

М.В. Обозна, канд. техн. наук

В.В. Чаговець, канд. екон. наук, доц.

Л.О. Чаговець, канд. екон. наук, доц.

Ф.В. Перцевой, д-р техн. наук, проф.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МОДЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ СИРНОГО ПРОДУКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ ДОБАВОК

Обґрунтовано доцільність застосування гідротермічної обробки сирної маси під час її з'єднання з рослинними добавками, яка підвищує вологоутримуючу здатність модельної системи сирного продукту. За допомогою математичного моделювання експериментальних даних було отримано математичні моделі оптимальних параметрів гідротермічної обробки дослідних зразків.

Обоснована целесообразность применения гидротермической обработки сырной массы при ее соединении с растительными добавками, которая повышает влагоудерживающую способность модельной системы сырного продукта. С помощью математического моделирования экспериментальных данных были получены математические модели оптимальных параметров гидротермической обработки опытных образцов.

Expediency of heat treatment of cheese mass during its connection with herbal supplement that increases the water-retaining capacity model system cheese product. Using mathematical modeling of the experimental data was obtained mathematical model of optimal parameters hydrothermal processing models.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сьогодні в міжнародній практиці широкого розповсюдження набуває виготовлення комбінованих молочно-рослинних продуктів, зокрема м'яких сирних, які, внаслідок залучення до їх складу значної кількості різних корисних харчових речовин, стають актуальною складовою здорового харчування. У зв'язку з цим використання сухого знежиреного молока як молочної основи таких продуктів дозволить стабілізувати їх якість та подолати негативний вплив сезонності. Перспективною сировиною для запобігання негативному впливу білкового дефіциту є горіхоплідні – джерело повноцінного рослинного білка [1–7]. Особливе місце займає арахіс, який містить близько 26% білка, характеризується високим вмістом мінеральних речовин (калію, фосфору, заліза, цинку); багатий на вітаміни А, D, Е, РР та особливо групи В. З огляду на підвищення

вмісту білка та застосування нетрудомістких методів виробництва (холодного пресування) доцільною є переробка ядра арахісу на порошокподібний концентрат, вміст білків у якому досягає 65...70%; крім того, він містить 8...11% жиру та інші поживні речовини [1–4]. У концентраті ядра арахісу (КЯА) відзначена висока кількість лейцину, ізолейцину, фенілаланіну [1; 2]. Білки арахісу переважно гідрофобні; у разі введення концентрату ядра арахісу до сирного продукту (СП) система стає крихкою, що ускладнює подальший технологічний процес виробництва. Перспективним вирішенням цієї проблеми є залучення до технології сирного продукту борошна кукурудзяного (БК), яке, внаслідок наявності гідрофільних складових, виступає стабілізуючим чинником і насичує СП вуглеводами, білками, харчовими волокнами, мінеральними речовинами, каротиноїдами [1–4]. Спираючись на дослідження фахівців, зроблено висновок, що роль функціонально-технологічних властивостей сухих порошоків, отриманих під час технологічної переробки рослинної білкової сировини і води як розчинника в процесі виробництва сирних продуктів вивчена неглибоко [8–11]. Такі дослідження необхідні для виробництва СП високої якості внаслідок появи можливості прогнозувати всі позитивні та негативні зміни його фізико-хімічних і структурно-механічних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час уведення до сирної маси концентрату ядра арахісу та борошна кукурудзяного до системи потрапляють речовини білково-полісахаридної природи, здатні поглинати вологу та утримувати її. Білки концентрату ядра арахісу та борошна кукурудзяного, а також крохмаль борошна складають єдину синергетичну систему, що безпосередньо впливає на весь хід технологічного процесу виробництва нового сирного продукту. Відомо, що борошно кукурудзяне містить до 18% від загального вмісту білка водорозчинного альбуміну, а ядра арахісу – близько 97% глобулінів [10; 11]. Процес набрякання білків протікає в часі та супроводжується збільшенням обсягу макромолекули білка і зміною його механічних властивостей. Спочатку набрякання виникає за рахунок фізичних сил. Велика частина води, поглинута під час набрякання, є вільною, захопленою механічно сіткою з мембран і волокон білка [8; 10; 11]. Відомо, що 20...25% вологи, яка міститься в сирі, пов'язана з білковими речовинами і видалити її з сиру можна, тільки порушивши зв'язок води з білком, а в сирних продуктах – з білково-полісахаридними компонентами [1; 9–11]. Під час нагрівання перебігають процеси руйнування гідратаційної оболонки частинок білка та зближення їх між собою. Отже, змінюється здатність

