

RESEARCH OF RHEOLOGICAL INDICES OF EGG OMELETS WITH LONG SHELF LIFE PRODUCED UNDER HIGH PRESSURE

V. Sukmanov, A. Malich, V. Debelyi

Poltava University of Economics and Trade

Key words:	ABSTRACT
<p><i>Egg omelets</i> <i>Shelf life</i> <i>Rheological properties</i> <i>High pressure</i></p> <hr/> <p>Article history: Received 24.02.2015 Received in revised form 12.03.2015 Accepted 25.04.2015</p> <hr/> <p>Corresponding author: V. Sukmanov Email: npnuht@ukr.net</p>	<p>The values of rheological properties were obtained for different parameters of the production process as a result of the experimental research and their comparative analysis for the samples of egg omelettes produced under high pressure was conducted. Thus, at 700 MPa relative volume of egg white omelet with mushrooms reduced by 20 %, its density increased by 29.4 %, the bulk modulus of elasticity increased by 169.3 % and the compression ratio reduced by 92.9 %. The average values of compression parameters change are as follows: relative volume at 700 MPa reduced by 17.8—20.0 %; density increased by 17.7—29.4 %, bulk modulus of elasticity increased by 84.6—169.3 % and the coefficient of thermal compression reduced by 87.5—92.9 %. The values of indices of egg omelets treated at $P = 700$ MPa and $\tau = 7 \times 60$s are as follows: the penetration rate is in the range of 11.92—16.02 kN/m², the limiting shear stress is 21.95—26.95 kN/m², the cutting operation is 150—192 J.</p>

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯЄЧНИХ ОМЛЕТІВ ТРИВАЛОГО ТЕРМІНУ ЗБЕРІГАННЯ, ВИРОБЛЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОГО ТИСКУ

В.О. Сукманов, О.А. Маліч, В.Л. Дебелій

Полтавський університет економіки і торгівлі

У статті в результаті виконаних експериментальних досліджень отримано значення реологічних показників для різних параметрів процесу виробництва й виконано їхній порівняльний аналіз для зразків яєчних омлетів, вироблених з використанням ВТ. Так, при тиску 700 МПа відносний об'єм яєчного омлету з печерицею зменшується на 20 %, щільність збільшується на 29,4 %, модуль об'ємної пружності зростає на 169,3 %, коефіцієнт стиску зменшується на 92,9 %. Середні значення зміни компресійних показників такі: відносний об'єм при 700 МПа зменшується на 17,8—20,0 %, щільність зростає на 17,7—29,4 %, модуль об'ємної пружності зростає на 84,6—169,3 %, коефіцієнт об'ємного стиску зменшується на 87,5—92,9 %. Значення показників яєчних омлетів, оброблених при $P = 700$ МПа і $\tau = 7 \times 60$ с, такі:

коефіцієнт penetрації знаходиться в діапазоні 11,92—16,02 кН/м², гранична напруга зрису — 21,95—26,95 кН/м², робота різання — 150—192 Дж.

Ключові слова: яєчні омлети, термін зберігання, реологічні показники, високий тиск.

Постановка проблеми. Курячі яйця є одним з найцінніших продуктів харчування людини і використовуються при готуванні великої кількості страв, особливо яєчних омлетів (ЯО). На жаль, даний продукт не призначений для тривалого зберігання, готується на підприємствах масового харчування у разі потреби. У той же час, враховуючи високі харчову цінність, даний продукт, за умови забезпечення його високих харчових і споживчих властивостей протягом тривалого терміну зберігання, може бути рекомендований для використання в експедиціях і туристичних походах, важкодоступних регіонах країни, при формуванні стратегічних запасів збройних сил і флоту, а також у яйцепереробній, харчовій промисловості й підприємствах масового харчування. Дослідження в напрямку виробництва омлетів тривалого терміну зберігання проводяться в ряді країн Європи і США.

Найбільш доцільно для розробки процесу виробництв ЯО тривалого терміну зберігання використовувати високий тиск (ВТ), який забезпечує мікробіологічну чистоту оброблених продуктів при збереженні всього ферментно-вітамінного комплексу.

Для дослідження впливу ВТ на яєчні продукти на основі рідкого курячого яйця була розроблена технологія ЯО із сиром, беконом і смаженими печерицями тривалого зберігання.

