



Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies

ISSN 2519–268X print
ISSN 2518–1327 online

doi: 10.15421/nvlvet8523
<http://nvlvet.com.ua/>

UDC 664

Investigation of the change of energy source at hack food raw materials from the angle of sharpening the wedge

I.M. Oshchypok

Lviv University of Trade and Economics, Lviv, Ukraine

Article info

Received 12.02.2018
Received in revised form
12.03.2018
Accepted 15.03.2018

Lviv University of Trade
and Economics, Tugan-
Baranovsky str., 10, Lviv, 79000,
Ukraine.
Tel.: +38-032-275-68-66
E-mail: Oshchypok@gmail.com

Oshchypok, I.M. (2018). Investigation of the change of energy source at hack food raw materials from the angle of sharpening the wedge. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 20(85), 123–127. doi: 10.15421/nvlvet8523

The article substantiates the necessity of carrying out a complex of theoretical and experimental researches on energy and resource conservation in technological processes of processing of food products aimed at increasing the efficiency of grinding. It should be noted that the ways of improving the efficiency of technology of processing of food products studied to date is clearly not enough. Mechanical properties in the most general form are determined by deformations occurring under the influence of force. Deformation of polymers in general and of tissues of meat and food products in particular as biopolymers is presented as a sum of three components: elastic deformation – inverse in the phase with stress, residual – completely irreversible and highly elastic – inverse, but not in phase with stress. Elastic deformation is associated with changes in intermolecular distances, residual – with irreversible displacements of molecules at distances larger than molecular sizes, and highly elastic associated with changes in the conformation of polymer chains. In the work, the rheological model of food products, as elastic-solid bodies, is presented as a conglomerate consisting of a solid (elastic) skeleton and a liquid substance that fills the gaps between solids. Being deformed, solid elements of the skeleton of food products crush on the liquid environment surrounding them, forcing them to move in less stressed zones. In accordance with the laws of hydrodynamics, the resistance of the medium at such displacement depends on the speed of its displacement. The problems of calculating the efforts of cutting raw materials from the depth of the wedge rotation with different angles of exacerbation for the food industry, in particular meat, have been investigated. Experimental studies have been conducted to verify the theoretically derived dependence. Cutting efforts coincide well with experimental data and can be used for practical use. In the article, in order to investigate the process of cutting raw materials intended for food production, a mathematical model of physically grounded combinations of elements for describing the mechanical properties of food products was used, which with sufficiently reflect the fundamental properties of the material: elasticity, viscosity and plasticity. The equation for calculating the cutting effort from the angle of sharpening the wedge and test its adequacy experimentally was proven. Applied methods of physically based combinations of elements for mathematical description of mechanical properties of food products, which with sufficient accuracy reflect the fundamental properties of the material: elasticity, viscosity and plasticity. In this combination, the advantage is given to those properties that have a significant value. For food products, such properties are: elasticity and viscosity. A consistent and parallel connection of these elements allows you to simulate the deformation of materials with very complex properties. It is advisable to use the mathematical model of food behavior in subsequent studies, as well as to take into account the energy costs of grinding using chopping.

Key words: cutting, wedge, angle of exacerbation, model.

Дослідження зміни енергозатрат при рубанні харчової сировини від кута загострення клина

I.M. Ощипок

Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів, Україна

У статті обґрунтована необхідність проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень з енерго- і ресурсозбереження в технологічних процесах переробки харчових продуктів, спрямованих на підвищення ефективності подрібнення. При

цьому варто зазначити, що шляхи підвищення ефективності технології переробки харчових продуктів вивчені до теперішнього часу явно недостатньо. Механічні властивості в найзагальнішому вигляді визначаються деформаціями, які відбуваються під впливом сили. Деформації полімерів взагалі і тканин м'яса і харчових продуктів зокрема як біополімерів подано у вигляді суми трьох складових: пружної деформації – зворотної в фазі з напруженням, залишкової – повністю незворотної і високоеластичної – зворотної, але не в фазі з напруженням. Пружна деформація зв'язується з зміною міжмолекулярних відстаней, залишкова – з незворотними переміщеннями молекул на відстані більші, ніж молекулярні розміри, і високоеластичні зв'язані з змінами конформації полімерних ланцюжків. В роботі реологічна модель харчових продуктів, як пружнов'язких тіл, представлена як конгломерат, що складається з твердого (пружного) скелета і рідкої речовини, що заповнює проміжки між твердими елементами. Будучи деформованими, тверді елементи скелета харчових продуктів тиснуть на рідке середовище, що оточує їх, примушуючи переміщатися в менш напружені зони. Відповідно до законів гідродинаміки опір середовища при такому переміщенні залежить від швидкості її переміщення. Досліджені питання розрахунку зусиль рубання сировини від глибини вкорінювання клина з різними кутами загострення для харчової промисловості, зокрема м'яса. Проведені експериментальні дослідження з перевірки теоретично виведеної залежності. Зусилля розрубання добре збігаються з експериментальними даними і можуть використовуватись для практичного використання.