утримувати вологу: інтенсивно відбувається синерезис [9; 11]. Тому для виявлення впливу рослинних добавок на зміну форм зв'язку вологи в СП – зокрема на максимальне набрякання компонентів рослинних добавок і, внаслідок того, підвищення вологоутримуючої здатності (ВУЗ) – необхідно розпочати дослідження на етапі додавання КЯА та БК до модельної системи СП – сирної маси. Температурні параметри вибрано з урахуванням технологічного процесу виробництва сирів – другого нагрівання, під час якого варто вводити рослинні компоненти з метою мінімізації технологічних втрат та підвищення доступності білків і вуглеводів до дії травних ферментів, покращення реологічних характеристик [5; 10].

Мета та завдання статті полягають у визначенні за допомогою методів математичного моделювання оптимальних технологічних параметрів гідротермічної обробки модельної системи сирного продукту з рослинними добавками та виявлення закономірностей впливу гідротермічної обробки на підвищення вологоутримуючої здатності системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. За допомогою математичного моделювання експериментальних даних встановлено оптимальні режими гідротермічної обробки дослідних зразків із раціональною заміною молочної сировини 5% на КЯА та БК у пропорції 2,5% КЯА + 2,5% БК під час уведення рослинних добавок до сирної маси [1–4]; результативним показником якості обрано ВУЗ сирної маси. У ході експерименту температуру обробки зразків підвищували з 35 до 75⁰ С із тривалістю від 0×60 до 30×60 с (із кроком 5×60 с). Значення вхідних змінних (температури та тривалості термічної обробки) і результативного показника ВУЗ, отриманих у процесі експерименту, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Дані для визначення оптимальних параметрів гідротермічної обробки сирної маси

Температура, °С	Тривалість, τ×60, с						
	0	5	10	15	20	25	30
	ВУЗ, %						
35	30	30	30	30	30	30	30
40	30	30	30	31	31	31	31
45	30	30	30,5	31	31	32	32
55	30	30,5	31	32	32	32	32
65	31	32,5	34	34	34	34	34
75	30	32	32,5	34	34,5	34	34

Графічне подання даних дозволило визначити тенденцію зміни значень досліджених показників: отримані лінії трендів показали, що з підвищенням температури та збільшенням тривалості нагрівання зразків значення ВУЗ експоненціально підвищуються. За допомогою економетричного аналізу експериментальних даних оцінено характер цього зв'язку та побудовано низку регресійних моделей [12–15]. Для парної кореляції проведено лінеаризацію та обчислено наступні характеристики моделей:

1) емпіричні коефіцієнти регресії a_0 та a_1 :

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}, \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

2) розрахункові значення параметрів за критерієм Стьюдента:

$$t_{a_j} = \frac{a_j}{y_{a_j}}, \quad (3)$$

де a_j – значення оцінки j -го параметра моделі;

y_{a_j} – середнє квадратичне відхилення j -го параметра моделі:

$$y_{a_0} = \sqrt{\frac{y_e^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad y_{a_1} = \sqrt{\frac{y_e^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (4)$$

де σ_e^2 – дисперсія похибок моделі, яка розраховується за формулою

$$y_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}, \quad (5)$$

де \hat{y}_i – теоретичні значення залежного показника;

n – кількість спостережень;

