

MODELING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF STERILIZATION OF CANNED FOOD IN GLASS CONTAINERS USING A STERILIZER OF PERIODIC ACTION

N. Popova

National University of Food Technologies

S. Mironyuk

Uman National University of Horticulture

Key words:

Sterilization

Heat treatment of raw materials

Activity of microorganisms

Optimum temperature

Article history:

Received 13.06.2014

Received in revised form 27.06.2014

Accepted 06.07.2014

Corresponding author:

N. Popova

Email:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Sterilization and pasteurization of products are important when canning, as well as using an aseptic preservation method. In the canning industry sterilization process is conditional, since microorganisms after heat treatment are not completely liquidated, but the conditions are created that do not allow further development of the surviving microorganisms. Sterilization modes are developed specifically for each product and for the specific conditions in which the sterilization is carried out (machine type, parameters of the coolant, etc.). Reliability of sterilization modes is determined by the mode of canned food heating. Heat transfer from the periphery to the center banks can have two aspects: by convection during sterilization of liquid products and due to thermal conductivity for solid ones. The mathematical model of canned vegetables sterilization has been developed, with allows adequately calculating of sterilization process temperatures and assessing the level of actual mortality.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВІВ У СКЛЯНІЙ ТАРІ В АВТОКЛАВІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Н.В. Попова

Національний університет харчових технологій

С.С. Миронюк

Уманський національний університет садівництва

У статті розроблено математичну модель процесу стерилізації овочевих консервів, за допомогою якої адекватно можна розраховувати температурні режими процесу стерилізації й оцінити фактичну летальність. Зазначено, що при виробництві консервів велике значення мають стерилізація і пастеризація продуктів, а також асептичний спосіб консервування. У консервній промисловості стерилізація має умовний характер, тому що після термічної обробки

мікроорганізми цілком не знищуються, а створюються такі умови, які не дають можливості подальшого розвитку тих мікроорганізмів, які залишилися живими. Режими стерилізації розробляються конкретно для кожного продукту і для тих умов, в яких здійснюється стерилізація (тип апарата, параметри теплоносія тощо). Надійність режимів стерилізації визначається режимом прогрівання консервів. Передача теплоти від периферії до центру банки може проходити двоюко: за рахунок конвекції при стерилізації рідких продуктів і за рахунок теплопровідності для густих.

Ключові слова: стерилізація, теплова обробка сировини, життєдіяльність мікроорганізмів, оптимальний температурний режим.

Стерилізація є технологічним процесом, під яким розуміють теплове оброблення консервів в автоклаві, що проводиться з метою пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів за температури вище 100 °С і певної тривалості, які залежать від кислотності, консистенції й типу продукту для виготовлення консервів (овочеві, м'ясні тощо).

Як відомо, метою теплового оброблення є пригнічення властивостей бактерій до вегетації та відповідних наслідків — псування продуктів консервування [1, 2]. Під час стерилізації консервів у скляній тарі відбувається нерівномірне прогрівання всього об'єму банки (тари). Найменша температура продукту всередині банки фіксується у так званому термічному центрі. Ним є той об'єм банки, який рівновіддалений від днища, кришки та бокової стінки. Отже, у термічному центрі можуть тривалий час перебувати неушкодженими мікроорганізми протягом усього терміну стерилізації.

З метою керування процесами стерилізації використовують такі основні параметри оптимізації, як температура, тривалість процесу й типорозмір тари консервів, від якого залежить відстань до термічного центру за умов зазначеного (вибраного) продукту для стерилізації, тобто фізичні властивості продукту (теплопровідність, температуропровідність).

Задача оптимізації процесу стерилізації продуктів у скляній тарі зводиться до визначення такого температурного режиму й тривалості процесу, за якого можливе досягнення заданої температури прогрівання у термічному центрі протягом часу, достатнього для пригнічення мікроорганізмів, тобто в уточненні формули стерилізації для певних продуктів у відповідній скляній тарі.

Тривале прогрівання консервів викликане глибоким розміщенням в об'ємі банки порції продукту, яка знаходиться у термічному центрі, породжує задачу оптимізації із наявністю конкуруючих властивостей оптимізації: геометричної конфігурації тари, тривалості й температури на стадії стерилізації.