Процес виробництва ЯО складається з перемішування рідкого курячого яйця з тертим або дрібно нарізаним сиром (або іншими інгредієнтами), ксантановою камеддю, яка сприяє утриманню форми готового продукту, водою або молоком, додавання спецій (сіль, перець), після чого отриману суміш упаковують у герметичний пружний пакувальний матеріал, нагрівають, занурюють у робочу камеру, установку ВТ.

На сьогодні відсутня інформація про реологічні властивості ЯО, зроблених з використанням ВТ. Знання реологічних властивостей ЯО необхідне як для оптимізації самого процесу виробництва, так і для розрахунків технологічного обладнання, яке використовується при виробництві даних продуктів.

Метою дослідження є одержання й аналіз реологічних показників зразків ЯО, вироблених з використанням ВТ, і вивчення впливу параметрів процесу на ці показники.

Матеріали і методи. Підготовку зразків ЯО здійснювали в лабораторіях технології продуктів у ресторанному господарстві і на кафедрі загальноінженерних дисциплін; обробку герметично впакованих зразків ЯО ВТ робили на установці високого тиску (УВТ) у проблемній науково-дослідній лабораторії «Використання високого тиску в харчових технологіях» в діапазоні значень параметрів процесу: попереднє нагрівання суміші 85—95 °С, тиск 650—750 МПа, тривалість обробки — до 8 хв.

Результати і обговорення. У результаті створення ВТ у робочій камері УВТ температура, при якій здійснювався процес обробки ВТ, становила 110—130 °С.

Аналіз існуючої нормативно-технічної документації і вивчення праць цілого ряду дослідників показали, що для оцінки споживчих і технологічних властивостей ЯО доцільно використовувати такі реологічні показники: коефіцієнт penetрації, гранична напруга зрізу, робота різання, щільність, відносний об'єм, коефіцієнт стискальності, модуль об'ємного стиску (модуль об'ємної пружності) [2, 3, 4].

Повторність вимірів усіх контрольованих параметрів — трикратна. Помилка у всіх серіях не перевищувала 3 %.

Дослідження показників «коефіцієнт penetрації», «гранична напруга зрізу» і «робота різання» були виконані на електромеханічній універсальній випробувальній машині SANS CMT2503 виробництва «Shenzhen SANS Testing Co. Ltd.» (Китай) в Інституті продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України (м. Київ).



Рис. 1. Універсальна випробувальна машина SANS CMT2503

На рис. 1 зображена електромеханічна універсальна випробувальна машина SANS CMT2503 виробництва «Shenzhen SANS Testing Co. Ltd.» (Китай), призначена для контролю якості та проведення досліджень структурно-механічних властивостей, зсувних, компресійних і поверхневих характеристик харчових продуктів. У машині SANS CMT2503 закладено принцип замкненої цифрової системи керування та вимірювань із застосуванням комп'ютера, на дисплей якого виводиться вся інформація в цифровому або графічному вигляді. Вимірювання на цьому приладі базуються на принципі

зрізання зразків продукту з прикладанням зусиль з постійною швидкістю 20 мм/хв. Усі дані або графіки можна порівняти й уточнити.

Технічна характеристика універсальної випробувальної машини SANS CMT2503:

Максимальне навантаження, кН	5
Клас точності	1
Діапазон зусиль, % від максимального	0,2—100
Точність вимірювання навантаження, %	± 1
Хід макроекстензометра, мм	10—800
Точність вимірювання переміщення, %	± 0,5
Розділення переміщення, мкм	0,03
Швидкість переміщення, мм/хв	0,001—500

Дослідження компресійних властивостей зразків ЯО були проведені на дослідницькому комплексі для дослідження впливу ВТ і температури на харчові продукти і біологічні об'єкти в проблемній науково-дослідній лабораторії «Використання високого тиску в харчових виробництвах» (рис. 2) [4].



Рис. 2. Загальний вигляд дослідницького комплексу для вивчення компресійних характеристик продуктів

Параметри комплексу: тиск у робочій камері ВТ — до 1000 МПа; робоча температура — від + 10 °С до + 80 °С; максимальне переміщення поршня — $H_{\max} = 0,03$ м.

Вимірювані параметри зразків: температура, тиск, відносний об'єм, щільність, термодинамічний коефіцієнт стискальності (ізотермічна стискальність), модуль об'ємного стиску (модуль об'ємної пружності).