Ключові слова: різання, рубання, клин, кут загострення, модель

Вступ

Проблема зниження енерговитрат процесу подрібнення і зведення до мінімуму втрат поживної цінності харчової сировини і продуктів в ході їх подрібнення є дуже актуальною. Розв'язок її дозволить підвищити ефективність харчового виробництва в цілому (Sukhenko, 2013; Stukalska, 2015).

Ефективність операції подрібнення в технології переробки визначається цілою низкою чинників: структурою і фізико-механічними властивостями харчових продуктів, параметрами процесу подрібнення, конструктивно-технологічними параметрами подрібнювача (Topolnyk and Stukalska, 2013; Sukhenko, and Sukhenko, 2013; Pogrebnyak, 2017).

У зв'язку з цим очевидна необхідність проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень з енерго- і ресурсозбереження в технології переробки харчових продуктів, спрямованих на підвищення ефективності даної технології. При цьому варто зазначити, що шляхи підвищення ефективності технології переробки харчових продуктів вивчені до теперішнього часу явно недостатньо.

Тканини, складові м'яса і субпродуктів належать до природних біополімерів, тому дослідження їх механічних властивостей проводиться в рамках уявлень механіки полімерів (Reznik, 1975; Kishenko et al., 2016; Ukrainets et al., 2017).

Механічні властивості в найзагальнішому вигляді визначаються деформаціями, які відбуваються під впливом сили. Деформації полімерів взагалі й тканин м'яса і харчових продуктів як біополімерів зокрема подано у вигляді суми трьох складових: пружної деформації – зворотної в фазі з напруженням, залишкової – повністю незворотної і високоеластичної – зворотної, але не в фазі з напруженням. Пружна деформація зв'язується з зміною міжмолекулярних відстаней, залишкова – з незворотними переміщеннями молекул на відстані більші, ніж молекулярні розміри, і високоеластичні зв'язані з змінами конформації полімерних ланцюжків.

Матеріал і методи досліджень

Як відомо (Brankov, 1981; Elhina et al., 1987; Kartashov et al., 1987), ізотропні полімери, в тому числі м'ясо і субпродукти як біополімери можуть

бути умовно розділені на три групи, в кожній з яких одна з перерахованих компонент деформації при даних умовах є переважаючою:

- жорсткі полімери, що проявляють малі деформації і мають значно вищий модуль пружності, ніж інші полімери;
- м'які еластичні полімерні матеріали, що мають здатність до дуже великих (десятки і сотні відсотків) зворотних деформацій;
- полімери, які виявляють плинність при впливі зовнішніх сил.

Розподіл полімерів на ці групи є досить умовним, оскільки залежно від режиму навантаження і температури співвідношення компонентів деформації в полімері може змінюватися. М'ясо і харчові продукти при температурах, вищих за криоскопічну ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$), є пластичними тілами, досить близькими, відповідно до наведеної класифікації м'яких полімерів. У міру зниження температури, яка міститься в продуктах, вода починає промерзати і різко змінює їх механічні властивості. Так, при температурах, нижчих ніж криогенні ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), за механічними властивостями м'ясо і продукти можна віднести до досить жорстких полімерів.

В інтервалі температур між криоскопічною і криогідратною м'ясо і продукти мають проміжні властивості між крихкістю і пластичністю. В деформаціях їх в різних співвідношеннях між собою одночасно присутні всі три розглянуті компоненти.

