематичного кута різання:

а) – ніж кутера (як приклад, наведено схему ножа кутера Л5-ФКБ, лезо якого виконано у вигляді дуги кола з радіусом  $R$ ); б) – поперечний переріз ножа; в) – переріз ножа в напрямку швидкості різання  $v_p$ ;  $\theta$  – поточний кут, що визначає положення точки на лезі;  $r$  – радіус обертання точки леза;  $v_p$  – швидкість різання;  $\pi$  – нормаль до дотичної до леза ножа;  $\tau$  – кут ковзання;  $\beta$  – кут загострення леза;  $\beta_1$  – кінематичний кут різання

Суттєвий вплив на ефективність подрібнення сировини в кутері здійснює конструктивне виконання його головних робочих органів – ножів. Особливо велике значення має величина кута різання леза, а саме – його мінімізація. Це досягається шляхом кінематичної трансформації кута різання (рисунок 1) – при використанні криволінійних лез кут різання  $\beta_1$  завжди менше кута загострювання  $\beta$ . Досліджено, що меншому значенню кута різання відповідає пропорційно менше значення зусилля розрізання тканин сировини. Проте недослідженим залишається вплив кута загострювання леза на опір його руху крізь сировину та, відповідно, на значення тиску на поверхню леза ножа. Це не дозволяє отримати високу точність при розрахунку ножів кутера на міцність та не дозволяє визначати ефективні шляхи їх подальшого вдосконалення.

### *Аналіз останніх досліджень і публікацій*

В роботі [2] німецькими вченими зазначається про отримані експериментальним шляхом значення зусиль, що діють на ніж кутера, та напружено-деформований стан ножів. Дослідження полягали у проведенні натурного експерименту із використанням модифікованої конструкції кутера та ножів спеціальної будови. Проте в зазначеній роботі не наведено докладних даних про величини згаданих показників.

Відомі результати досліджень німецьких вчених, які в своїй роботі використали імітаційне моделювання [3] з метою дослідження напружено-деформованого стану перфорованих ножів та розробки їх нових конструкцій. Але в роботі відсутні дані про значення зусиль, які були прикладені до ножа, та залежність величини цих зусиль від конструктивних параметрів ножа.

В роботі [4] наведено результати числового моделювання умов навантаження ножа кутера. Але в даній роботі визначено зусилля лише для одного значення кута загострення леза. Це не дозволяє раціонально визначати конструктивні параметри ножів та не дозволяє визначати ефективні шляхи їх подальшого вдосконалення.

### *Мета дослідження*

Метою статті є визначення впливу величини кута загострювання леза ножа на значення тиску на його поверхню.

### *Основні результати дослідження*

Зважаючи на технічні особливості кутерів, які ускладнюють експериментальне визначення зусиль, що діють на ножі, було проведено чисельне моделювання гідродинаміки сировини при русі ножа в програмному комплексі *FlowVision*. Даний програмний комплекс призначений для моделювання тривимірних течій рідини в технічних і природних об'єктах та візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки.

Для моделювання було обрано тривимірну модель ламінарного руху нестисливої в'язкої рідини, яка базується рівняннях Нав'є-Стокса та суцільності середовища:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \cdot \vec{v} = \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \nabla (\mu \nabla \vec{v}) + \vec{S}, \quad (1)$$
$$\text{div} \vec{v} = 0$$

де  $\vec{v}$  – векторне поле швидкостей;  $t$  – час;  $p$  – тиск;  $\rho$  – густина;  
 $\mu$  – динамічна в'язкість;  $\vec{S}$  – масові сили.

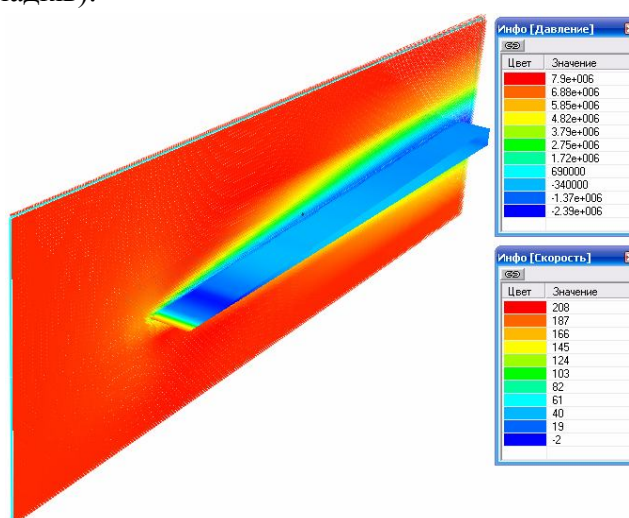
Модель також враховує невеликі зміни густини (наближення Бусінеска). Граничні умови задавались наступним чином (в термінах *FlowVision*):