Дослідницький комплекс для вивчення компресійних характеристик продуктів харчування (рис. 2) складається з камери ВТ, преса, гідравлічної системи, системи керування й автоматизації процесу виміру.

Експериментальні дослідження на даному вимірювальному комплексі забезпечуються спеціально розробленим програмним забезпеченням і повністю автоматизовані. Результати досліджень відбиваються на екрані монітора у вигляді графіків і таблиць і записуються у відповідний файл бази даних.

У програмному забезпеченні вимірювального комплексу передбачені різні методики одержання досліджуваних показників [6], наприклад, методика визначення коефіцієнта стискальності.

Термодинамічним коефіцієнтом стискальності (ізотермічною стискальністю) є χ , що характеризує відносну зміну об'єму системи при ізотермічному зменшенні її тиску на одиницю:

$$\chi = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T. \quad (2)$$

З рівняння (2) знаходимо, що:

$$V\chi = - \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T. \quad (3)$$

Об'єм системи, що складає її N компонентів, дорівнює сумі їхніх обсягів:

$$V_{\text{сис}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N = \sum_{i=1}^N (V_i). \quad (4)$$

Зміна об'єму системи з N компонентів дорівнює:

$$\partial V_{\text{сис}} = \sum_{i=1}^N (\partial V_i). \quad (5)$$

Тоді рівняння (3) з урахуванням (4) і (5) матиме такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^N (V_i \chi_i) = \left(-\frac{1}{\partial p} \sum_{i=1}^N (\partial V_i) \right)_T. \quad (6)$$

Рівняння (6) дозволяє визначити термодинамічний коефіцієнт стискальності окремого компонента системи, коли відомі коефіцієнти стискальності

інших. Це рівняння й було використано в програмному забезпеченні установки високого тиску.

Визначення коефіцієнта стискальності досліджуваних зразків сиру здійснювали відповідно до керівництва з експлуатації в 3 етапи [6].

Перший етап. Робочий об'єм камери високого тиску наповнювали робочою рідиною за допомогою мірної піпетки, визначаючи об'єм робочої рідини. Відповідно до керівництва з експлуатації підготовляли до роботи камеру високого тиску й проводили вимір коефіцієнта стискальності робочої рідини в необхідному діапазоні тисків. Знайдену в такий спосіб величину коефіцієнта стискальності робочої рідини вводили як параметр у програмне забезпечення роботи установки.

Другий етап. Відповідно до методу визначення об'єму тіл неправильної форми визначали об'єм пакувального матеріалу. Порожній робочий об'єм камери високого тиску за допомогою мірної піпетки приблизно на половину заповнювали робочою рідиною, відрховуючи при цьому її об'єм. Далі в робочий об'єм камери поміщали пакувальний матеріал і додавали, відрховуючи об'єм, стільки робочої рідини, щоб робочий об'єм був повністю заповнений. Згідно з керівництвом з експлуатації проводили виміри коефіцієнта стискальності пакувального матеріалу в необхідному діапазоні тисків. Отриману в такий спосіб величину коефіцієнта стискальності пакувального матеріалу за допомогою програмного забезпечення вводили як параметр.

Третій етап. Вимірювані зразки герметично поміщали в пакувальний матеріал і методом визначення об'єму тіл неправильної форми визначали їхній об'єм з урахуванням об'єму пакувального матеріалу. Порожній робочий об'єм камери високого тиску за допомогою мірної піпетки приблизно на чверть заповнювали робочою рідиною, відрховуючи при цьому її об'єм. Далі в робочий об'єм камери поміщали досліджувані зразки і додавали, відрховуючи об'єм, стільки робочої рідини, щоб робочий об'єм був повністю завантажений. Відповідно до керівництва з експлуатації проводили вимір коефіцієнта стискальності зразків сиру в необхідному діапазоні тисків.

Визначення модуля об'ємного стиску (модуля об'ємної пружності) β , що дорівнює відношенню величини нормальної напруги σ до величини відносного об'ємного стиску Δ , викликаного цією напругою, здійснювали за формулою:

$$\beta = \frac{\sigma}{\Delta}. \quad (7)$$

Ізотермічний коефіцієнт стискальності χ виражає зменшення одиничного об'єму тіла при збільшенні тиску p на одну одиницю при постійній температурі T :

$$\chi = -\frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right)_{T=\text{const}}, \quad (8)$$

де ΔV — зміна об'єму V при зміні тиску p на величину Δp .