В інтервалі температур між криогідратною і $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ механічна поведінка харчових продуктів характеризується як пружнов'язка. В цих випадках деформація складається з миттєвої пружної, що підпорядковується формально закону Гука, запізнілої високоеластичної і залишкової.

Реологічна модель харчових продуктів як пружнов'язкого тіла може бути представлена як конгломерат (Reznik, 1975; Kartashov et al., 1987; Padohin and Kokina, 2007), що складається з твердого (пружного) скелета і рідкої речовини, що заповнює проміжки між твердими елементами. Будучи деформованими, тверді елементи скелета харчових продуктів тиснуть на рідке середовище, що оточує їх, примушуючи переміщатися в менш напружені зони. Відповідно до законів гідродинаміки опір середовища при такому переміщенні залежить від швидкості її переміщення.

Для математичного опису механічних властивостей матеріалів в реології розроблені методи фізично

обґрунтованих комбінацій елементів, які з достатньою точністю відображають фундаментальні властивості матеріалу: пружність, в'язкість і пластичність. При такому комбінюванні перевага надається тим властивостям, які мають істотне значення. Для харчових продуктів такими властивостями є: пружність і в'язкість. У реологічних схемах, що характеризують властивості матеріалу, прийнято пружність зображати у вигляді пружини, деформування якої підпорядковується закону Гука, а в'язкість – у вигляді циліндра з в'язкою рідиною, в якому переміщення поршня підпорядковане закону Ньютона. Послідовне і паралельне з'єднання зазначених елементів дозволяє моделювати деформацію матеріалів з вельми складними властивостями (Reznik, 1975; Padohin and Kokina, 2007).

Результати та їх обговорення

У роботі досліджується процес рубання сировини, призначеної для харчового виробництва з застосуванням математичної моделі фізично обґрунтованих комбінацій елементів для опису механічних властивостей харчових продуктів, які з достатньою точністю відображають фундаментальні властивості матеріалу: пружність, в'язкість і пластичність. Одержимо рівняння для розрахунку зусилля рубання від кута загострення клина і проведемо перевірку його адекватності експериментально.

Деформаційну поведінку харчових продуктів найбільш повно характеризує модель, яка містить три послідовно з'єднаних елемента (рис. 1. а):

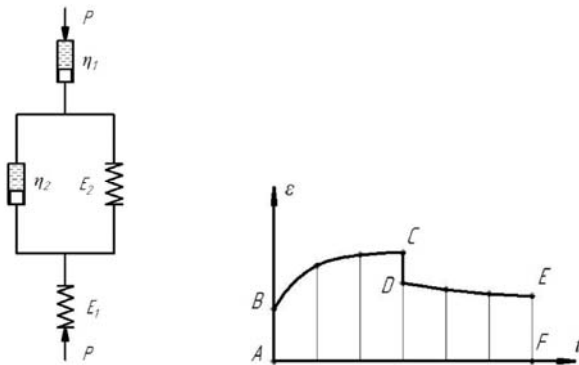


Рис. 1. Реологічний модель харчових продуктів: а – схема моделі, б – діаграма деформування м'яких продуктів і м'яса елемент E_1 миттєвої пружності, елемент E_2 запізнілої пружності, з'єднаний паралельно з елементом в'язкості η_2 , і елемент течії η_1 , з'єднаний з першими двома елементами послідовно (дана модель схожа з «Моделлю Бюргерса»).

При швидкому навантаженні моделі повна її деформація відбудеться, головним чином, за рахунок стиснення пружини (елемента) E_1 . При фіксації моделі в стислому стані пружина E_1 стане переміщати поршень елемента η_1 . У міру просування останнього пружина E_1 буде розтискати і напруження буде зменшуватися. Ми отримаємо типову картину релаксації напруження при постійній деформації.

Явище повзучості, характерне для пружнов'язких матеріалів, може бути отримано на зазначеній моделі за умови застосування до неї постійного навантаження. Під його дією спочатку відбудеться швидка деформація моделі за рахунок стиснення пружини елемента E_1 , а потім – поступова деформація за рахунок стиснення пружини елемента E_2 разом з переміщенням поршня елемента η_2 . При знятті навантаження пружина елемента E_1 розтиснеться миттєво, а E_2 може розтиснутися лише поступово, впливаючи при цьому на поршень елемента η_2 . Положення поршня елемента η_1 зафіксує залишкову деформацію.