- на вході в розрахункову область – вхід, нормальна швидкість –  $v_n|_{zp} = v_0$ ;
- верхня, нижня та задня грані розрахункової області – вільний вихід –  $p|_{zp} = 0$ ;  
 $v|_{zp} = v_\tau|_{zp}$  при  $(\vec{v}, \vec{n}) > 0$ ,  $\nabla(v_i, \vec{n})|_{zp} = 0$  при  $(\vec{v}, \vec{n}) \leq 0$ .
- поверхня ножа – стінка, логарифмічний закон, що враховує значення пісочної шорсткості в мкм –  $v_n|_{zp} = 0$ ,  $\tau|_{zp} = \mu \frac{\partial v}{\partial y}|_{v=0}$ ;
- бокові поверхні розрахункової області – симетрія, стінка з проковзуванням –  
 $v_n|_{zp} = 0$ ,  $\frac{\partial v_\tau}{\partial n}|_{zp} = 0$ ;

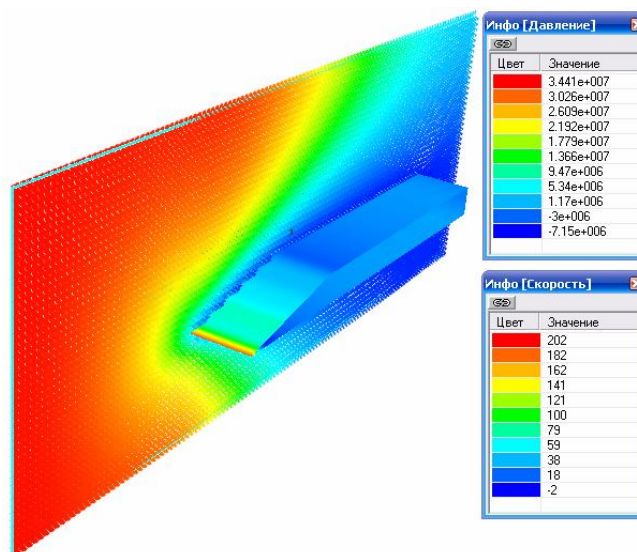
Тут  $v_n, v_\tau$  – нормальна та тангенціальна складові вектори швидкості,  $v_i, i = 1, 2, 3$  – проекції вектора швидкості на осі координат,  $\vec{n}$  – вектор нормалі до границі.

Для моделювання режиму розрізання кускової парної м'ясної сировини та її фаршу в кутері було застосовано наступні вихідні дані: швидкість руху рідини при визначенні лобового тиску задавалась в межах від 50 м/с до 200 м/с (як при обертанні ножів) [1]; режим руху рідини – ламінарний; густина рідини 1050 кг/м<sup>3</sup>, в'язкість рідини 30÷700 Па·с [5]. Значення кута загострення леза приймалися наступні: 2°, 5°, 8°, 11°, 14°.

В результаті моделювання було визначено розподілення швидкості та тиску рідини при фронтальному обтіканні леза. Візуалізація отриманих результатів наведена на рисунках 2 і 3 (для часткових випадків).



**Рис. 2. Розподілення швидкості та тиску рідини при фронтальному обтіканні леза (кут загострення леза  $\beta = 2$  град., швидкість різання  $v = 200$  м/с, в'язкість сировини  $\eta = 30$  Па·с)**

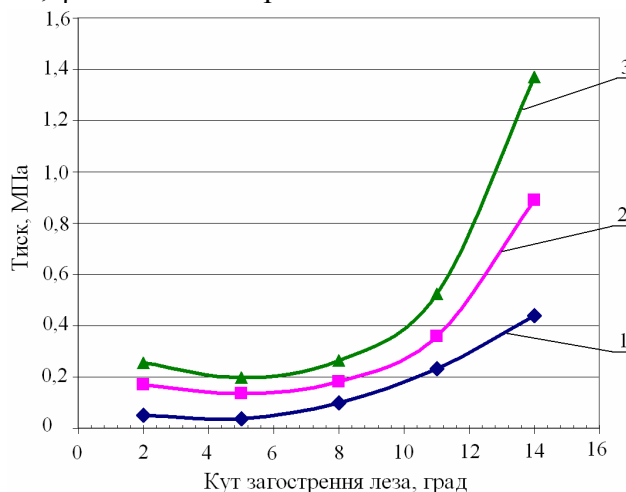


**Рис. 3. Розподілення швидкості та тиску рідини при фронтальному обтіканні леза (кут загострення леза  $\beta = 14$  град., швидкість різання  $v = 200$  м/с, в'язкість сировини  $\eta = 700$  Па·с)**