Модуль об'ємної пружності β пов'язаний з ізотермічним коефіцієнтом стискальності χ співвідношенням:

$$\beta = \frac{1}{\chi}. \quad (9)$$

Проводячи виміри для різних p , знаходили залежність ізотермічного коефіцієнта стискальності від тиску $\chi = \chi(p)$. Пружні властивості досліджуваних зразків сиру визначали зі збільшенням тиску від атмосферного до 600 МПа.

Знаючи експериментально визначену величину $\chi_{РЖ}$, знаходили величину ізотермічного коефіцієнта стискальності зразка для тиску p при постійній температурі T :

$$\chi_{Обр} = \frac{1}{V_{Обр}^0} \cdot \left(\frac{\Delta V_{РОК}}{p - p^0} - \chi_{РЖ} \cdot V_{РЖ}^0 \right)_{T=const}, \quad (10)$$

де $V_{РЖ}^0$ і $V_{Обр}^0$ — початкові об'єми робочої рідини й зразка відповідно; p^0 — нульове (атмосферне) значення тиску; $V_{РОК}$ — зміна робочого об'єму камери в результаті стиску; $\chi_{РЖ}$ — ізотермічний коефіцієнт стискальності робочої рідини.

У зв'язку з тим, що результати експериментальних досліджень реєструються на ПК установки ВТ як у цифровому вигляді (200 реєстрацій у секунду кожного з контрольованих параметрів), так і в графічному вигляді, результуючі залежності отримані як графічне усереднення трьох залежностей, отриманих на ПК при дослідженні кожного зі зразків.

Відповідно до методики експериментальних досліджень, що враховує гістерезисні явища при дослідженні компресійних показників у досліджуваних об'єктах, запис контрольованих параметрів здійснювали як у період збільшення тиску від 0 до величини p ($0 \rightarrow p$), так і у зворотному напрямку при зменшенні величини тиску від значення p до 0 МПа ($p \rightarrow 0$).

Як приклад на рис. 3 представлені криві зміни зусиль різання залежно від переміщення ножа, отримані для зразків ЯО, виготовлених з використання ВТ при тиску 700 МПа і тривалості обробки 7×60 с.

Математична обробка отриманих експериментальних кривих $p = f(h)$ була виконана в програмі FindGraph, version 2.291. Дані залежності були описані залежністю (11), а результати обробки і статистичний аналіз отриманих залежностей представлений у табл. 1.

$$y = a + bx + cx^2. \quad (11)$$

Таблиця 1. Результати математичної обробки залежності $p = f(h)$

Продукт, що досліджувався	Значення коефіцієнтів			Статистичний аналіз			
	a	b	c	R^2	F stat	Str. err	Довірчий інтервал
Б	1,65	0,120	0,002	0,999	1096321	0,047	0,95
С	1,26	0,121	0,0014	0,999	377266	0,07	
Ш	0,83	0,119	0,0008	0,999	5234300	0,02	

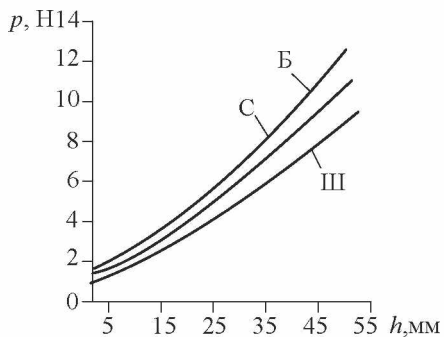


Рис. 3. Зміни зусиль різання залежно від переміщення ножа для зразків ЯО, обробленого ВТ: Б — яєчний омлет з беконом; С — яєчний омлет з сиром; ІІ — яєчний омлет з печерицями

На рис. 3 представлені графічні залежності зміни зусиль різання від переміщення ножа для зразків ЯО, оброблених ВТ.

У табл. 2 і на рис. 4 представлена інформація з експериментального дослідження показників: «коєфіцієнт пенетрації», «гранична напруга зрізу», «робота різання». Значення даних показників були отримані для зразків ЯО, виготовлених при $p = 700$ МПа й $\tau = 7 \times 60$ с. Дані параметри процесу забезпечують мікробіологічну безпеку ЯО в процесі їх тривалого зберігання та високі споживчі й органолептичні властивості, які були оцінені експертами в процесі органолептичної експертизи зразків ЯО.

