

УДК 664.934-047.37:66.083.2

СОКОЛОВ С.А., ГУРА О.В., СЕВАТОРОВ М.М., ДЕКАНЬ О.О.

Донецький Національний університет
економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЕЧІНКОВИХ ПАШТЕТІВ, ОТРИМАНИХ ЗА РІЗНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Соколов С.А., Гура О.В., Севаторов М.М., Декань О.О. Експериментальна оцінка структурно-механічних властивостей печінкових паштетів отриманих за різними технологіями. В статті наведено результати досліджень реологічних характеристик в'язкопластичних харчових продуктів які були виготовлені за різними технологіями. Наведено результати розрахунків структурно механічних характеристик печінкових паштетів.

Ключові слова: високий тиск, реологічні характеристики, печінковий паштет, криві перебігу, поверхня відгуку.

Соколов С.А., Гура А.В., Севаторов Н.Н., Декань А.А. Сравнительная (экспериментальная) оценка структурно-механических свойств печеночных паштетов полученных по различным технологиям. В статье приведены результаты исследований реологических характеристик вязкопластичных пищевых продуктов которые были изготовлены по различным технологиям. Приведены результаты расчетов структурно механических характеристик печеночных паштетов.

Ключевые слова: высокое давление, реологические характеристики, печеночный паштет, кривые течения, поверхность отклика.

Sokolov S., Gura A., Sevatorov M., Dekan A. Comparison (experimental) evaluation of the structural and mechanical properties of liver pâté obtained by different technologies. The paper presents the results of studies viscoplastic rheological characteristics of food products which have been produced by different technologies. The calculation results of the structural mechanical properties of liver pâté.

Keywords: high pressure rheological characteristics, liver pate, the flow curves, the response surface.

Постановка проблеми. Пріоритетним завданням харчової промисловості впродовж останніх десятиліть стало створення і впровадження принципово нових технологій оброблення харчових продуктів із метою продовження терміну їх зберігання. Однією із таких якісно нових технологій є оброблення продуктів високим тиском. Нині в багатьох зарубіжних країнах використання високого тиску вже стало реальністю. Практика його використання свідчить про те, що застосування даної технології не тільки забезпечує пастеризацію харчових продуктів, але і певною мірою покращує їх органолептичні властивості та реологічні характеристики і значно подовжує термін їх зберігання. В Україні

проблема застосування високого тиску для оброблення харчових продуктів стає все більш актуальною, вирішення якої дозволить отримувати продукти з високими санітарно-бактеріологічними показниками без втрати природних харчових властивостей. Роботи у цьому напрямку ведуться у провідних наукових центрах нашої країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням впливу високого тиску на структурно-механічні характеристики харчових продуктів займалися такі вчені, як Труджіло, Буфа, та ін. [8,9]. Ними було зроблено висновки, що обробка тиском може викликати сильний вплив на білки, викликаючи оборотні й необоротні структурні зміни, які приводять до денатурації білка, концентрації або утворення гелю. Однак, на сьогодні немає чітких даних про структурно-механічні властивості в'язко-пластичних харчових продуктів, які б дали уявлення про технологічні і органолептичні властивості, такі як ніжність, соковитість, однорідність і т. ін.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою дослідження впливу високого тиску на структурно-механічні властивості паштету, отриманого різними способами, нами було проведено цикл експериментів. Отримані результати у подальшому дадуть змогу розробляти новітні технології виробництва паштетів та проектувати відповідне обладнання та технологічні лінії.

Структурно-механічні властивості паштетів залежать від об'ємного співвідношення дисперсної фази й дисперсійного середовища, характеру й міцності зв'язку між середовищем і дисперсними частками, від характеру й міцності зв'язку часток між собою. Відповідно до класифікації П.А. Ребіндера [4], вони проявляють властивості конденсаційно-кристалізаційних і коагуляційних структур. Структурно-механічні характеристики відображають, у першу чергу, стан білків та їх водозв'язувальної здатності, і можуть бути використані для оцінки впливу технологічної обробки на якість продукту.