Отримані при чисельному моделюванні результати (рисунки 4-6) були апроксимовані методом найменших квадратів, в результаті чого отримано наступне рівняння множинної регресії:

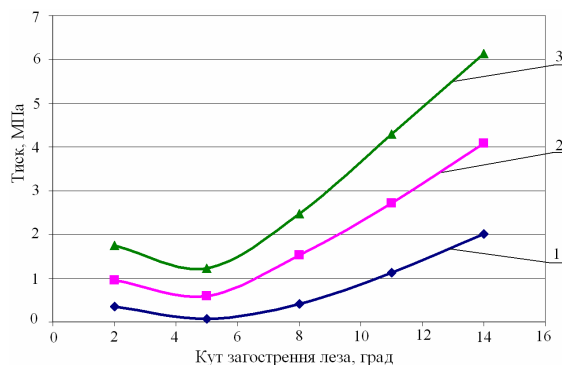
$$P = -4,69 + 0,32 \cdot \beta + 0,0261 \cdot v + 0,0035 \cdot \eta, \quad (2)$$

де  $P$  – значення тиску, МПа;  $\beta$  – кут загострення леза, град.;  
 $v$  – швидкість різання, м/с;  $\eta$  – в'язкість сировини Па·с.



**Рис. 4. Середні значення тиску, який діє на переріз ножа при кутеруванні, при швидкості різання  $v = 50$  м/с та наступних значеннях в'язкості сировини: 1 –  $\eta = 30$  Па·с; 2 –  $\eta = 200$  Па·с; 3 –  $\eta = 700$  Па·с**

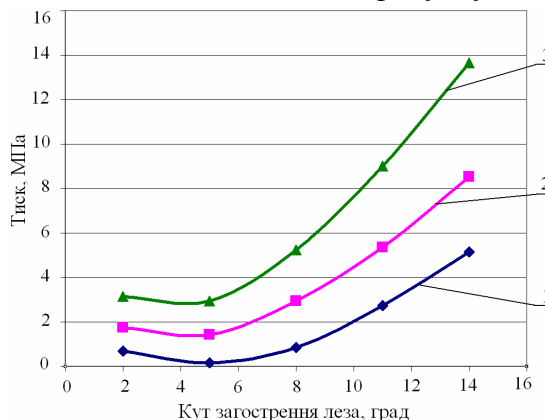
Як слідує з результатів моделювання, зміна кута загострення леза істотно впливає на тиск, що діє на поверхню леза ножа. Так при швидкості потоку 50 м/с зміна кута  $\beta$  від  $2^\circ$  до  $14^\circ$  призводить до зміни тиску на лезо від 0,05 МПа до 1,37 МПа залежно від в'язкості сировини. При швидкості потоку 200 м/с тиск на лезо змінюється відповідно від 0,69 МПа до 13,66 МПа.



**Рис. 5. Середні значення тиску, який діє на переріз ножа при кутеруванні, при швидкості різання  $v=125$  м/с та наступних значеннях в'язкості сировини: 1 –  $\eta=30$  Па·с; 2 –  $\eta=200$  Па·с; 3 –  $\eta=700$  Па·с**

При цьому більшій в'язкості потоку сировини відповідає більш яскраво виражене підвищення тиску при збільшенні кута загострення.

Звертає увагу на себе деяке зменшення тиску на лезо при значенні кута загострювання  $\beta=5^\circ$  для усіх швидкостей руху сировини. Для того, щоб пояснити таку зміну тиску вочевидь необхідно вести мову не про зменшення тиску на лезо при  $\beta=5^\circ$ , а про збільшення тиску при значенні кута загострювання  $\beta=2^\circ$ . Оскільки значення тиску вимірялось як середнє значення по довжині похилої поверхні леза, то при достатньо малому значенні  $\beta=2^\circ$  спостерігається спочатку відхилення потоку сировини від вершини леза, а потім – наближення потоку до поверхні леза та контакт з ним. Це наочно видно з даних рисунку 2.



