

Г.О. Єресько,
академік НААН України,
д-р. техн. наук., професор,
С.Б. Вербицький,
зав. лаб. стандартизації та метрології,
Інститут продовольчих ресурсів
НААН України

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАСТИХ ЕМУЛЬСИТАТОРІВ НА СТРУКТУРНО- МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ФАРШІВ

Метод профільного аналізу структури ТРА (англ. Texture Profile Analysis) широко застосовується у світовій науковій практиці для досліджень реологічних властивостей харчових, і у тому числі м'ясних, продуктів. Сировину, призначену для виготовлення фаршевих мас, піддавали тонкому подрібненню на емульситаторі, після чого визначали їхні ТРА характеристики – твердість, когезію, пружність та розжовуваність. Також визначали залежності зазначених характеристик від величини зазору між ротором і статором емульситатора та величин зазору між різальними пластинами статора при тонкому подрібненні м'ясної сировини, призначеної для виготовлення фаршів варених ковбас і паштетів. Виявилося, що експериментальні залежності твердості, когезії, пружності та розжовуваності фаршевих мас від величин робочих зазорів емульситатора найкраще описує стандартний поліном другого порядку, водночас результати моделювання із застосуванням інших 3D моделей виявилися менш прийнятними.

Ключові слова: емульситатор, профільний аналіз структури, м'ясна сировина, тонке подрібнення.

Метод профільного анализа структуры ТРА (англ. Texture Profile Analysis) широко применяется в мировой научной практике для исследования реологических свойств пищевых, в том числе мясных, продуктов. Сырье, предназначенное для изготовления фаршевых масс, подвергали тонкому измельчению на

эмульситаторе, после чего определяли их ТРА характеристики – твердость, когезию, упругость и пережевываемость. Также определяли зависимости указанных характеристик от величины зазора между ротором и статором эмульситатора и величин зазора между режущими пластинами статора при тонком измельчении мясного сырья, предназначенного для изготовления фаршей вареных колбас и паштетов. Обнаружено, что экспериментальные зависимости твердости, когезии, упругости и пережевываемости фаршевых масс от величин рабочих зазоров эмульситатора наилучшим образом описывает стандартный полином второго порядка, тогда как результаты моделирования с применением других 3D моделей оказались менее приемлемыми.

Ключевые слова: эмульситатор, профильный анализ структуры, мясное сырье, тонкое измельчение.

Texture Profile Analysis (TPA) is widely used by researchers all over the world to study rheological characteristics of foods, including meat foods. Raw meats, intended for manufacturing stuffs, were subjected to comminuting by means of a flow cutter machine, their TPA characteristics - hardness, cohesiveness, springiness and chewiness – being determined hereafter. The dependencies of said characteristics from the rotor-stator clearance and cutter's knife plates' clearance values were also determined for the process of raw meats' comminuting these meats intended for processing cooked sausages and pâtés. A standard second degree polynomial appeared to describe dependencies of comminuted stuffs' hardness, cohesiveness, springiness and chewiness from the cutter's operational clearances in the best way while modeling results by other 3D models were not enough appropriate.

Key words: comminuting, flow cutter, raw meats, texture profile analysis.

Постановка проблеми. Формування властивостей м'ясних фаршевих продуктів відбувається завдяки складній взаємодії компонентів фаршу: білків, жирів, вуглеводів, цукру, солі, вітамінів з водою та одне з одним. Технологія виробництва м'ясних продуктів повинна забезпечити, серед іншого, також на-

буття ними потрібної форми та структури. Тип структури та механічні властивості м'ясних фаршевих продуктів визначають консистенцію, яка є характеристикою їх густоти чи рухомості. Органолептичні методи оцінки продукту є дешевими та оперативними, проте суб'єктивними, тобто залежними від фізіологічних і психологічних факторів, попереднього досвіду дегустатора тощо [1]. Натомість, у разі належного використання інструментальних методів, показання є повністю об'єктивними, точними та відрізняються достатньою відтворністю. Об'єктивно та кількісно встановлені структурно-механічні (реологічні) властивості продукту визначають характер його поведінки під впливом зовнішніх факторів. Реологічні характеристики сировини та м'ясних виробів послугують не тільки для оцінювання їх якості, а й для оптимізації цілого технологічного процесу і його окремих ланок, зокрема тонкого подрібнення з метою одержання м'ясних фаршевих мас [2]. При подрібненні м'яса найбільше змінюються липкість та зсувові властивості фаршу в зоні лавинного руйнування структури. Ці ж характеристики є досить чутливими до зміни хімічного складу, ступеня дисперсності, часу витримання, температури тощо, тобто їх можна пов'язати з об'єктивними критеріями якості виробів, які генетично залежать від характеристик сирого фаршу [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою інструментального імітування процесу пережовування їжі у ротовій порожнині людини Борном було запропоновано [4, 5] метод профільного аналізу структури ТРА (англ. Texture Profile Analysis), для практичної реалізації якого використовують універсальні випробувальні машини [4]. Зазначений метод було вдосконалено в працях цього та інших авторів [6, 7, 8]. Метод ТРА широко застосовується у світовій науковій практиці, що дозволяє порівнювати результати аналізування реологічних характеристик, отримані фахівцями різних країн. Водночас, метод ТРА не позбавлений недоліків, до яких відносять залежність результатів від геометричних розмірів і ступеня деформації зразка [9]. Схему визначення структурно-механічних характеристик за методом ТРА показано на рис. 1.