Структурно-механічні властивості продуктів, які залежать від структури тканини, характеризують також і консистенцію. Консистенцію, або ніжність, продукту більшість дослідників розглядають як органолептичний еквівалент опору продукту деформуючим і руйнуючим зусиллям. Однак сенсорне поняття ніжності продукту ширше й містить у собі комплекс відчуттів, що відображають такі властивості тканини, як міцність волокон, м'якість, щільність, соковитість.

Із реологічних властивостей, які містять комплекс структурно-механічних характеристик, нами досліджувалися в'язкість, яка є узагальненою характеристикою складної структури паштетів, і напруження зсуву, яке характеризує здатність утримувати форму та міцність структури.

Об'єктами реологічних досліджень були 3 зразки:

- зразок №1 – сирий фарш для одержання паштету [1];

- зразок №2 – паштет, оброблений протягом 20 хвилин тиском 600 МПа [2].
- зразок №3 – паштет, приготований традиційним способом [1].

В експериментах використовувався ротаційний віскозиметр Rheotest RN4.1. Так як досліджувані зразки мають досить високу в'язкість, нами використовувалася вимірвальна система циліндр-циліндр із ротором типу *H1*.

Для одержання достовірних кривих перебігу, які відображатимуть властивості паштетів при зрушенні, ми забезпечили термостатуванням гомогенну температуру 20°C в усьому обсязі зразка, коливання температури становили не більше 0,1°C протягом експерименту, зразки мали однорідну консистенцію й не зазнавали хімічних перетворень.

На рис. 1 зображені криві перебігу досліджуваних зразків, які побудовані за даними експерименту. Характер кривих перебігу показує, що кожному значенню швидкості зрушення відповідає певний рівноважний стан продукту. Вихідний сирий фарш, а також паштети, отримані в результаті термічної обробки й обробки ВТ, відносяться до неньютонівських твердоподібних систем з вираженою псевдопластичністю.

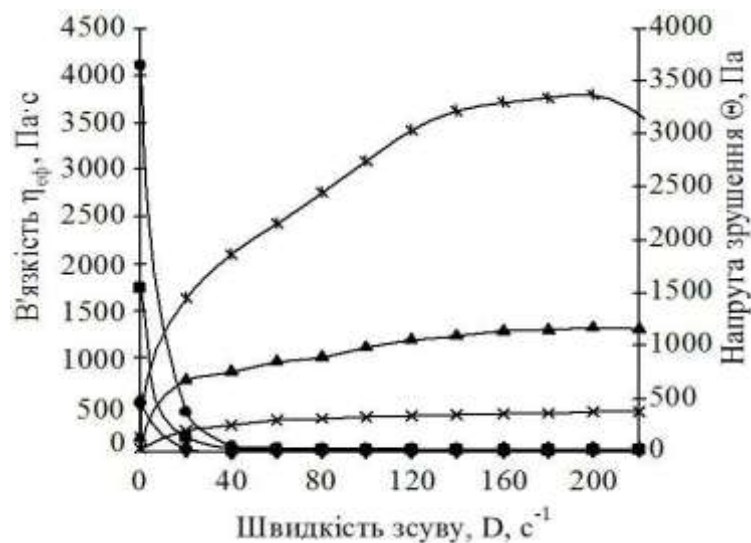


Рис. 1. Криві перебігу: в'язкості (■ - зразок №1; ◆ - зразок №2; ● - зразок №3); напруги зрушення: (× - зразок №1; ▲ - зразок №2; * - зразок №3)
[Авторська розробка]

Зі збільшенням швидкості зрушення в'язкість зменшується й стабілізується при переході у зону зруйнованої структури. При перевищенні швидкості зрушення значення 40 1/с швидкість зміни значень в'язкості значно зменшується. Коливання величини напруги зрушення значні в залежності від стану зразків. Нами отримані значення напруги зрушення θ й ефективної в'язкості зразків паштетних мас $\eta_{\text{еф}}$ залежно від швидкості зрушення D (табл. 1).