На рис. 1 б наведена узагальнена графічна залежність (Reznik, 1975) відносної деформації ϵ пружнов'язкого тіла, в тому числі й харчових продуктів, від тривалості їх навантаження і розвантаження. Її характер ідентичний розвитку деформації описаної моделі. Так, тут ордината АВ відповідає миттєвому стисненню елемента E_1 , ВС – поступовому стисненню елемента E_2 разом з переміщенням поршнів елементів η_2 і η_1 , CD – миттєвому розтисненню елемента E_1 , DE – поступовому розтисненню елемента E_2 і EF – залишкової деформації.

Аналітичний опис моделі приводить до диференціальних рівнянь

$$T \cdot \ddot{\sigma} + H \cdot \dot{\sigma} + K \cdot \sigma = \eta_2 \cdot \ddot{\epsilon} + E_2 \cdot \dot{\epsilon} \quad (1)$$

де T, H, K – деякі константи;

$$T = \frac{\eta_2}{E}; \quad H = 1 + \frac{E_2}{E_1} + \frac{\eta_2}{\eta_1}; \quad K = \frac{E_2}{\eta_2} \quad (2)$$

Аналіз рішень окремих випадків рівняння (1) дозволяє встановити, в якому ступені прийнята модель має властивості пружнов'язкого матеріалу і, зокрема, явищ повзучості і релаксації напружень. Так, якщо в момент часу $t = 0$ починає діяти постійне напруження $\sigma = \text{const}$, то рівняння (1) набуде вигляду

$$\sigma = \eta_1 \cdot \left(\frac{\eta_2}{E_2} \cdot \frac{d^2 \epsilon}{dt^2} + \frac{d \epsilon}{dt} \right) \quad (3)$$

Розв'язок даного рівняння дасть закон зміни деформації в часі, тобто рівняння повзучості

$$\epsilon = \sigma \cdot \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} (1 - e^{-kt}) + \frac{1}{\eta_1} \right] \quad (4)$$

Відповідно до цього рівняння, при $t = 0$ матеріал отримує миттєву деформацію ϵ , а при збільшенні t деформація зростає, чим і характеризується повзучістю.

За умови ж $\epsilon = \text{const}$ права частина рівняння (1) перетворюється в нуль,

Тобто

$$T \cdot \ddot{\sigma} + H \cdot \dot{\sigma} + K \cdot \sigma = 0 \quad (5)$$

Спільним розв'язком цього рівняння є

$$\sigma = A \cdot e^{-\alpha t} + B \cdot e^{-\beta t} \quad (6)$$

характеристичне рівняння буде

$$a^2 + \frac{H}{T} \cdot a + \frac{K}{T} = 0 \quad (7)$$

на підставі Розв'язок якого визначаються коефіцієнти α і β . Довільні постійні A і B визначаються з початкових умов

$$B = \varepsilon \cdot E_1 - A; \quad \Phi = \varepsilon \cdot \frac{E_1^2 \left(\frac{1}{\eta_2} + \frac{1}{\eta_1} \right) - \beta \cdot E_1}{a - \beta} \quad (8)$$

з яких випливає, що постійні А і В залежать від кінцевого значення деформації ε . Розв'язок рівняння (5) дає закон релаксації напружень (6). З аналізу останнього випливає, що при $t = 0$ напруження має значення $\sigma = A + B$, при зростанні t напруження зменшується за експоненціальним законом.

Таким чином, як логічний, так і математичний аналіз розглянутої моделі харчових продуктів вказує на її достатню фізичну достовірність. Крім того, така модель дозволяє досить ілюстративно пояснити характер поведінки харчових продуктів в процесі їх навантаження. Це надзвичайно важливо для чіткого уявлення процесу взаємодії леза (його крайок і фасок) з матеріалом, особливо з урахуванням швидкості різання, яка змінюється в досить широкому діапазоні.

Кут загострення ріжучого інструмента у вигляді клина та механічні властивості сировини або продукту для приготування страв, зокрема м'яса, мають суттєвий вплив на енерговитрати при рубанні. Математичний вираз зусилля рубання в першій його стадії – коли клин врізається в сировину, зминає її і викликає опір розтягуванню в площині розрубання і приводить до зростання зусилля, до величини $\max P$, тобто до появи випереджуючої тріщини, яку можна враховувати різними коефіцієнтами, залежно від сировини рубання її агрегатного стану, або при деяких умовах рубання, не враховувати взагалі.