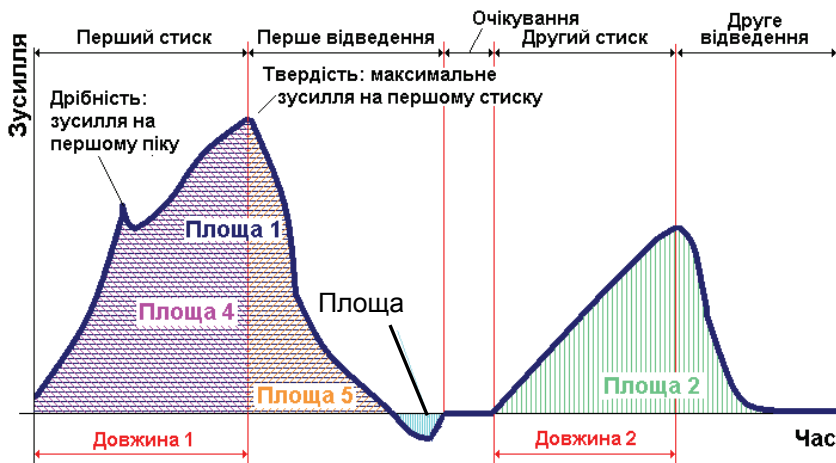


Рис. 1. Схема визначення структурно-механічних характеристик за методом ТРА: а) пружність = довжина 2 / довжина 1; б) еластичність = площа 5 / площа 4; в) когезія = площа 2 / площа 1; г) гумуватість = (площа 2 / площа 1) x твердість; д) розжовуваність = гумуватість x (довжина 2 / довжина 1)

Зазвичай для виконання реологічних досліджень харчових продуктів у світовій науковій практиці застосовують універсальні випробувальні машини електромеханічного типу, що є точними динамометричними пристроями. Зокрема, за методом ТРА з використанням універсальних випробувальних машин визначають структурно-механічні характеристики ковбасних виробів [10, 11, 12, 13], паштетів [14, 15], інших м'ясних продуктів і фаршевих мас.

Методи дослідження. Дослідження структурно-механічних характеристик оброблених фаршевих мас здійснювали з використанням електромеханічної універсальної випробувальної машини SANS CMT2503 (рис. 2), призначеної для визначення міцнісних та структурно-механічних властивостей різних матеріалів. У машині SANS CMT2503 закладено принцип замкненої цифрової системи керування та вимірювань з застосуванням комп'ютера, на дисплей якого виводиться вся інформація у цифровому або графічному вигляді. Для керування всім процесом випробувань з комп'ютера виробником роз-

роблено спеціальну програму. Навантаження, переміщення, подовження, швидкість та графіки можна відображати на дисплеї в режимі реального часу. Результати випробувань обробляються та зберігаються автоматично, всі графіки можна викликати і порівнювати. Максимальне зусилля, яке можна виміряти за допомогою SANS CMT2503 дорівнює 5 кН. В основному виконанні електромеханічна універсальна випробувальна машина SANS CMT2503 виробництва “Shenzhen SANS Testing Machine Co., Ltd.” (м. Шеньжень, КНР) призначена для дослідження пакувальних матеріалів та виробів з пластмас. Для виконання досліджень структурно-механічних властивостей м'ясних та інших харчових продуктів випробувальну машину SANS CMT2503 було модифіковано та оснащено спеціальними засобами (інденторами та приставками з корозійностійкої сталі).