Таблиця 2. Значення показників «коєфіцієнт пенетрації», «гранична напруга зрізу», «робота різання» досліджуваних зразків яєчного омлету при $p = 700$ МПа і $\tau = 7 \times 60$ с

Досліджуваний продукт	ЯОБ	ЯОС	ЯОП
Коєфіцієнт пенетрації, кН/м ²	16,02	15,31	11,92
Гранична напруга зрізу, кН/м ²	26,95	24,99	21,95
Робота різання, Дж	192	178	150,00

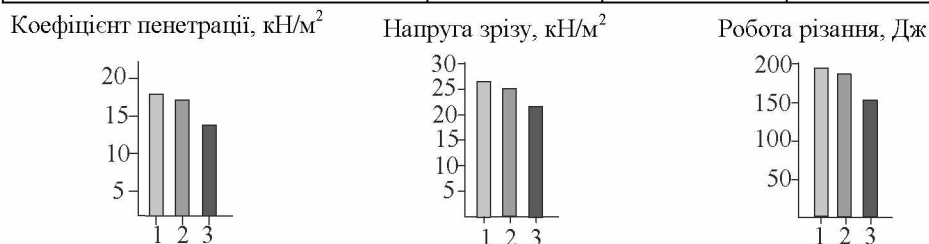


Рис. 4. Динаміка змін реологічних показників яєчного омлету тривалого терміну зберігання, обробленого високим тиском: 1 — яєчний омлет з беконом; 2 — яєчний омлет з сиром; 3 — яєчний омлет з печерицею

Результати експериментальних досліджень компресійних характеристик досліджуваних зразків ЯО представлені на рис. 5—8.

Відносний об'єм, V/V_0 %

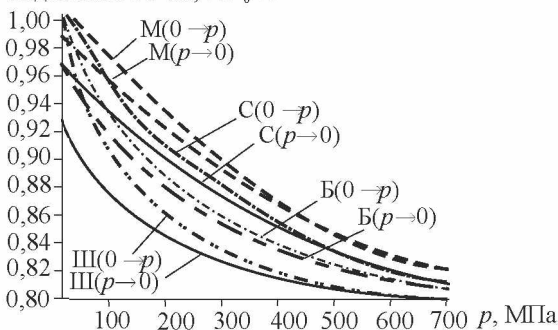


Рис. 5. Залежність показника «відносний об'єм» від параметрів процесу обробки для яєчного меланжу при підвищенні тиску $M(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $M(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з сиром при підвищенні тиску $C(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $C(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з беконом при підвищенні тиску $B(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $B(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з печерицями при підвищенні тиску $\Pi(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $\Pi(p \rightarrow 0)$

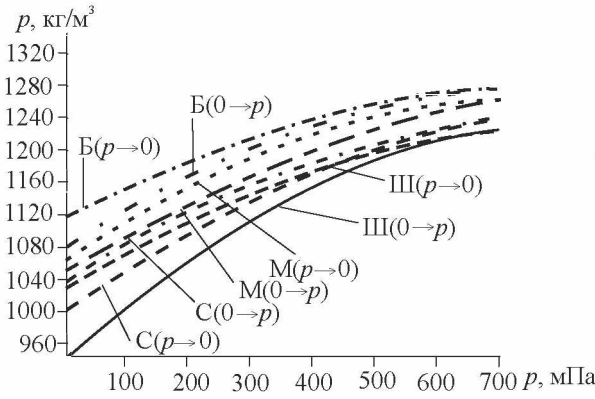


Рис. 6. Залежність показника «щільність продукту» від параметрів процесу обробки для яєчного меланжу при підвищенні тиску $M(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $M(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з сиром при підвищенні тиску $C(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $C(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з беконом при підвищенні тиску $B(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $B(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з печерицями при підвищенні тиску $\Pi(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $\Pi(p \rightarrow 0)$.

