

В.В. ЧУДОВ, О.В. БАТРАЧЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, С.О. ФІЛІМОНОВ
Черкаський державний технологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ НОЖІВ КУТЕРА З М'ЯСНОЮ СИРОВИНОЮ

В сучасних кутерах робота ножової головки відрізняється недостатньою ефективністю. Згідно з результатами досліджень, одним із факторів зниження питомої продуктивності кутерів є винесення фаршу із зони подрібнення ножами внаслідок адгезійної взаємодії ножів із фаршем. Значення швидкості сировини сягають 118 м/с під час тонкого подрібнення фаршу та 68 м/с під час подрібнення кускового м'яса. По мірі збільшення відстані h від нижньої поверхні ножа швидкість руху сировини істотно знижується, досягаючи 0 при $h=20$ мм. Найбільші значення $v_{\text{сиров.}}$ відповідають $h \leq 1$ мм. Швидкість сировини стрімко збільшується по мірі збільшення радіусу обертання ділянок ножа. Максимальна швидкість спостерігається в зоні руху кінця ножа. При цьому швидкість руху поверхні ножа здійснює значно більший вплив на $v_{\text{сиров.}}$ ніж площа цієї поверхні. Збільшувати кількість ножів в одному ножовому блоці понад 2 є нераціональним для підвищення продуктивності кутера.

Ключові слова: кутер, продуктивність, ножі, м'ясна сировина, чисельне моделювання.

VOLODYMYR VOLODYMIROVICH CHUDOV, ALEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO,
NADYA VICTORIVNA FILIMONOVA, SERGEY ALEXANDROVICH FILIMONOV
Cherkassy State Technological University

MODELING OF THE INTERACTION OF KNITWEAR OF BOWL CUTTER WITH MEAT RAW MATERIAL

The manufacture of sausage products was and remains the kind of food production that can provide high profitability. As you know, the technological parameters of fine crushing of meat raw material, which are often performed with the help of curtains, are significantly influenced by the yield and the quality of manufactured sausage products. This multi-purpose unit, which is capable of performing the function of wool, mixers and machines for fine grinding of raw materials, is also capable of conducting the process under vacuum and subjecting the raw material to a heat treatment or treatment with cold. One of the main drawbacks of curtains is their high performance, which reduces the economic effect of their use. The aim of the work is to: study the influence of adhesive interaction of knife knives with meat raw material, as a factor in reducing its productivity. Investigation of adhesive interaction of knife knives with meat raw material was carried out using numerical simulation. The FlowVision software system and the following output data were used: fluid flow mode - laminar; liquid density - 1050 kg/m³, viscosity - 30, 700 Pa·s; the speed of knives rotation - 4500, 3000 min⁻¹; maximum knife length - 300 mm; distance from knife surface h . It is established that when the knife is rotated due to the contact interaction of the raw material with its lower side there is an intense movement of the layers of the raw material adjacent to the knife, along with it and after its passage in the direction of its movement. The value of the raw material speed reaches 118 m/s for fine ground mincing and 68 m/s for chopping lump meat. As the distance h increases from the lower surface of the knife, the velocity of the material moves substantially, reaching 0 at $h=20$ mm. The greatest values of the speed correspond to $h \leq 1$ mm. The rate of raw material is rapidly increasing as the radius of rotation of the sections of the knife increases. The maximum speed is observed in the zone of movement of the end of the knife. At the same time, the speed of movement of the surface of the knife makes a much greater impact on the speed than the area of this surface. It can be concluded that the use of knife heads designs that contain more than 2 knives in one cutting plane is ineffective. Current is the development of new designs of knife heads of the curtain.

Key words: bowl cutter, productivity, knives, meat raw material, numerical simulation.

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. Це багатоцільовий агрегат, який здатний виконувати функцію вовчка, мішалки та машини для тонкого подрібнення сировини, крім того здатний проводити процес під вакуумом та піддавати сировину тепловій обробці або обробці холодом. Одним з основних недоліків кутерів є недостатньо висока їх питома продуктивність, що знижує економічний ефект від їх використання.