Із графіків видно, що кількісні значення величин реологічних характеристик

зразків істотно відрізняються. Для реологічних характеристик печінкового паштету, виготовленого з використанням термічної обробки, спостерігається збільшення значень, пов'язане, насамперед, зі зміною стану білкових молекул, що стабілізують паштетну емульсію [3].

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень [Авторська розробка]

Зразок № 1			Зразок № 2			Зразок № 3		
Ефективна в'язкість, Па·с	Напруга зрушення, Па	Швидкість зрушення, 1/с	Ефективна в'язкість, Па·с	Напруга зрушення, Па	Швидкість зрушення, 1/с	Ефективна в'язкість, Па·с	Напруга зрушення, Па	Швидкість зрушення, 1/с
480	3,842	0,017	1750	47,9	0,08	4100	75,8	0,08
205,4	109	2,04	1312	326,7	0,09	2750	725,4	0,09
6,458	200	21,09	150	681,7	21,04	420,6	1470	21,04
5,358	252	42,15	18,06	761	42,13	52,17	1870	42,13
3,214	300	63,21	13,6	859,8	63,24	31,8	2160	63,24
2,146	321	84,29	10,72	904,2	84,33	22,98	2460	84,33
1,269	327	105,4	9,39	987,7	105,2	20,37	2750	105,2
1,024	336	126,3	8,41	1060	126,4	18,34	3040	126,4
0,953	345	147,4	7,3	1102	147,7	15,32	3220	147,7
0,852	353	168,4	6,8	1150	168,6	13,29	3310	168,6
0,62	361	189,5	6,12	1160	189,3	13,01	3350	189,3
0,594	370	210,6	5,64	1180	209,5	11,38	3380	209,5
0,541	370	212,8	5,33	1160	218,4	10,14	3190	218,4

Крім теплової денатурації, процес варіння супроводжується низкою додаткових фізико-хімічних змін: зварювання й дезагрегація колагену; зміна структурно-механічних властивостей, органолептичних показників; зміна стану й властивостей жирів, інактивація вегетативних форм мікроорганізмів.

Відомо, що білки при нагріванні зазнають складних фізико-хімічних змін, перш за все денатурації й коагуляції, від глибини яких залежить структура і якість готового продукту [5]. Ці процеси супроводжуються розгортанням глобул і звільненням вільних бічних груп амінокислот, у зв'язку із чим, виникає можливість утворення міжмолекулярних зв'язків, агрегації часток та їх осадження, що веде до зменшення розчинності білків.

Перебудова білкової молекули при денатурації послаблює гідрофільні й підсилює гідрофобні властивості, отже, відбувається зниження захисної (стабілізуючої) дії гідратаційних шарів поблизу полярних угруповань, що приводить до зростання міцнішої властивості паштету. Основна маса білків коагулює між 55°C і 65°C, причому найбільш інтенсивно при $pH = 5,5$. При 80°C відбувається осадження абсолютно всіх білків. У результаті термоденатурації

змінюється розчинність, ступінь гідратації, рівень емульгуючої здатності білків, характер зв'язків, співвідношення гідрофільних і гідрофобних груп, утворюється фіксований тривимірний білковий структурований каркас із вираженими пружно-еластичними властивостями. Глибина цих змін залежить від температури продукту й тривалості обробки. При дії на продукт високих температур протягом короткого часу денатурація білкової системи відбувається швидко, у результаті чого матриця, що утвориться, може викликати різку усадку й випарування вологи, а готовий продукт буде мати низьку соковитість і вихід. М'які режими теплової обробки (температура нагрівального середовища 75-80°C) забезпечують більш високий вихід готової продукції, кращу соковитість і ніжність виробів, але викликають подовження процесу теплової обробки. Коагуляційні зміни білків при нагріванні приводять до якісної зміни структури паштету, який у значній мірі втрачає в'язкопластичні властивості, характерні для сирого фаршу, і він починає текти як твердоподібне тіло. Паштет стає більш щільним і твердим.