Рис. 2. Електромеханічна універсальна випробувальна машина SANS CMT2503

Для тонкого подрібнення м'ясної сировини використовували експериментальні подрібнювачі м'ясної сировини Я5-ФПФ та Я5-ФП2Ф [16, 17]. Подрібнювачі м'ясної сировини Я5-ФПФ та Я5-ФП2Ф призначені для досліджень тонкого подрібнення м'ясної сировини у лабораторних і промислових умовах. Подрібнювач м'ясної сировини Я5-ФПФ зображено на рисунку 3, а його робочі органи різання – на рисунках 4 (фотографія) та 5 (тривимірна комп'ютерна модель).

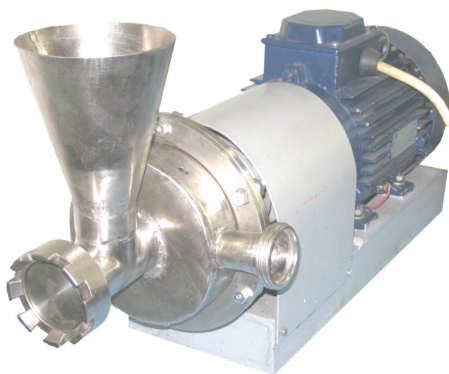


Рис. 3. Загальний вигляд подрібнювача Я5-ФПФ



Рис. 4. Фотографія робочих органів подрібнювача м'ясної сировини Я5-ФПФ

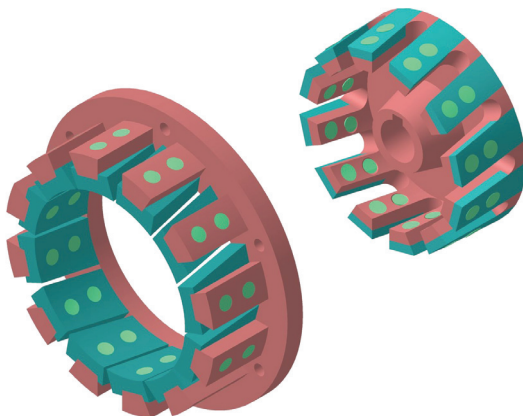
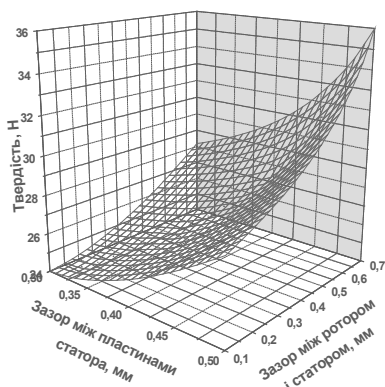
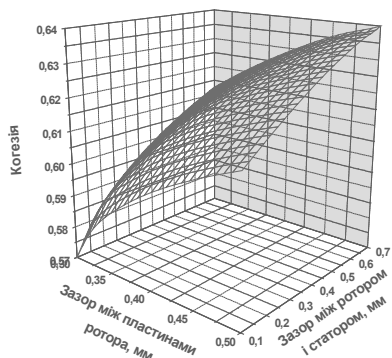


Рис. 5. Тривимірна комп'ютерна модель робочих органів подрібнювача м'ясної сировини Я5-ФПФ

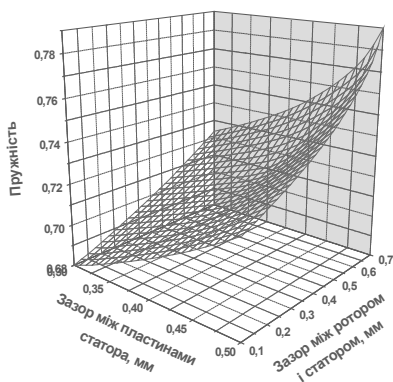
Виклад основних результатів досліджень. Визначали залежність структурно-механічних характеристик з комплексу показників ТРА (профільний аналіз структури) – твердості, когезії, пружності та розжовуваності – від величини зазору між ротором і статором емульсатора та величин зазору між різальними пластинами статора при тонкому подрібненні у дві стадії. До фаршів ковбаси Яловичої, ковбаси Останкінської та паштету Українського додавали 20% води та двічі піддавали їх тонкому подрібненню на емульсаторі. Встановлювали наступні величини зазору (мм) між ротором і статором: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 та 0,7. Величини зазору (мм) між пластинами ротора встановлювали з наступного ряду: 0,3; 0,4 та 0,5 мм. Швидкість обертання ротора встановлювали рівною середньому значенню з діапазону оптимальних швидкостей для досліджуваних фаршів [18]: 14,97 м/с для фаршу ковбаси Яловичої, 15,05 м/с для фаршу ковбаси Останкінської та 15,5 м/с для фаршу паштету Українського. Результати досліджень залежності обраних показників ТРА фаршів ковбас Яловичої та Останкінської, а також паштету Українського від величини робочих зазорів емульсатора зображено на тривимірних (3D) графіках, представлених на рис. 6, 7 і 8 відповідно.