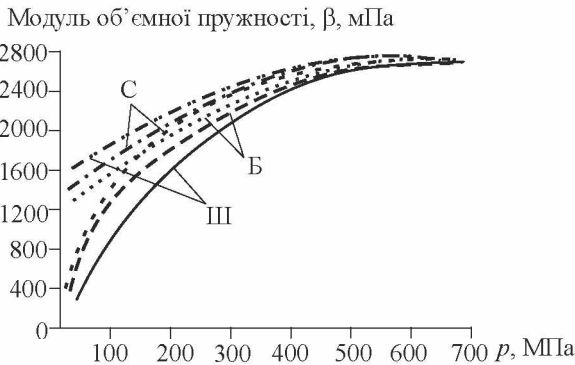


Рис. 7. Залежність показника «модуль об'ємної пружності» від параметрів процесу обробки для яєчного омлету з сиром при підвищенні тиску $C(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $C(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з беконом при підвищенні тиску $B(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $B(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з печерицями при підвищенні тиску $\Pi(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $\Pi(p \rightarrow 0)$.

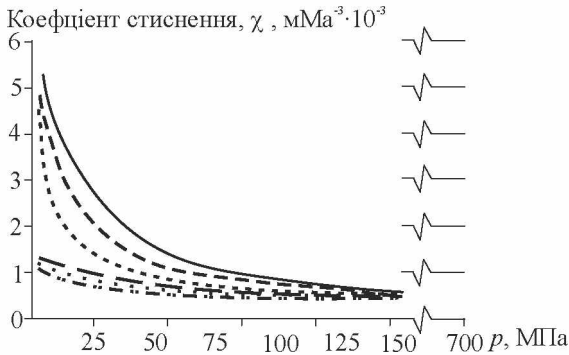


Рис. 8. Залежність показника «коефіцієнт стиску» від параметрів процесу обробки для яєчного омлету з сиром при підвищенні тиску $C(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $C(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з беконом при підвищенні тиску $B(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $B(p \rightarrow 0)$; для яєчного омлету з печерицями при підвищенні тиску $\Pi(0 \rightarrow p)$ та при зниженні тиску $\Pi(p \rightarrow 0)$.

Для того, щоб отримані експериментальні значення параметрів можливо було використовувати при прогнозуванні стану продукту при різних значеннях параметрів процесу, розрахунках і проектуванні технологічного обладнання для виробництва яєчних омлетів, використовуючи технологію ВТ, експериментальні криві були описані математичними функціями.

Зміна відносного об'єму досліджуваних зразків ЯО описано залежністю виду:

$$y = a + b \cdot e^{-\frac{x}{c}} + d \cdot e^{-\frac{x}{g}} \quad (12)$$

Результати математичної обробки функцій $V/V_0 = f(p)$ наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Результати математичної обробки залежності $V/V_0 = f(P)$

Досл. прод.	Напрямок процесу	Значення коефіцієнтів					R^2	F stat	Str. err
		a	b	c	d	g			
Б	$0 \rightarrow p$	0,77	0,068	78,11	0,168	438,95	0,99	190092	0,001
	$p \rightarrow 0$	0,79	0,025	104,91	0,152	319,47	0,99	455238	0,0008
С	$0 \rightarrow p$	0,75	0,032	52,23	0,23	483,31	0,99	280710	0,001
	$p \rightarrow 0$	3,62	83,69	2836,61	-86,34	2967,34	0,99	631207	0,0009
М	$0 \rightarrow p$	614,84	3797	31800	-4411	37084	0,99	446442	0,0009
	$p \rightarrow 0$	58,76	723,77	11380,4	-781,5	12367	0,99	593833	0,0007
П	$0 \rightarrow p$	0,79	0,08	46,99	0,14	234,22	0,99	387837	0,0012
	$p \rightarrow 0$	0,79	0,078	125,21	0,058	358,87	0,99	1503468	0,0004

Зміна щільності досліджуваних зразків **ЯО** описано функцією виду

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2. \quad (13)$$

Результати математичної обробки даної функції представлено в табл. 4.