Принципова схема кутера наведена на рис. 1. Сировина завантажується в чашу 1, яка обертається в горизонтальній площині з частотою $n_1=9-18$ хв⁻¹. Чаша подає сировину крізь ножову головку 2, яка складається з кількох, найчастіше шести, ножів. Ножова головка обертається на ножовому валу 3 з частотою $n_2=300-6000$ хв⁻¹ [1]. Принцип дії кутера обумовлює контакт ножів із сировиною не лише поверхнею леза, а і нижньою поверхнею корпусу 6 (рис. 2). Дана поверхня контактує з шаром сировини, який подається чашею кутера в зону подрібнення.

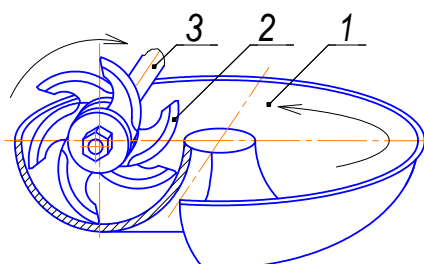


Рис. 1. Принципова схема кутера: 1 – чаша; 2 – ножова головка; 3 – ножовий вал

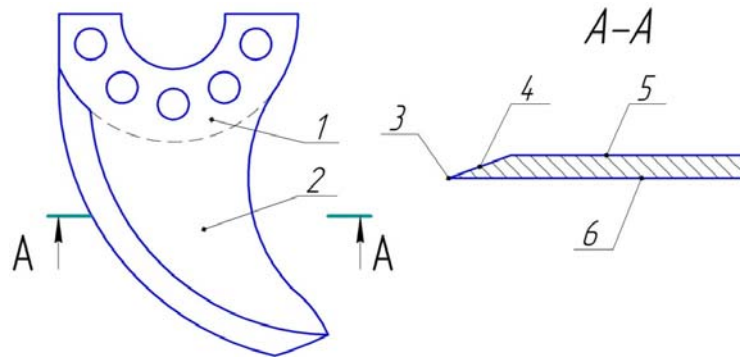


Рис. 2. Будова ножа кутера:

1 – посадочна частина корпусу; 2 – робоча частина корпусу; 3 – різальний крайок; 4 – передня поверхня леза; 5 – верхня поверхня корпусу; 6 – нижня поверхня корпусу

Попередні дослідження роботи кутерів вказують на те, що слід очікувати на інтенсивне тертя нижньої поверхні корпусу ножа 6 по сировині (рис. 2). Це може призводити до руху сировини під дією сил адгезії вслід за ножом та винесення її із зони подрібнення. Врахування даного явища дасть додаткову можливість виявити причини недостатньо високої питомої продуктивності кутерів.

Аналіз відомих джерел

Автором [2] проведено фундаментальні дослідження з розкриття природи процесу подрібнення м'яса в кутерах. Було застосовано фізичне моделювання процесів, високошвидкісну кінозйомку процесу взаємодії леза із сировиною, математичне моделювання. Залежності для аналітичного визначення продуктивності кутера наведено в роботах [3–6]. Однак представлені авторами математичні вирази та підходи для їх виведення не можуть пояснити достатньо низьку питому продуктивність сучасних кутерів. Так при максимальній частоті обертання чаші 18 хв^{-1} і середній тривалості циклу кутерування 7 хв сировина пропускається крізь ножову головку 126 разів, що вказує на низьку подрібнювальну здатність ножової головки, незважаючи на кількість ножів в головці (6 шт.) та частоту її обертання ($3000\text{--}6000 \text{ хв}^{-1}$).

В роботах німецьких дослідників (Günther Hammer, Stefan Stoyanov) за допомогою високошвидкісної відеозйомки, зокрема, встановлено, що тільки перший з боку подачі сировини чашею ніж здійснює різання протягом всього руху в чаші кутера [7, 8]. Другий ніж виконує різання на ділянці, що менше за половину такого шляху. У відомих роботах, не висвітлено питання винесення фаршу ножами першої площини обертання із зони подрібнення. Це не дозволяє виробити ефективні шляхи підвищення питомої продуктивності кутерів.