Шляхом вибору оптимальних співвідношень геометричних розмірів банки вдається витіснити очікувані термічні центри до поверхні, що контактує з гарячим теплоносієм усередині автоклаву.

Під час розроблення режимів стерилізації консервів зазвичай знімають температурну криву в місцях продукту, що найменше прогривається, у термічному центрі банки. Експериментальними методами визначити таку криву під час стерилізації в автоклаві у банок з різними типорозмірами й продуктами доволі складно. Вибору оптимального типорозміру банки для

необхідного продукту передують ретельне дослідження, яке можна провести безпосередньо на промисловому об'єкті — автоклаві, чи із застосуванням математичного моделювання задачі на ЕОМ. Останній спосіб є дещо меншим за трудомісткість і тривалість.

Для аналітичного розрахунку температурної кривої необхідно вирішити диференціальне рівняння теплопровідності для двошарового циліндра, скляна банка якого — зовнішній шар, а продукт — внутрішній шар [3, 4].

Вирішення рівняння приводиться у вигляді рівнянь визначення температури продукту всередині термічного центру для трьох періодів стерилізації згідно з формулою стерилізації продуктів в автоклавах:

для $0 < \tau \leq \tau_1$:

$$t'_0 = t_{\text{поч}} + (t_{\text{сп}}^0 - t_{\text{поч}}) \Phi(\text{Fo}_h^\tau) + b_1 \tau \Omega(\text{Fo}_h^\tau); \quad 12$$

для $\tau_1 < \tau \leq \tau_2$:

$$t''_0 = t_{\text{поч}} + (t_{\text{сп}}^0 - t_{\text{поч}}) \Phi(\text{Fo}_h^\tau) + b_1 \tau \Omega(\text{Fo}_h^\tau) - b_1 (\tau - \tau_1) \Omega(\text{Fo}_h^{\tau - \tau_1}), \quad 34$$

для $\tau_2 < \tau \leq \tau_3$:

$$t'''_0 = t_{\text{поч}} + (t_{\text{сп}}^0 - t_{\text{поч}}) \Phi(\text{Fo}_h^\tau) + b_1 \tau \Omega(\text{Fo}_h^\tau) - b_1 (\tau_2 - \tau_1) \Omega(\text{Fo}_h^{\tau_2 - \tau_1}) - b_2 (\tau - \tau_2) \Omega(\text{Fo}_h^{\tau - \tau_2}), \quad 56$$

де t' , t'' , t''' — температура продукту у термічному центрі банки відповідно у першому, другому і третьому періодах стерилізації, °С; $t_{\text{поч}}$ — початкова температура продукту в момент фасування у банки $t_{\text{сп}}^0$ — початкова температура середовища у автоклаві; $\Phi(\text{Fo}_h^\tau)$ і $\Omega(\text{Fo}_h^\tau)$ безрозмірні функції критерію Фур'є, критерій Фур'є для відповідного періоду стерилізації може бути розрахований за рівнянням $\text{Fo}_h^\tau = a\tau/h^2$.

Значення безрозмірних функцій $\Phi(\text{Fo}_h^\tau)$ і $\Omega(\text{Fo}_h^\tau)$ для типорозміру 1,56 скляної тари приведені у табл. 1.

Таблиця 1. Залежність безрозмірних функцій Φ і Ω від критерію Fo

Fo	0,020	0,030	0,040	0,060	0,080	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,250	0,300	0,350
Ω	0,003	0,012	0,034	0,101	0,181	0,258	0,346	0,420	0,485	0,538	0,622	0,682	0,730
Φ	0,012	0,061	0,140	0,325	0,485	0,627	0,740	0,834	0,890	0,929	0,971	0,989	0,999

Fo	0,400	0,450	0,500	0,550	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000	1,200	1,400	1,800
Ω	0,760	0,790	0,811	0,828	0,842	0,865	0,880	0,892	0,904	0,920	0,930	0,946
Φ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Розрахунок температури середовища в автоклаві під час стерилізації консервів у перший період протягом часу $0 < \tau \leq \tau_1$ від початкової температури до температури стерилізації здійснюємо за рівнянням:

$$t_{\text{сп}}(\tau) = t_{\text{сп}}^0 + b_1 \cdot \tau, \quad 78$$

де τ — поточний час, с; b_1 — швидкість нагрівання середовища, $^{\circ}\text{C} / \text{с}$.