Таблиця 4. Результати математичної обробки даної функції $\rho = f(P)$

Дослідж. продукт	Напрямок процесу	a	b	c	R^2	F stat	Str. err
Яєчний омлет з беконом (Б)	$0 \rightarrow p$	1094,54	0,466	-0,00029	0,99	232557	1,73
	$p \rightarrow 0$	1127,11	0,384	-0,00024	0,99	356297	1,13
Яєчний омлет із сиром (С)	$0 \rightarrow p$	1015,87	0,510	-0,00027	0,99	560823	1,22
	$p \rightarrow 0$	1061,53	0,392	-0,00018	0,99	639134	0,91
Яєчний омлет-меланж (М)	$0 \rightarrow p$	1046,18	0,530	-0,00031	0,99	2162479	0,59
	$p \rightarrow 0$	1076,07	0,489	-0,00031	0,99	1287803	0,67
Яєчний омлет з печерицями (П)	$0 \rightarrow p$	958,71	0,651	-0,00037	0,99	1700460	1,37
	$p \rightarrow 0$	1040,07	0,380	-0,00023	0,99	3214326	0,71

Для опису зміни коефіцієнта стискальності використано функція виду:

$$y = a + b \cdot e^{\frac{x}{c}} + d \cdot e^{-\frac{x}{g}}. \quad (14)$$

У табл. 5 наведено результати математичної обробки функції виду $\chi = f(p)$.

Таблиця 5. Результати математичної обробки функції виду $\chi = f(p)$

Дослід. продукт		a	b	c	d	g	R^2	F stat	Str. err
1	$0 \rightarrow p$	-0,027	4,7	28,18	0,75	771,42	0,99	164975	0,026
	$p \rightarrow 0$	-9131,84	0,67	23,42	9132,33	28523793	0,99	31574	0,011
2	$0 \rightarrow p$	0,227	1,20	20,43	0,62	301,180	0,99	59844	0,034
	$p \rightarrow 0$	-9530,79	0,84	31,52	9531,34	22449547	0,99	51892	0,008
3	$0 \rightarrow p$	0,319	3,68	8,75	0,71	162,910	0,98	15836	0,078
	$p \rightarrow 0$	-2053,21	0,70	28,88	2053,72	5691741	0,96	7794	0,021

Зміна модуля об'ємної пружності при збільшенні тиску від 0 до p описано залежністю виду:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2. \quad (15)$$

При зниженні тиску від P до 0 — залежністю виду:

$$y = a + b \cdot e^{\frac{x}{c}} + d \cdot e^{-\frac{x}{g}} \quad (16)$$

Результати математичної обробки функції $\beta = f(P)$ наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Результати математичної обробки залежності $\beta = f(p)$

		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>R</i> ²	F stat	Str. err
0→ <i>p</i>	Б	1144,11	4,99	-0,0039	-	-	0,99	205157	13,3
	С	1280,09	5,34	-0,005	-	-	0,99	79394	18,6
	П	1489,59	3,79	-0,003	-	-	0,99	239328	15,3
<i>p</i> →0	Б	3020,57	-1014,963	23,73	-2258,53	291,51	0,99	157887	21,27
	С	2825,62	-731,94	13,52	-2316,29	180,75	0,99	379194	9,77
	П	-71703337	-5555,72	409,84	7175968	2582345	0,99	372409	17,1

Усі представлені залежності отримано при довірчому інтервалі 0,95. Початкова температура стиску зразків — 90 °С, що визначається технологічними вимогами виробництва ЯО.

Порівняльний аналіз зміни показників компресійних властивостей ЯО (початкове значення — при максимальному тиску — кінцеве значення після зняття тиску) (табл. 7) дозволив сформулювати такі висновки: найбільші зміни компресійних властивостей відбуваються в ЯО з печерицями — при тиску 700МПа відносний об'єм зменшується на 20 %, щільність збільшується на 29,4 %, модуль об'ємної пружності зростає на 169,3 %, коефіцієнт стиску зменшується на 92,9 %.

Середні значення зміни компресійних показників для ЯО такі: відносний об'єм при 700 МПа зменшується на 17,8—20,0 %; щільність зростає на 17,7—29,4 %, модуль об'ємної пружності зростає на 84,6—169,3 %, коефіцієнт об'ємного стиску зменшується на 87,5—92,9 %.

Після зняття тиску перераховані вище показники набувають таких значень порівняно зі своїми первісними значеннями: відносний об'єм 3,5—7,6 %; щільність — 3,5—8,9 %; модуль об'ємної пружності — 37,0—161,3 %, коефіцієнт об'ємного стиску — 72,1—79,6.