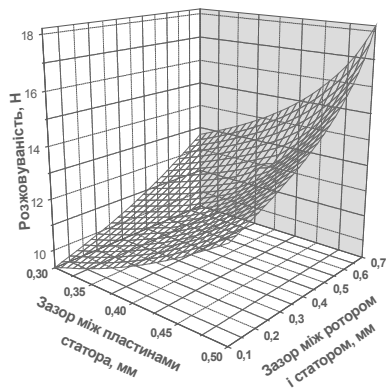
а



б

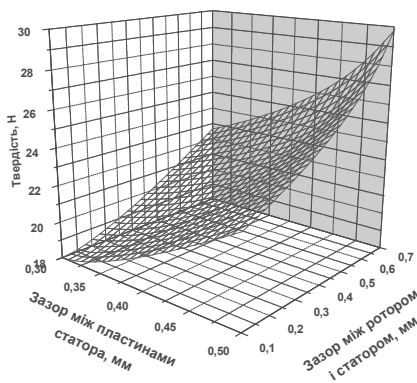


в

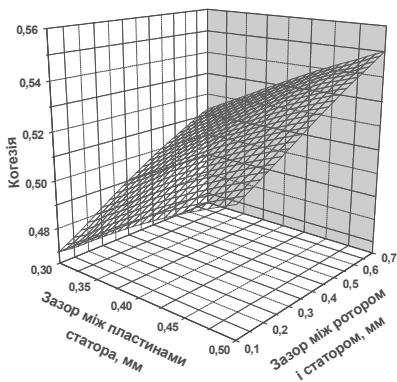


г

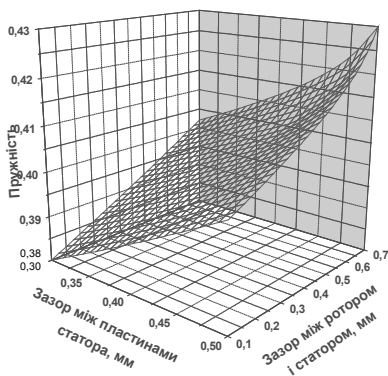
Рис. 6. Залежність твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу ковбаси Яловичої від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора



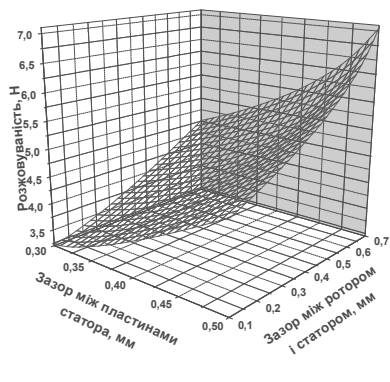
а



б

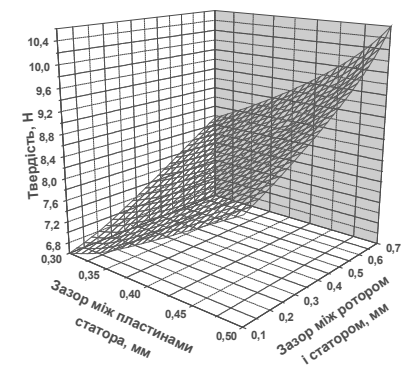


в

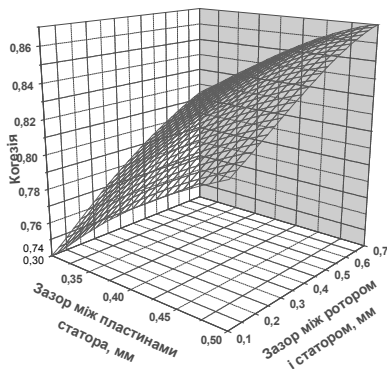


г

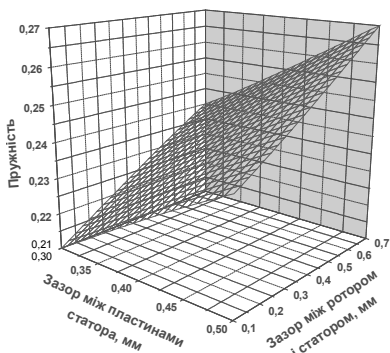
Рис. 7. Залежність твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу ковбаси Останкінської від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора



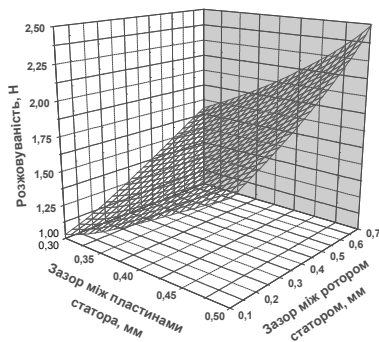
а



б



в



г

Рис. 8. Залежність твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу паштету Українського від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора

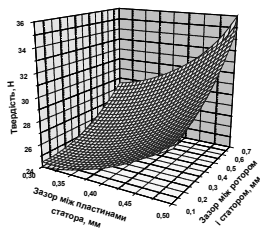
З наведених на рис. 6, 7 і 8 графіків видно, що значення ТРА характеристик (твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) зі збільшенням величини зазору між ротором і статором, а також величини зазору між пластинами послідовно збільшуються. За допомогою різних 3D моделей: поліном Чебишева 2-го порядку, функції Гаусса та Лоренца, параболічна

функція та стандартний поліном 2-го порядку (відповідні формули наведено поряд з графіками на рис. 9) було виконано математичний аналіз залежностей зазначених вище ТРА характеристик фаршевих мас від величин робочих зазорів емульситатора. Моделювання виконуємо за допомогою математичних функцій двох змінних загального вигляду $z(x, y)$, де z – це твердість, когезія, пружність або розжовуваність, а x та y величини зазорів між пластинами статора та між ротором і статором, відповідно. Як приклад, на рис. 9 наведено порівняння різних математичних моделей залежності твердості фаршу ковбаси Яловичої від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора. Поряд з відповідними графіками на рис. 9 також наведено величини коефіцієнта детермінації R , що характеризує якість фітування, тобто близькість розрахункової поверхні до експериментальної. Чим ближче значення R до 1, тим якісніше модельна поверхня описує експериментальну. Розрахунок значень коефіцієнта детермінації, який обчислюється за методом найменших квадратів для цього та інших випадків: залежності твердості, когезії, пружності та розжовуваності фаршів від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора, показав, що з використаних моделей експериментальні залежності найкраще описує стандартний поліном другого порядку наступного вигляду [13]:

$$z = z_0 + a \cdot x + b \cdot y + c \cdot x^2 + d \cdot y^2 + f \cdot x \cdot y, \quad (1)$$

де z_0, a, b, c, d, f – параметри.

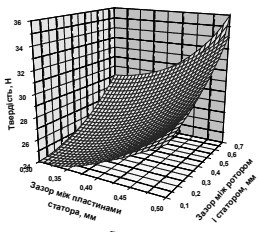
Відповідність стандартного полінома для опису експериментальної залежності видно як візуально – за найбільшим збігом експериментальної та модельної поверхонь і за близькістю коефіцієнта детермінації R до 1.



Моделювання за допомогою полінома Чебишева 2-го порядку (нижня поверхня – експеримент, верхня – розрахунок):

$$z = z_0 + A_1 \cdot \cos(\arccos(x)) + B_1 \cdot \cos(\arccos(y)) + A_2 \cdot \cos(2 \times \arccos(x)) + C_1 \cdot \cos(\arccos(x))\cos(\arccos(y)) + B_2 \cdot \cos(2 \times \arccos(y))$$

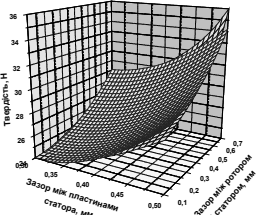
 Коефіцієнт детермінації **$R=0,99137$**



Моделювання за допомогою функції Гаусса (нижня поверхня – експеримент, верхня – розрахунок):

$$z = z_0 + A \cdot e^{(-0.5 \cdot (\frac{x-x_c}{w_1})^2 - 0.5 \cdot (\frac{y-y_c}{w_2})^2)}$$

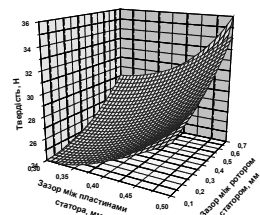
 де $z_0, A, x_c, y_c, w_1, w_2 = \text{const}$ – параметри.
 Коефіцієнт детермінації **$R=0,98641$**



Моделювання за допомогою функції Лоренца (нижня поверхня – експеримент, верхня – розрахунок):

$$z = z_0 + \frac{A}{(1 + (\frac{x-x_c}{w_1})^2) \cdot 1 + (\frac{y-y_c}{w_2})^2}$$