Далі температура витримується постійною і рівною температурі стерилізації згідно з формулою стерилізації для певного продукту протягом $\tau_1 < \tau \leq \tau_2$.

Після періоду стерилізації температура середовища в автоклаві знижується протягом часу $\tau_2 < \tau \leq \tau_3$:

$$t_{\text{cp}}(\tau) = t_{\text{cp}}^0 + b_1 \cdot \tau_1 - b_2 \cdot \tau, \quad (66)$$

де b_2 — швидкість охолодження середовища, $^{\circ}\text{C} / \text{с}$.

Значення коефіцієнта температуропровідності приймалося $2,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, а коефіцієнта теплопровідності — $1,30 \text{ (Вт / (м К))}$. Коефіцієнти температуропровідності і теплопровідності скла складають відповідно $4,4 \cdot 10^{-7}$ і $0,75$. Параметр $K = h / R_1$, що визначає вплив відстані до термічного центру банки, складає $1,63$.

Результати розрахунку температур в автоклаві і термічному центрі продукту при стерилізації консервів «Баклажани смажені з солодким перцем» за режимом $\frac{25 - 40 - 25}{120 \text{ }^{\circ}\text{C}}$ у скляній тарі III — 82 — 500 порівняно з експериментальними наводяться в табл. 2.

Таблиця 2. Результати досліджень і розрахунків процесу стерилізації консервів «Баклажани смажені із солодким перцем» за режимом $\frac{25 - 40 - 25}{120 \text{ }^{\circ}\text{C}}$ у скляній тарі III — 82 — 500

Час від початку прогрівання, хв	Температура автоклава, $^{\circ}\text{C}$		Температура продукту, $^{\circ}\text{C}$		Перевідний коефіцієнт K_F	
	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок
0	70	70	36,0	36,0		
5	80	80	39,5	36,344		
10	90	90	48,5	38,749		
15	100	100	64,5	44,721		
20	110	110	75,5	52,292		
25	120	120	85,5	60,822		
30	120	120	92,0	70,022	0,0012	
35	120	120	98,0	79,025	0,0049	
40	120	120	102,5	87,314	0,0138	
45	120	120	105,0	94,225	0,0246	
50	120	120	107,5	99,949	0,0437	0,008
55	120	120	109,0	104,625	0,0618	0,023
60	120	120	110,5	108,072	0,0870	0,05
65	120	120	111,0	110,711	0,0980	0,091
70	105	104	110,0	110,673	0,0775	0,091
75	90	88	108,0	110,229	0,0490	0,082
80	70	72	102,0	107,939	0,123	0,048
85	55	56	95,0	103,534	0,0025	0,018
90	40	40	86,0	96,718		0,004

Стерилізуючий ефект знаходили шляхом експериментального вимірювання температури продукту в найменш прогрітій точці — геометричному центрі з подальшою математичною обробкою даних теплофізичних вимірювань. Така обробка зводилась до перерахунку летальної дії вимірюваних температур (T_{δ}) на дію температури 121,1 °С, прийнятої за еталон (T_e). Перерахунок проводився за допомогою перевідних коефіцієнтів K_F [3].

Склавши перевідні коефіцієнти, що відповідають кожному значенню вимірюваній у банці температури і помноживши отриману суму на проміжок замірів, отримували величину фактичної летальності $F_{\text{еф}}$.

За результатами експерименту і розрахунків було знайдено значення фактичної летальності, які, відповідно, становили 2,38 і 2,067 ум. хв. Таким чином, похибка розрахунків складає 11 %. Нормативна летальність для овочевих закусочних консервів, нарізаних частинками або шматками, складає 1 — 2 ум. хв [3, 4]. При порівнянні отриманого значення фактичного стерилізуючого ефекту зі встановленою нормою летальності видно, що даний режим стерилізації перевищує нормативний: $F_{\text{факт}} > F_n$ або $2,38 > 2$.

Можна стверджувати, що запропонований режим стерилізації консервів «Баклажани смажені з солодким перцем» $\frac{25 - 40 - 25}{120 \text{ } ^\circ\text{C}}$ забезпечить промисло-ву стерильність нових видів консервів.

Результати розрахунку температур в автоклаві і термічному центрі продукту при стерилізації консервів «Баклажани смажені з солодким перцем» за режимом $\frac{25 - 40 - 25}{120 \text{ } ^\circ\text{C}}$ у скляній тарі III — 82 — 500 наводяться в табл. 3.