3) інтервальні оцінки для параметрів a_0 і a_1 :

$$a_0 - \Delta a_0 \leq a_0 \leq a_0 + \Delta a_0, \quad \Delta a_0 = t_p \cdot y_{a_0}, \quad (6)$$

$$a_1 - \Delta a_1 \leq a_1 \leq a_1 + \Delta a_1, \quad \Delta a_1 = t_p \cdot y_{a_1}; \quad (7)$$

4) коефіцієнт парної кореляції:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}; \quad (8)$$

5) критерій Фішера:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - 2}{1}. \quad (9)$$

Отримано рівняння регресії, які разом із коефіцієнтами кореляції, наведено в табл. 2. Рівняння відображають вплив кожного з чинників (температури t_i та тривалості нагрівання зразків τ_i) на ВУЗ СП (y_i) із заміною молочної сировини на концентрат ядра арахісу та борошно кукурудзяне в пропорції 2,5% концентрату ядра арахісу та 2,5% борошна кукурудзяного. Виходячи з отриманих значень коефіцієнтів, можна зробити висновок, що всі отримані економетричні моделі є адекватними. Перевірка за допомогою критерію Фішера свідчить про їх статистичну значущість як за окремими параметрами, так і в цілому. Зв'язок між змінними є істотним.

Для з'ясування загального впливу температури та тривалості нагрівання на ВУЗ розраховано коефіцієнти та параметри множинної кореляції з проведенням попереднього аналізу:

$$z(t, \tau) = \frac{27,049 + 0,102t}{1 + 0,002\tau e^{\tau^{0,11}}}, \quad R = 0,933, \quad (10)$$

де $z(t, \tau)$ – вологоутримуюча здатність продукту, %; t – температура, $^{\circ}\text{C}$; τ – тривалість нагрівання, с; R – коефіцієнт множинної кореляції.

Перевірка регресійного рівняння за критерієм Фішера з 95% вірогідністю свідчить, що воно адекватно описує експериментально отримані дані. Розраховані та наведені на рис. 1 парні коефіцієнти кореляції характеризують порівняльну силу впливу кожного з чинників на ВУЗ. Отже, найбільше впливає на ВУЗ температура t ($r = 0,77$), потім – тривалість нагрівання τ ($r = 0,44$).

Таблиця 2 – Розраховані парні кореляційно-регресійні моделі залежності вологостримуючої здатності сирної маси від тривалості та температури термічної обробки

Параметр	Модель	Коефіцієнт кореляції R
Залежність ВУЗ від температури нагрівання		
$\tau = 0$	$y_1(t) = 22,541 + 5,664t^{0,08}$	0,416
$\tau = 5$	$y_2(t) = 27,898 + 0,028t^{1,17}$	0,895
$\tau = 10$	$y_3(t) = 17,864 + 3,458t^{0,34}$	0,854
$\tau = 15$	$y_4(t) = 20,566 + 1,702t^{0,48}$	0,971
$\tau = 20$	$y_5(t) = 26,424 + 0,083t^{1,07}$	0,982
$\tau = 25$	$y_6(t) = 16,410 + 4,271t^{0,33}$	0,960
$\tau = 30$	$y_7(t) = 16,410 + 4,271t^{0,33}$	0,960
Залежність ВУЗ від тривалості нагрівання дослідних зразків		
$t = 35$	$y_1(\tau) = 30$	
$t = 40$	$y_2(\tau) = 29,893 + 0,062\tau^{0,90}$	0,868
$t = 45$	$y_3(\tau) = 26,450 + 3,429e^{0,02\tau}$	0,970
$t = 55$	$y_4(\tau) = 29,934 + 0,340\tau^{0,57}$	0,944
$t = 65$	$y_5(\tau) = 30,980 + 1,369e^{0,26\tau}$	0,954
$t = 75$	$y_6(\tau) = 29,961 + 1,226e^{0,38\tau}$	0,958