У випадку обробки ВТ значення досліджених реологічних параметрів також збільшилися, у порівнянні із сирим фаршем для одержання паштету, однак у набагато меншій мірі, ніж при тепловій обробці. Підвищення властивостей в'язкості і міцності також пов'язують із денатурацією розчинних альбумінів, які містяться в сирому фарші. Такі денатураційні зміни залежать від величини тиску. Відомо, що при величинах тисків від низьких до середніх (до 150 МПа) відбувається зміцнення водневих зв'язків, відповідальних за стабілізацію спіральної структури пептидів [5].

У цьому випадку початок денатураційних процесів не відбувається. Високий тиск порушує гідрофобні взаємодії, приводячи до зменшення об'єму системи. Нами був використаний тиск 600 МПа, при якому спостерігається необоротна денатурація білків, прямо пропорційна величині тиску й тривалості його впливу. Це явище можна пояснити порушенням міжмолекулярних іонних зв'язків молекул білка під впливом тиску. При розкручуванні пептидного ланцюжка утвориться велика кількість неполярних зв'язків, доступних воді. У міру того, як залишки іонізованих груп взаємодіють із водними диполями, міжмолекулярні зв'язки скорочуються, викликаючи зменшення об'єму системи. Як і у випадку теплової обробки, коагуляційні зміни білків приводять до переходу від в'язкопластичного типу перебігу до псевдопластичного.

Результати експериментальних досліджень показали, що зразки мають стійку структуру, руйнування якої починається тільки при досягненні певної напруги зрушення.

Паштет, оброблений ВТ, був більш однорідним, менш в'язким, міцним і твердим, що узгоджується з органолептичною експертизою, яка відзначила більшу ніжність, щільність, соковитість такого паштету. Таке розходження у ході процесів

денатурації при тепловій обробці й обробці ВТ відзначалося дослідниками й раніше. Так, теплова обробка сприяє зменшенню числа білкових фракцій, утворенню коротких пептидних ланцюжків у білковій структурі та їх взаємодії, що веде до коагуляції й агрегації білкових часток. Використані нами тиски 500 і 700 МПа не супроводжувалися зменшенням числа фракцій, а викликали лише перерозподіл білків усередині фракцій, в основному на рівні низькомолекулярних, пов'язаних із додатковою сольватацією білків, що перешкоджає коагуляції й агрегуванню білкових часток.

Для встановлення характеру перебігу структури досліджуваних зразків з використанням програми «FindGraph» визначені емпіричні залежності, що описують отримані експериментальні криві перебігу. Проаналізувавши закони, які враховують, що досліджувані зразки мають межу плинності, в'язкість є функцією швидкості зрушення, крива плинності починається не з початку координат, ми визначили, що високим ступенем точності залежність напруги зрушення від градієнта швидкості зрушення описує рівняння загального закону Кассона [6,7]:

$$\theta^{\frac{1}{n}} = \theta_0^{\frac{1}{n}} + \eta \cdot D^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

де θ_0 (Па) – гранична напруга зрушення, при якій починається перебіг зразка;

D (1/с) – градієнт швидкості зрушення;

η (Па с) – в'язкість; n – показник ступеня кривизни кривої перебігу.

Залежність в'язкості зразків від градієнта швидкості зрушення описується експонентними законами. У таблиці 2 наведені рівняння, що описують криві перебігу досліджуваних зразків, отриманих обробкою експериментальних даних.

