

УДК 664

DETERMINATION OF INFLUENCES OF PHYSICAL PARAMETERS OF THE ENVIRONMENT ON THE LEVEL OF FATAL EFFECTS UNDER VACUUM CONDITIONS

K. Vasylykivsky, A. Derenivska, I. Maksymenko, E. Skuybida*National University of Food Technologies***Key words:**

vacuuming,
lethal effect,
osmotic pressure,
microorganisms,
influence factor

Article history:

Received 10.03.2021

Received in revised form
16.04.2021

Accepted 22.05.2021

Corresponding author:

mif63@i.ua

ABSTRACT

The article deals with the relationships between thermodynamic parameters of transients, time of their implementation, initial temperature, dry matter concentration, rate of pressure change in influences at the level of lethal effects of microflora present in treated media, concentration of dissolved gases, limitation of metabolic processes in cells and systems “cell–environment” due to osmotic pressures for the implementation of vacuum processes.

It is shown that from the point of view of interests to achieve lethal effects due to such physical methods as vacuuming, sharp pressure drop, adiabatic boiling of media, discrete-pulse influences, ultrasound, etc., it is essential to control at least such a parameter as osmotic pressure. Previous experiments to assess the combination of effects indicate that osmotic pressure in many cases should act as an independent and significant factor of influence.

It is shown that due to the increase in osmotic tics and the migration of water from the cell juice, the physical pressure in the cells decreases and the solubility of gases in the cell juice is limited. The result of these phenomena is a limitation of the level of lethal effects.

The second most important factor for achieving lethal effects is the initial temperature, which is a measure of the thermal potential of the transition process.

It is determined that in the conditions of adiabatic boiling of environments the level of lethal effects is about 10%. The best combination corresponds to the values of the factors of the initial temperature z_1 — max, dry matter concentration z_2 — min, exposure time in the vacuum chamber z_3 — max. Such combinations of influencing factors provide lethal effects on yeast cells used as test cultures at the level of 100%. It is shown that the effect of the rate of pressure decrease during evacuation of media is insignificant, which can be explained by the decrease in the total time of vacuum treatment, and the fact that the increase in osmotic pressures in the media clearly leads to limitations of lethal effects.

It is determined that the effects similar to the evacuation of media at the level of lethal consequences occur with a sharp depressurization of gas-saturated media, which corresponds to the prospects of an applied nature for the processing of berry and vegetable raw materials.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-10

ВПЛИВИ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩ НА РІВЕНЬ ЛЕТАЛЬНИХ ЕФЕКТІВ ПРИ ВАКУУМУВАННІ

К. В. Васильківський, канд. техн. наук

А. В. Деренівська, канд. техн. наук

І. Ф. Максименко

Є. Л. Скуйбіда

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено взаємозв'язки між термодинамічними параметрами перехідних процесів, часом їх здійснення, початковою температурою, концентрацією сухих речовин, швидкістю зміни тисків у впливах на рівні летальних ефектів мікрофлори, присутніх в оброблюваних середовищах, концентрації розчинених газів, обмеження обмінних процесів у клітинах і системах «клітина–середовище» за рахунок осмотичних тисків при перебігу процесів вакуумування.

Показано, що з точки зору інтересів досягнення летальних ефектів за рахунок таких фізичних методів, як вакуумування, різке зниження тиску, адіабатне кипіння середовищ, дискретно-імпульсні впливи, ультразвук тощо принципово необхідно хоча б контролювати такий параметр, як осмотичний тиск. Попередні досліді за оцінкою комбінації впливів вказують на те, що осмотичний тиск у багатьох випадках повинен виступати як самостійний і значущий фактор впливу.

Ключові слова: вакуумування, летальний ефект, осмотичний тиск, мікроорганізми, фактор впливу.

Постановка проблеми. Відомі закони ринкової економіки надають усе помітнішого прискорення особливо другій половині агропромислового комплексу — переробній промисловості. На вістрі проблем останньої виходять технології, пов'язані із забезпеченням довготривалого зберігання продукції. Їх розробка ґрунтується на глибинному аналізі явищ, що супроводжують зберігання продуктів харчування. Швидкоплинний стиль сучасного життя формулює нові вимоги до харчових продуктів, які повинні бути найбільш зручними й ефективними у використанні. Важливим відгалуженням цих технологій є зберігання фасованої продукції [1; 2].