Correlations (рациональный)				
Marked correlations are significant at p < .05000				
N=42 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	t	τ	y	
t	1,00	0,00	0,77	
τ	0,00	1,00	0,44	
y	0,77	0,44	1,00	

Рисунок 1 – Парні коефіцієнти множинної кореляції

На основі значень функції $z(t, \tau)$ побудовано графік поверхні; якщо поверхню функції $z(t, \tau)$ розрізати площинами в установлених межах третього кластера ($t = 35^0, t = 55^0, \tau = 15 \text{ c}, \tau = 30 \text{ c}$), то отримаємо двовимірний графік з оптимальною зоною цих параметрів (рис. 2).

Для подальшого використання поверхні з метою отримання оптимальних режимів термічної обробки дослідних зразків проведено кластерний аналіз показників, який дозволив класифікувати набори даних. Визначено групи схожих між собою об'єктів, які прийнято називати кластерами.

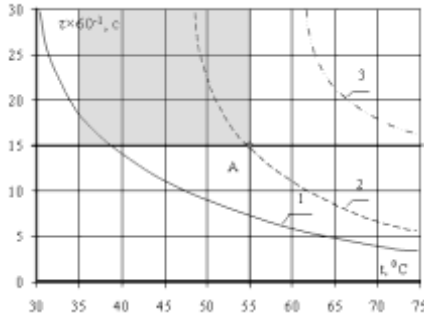


Рисунок 2 – 2D-графік залежності ВУЗ сирної маси від тривалості та температури термічної обробки (1 – ВУЗ 29%; 2 – ВУЗ 32%; 3 – ВУЗ 33%)

Кластеризацію виконано за допомогою пакета Statistica ієрархічним методом. Він передбачає, що на першому кроці кожна вибірка даних (t , τ , z) розглядається як окремий кластер, який потім поступово розділяється на схожі групи. На кожному наступному кроці кількість кластерів збільшується, а відстань між ними зменшується. Віддаль між ними характеризується евклідовою відстанню:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (11)$$

де x_{ki} , x_{jk} – значення k -ї змінної в i -му та j -му об'єктах.

Побудована дендограма класифікації дозволила виокремити три кластери для кожного з показників. Було знайдено їх центри (еталони) за допомогою методу « k -середніх», розраховано евклідову відстань від точки еталона до об'єкта та доведено адекватність класифікації. Було отримано такі діапазони змінних сформованих кластерів (табл. 3).

Таблиця 3 – Діапазони змінних кластерів

Кластер	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau \times 60, \text{c}$	$z, \%$
1	35 – 55	0 – 10	30 – 31
2	65 – 75	0 – 30	31 – 34,5
3	35 – 55	15 – 30	30 – 32

Аналізом співвідношень характеристик термічної обробки зразків (табл. 3) встановлено, що третій кластер є найкращим, оскільки він задовольняє необхідним умовам максимізації ВУЗ із мінімізацією температури обробки. На підставі даних рис. 2 можна стверджувати, що

в рамках двопараметричних моделей центри кластерів змінних, які досліджувалися, знаходяться на площині прямокутника, сторони якого відповідають граничним значенням параметрів оптимізації. Точка А має найкращі характеристики, тому відповідає оптимальному режиму гідротермічної обробки, а саме: якщо температура складає 55⁰ С, тривалість обробки – 15×60 с, ВУЗ за цих умов сягає 32%.

Висновки. Обґрунтовано доцільність створення нової технології сирного продукту на основі сухого знежиреного молока, що містить такі рецептурні добавки: концентрат ядра арахісу та борошно кукурудзяне. Використання математичного моделювання на етапі дослідження стану вологи модельної системи сирного продукту дозволило оптимізувати параметри гідротермічної обробки сирної маси із заміною молока 5% на 2,5% КАЯ + 2,5% БК: температура складала 55⁰ С, тривалість обробки 15×60 с, що задовольняє раціональним умовам максимізації вологоутримуючої здатності з мінімізацією температури обробки.