Таблиця 2

Рівняння опису кривих перебігу досліджуваних зразків [Авторська розробка]

Реологічна характеристика	Тип зразка	Закони перебігу	Коефіцієнт детермінації, R^2
Напруга зрушення	Зразок №1	$\theta^{\frac{1}{6,488}} = 26^{\frac{1}{6,488}} + 0,002 D^{\frac{1}{6,488}}$	0,942
	Зразок №2	$\theta^{\frac{1}{6,574}} = 146^{\frac{1}{6,574}} + 0,001 D^{\frac{1}{6,574}}$	0,954
	Зразок №3	$\theta^{\frac{1}{5,412}} = 115^{\frac{1}{5,412}} + 0,286 D^{\frac{1}{5,412}}$	0,949
В'язкість	Зразок №1	$\eta = 483 e^{-0,420 D}$	0,999
	Зразок №2	$\eta = 1546 e^{-0,111 D}$	0,976
	Зразок №3	$\eta = 3455 e^{-0,100 D}$	0,955

На рисунках 2-7 показані базові поверхні й поверхні відгуку залежностей структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для досліджуваних зразків. У табл. 3 наведені рівняння опису залежності структурно-механічних властивостей і швидкості зрушення.

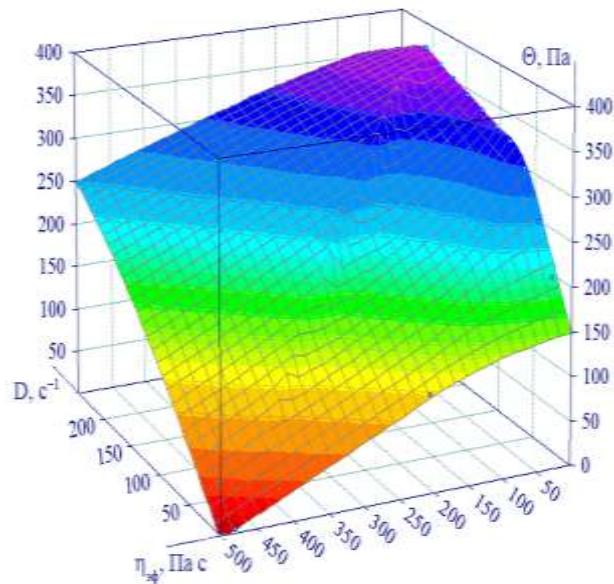


Рис. 2. Базова поверхня залежності структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для сирого зразка паштету [Авторська розробка]

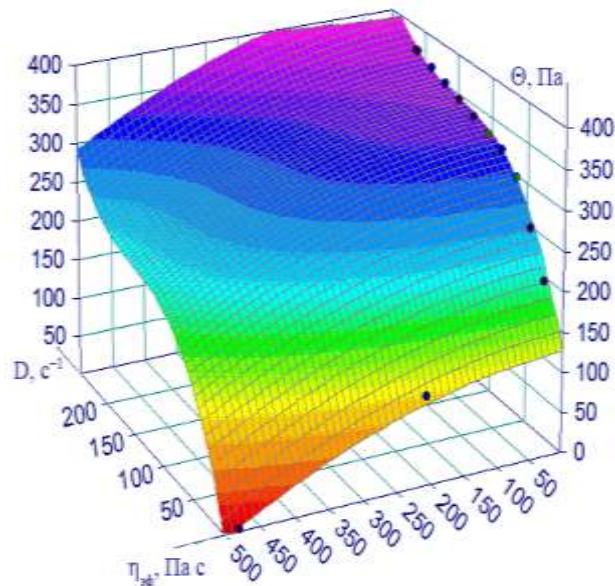


Рис. 3. Поверхня відгуку залежності структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для сирого зразка паштету [Авторська розробка]