Виразимо математично зусилля вкорінювання рубаючого клина в сировину залежно від кута його загострення при різній ширині та фізико-механічних властивостях зразків сировини або продукту (рис. 2).

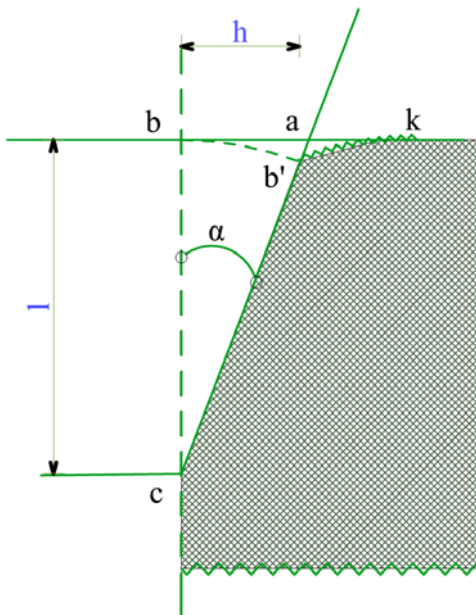


Рис. 2. Розрахункова схема початкового вкорінювання клина в сировину

Припустимо, що абсолютно гострий різець вкорінюється в сировину і через деякий час точка b займе положення b' (рис. 2) і що зусилля, викликане тертям різця по сировині, менше за тимчасовий опір сирови-

ни стисканню. Виходячи з цього, відрізок b' с дорівнюватиме глибині вкорінення різця. При цьому над його щобою утворюється шар зім'ятої сировини (пружний клин), який сприймає тиск від щоби і передає його зім'ятим волокнам сировини. Над точкою b' глибину пружного клина визначимо з рівняння

$$h = b'c \sin \alpha = l \operatorname{tg} \alpha \quad (9)$$

де l – глибина вирівнювання клина, м;

α – половина кута загострення клина.

На ділянці b' с нормальна складова визначається за формулою

$$N_1 = \sigma b l \quad (10)$$

де σ – тимчасовий опір стиснення сировини під відповідним кутом у напрямку різання, H/m^2 ;

b – ширина клина, м.

Передача тиску щоби на ще не зім'яті волокна сировини чи продукту здійснюється також на ділянці $b'k$, величина його визначається рівнянням

$$l_H = \frac{l \sin \alpha}{\cos \operatorname{arg} \operatorname{tg} \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} \quad (11)$$

Зусилля на цій ділянці

$$N_2 = \sigma b l_H \quad (12)$$

Внаслідок того, що зминання сировини або продукту під визначеним кутом, величина тимчасового опору зминанню залежить від кута α , σ визначимо за формулою

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{00}} \right) \cos 2\alpha} \quad (13)$$

Виходячи з загального виразу зусилля рубання сировини

$$P = \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \quad (14)$$

З урахуванням того, що

$$N = N_1 + N_2 \quad (15)$$

Одержимо

$$P = \frac{2\sigma_0 b}{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{00}} - 1 \right) \cos 2\alpha} \left(l + \frac{l \sin \alpha}{\cos \operatorname{arg} \operatorname{tg} \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}} \right) \frac{f \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \quad (16)$$

де f – коефіцієнт тертя між різцем і сировиною або продуктом.

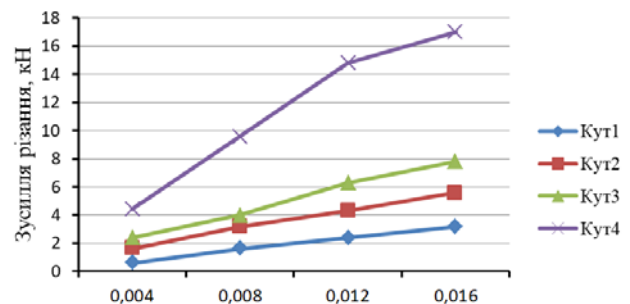


Рис. 3. Графік зміни зусилля рубання від глибини вкорінювання клина з різними кутами загострення: Кут 1=14°50'; Кут 2=24°50'; Кут 3=34°40'; Кут 4=45°50'