Список літератури

1. Обозна М. В. Розробка технології сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням рослинних компонентів / М. В. Обозна // Темат. зб. наук. праць Донецького нац. ун-ту економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2011. – Вип. 26 Обладнання та технології харчових виробництв. – С. 240–246.
2. Перцевой Ф. В. Ресурсозберігаюча технологія сирного продукту м'якого / Ф. В. Перцевой, М. В. Обозна // Стратегія якості в промисловості та освітанні : VII Міждун. конф., 3–10 червня 2011 г. : [тези : у 3 ч.]. – Варна, Болгарія, 2011. – Ч. 3. – С. 220–223.
3. Пат. 57055 Україна, МПК А 23 С 19/00. Спосіб отримання сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням концентрату ядер арахісу / Перцевой Ф. В., Обозна М. В. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2010 08600; заявл. 09.07.2010 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. – 6 с.
4. Пат. 60055 Україна, МПК А 23 С 19/00. Спосіб отримання сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням рослинних компонентів / Перцевой Ф. В., Обозна М. В. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2010 13609 ; заявл. 16.11.2010 ; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11. – 6 с.
5. Технологія харчової та кулінарної продукції з використанням білків молока : монографія / Ф. В. Перцевой [та ін.]. – Х. : ХДУХТ, 2010. – 225 с.
6. Рудакова Т. В. Розроблення технології комбінованих продуктів тривалого строку зберігання на основі сиру кисломолочного : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Рудакова Тетяна Василівна. – К., 2006. – 155 с.
7. Новые технологии функциональных оздоровительных продуктов : монографія / В. В. Погарская [и др.]. – Х. : ХГУПТ, 2007. – 262 с.
8. Вода в пищевых продуктах / пер. с англ. под ред. Р. Б. Дакуорта. – М. : Пищевая пром-сть, 1980. – 376 с.
9. Applewhite T. H. Proceedings of the World Congress on Vegetable

Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs / T. H. Applewhite // The American Oil Chemists Society. – 1989. – 575 p.

10. Большакова В. А. Технологія паст емульсійного типу з використанням зернобобової сировини : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.18.16 / В. А. Большакова. – Х., 2001. – 20 с.

11. Практическая химия белка : [пер. с англ.] / под ред. А. Дарбре. – М. : Мир, 1989. – 623 с.

12. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / О. Н. Сафонова [и др.] – Х. : ХГАТОП : ХГТУСХ, 2000. – 200 с.

13. Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – [2-е изд.]. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.

14. Рагушный А. С. Математико-статистическая обработка опытных данных в технологии продуктов общественного питания : метод. указания / А. С. Рагушный, В. Г. Топольник. – М. : Рос. экон. акад. им. Г. В. Плеханова, 1993. – 176 с.

15. Дьяконов В. П. Компьютерная математика. Теория и практика / В. П. Дьяконов. – М. : Нолидж, 2001. – 1296 с.

Отримано 01.05.2013. ХДУХТ, Харків.

© М.В. Обозна, В.В. Чаговец, Л.О. Чаговец, Ф.В. Перцевой, 2013.

УДК 663:663.05

В.І. Маяк, д-р техн. наук, проф.

О.А. Маяк, канд. техн. наук, доц.

СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЦУКАТІВ ІЗ ДОДАВАННЯМ КВІТКОВОГО ПИЛКУ

Розроблено процес виробництва цукатів з подрібненої плодово-ягідної сировини. Проведено низку експериментів із дослідження основних реологічних характеристик цукатів, розроблених за новою ресурсозберігаючою технологією.

Разработан процесс производства цукатов на основе измельченного плодово-ягодного сырья. Проведен ряд экспериментов по исследованию основных реологических характеристик цукатов, разработанных по новой ресурсосберегающей технологии.

Thesis is devoted to the scientific ground of process of production of candied fruit on the basis of vegetable raw material. The organized row experiment on study main reological properties candied fruit, designed on new technology.