Найбільш високоякісні продукти харчування з часом утрачають свої властивості внаслідок фізичних, хімічних і біологічних процесів, що постійно відбуваються в них. Для протидії таким змінам і стабілізації харчових та енергетичних показників продукції використовують пастеризацію, стерилізацію, висушування, заморожування, обробку в електромагнітних полях, витримку в модифікованих газових середовищах, умовах вакууму тощо. Останнім часом відбувається необґрунтоване різке зростання використання хімічних методів консервування продукції рослинного і тваринного походження, що має ознаки нової рукотворної екологічної катастрофи і потребує термінового втручання на рівні найвищих державних інституцій. Вживання продукції і напоїв з консервантами створює загрозу знешкодження власної мікрофлори організму людини з усіма його наслідками [3; 4].

З цієї точки зору екологічно чистими технологіями стабілізації продуктів харчування є теплова обробка на рівні пастеризації або стерилізації, вакуумні, паровакуумні технології, дискретно-імпульсні, ультразвукові технології, обробка ультрафіолетовим опроміненням тощо.

У багатьох випадках за рахунок фізичних методів обробки на харчових виробництвах відносно нескладно отримати продукцію на рівні пастеризованої або сте-

рилізованої на виході з технологічного обладнання. Однак дві наступні умови, зокрема асептична підготовка тари або пакувальних матеріалів і асептичне фасування у більшості випадків не досягається, що нівелює результат обробки первинного продукту. Однак практично стовідсотковий успіх лежить на шляху теплової обробки фасованої продукції, що знайшло свій розвиток за використання скляної і металевої тари [5]. Перехід до полімерних матеріалів супроводжується певними обмеженнями бар'єрних властивостей упаковок, тому узагальнений перелік процесів, що супроводжують зберігання таких упаковок, включає:

- біохімічні процеси всередині продукту;
- масообмін і взаємодію між продуктом і середовищем упаковки;
- масообмін між середовищем в упаковці і зовнішнім середовищем;
- взаємодію між продуктом і матеріалом упаковки;
- взаємодію зовнішнього середовища й матеріалу упаковки.

Вказані особливості потребують всебічного аналізу і супроводжують впровадження нових матеріалів, що змушує поєднувати зусилля розробників нових матеріалів, спеціалістів-харчовиків і споживачів продукції.

Особливі вимоги висуваються до стабілізації фасованої продукції дитячого харчування, де використання консервантів виключається і головні орієнтири стосуються вакуумних, паро-вакуумних технологій і технологій на основі теплової обробки [6]. Серед хімічних методів прийнятним є використання традиційних речовин — цукру та солі, — консервувальна дія яких відбувається не за рахунок хімічних властивостей, а через явище осмотичного тиску створюваних розчинів. У дослідженнях з оцінки фізичних впливів, як правило, не враховувалися співвідношення осмотичних тисків розчинів і осмотичних тисків клітинного соку клітин рослинного і тваринного походження та мікробних клітин. З точки зору інтересів досягнення летальних ефектів за рахунок таких фізичних методів, як вакуумування, різке зниження тиску, адіабатне кипіння середовищ, дискретно-імпульсні впливи, ультразвук тощо принципово необхідно хоча б контролювати такий параметр, як осмотичний тиск. Попередні досліді з оцінки комбінації впливів вказують на те, що осмотичний тиск у багатьох випадках повинен виступати як самостійний і значущий фактор впливу [7].

З точки зору інтересів промисловості вирішальне значення у виборі методів асептичної обробки як фасованої, так і не фасованої продукції має стовідсоткова гарантія бактеріостатичного, пастеризованого або стерилізованого стану. Останнім вимогам відповідає тільки два напрями: тепла обробка на рівні пастеризації або стерилізації та використання консервантів. Бактеріостатичні ефекти, як правило, пов'язані з підвищенням концентрації сухих речовин і відносним зростанням осмотичних тисків розчинів. Випуск концентрованих соків, сиропів, екстрактів тощо має зростаючі темпи, що диктуються сьогоденними потребами суспільства.