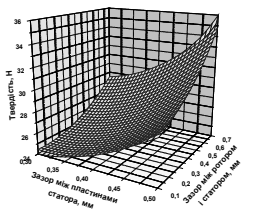
 де $z_0, A, x_c, y_c, w_1, w_2 = \text{const}$ – параметри.
 Коефіцієнт детермінації **$R=0,98323$**



Моделювання за допомогою параболічної функції (нижня поверхня – експеримент, верхня – розрахунок):

$$z = z_0 + a \cdot x + b \cdot y + c \cdot x^2 + d \cdot y^2$$

 де $z_0, a, b, c, d = \text{const}$ – параметри.
 Коефіцієнт детермінації **$R=0,98744$**



Моделювання за допомогою стандартного поліному 2-го порядку (нижня поверхня – експеримент, верхня – розрахунок):

$$z = z_0 + a \cdot x + b \cdot y + c \cdot x^2 + d \cdot y^2 + f \cdot x \cdot y$$

 де $z_0, a, b, c, d, f = \text{const}$ – параметри.
 Коефіцієнт детермінації **$R=0,99637$**

Рис. 9. Моделювання залежності твердості фаршу ковбаси Яловичої від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора (порівняння різних математичних моделей)

На рис. 10, 11 і 12 показано залежності твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршів, відповідно, ковбаси Яловичої, ковбаси Останкінської та паштету Українського, від величини зазору між ротором і статором і від величини зазору між пластинами статора промодельовані за допомогою стандартного полінома другого порядку.

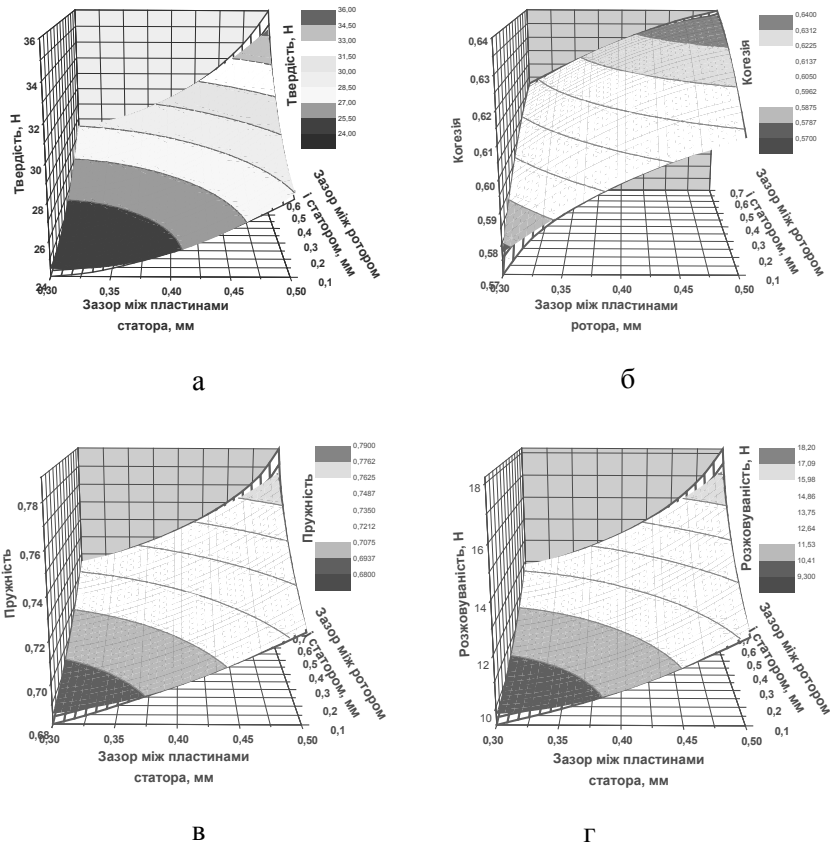
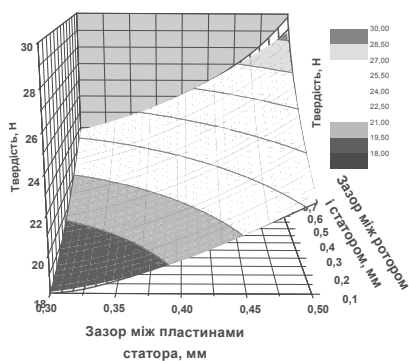
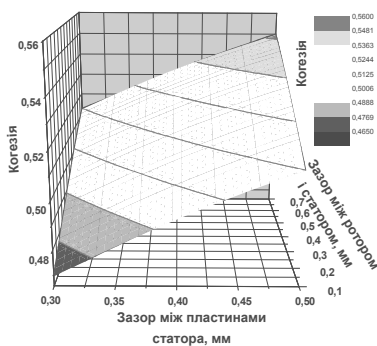