Метою роботи є встановлення значень швидкості сировини після її взаємодії із нижньою поверхнею корпусу ножа кутера.

Виклад основного матеріалу

Дослідження адгезійної взаємодії ножів кутера з м'ясною сировиною проводилось за допомогою чисельного моделювання. Використовувався програмний комплекс FlowVision та наступні вихідні дані: режим руху рідини – ламінарний; густина рідини – 1050 кг/м^3 [4], в'язкість – $30 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (відповідає тонкоподрібненому фаршу [4]), $700 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (відповідає кусковому м'ясу [4]); частота обертання ножів – $4500, 3000 \text{ хв}^{-1}$; максимальна довжина ножа – 300 мм ; відстань h від поверхні ножа варіювалась (рис. 3).



Рис. 3. Схема руху ножа та сировини при кутеруванні: $v_{\text{ножа}}$ – швидкість руху ножа при подрібненні сировини; $v_{\text{чаші}}$ – швидкість руху чаші пв ході її обертання; $v_{\text{сиров.}}$ – швидкість руху сировини внаслідок її адгезійної взаємодії з ножом; h – товщина шару сировини, який рухається зі швидкістю $v_{\text{сиров.}}$

Результати чисельного моделювання наведено на рис. 4, 5. Графічні залежності, що наведені на рис. 5, були апроксимовані квадратичною функцією виду:

$$v_{\text{сир.}} = a + b \cdot h + c \cdot h^2, \quad (1)$$

де a, b, c – коефіцієнти рівняння регресії (таблиця 1)

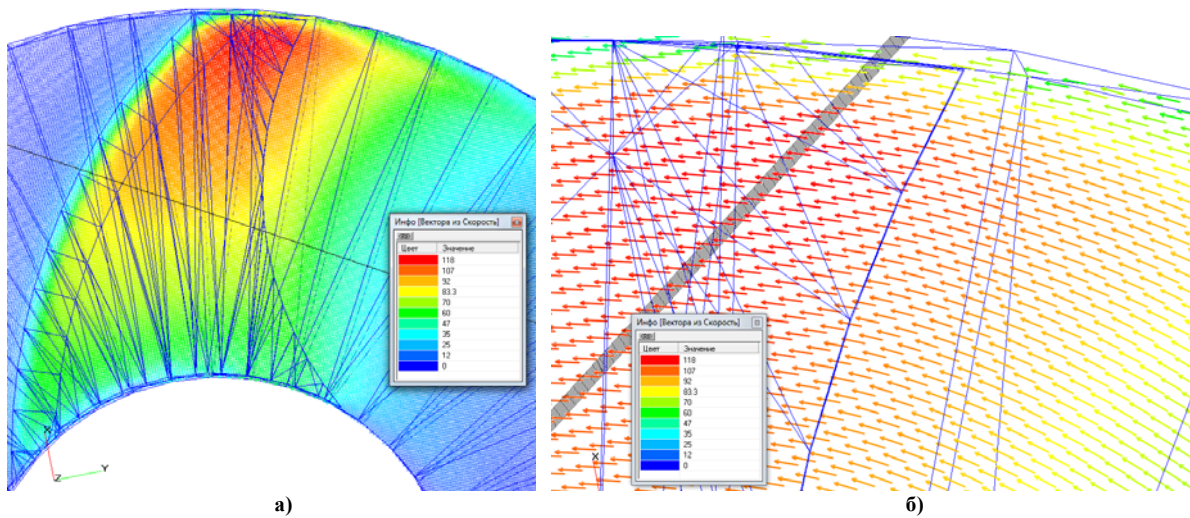


Рис. 4. Візуалізація результатів чисельного моделювання контактної взаємодії нижньої сторони ножа із сировиною ($h=1 \cdot 10^{-4}$ м): а) значення та напрямки швидкості сировини $v_{спрв}$ по всьому радіусу ножа; б) значення та напрямки швидкості сировини $v_{спрв}$ на кінці ножа

За результатами досліджень встановлено, що в ході обертання ножа внаслідок контактної взаємодії сировини з його нижньою стороною відбувається інтенсивний рух шарів сировини, що прилягають до ножа, разом із ним та після його проходження в напрямку руху ножа. Значення швидкості сировини сягають 118 м/с під час тонкого подрібнення фаршу та 68 м/с під час подрібнення кускового м'яса. Лінійна швидкість руху кінця ножа при цьому складає 141,3 м/с та 94,2 м/с. По мірі збільшення відстані h від нижньої поверхні ножа швидкість руху сировини істотно знижується, досягаючи 0 при $h=20$ мм. Найбільші значення $v_{спрв}$ відповідають $h \leq 1$ мм.