**Рис. 6. Середні значення тиску, який діє на переріз ножа при кутеруванні, при швидкості різання  $v=200$  м/с та наступних значеннях в'язкості сировини: 1 –  $\eta=30$  Па·с; 2 –  $\eta=200$  Па·с; 3 –  $\eta=700$  Па·с**

Таким чином значна довжина похилої поверхні даного леза зумовлює більші значення тиску, які відмічаються при контакті сировини з лезом. Натомість при більших значеннях кута загострювання контакт сировини з лезом спостерігається переважно в біля вершини леза, а довжина похилої поверхні порівняно мала (рисунк 3).

### Висновки

В результаті математичного моделювання визначено залежність впливу величини кута загострювання леза ножа кутера на значення тиску на поверхню леза. Встановлено, що

значення кута загострювання леза істотним чином впливає на величину тиску на поверхню леза. Залежно від швидкості руху сировини (на практиці – залежно від швидкості різання) зміна кута загострення леза  $\beta$  (на практиці – зміна кінематичного кута різання  $\beta_1$ ) від  $2^\circ$  до  $14^\circ$  призводить до зміни тиску на лезо від 0,05 МПа до 13,66 МПа, що вказує на необхідність обов'язкового врахування зазначених конструктивних параметрів при визначенні умов силового навантаження ножів куттера та при розрахунку їх на міцність.

### Список літератури

1. Василевский О. М. Машины периодического действия для приготовления фарша / О. М. Василевский, О. В. Соловьев, Д. О. Трифонова // Мясные технологии, №5, 2007. – С. 42-46.
2. Stoyanov S., Hammer G. (2005). Physikalische Parameter von Braten. Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe, (01), pp. 181-183.
3. Kolev E., Stoyanov S. (2002). Verifikationsmethode zur Bestimmung der Belastung an Bauteilen durch Simulation und Experiment. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium № 47, TU Ilmenau, (9), pp. 23.-26.
4. Некоз О. І. Визначення значень робочих зусиль, що діють на ніж куттера / О. І. Некоз, О. В. Батраченко, С. О. Філімонов, С. І. Микитюк // Тематичний збірник наукових праць "Обладнання та технології харчових виробництв" Донецького національного університету економіки та торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, 2012. – С. 22-27.
5. Структурно-механические свойства продуктов. Под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

### References

1. Vasylevskyj O. M. Mashyny peryodycheskogo dejstvy`ya dlya prygotovleny`ya farsha / O. M. Vasylevskyj, O. V. Solov`ev, D. O. Tryfonova // Myasnie texnologiyi. - 2007. - №5. – P. 42-46.
2. Stoyanov S., Hammer G. (2005). Physikalische Parameter von Braten. Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe, (01), pp. 181-183.
3. Kolev E., Stoyanov S. (2002). Verifikationsmethode zur Bestimmung der Belastung an Bauteilen durch Simulation und Experiment. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium № 47, TU Ilmenau, (9), pp. 23.-26.
4. Nekoz O.I., Batrachenko O. V., Filimonov S.O., Mikityuk S.I. (2012). Determination of values of workings efforts which operate on knives of a bowl cutter. Thematic collection of scientific works "Equipment and technology of food productions", Donetsk national university of economy and trade the name of Michael Tugan-Baranovskiy, (1), pp. 22-27.
5. Strukturno-mexany`chesky`e svojstva produktov. Pod red. A.V. Gorbatova. – М.: Legkaya y` py`shhevaya promyshlennost`, 1982. – 296 p.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ СИЛОВОЙ НАГРУЗКИ НОЖЕЙ КУТТЕРА

**Аннотация:** в статье приведены результаты численного моделирования условий погрузки ножей куттера. Установлено значение давлений, действующих на поверхность лезвия ножа, в зависимости от угла обострения лезвия и от кинематических и физико-механических параметров потока. Полученные данные можно использовать при определении прочности ножей куттера и путей их совершенствования.

**Ключевые слова:** чем куттера, лезвие, угол заострения, давление, прочность, численное моделирование.

## SIMULATION CONDITIONS POWER LOAD KNIFE CUTTERS

**Summari:** this article presents the results of numerical modeling of load conditions Knife Cutters. Set to the pressure acting on the surface of the knife blade, depending on the angle of the blade and sharpening of kinematic and physical-mechanical parameters of the flow. The data can be used in determining the strength of the blades Cutters and ways to improve them.

**Keywords:** knife cutters, blade sharpening angle, pressure, strength, numerical modeling.