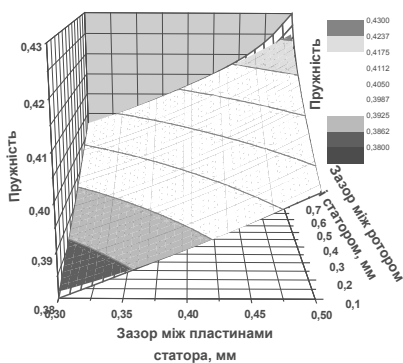
Рис. 10. Моделювання за допомогою поліному 2-го порядку залежностей твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу ковбаси Яловичої від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора



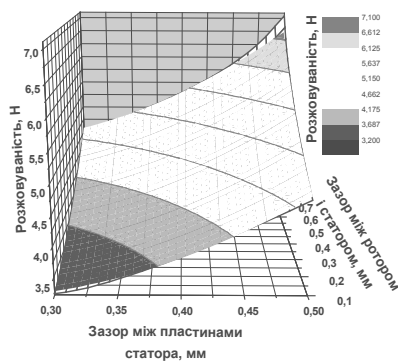
а



б

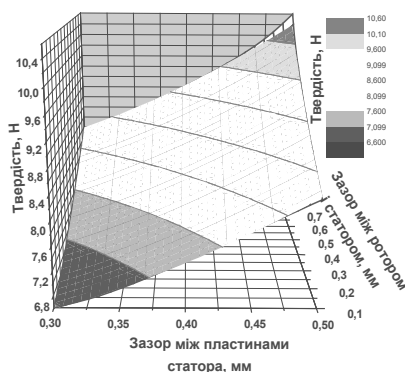


в

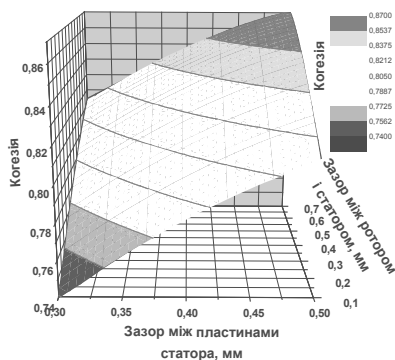


г

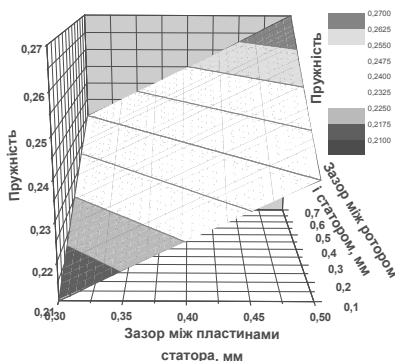
Рис. 11. Моделювання за допомогою поліному 2-го порядку залежностей твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу ковбаси Останкінської від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора



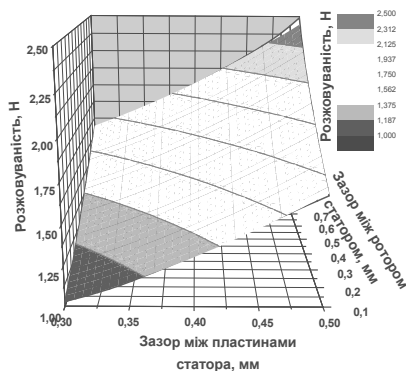
а



б



в



г

Рис. 12. Моделювання за допомогою поліному 2-го порядку залежностей твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу паштету Українського від величини зазору між ротором і статором, а також від величини зазору між пластинами статора

Проведені раніше дослідження та виконані розрахунки [19] показали, що параметр z_0 , який характеризує початкове значення аналізованих тривимірних залежностей, для показників твердості, пружності та розжовуваності спадає в ряду ковбаса Яловича, ковбаса Останкінська, паштет Український, проте зазначене не є характерним для показника когезії. Також у [19] показано, що у випадку пружності паштету Українського квадратичними коефі-

цієнтами можна знехтувати, тобто тривимірна залежність може бути описана лінійною функцією, а сама поверхня є плоскою площиною, однак для всіх інших випадків відхилення від площини є значним.

Висновки. Отримано залежності ТРА характеристик м'ясних фаршів, призначених для виготовлення варених ковбас і паштету: твердості, когезії, пружності та розжовуваності, від величини зазору між ротором і статором емульсатора та величини зазору між різальними пластинами статора.