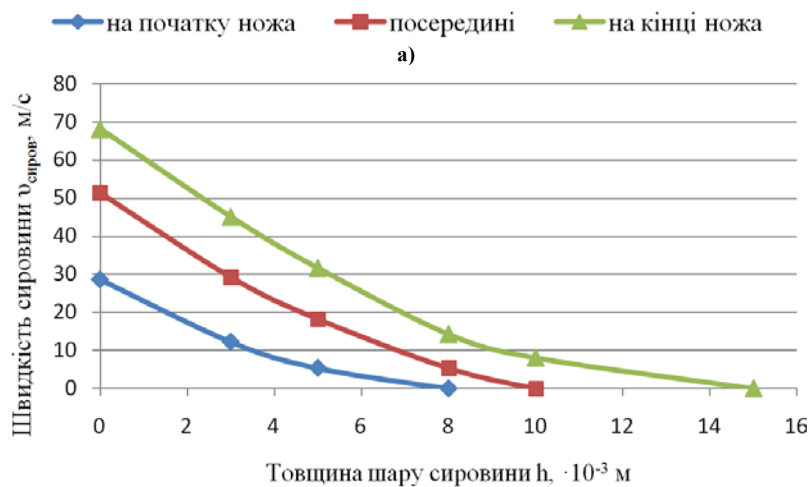
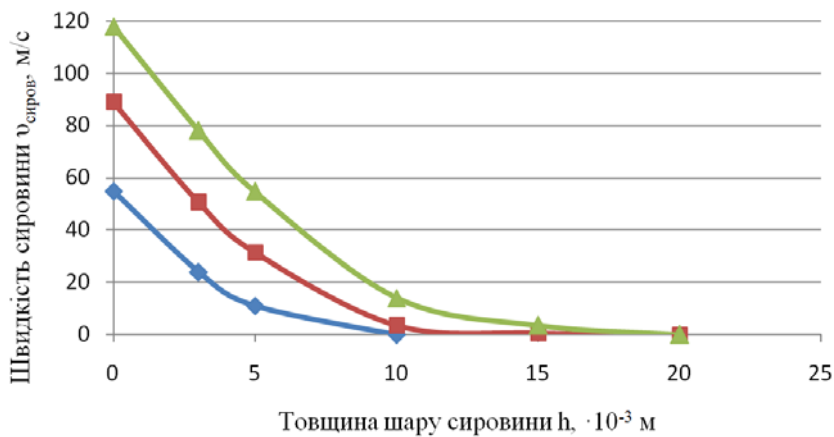


Рис. 5. Значення швидкості сировини $v_{спрв}$: а) під час тонкого подрібнення фаршу (в'язкість рідини 30 Па·с); б) під час подрібнення кускового м'яса (в'язкість рідини 700 Па·с)

Коефіцієнти рівняння регресії

Вид подрібнюваної сировини	Ділянка ножа	Коефіцієнти рівняння регресії		
		a	b	c
Тонкоподрібнений фарш	на початку ножа	54,9	-12,2	0,7
	посередині	85,4	-12,1	0,4
	на кінці ножа	116,9	-14,3	0,4
Кускове м'ясо	на початку ножа	28,7	-6,5	0,4
	посередині	51,3	-8,2	0,3
	на кінці ножа	68,7	-9,0	0,3

Швидкість сировини стрімко збільшується по мірі збільшення радіусу обертання ділянок ножа. Максимальна швидкість спостерігається в зоні руху кінця ножа. При цьому швидкість руху поверхні ножа здійснює значно більший вплив на $v_{\text{сиров.}}$ ніж площа цієї поверхні (рис. 4, а).