На рис. 3 подано графік залежності зусиль рубання від глибини вкорінювання клина з різними кутами загострення. Залежність зусилля розрубання добре збігається з експериментальними даними і може використовуватись для практичного використання. З графіка чітко видно, що зі зростанням кута загострення клина зусилля при вкорінюванні збільшуються

Висновки

Досліджені питання розрахунку зусиль рубання сировини від глибини вкорінювання клина з різними кутами загострення для харчової промисловості, зокрема м'яса. Проведені експериментальні дослідження з перевірки теоретично виведеної залежності. Зусилля розрубання добре збігаються з експериментальними даними і можуть використовуватись для практичного використання.

Перспективи подальших досліджень. Застосовані методи фізично обґрунтованих комбінацій елементів для математичного опису механічних властивостей харчових продуктів, які з достатньою точністю відображають фундаментальні властивості матеріалу: пружність, в'язкість і пластичність. При такому комбінуванні перевага надана тим властивостям, які мають істотне значення. Для харчових продуктів такими властивостями є: пружність і в'язкість. Послідовне і паралельне з'єднання зазначених елементів дозволяє моделювати деформацію матеріалів з вельми складними властивостями. Математичну модель поведінки харчових продуктів доцільно використовувати в наступних дослідженнях, а також враховувати енергетичні затрати при подрібненні, використовуючи рубання.

References

- Brankov, G. (1981). *Osnovy biomehaniki*. M. MIR (in Russian).
- Elhina, V.D., Zhurin, A.A., Pronichkina, L.P., & Bogachev, M.K. (1987). *Oborudovanie predpriyatij obshhestvennogo pitaniya*. *Mechanicheskoe oborudovanie*. *Jekonomika*. 1, 447 (in Russian).
- Kartashov, L.P., Bashkov, A.F., & Manannikov, P.P. (1987). *Sovershenstvovanie rabocheho processa izmel'chitelej*. *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. 9, 44–45 (in Russian).
- Kishenko, I., Kryzhova, Y., & Filonenko, M. (2016). *Research of fermented compound transglutaminase on the model samples of restrusted beef ham*. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 18, 2(68), 46–50. doi: 10.15421/nvlvet6809.
- Padohin, V.A., & Kokina, N.R. (2007). *Fiziko-mechanicheskie svojstva syr'ja i pishhevyyh produktov. uchebnoe posobie*. Ivanovo. Izd-vo IGHTU (in Russian).
- Pogrebnyak, A. (2017). *Research of the Hydro-jet Water-polymer Processing of Food Products by Cutting*. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 19(75), 134–139. doi: 10.15421/nvlvet7527.
- Reznik, N.E. (1975). *Teorija rezanija lezviem i osnovy rascheta rezhushhih apparatov*. M. Mashinostroenie, 29–32 (in Russian).
- Stukalska, N. (2015). *Method complex quantify quality of grinding meat chicken*. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 17(1), 101–107. Retrieved from <https://nvlvet.com.ua/index.php/journal/article/view/340>.
- Sukhenko, V. (2013). *Vplyv stupenia podribnennia farshiv na kinetyku vysushuvannia syrokopchenykh kovbas*. *Prodovolcha industriia APK*. 4, 24–28. *Rezhym dostupu*: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Piapk_2013_4_7 (in Ukrainian).
- Sukhenko, V.Yu., & Sukhenko, Yu.H. (2013). *Stupin podribnennia ta yoho vplyv na yakist vialenoi ta napivkopchenoi produktsii*. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. 5(10), 40–42. *Rezhym dostupu*: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_5%2810%29_10 (in Ukrainian).
- Topolnyk, V.H., & Stukalska, N.M. (2013). *Vyznachennia optymalnykh umov protsesu podribnennia sumishi biloho i chervonoho miasa kuriatyny dlia zbilshennia volohozviazuiuchoi zdatnosti farshiv*. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*. 31, 196–203. *Rezhym dostupu*: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Otkhv_2013_31_26 (in Ukrainian).
- Ukrainets, A., Pasichnyi, V., Shvedyuk, D., & Matsuk, Y. (2017). *Investigation of proteolysis ability of functional destined minced half-finished meat products*. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 19(75), 129–133. doi: 10.15421/nvlvet7526.