Таблиця 3. Результати досліджень і розрахунків процесу стерилізації консервів «Баклажани смажені з солодким перцем» за режимом $\frac{25 - 40 - 25}{120 \text{ } ^\circ\text{C}}$ у скляній тарі III — 82 — 500

Час від початку прогрівання, хв	Температура автоклава, °С		Температура продукту, °С		Перевідний коефіцієнт K_F	
	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок
0	50	50	41,0	41,0		
5	60	60	44,0	41,307		
10	70	70	48,5	43,898		
15	80	80	56,5	48,791		
20	90	90	64,5	55,383	0,0926	
25	100	100	72,0	62,995	0,2930	0,074
30	100	100	79,0	71,347	0,8570	0,265
35	100	100	85,0	79,287	2,1500	0,896
40	100	100	87,5	85,56	3,1700	2,348
45	85	88	85,0	85,489	2,1500	2,323
50	75	76	78,0	84,231	0,7360	1,915
55	65	64	72,0	80,547	0,2930	1,088
60	50	52	66,5	74,516	0,1260	0,431
65	40	40	60,0	66,715	0,0464	0,13

Стерилізуючий ефект знаходили шляхом експериментального вимірювання температури продукту в найменш прогрітій точці банки — геометричному центрі з подальшою експериментальною обробкою даних теплофізичних вимірювань. Така обробка зводилась до перерахунку летальної дії вимірюваних температур (T_{δ}) на дію температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, прийнятої за еталон T_e . Перерахунок проводився за допомогою перевідних коефіцієнтів K_A [3].

За результатами експерименту і розрахунків було знайдено значення фактичної летальності, які, відповідно, становили 47,243 і 47,342 ум. хв. Таким чином, похибка розрахунків складає менше 1 %.

Нормативна летальність для даного виду консервів складає $A_{80}^{15} = 40 - 50 \text{ ум. хв}$ [3,4]. Отже, запропонований режим стерилізації забезпечить промислову стерильність консервів.

Висновки

Розроблено математичну модель процесу стерилізації овочевих консервів, за допомогою якої адекватно можна розраховувати температурні режими процесу стерилізації й оцінити фактичну летальність.

Література

1. *Мальский А.Н.* Овощные закусочные консервы / А.Н. Мальский, А.К. Изотов. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 232 с.
2. *Фізико-хімічні і біологічні основи консервного виробництва* / [Б.Л. Флауменбаум, А.Т. Безусов, В.М. Сторожук, Г.П. Хомич]. — Одеса: Друк, 2006. — 400 с.
3. *Флауменбаум Б.Л.* Теоретические основы стерилизации консервов / Флауменбаум Б. Л. — К.: Изд. Киевского университета, 1960.
4. *Применение математического анализа при разработке новых режимов стерилизации консервов* / Б.Л. Флауменбаум, М.Е. Валявская, Л.З. Каушанская, С.И. Юрченко // Консервная и овощесушильная промышленность. — 1962. — № 11 — С. 14—16.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ В СТЕКЛЯННОЙ ТАРЕ В АВТОКЛАВАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Н.В. Попова

Национальный университет пищевых технологий

С.С. Миронюк

Уманский национальный университет садоводства

В статье разработана математическая модель процесса стерилизации овощных консервов, с помощью которой можно адекватно рассчитывать температурные режимы процесса стерилизации и оценивать фактическую летальность. Отмечено, что при производстве консервов большое значение

имеют стерилизация и пастеризация продуктов, а также асептический способ консервирования. В консервной промышленности стерилизация носит условный характер, так как после термической обработки микроорганизмы уничтожаются не полностью, а создаются такие условия, которые не дают возможности дальнейшему развитию оставшихся в живых микроорганизмов. Режимы стерилизации разрабатываются конкретно для каждого продукта и для тех условий, в которых осуществляется стерилизация (тип аппарата, параметры теплоносителя и т. д.). Надежность режимов стерилизации определяется режимом прогрева консервов. Передача теплоты от периферии к центру банки может проходить двояко: за счет конвекции при стерилизации жидких продуктов и за счет теплопроводности для густых.

Ключевые слова: стерилизация, тепловая обработка сырья, жизнедеятельность микроорганизмов, оптимальный температурный режим.