Таблиця 7. Порівняльний аналіз зміни показників компресійних властивостей ЯО

Аналіз продукт	Початкові значення показника при p_0	Значення показника при 700 МПа	Зміни показника, %	Кінцеві значення показника	Зміни кінцевого значення показника порівняно з початковим, %
1	2	3	4	5	6
Відносний об'єм					
ЯО	1	0,820	18,0	0,985	1,5
ЯОС	1	0,812	17,8	0,964	3,6
ЯОБ	1	0,808	19,2	0,965	3,5
ЯОШ	1	0,800	20,0	0,924	7,6
Щільність, кг/м ³					

1	2	3	4	5	6
ЯО	1050	1280	21,9	1082	3,0
ЯОС	1021	1258	23,2	1072	4,9
ЯОБ	1100	1295	17,7	1139	3,5
ЯОШ	960	1242	29,4	1046	8,9
Модуль об'ємної пружності, МПа					
ЯО	-	-	-	-	-
ЯОС	1080	2750	154,6	1480	37,0
ЯОБ	910	1680	84,6	1405	54,4
ЯОШ	620	1670	169,3	1620	161,3
Ізотермічний коефіцієнт об'ємного стиснення, МПа ⁻¹ · 10 ⁻³					
ЯО	-	-	-	-	-
ЯОС	4,3	0,35	91,9	1,2	72,1
ЯОБ	2,8	0,35	87,5	1,1	60,7
ЯОШ	4,9	0,35	92,9	1,0	79,6

Отримані експериментальні дані становлять безсумнівний інтерес для розробки методик розрахунків і проектування установок ВТ, моделювання процесів у системах ANSYS, розрахунків і проектуванні пакувальних матеріалів для ЯО тощо.

Висновки

Отже, у результаті виконаних експериментальних досліджень отримано значення реологічних показників для різних параметрів процесу виробництва й виконано їхній порівняльний аналіз для зразків яечних омлетів, вироблених з використанням ВТ.

Надалі будуть досліджені структурні, фізико-хімічні, органолептичні й інші показники ЯО, виготовлених із застосуванням ВТ, і проведена оптимізація процесу з метою одержання оптимальних параметрів процесу.

Література

1. Сукманов В.А., Хазипов В.А. Надвисокий тиск у харчових технологіях. Стан проблеми. — Донецьк: ДонГУЕТ, 2003. — 168 с.
2. Мачихин Ю.А. *и др.* Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под ред. Ю.А. Мачихина. — М.: Агропромиздат, 1990. — 270 с.
3. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1979 — 383 с.
4. *Структурно-механические* характеристики пищевых продуктов / [А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.]; под ред. А.В. Горбатова. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 296 с.
5. Сукманов В.А., Соколов С.А., Гаркуша В.Б. *и др.* Установка для исследования влияния сверхвысокого давления на пищевые продукты / Харьк. гос. акад. технол. и орг. питания. — Харьков, 2002. — С. 124—126.
6. Сукманов В.О., Соколов С.А., Головінов В.П., Декань О.О., Сабіров О.В. Розробка автоматизованого експериментального комплексу для обробки продуктів високим тиском. «Обладнання та технології харчових виробництв»: Темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О.О.Шубін. — Донецьк: ДонНУЕТ, 2006. — Вип. 14. — С. 65—71.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЯИЧНЫХ ОМЛЕТОВ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ХРАНЕНИЯ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.А. Сукманов, А.А. Малич, В.Л. Дебелый

Полтавский университет экономики и торговли

В статье в результате выполненных экспериментальных исследований получено значение реологических показателей для различных параметров процесса производства и выполнен их сравнительный анализ для образцов яичных омлетов, произведенных с использованием ВТ. Так, при давлении 700 МПа относительный объем яичного омлета с шампиньонам уменьшается на 20 %, плотность увеличивается на 29,4 %, модуль объемной упругости возрастает на 169,3 %, коэффициент сжатия уменьшается на 92,9 %. Средние значения изменения компрессионных показателей следующие: относительный объем при 700 МПа уменьшается на 17,8—20,0 %; плотность возрастает на 17,7—29,4 %, модуль объемной упругости возрастает на 84,6—169,3 %, коэффициент объемного сжатия уменьшается на 87,5—92,9 %. Значение показателей яичных омлетов, обработанных при $P = 700$ МПа и $\tau = 7 \times 60$ с, следующие: коэффициент пенетрации находится в диапазоне 11,92—16,02 кН/м², предельное напряжение среза — 21,95—26,95 кН/м², работа резания — 150—192 Дж.

Ключевые слова: *яичные омлеты, срок хранения, реологические показатели, высокое давление.*