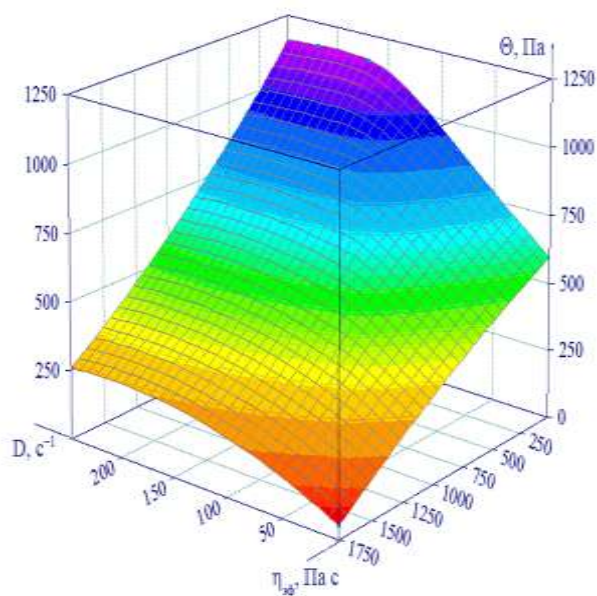


Рис. 4. Базова поверхня залежності структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для зразка паштету, обробленого протягом 20 хвилин тиском 600 МПа [Авторська розробка]

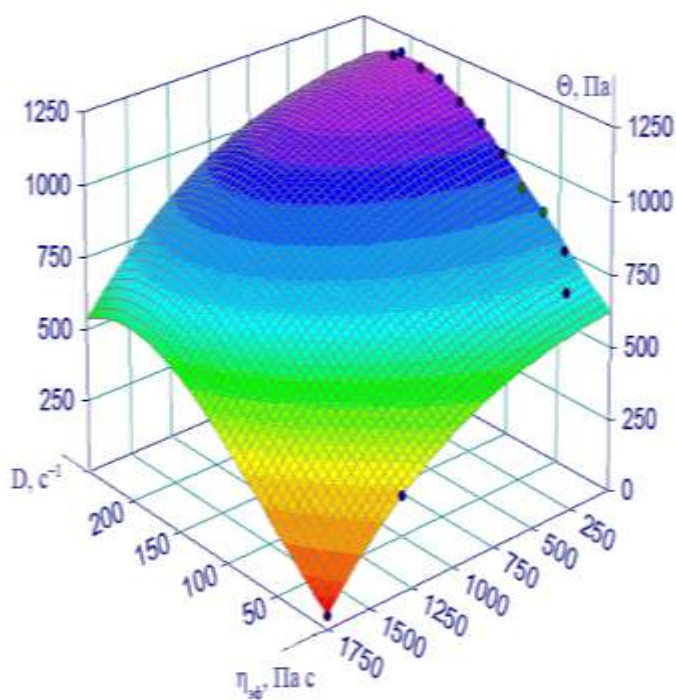


Рис. 5. Поверхня відгуку залежності структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для зразка паштету, обробленого протягом 20 хвилин тиском 600 МПа [Авторська розробка]

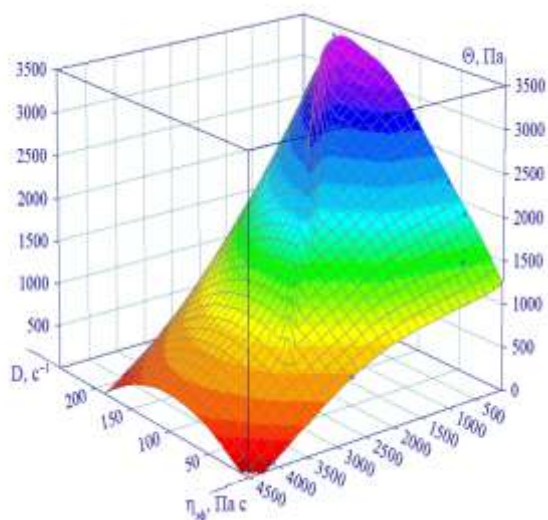


Рис. 6. Базова поверхня залежності структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для зразка паштету, отриманого класичним способом [Авторська розробка]