Показано, що експериментальні залежності твердості, когезії, пружності та розжовуваності фаршевих мас від величин робочих зазорів емульсатора найкраще моделює стандартний поліном другого порядку. Водночас, результати моделювання із застосуванням інших 3D моделей, як от: полінома Чебишева 2-го порядку, функції Гаусса та Лоренца, параболічної функції виявилися менш прийнятними.

Література

1. Косой В.Д. Инженерная реология в производстве колбас / В.Д. Косой, А.Д. Малышев, С.Б. Юдина. – М.: КолосС, 2005. – С. 37–39.
2. Дорохов В.П. Оценка качества измелченного мясного сырья / В.П. Дорохов, В.Д. Косой, Н. Г. Азарова // Мясная индустрия. – 2006. – № 5. – С. 41–43.
3. Горбатов В. Некоторые аспекты реологии и качества мясных продуктов / В. Горбатов, Г. Лимонов, А. Горбатов // Мясная индустрия СССР. – 1975. – № 9. – С. 29–31.
4. Bourne M.C. Measurement of food texture by an Universal Testing Machine / M.C. Bourne, M.C., J.C. Moyer, D.B. Hand // Food Technol. – 1966. – № 20. – P. 170–174.
5. Bourne M.C. Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement. Second Edition / M.C. Bourne // April 2002. Academic Press, London – San Diego, 446 p.
6. Huang F., Robertson J.W. (1977) A texture study of frankfurters. J Texture Stud, 8:487-496.
7. Rosenthal A.J. Food texture. Measurement and perception: Monogr / A.J. Rosenthal // Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc., 1999. – P. 9–12.
8. Nadulski R. Methodological aspects of food texture measurements using TPA test / R. Nadulski // Int. Agrophysics. – 2000. – 14. – P. 207–213.

9. Dzieszuk W. Wpływ dodatku skrobi modyfikowanej na jakość kutrowanych kielbas parzonych / W. Dzieszuk, E. Dworecka, T. Szmańko // *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* – 2005. – № 4(1). – S. 111–121.

10. Kaack K. Application of by-products from industrial processing of potato flour and yellow peas as ingredients in low-fat high-fibre sausages / K. Kaack, L. Pedersen // *Eur Food Res Technol.* – 2005. – № 221. – P. 313–319.

11. Flores E.A. Uso de fibra de aveno y trigo en salchicha Viena evaluando nivel de agrado y perfil de textura / E.A. Flores, A.A. Burciaga, T. C. Soriano, N.M. Alonso, B.P. Ramirez. VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos III Foro de Ciencia de los Alimentos Guanajuto, Gto. – 2005. – P. 137–144.

12. Murphy S.C. Evaluation of surimi, fat and water content in a low/no added pork sausage formulation using response surface methodology / S.C. Murphy, D. Gilroy, J.F. Kerry, D.J. Buckley, J.P. Kerry // *Meat Science.* – 2004. – № 66. – P. 689–701.

13. Kaack K. Low-energy and high-fibre liver paté processed using potato pulp / K. Kaack, L. Pedersen // *Eur Food Res Technol.* – 2005. – № 220. – P. 278–282.

14. Kaack K. Liver paté enriched with dietary fibre extracted from potato fibre as fat substitutes / K. Kaack, H.N. Lærke, A.S. Meyer // *Eur Food Res Technol.* – 2006. – № 223. – P. 267–272.

15. Вербицкий С.Б. Из опыта разработки установки для тонкого измельчения мясного сырья / С.Б. Вербицкий, В.В. Шевченко, И.И. Ласкаржевский, Л.Л. Назарчук // *Мясной Бизнес.* – 2003. – № 10(18). – С. 38.

16. Вербицкий С.Б. Эффективно и тонко / С.Б. Вербицкий, В.В. Шевченко // *Мясной Бизнес.* – 2006. – № 2(42). – С. 76–79.

17. Франко О.В. Результати порівняльних досліджень тонкого подрібнення м'ясної сировини в одну та дві стадії / О.В. Франко, С.Б. Вербицкий, В.В. Шевченко // *Вісник аграрної науки.* – 2007. – № 4. – С. 63–65.

18. Вербицкий С.Б. Зависимости структурно-механических характеристик тонкоизмельченных фаршевых масс от геометрических параметров эмульсатора / С.Б. Вербицкий, В.В. Шевченко, М.А. Шугай // *Пищевая промышленность: наука и технологии.* – 2010. – № 3(9). – С. 55–59.