Аналіз отриманих при моделюванні результатів дозволяє дійти висновку, що внаслідок адгезійної взаємодії м'ясної сировини з нижньою поверхнею ножа відбувається винос частини м'ясної сировини із зони подрібнення в напрямку обертання ножа. Це призводить до зменшення кількості сировини, яка подається чашею кутера під наступний ніж даної площини різання, та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності кутера. Підтвердженням даного висновку слугують дані, наведені на рис. 6 (об'єктом дослідження був вакуумний кутер Laska KRV-330-2).

Як видно з рис. 6, ножі другої та третьої площини різання відкидають сировину вгору на поверхню кришки ножової головки лише тонкими смугами (2), тоді як ножі першої площини різання формують і шар 2 (в ході гальмування ножової головки наприкінці кутерування), і шар 1. Шар 1 – це сировина, яка винесена ножами першої площини різання із зони подрібнення завдяки дії адгезії.

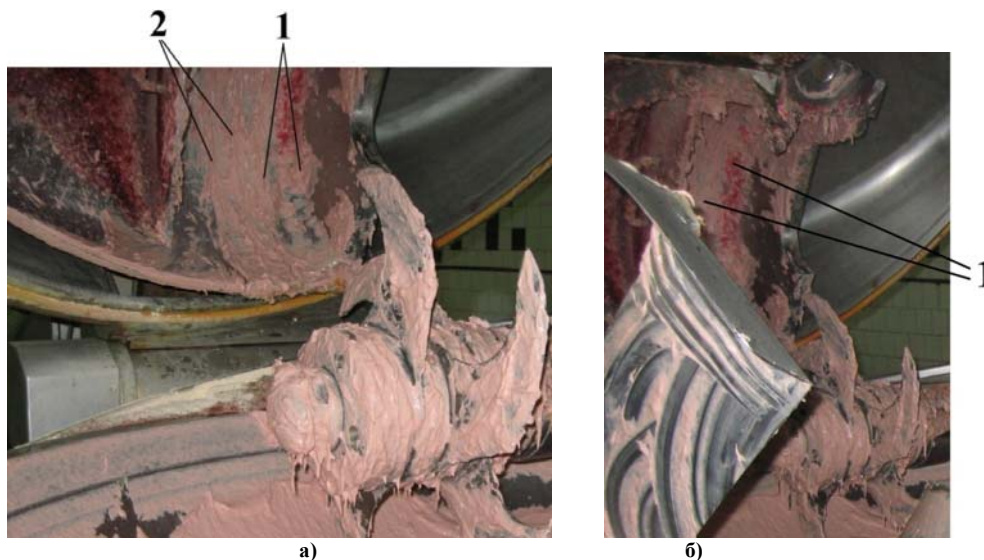


Рис. 6. Следи шарів сировини, що знаходяться на поверхні відкритої кришки ножової головки кутера Laska KRV-330-2: а) вид збоку; б) вид по діагоналі; 1 – сировина, яка винесена ножами першої площини різання із зони подрібнення; 2 – сировина, яка відкинута ножами в площині їх обертання при вибігу (гальмуванні) ножової головки

Описана особливість взаємодії ножів першої площини різання із сировиною обумовлює недостатньо високу питому продуктивність кутерів та значні витрати енергії, які витрачаються на тертя ножа об сировину. Дане явище слід враховувати при розрахунку продуктивності і споживаної потужності кутера та при пошуку шляхів підвищення його питомої продуктивності.

Висновки

Шляхом чисельного моделювання встановлено, що при обертанні ножа кутера внаслідок контактної взаємодії сировини з його нижньою стороною відбувається інтенсивний рух шарів сировини разом із ним та після його проходження крізь зону подрібнення. Дане явище помітним чином зменшує продуктивність кутера, оскільки в такому разі перед наступним ножем одноименого ножового блоку знаходиться менша, недостатня, кількість сировини.