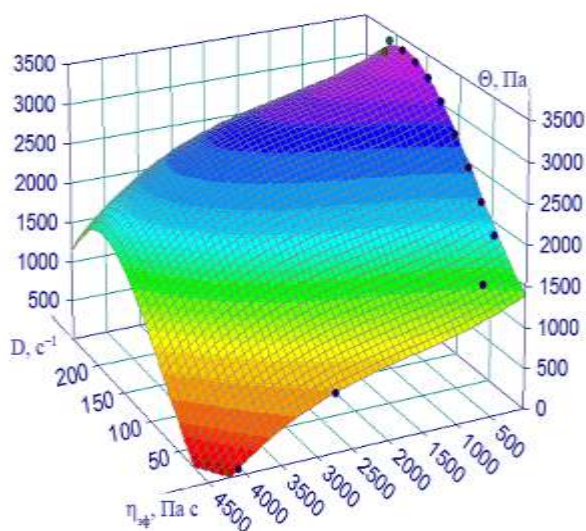


Рис. 7. Поверхня відгуку залежності структурно-механічних властивостей і градієнта швидкості зрушення для зразка паштету, отриманого класичним способом [Авторська розробка]

$$\theta = a + bD + cD^2 + d\eta_{ef} \quad (2)$$

де a, b, c, d – константи рівнянь.

**Рівняння опису залежності структурно-механічних властивостей
і швидкості зрушення [Авторська розробка]**

Тип зразка	Закони перебігу	Коефіцієнт детермінації, R^2
Зразок №1	$\theta = 126 + 4,031D + 0,026D^2 - 0,029\eta_{ef}$	0,999
Зразок №2	$\theta = 624 + 3,123D + 0,009D^2 - 0,070\eta_{ef}$	0,999
Зразок №3	$\theta = 1397 + 9,042D + 0,075D^2 - 0,400\eta_{ef}$	0,999

Висновки Таким чином, обробку ВТ можна використати як альтернативний спосіб приготування печінкового паштету. При цьому одержуваний паштет характеризується більшою однорідністю, меншою в'язкістю, міцністю, більшою ніжністю, щільністю й соковитістю в порівнянні з паштетом, отриманим за класичною технологією, що пов'язано з різним перебігом денатураційних процесів при тепловій обробці й обробці ВТ.

Література

- ГОСТ 12318-91 Консервы мясные «Паштет мясной». Технические условия.
- Атермічний спосіб виготовлення печінкового паштету з використанням високого тиску : патент 37167U Україна : МПК (2006) А 23 L 3/26 / Сукманов В. О., Соколов С. А., Севаторов М. М., Приходько І. В. ; заявник і патентовласник Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. - № 37167 ; заявл. 03.04.2008 ; опубл. 25.11.2008., Бюл. № 22. – 4с.
- Левіт, І.Б. Методологія визначення реологічних показників печінкового паштету, обробленого високим тиском / Левіт І. Б., Севаторов М. М., Соколов С.А // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. - Луганськ, 2006. - № 10. - С. 137-142.
- Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Москва, Наука, 1978 - 368 с.
- Гоникберг, М. Г. Химическое равновесие и скорость реакции при высоких давлениях / Гоникберг М. Г. – М. : Химия, 1969. – 427 с.
- Effects of high pressure treatment on the flavour-related components in meat / Suzuki A. [et al.] // Meat Science. – 1994. – Vol. 37, № 3. – P. 369-379.
- Masson, P. Pressure denaturation of proteins // High Pressure and Biotechnology / ed.: Balny C. [et al.]. – Montrouge, 1992. – P. 89-99.
- Influence of pressurisation on goat milk and cheese composition and yield / Trujillo A. J. [et al.] // Milchwissenschaft. – 1999. – Bd. 54, № 4. – S. 197-199.
- Buffa, M. Changes in textural, microstructure, and colour characteristics during ripening of cheeses made from raw, pasteurised or high-pressure-treated goat's milk / Buffa M., Trujillo A. J., Guamis B. // Intern. Dairy J. – 2001. – Vol. 11, № 11/12. – P. 927-934.

Стаття поступила в редакцію 05.11.2014 р.