Виявлено, що значення швидкості сировини сягають 118 м/с під час тонкого подрібнення фаршу та 68 м/с – кускового м'яса. По мірі збільшення відстані h від нижньої поверхні ножа швидкість руху сировини істотно знижується, досягаючи 0 при $h=20$ мм. Найбільші значення $v_{\text{сиров.}}$ відповідають $h \leq 1$ мм. Швидкість сировини стрімко збільшується по мірі збільшення радіусу обертання ділянок ножа. Максимальна швидкість спостерігається в зоні руху кінця ножа. При цьому швидкість руху поверхні ножа здійснює значно більший вплив на $v_{\text{сиров.}}$ чим площа цієї поверхні.

Зважаючи на отримані результати можна дійти висновку, що використання конструкцій ножових головок, які містять більше 2 ножів в одній площині різання є неефективним. Актуальною є розробка нових конструкцій ножових головок кутера.

Література

1. Василевский О. М. Классификация машин непрерывного действия для тонкого измельчения мясного сырья / О. М. Василевский, О. В. Соловьев, Д. О. Трифонова // Мясные технологии. – 2006. – № 5. – С. 43–45.
2. Клименко М. Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий : автореф. дисс. на соиск. научной степени доктора техн. наук / М. Н. Клименко. – М. : МИПБТ, 1990. – 43 с.
3. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Батраченко О. В. – Вінниця, 2014. – 284 с.
4. Горбатов А. В. Гидравлика и гидравлические машины для пластично-вязких мясных и молочных продуктов / Горбатов А. В. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 174 с.
5. Косой В. Д. Инженерная реология в производстве колбас / В. Д. Косой, А. Д. Малишев, С. Б. Юдина. – М. : КолосС, 2005. – С. 37–39.
6. Некоз О. І. Розрахунок продуктивності кутера / О. І. Некоз, С. Б. Вербицький, П. В. Иванов, О. В. Батраченко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2009. – № 4. – С. 24–30.
7. Hammer G. Uber das Kuttern von Bruhwurstbrat / G. Hammer, S. Stoyanov // Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach. – 2008. – № 47. – S. 243–251.
8. Хаммер Г. Участие второго ножа куттера в измельчении фарша / Г. Хаммер, С. Стоянов // Мясные технологии. – 2010. – № 7. – С. 42–46.

References

1. Vasilevskiy O. M. Klassifikatsiya mashin nepreryivnogo deystviya dlya tonkogo izmelcheniya myasnogo syrya / O. M. Vasilevskiy, O. V. Solovov, D. O. Trifonova // Myasnyie tehnologii. – 2006. – № 5. – S. 43–45.
2. Klimenko M. N. Razvitie teorii protsessa rezaniya myasa i sovershenstvovanie mashin dlya izmelcheniya syrya v proizvodstve kolbasnyih izdeliy : avtoref. diss. na soisk. nauchnoy stepeni doktora tehn. nauk / M. N. Klimenko. – M. : MIPBT, 1990. – 43 s.
3. Batrachenko O. V. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty ta dovhovichnosti miasorizalnykh mashyn : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.18.12 / Batrachenko O. V. – Vinnytsia, 2014. – 284 s.
4. Gorbatov A. V. Gidravlika i gidravlicheskie mashiny dlya plastichno-vyazki myasnykh i molochnykh produktov / Gorbatov A. V. – Moskva : Agropromizdat, 1991. – 174 s.
5. Kosoy V. D. Injenernaya reologiya v proizvodstve kolbas / V. D. Kosoy, A. D. Malishev, S. B. YUdina. – M. : KolosS, 2005. – S. 37–39.
6. Nekoz O. I. Rozrakhunok produktyvnosti kutura / O. I. Nekoz, S. B. Verbytskyi, P. V. Ivanov, O. V. Batrachenko // Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. – 2009. – № 4. – S. 24–30.
7. Hammer G. Uber das Kuttern von Bruhwurstbrat / G. Hammer, S. Stoyanov // Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach. – 2008. – № 47. – S. 243–251.
8. Hammer G. Uchastie vtorogo noja kuttera v izmelchenii farsha / G. Hammer, S. Stoyanov // Myasnyie tehnologii. – 2010. – № 7. – S. 42–46.

Рецензія/Peer review : 18.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Осипенко В. І.