Обмеження, а за краще і повна відмова від консервантів мають за альтернативу використання теплових або інших фізичних методів обробки, які потребують поглиблення їх теоретичного підґрунтя. До таких перспективних методів на основі наведеного аналізу віднесемо:

- технологію різкої зміни тиску (ТРЗТ), що стосується газонасичених середовищ;
- вакуумування харчових середовищ або продуктів;
- адіабатне кипіння середовищ або рідинної фази продуктів;
- осмомолекулярну дифузію на фоні вакуумованих середовищ;

- комбінації з названих методів.

Розвиток вказаних напрямків стримується обмеженою теоретичною базою [8]. Оцінка можливостей впливів окремих параметрів, пошук їх оптимальних співвідношень, створення розвинених методик аналізу і синтезу на рівні промислового використання нових технологій дають змогу досягти нового рівня в розв'язанні проблеми екологічного харчування [9—11].

Створення нових технологій у галузі використання фізичних методів стабілізації якісних, енергетичних і смакових показників продукції — це шлях до екологізації продуктів харчування та напоїв і можливість суттєвого обмеження й відмови від використання хімічних консервантів. Методи теплової обробки потребують перегляду в напрямку рекуперації теплової енергії, що стосується і фасованої продукції.

Мета дослідження: визначення співвідношень фізичних, хімічних і термодинамічних параметрів середовищ в умовах перехідних процесів вакуумування у впливах на досягнення летальних ефектів у мікрофлорі.

Матеріали і методи. В експериментальних дослідженнях виконувалося вакуумування різних рідинних середовищ (води, пива, розчинів цукрів) з дріжджами в ролі тест-культури. Дослідження супроводжувалися використанням у складі лабораторної установки вакуум-насоса, що забезпечував залишковий тиск у вакуумній камері близько 0,002...0,004 МПа, що відповідає температурі кипіння середовищ в межах 20...30°C. Це дало змогу реалізувати процеси обробки середовищ у режимі адіабатного кипіння або без нього. Рівень летальних ефектів визначався за використання фарбування внутрішньоклітинних структур дріжджів у розчині метиленової сині. Постановка дослідження здійснювалася у формі чотирифакторного експерименту.

До числа запланованих було віднесено вакуумування рідинних середовищ (вода, пиво, сусло, розчини цукрів) з мікроорганізмами. При цьому була передбачена можливість здійснення вакуумування без кипіння середовища і в режимі адіабатного кипіння. При цьому температури середовищ в усіх випадках витримувалися з обмеженням максимального значення $t \leq 38^\circ\text{C}$, що виключало летальні ефекти за цим показником.

Результати дослідження. У публікації [8] показано наявність впливу різниці осмотичних тисків середовища і клітинного соку на динаміку зброджування цукру, а тому логічним є продовження досліджень з визначення дії осмотичних тисків середовищ на рівень летальних ефектів за різних фізичних впливів.

Як відомо, витримка дріжджів у воді супроводжується підвищенням у клітинах фізичного тиску. Передавання дріжджів в осмотично активний розчин приводить до зменшення фізичного тиску, що повинно мати відповідне відображення за вакуумування.

Організація дослідів без кипіння і з кипінням середовищ здійснювалася за рахунок різних початкових температур середовищ. Вакуум-насос у складі лабораторної установки забезпечував залишковий тиск у вакуумній камері на рівні 0,002—0,004 МПа, що відповідає діапазону температур кипіння середовищ $\sim 20...30^\circ\text{C}$. Тому за початкових температур середовищ $t(p) \leq 15^\circ\text{C}$ кипіння не мало місця, а перехід до початкових температур середовищ $20 < t(p) \leq 38^\circ\text{C}$ забезпечував режим адіабатного кипіння.

Узагальнені результати експериментальних досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати оцінювання летальних ефектів вакуумування

Середовище	Початкова температура середовища, °C	Залишковий тиск у вакуумній камері, МПа	Рівень летальних ефектів, %	Початкова температура середовища, °C	Залишковий тиск у вакуумній камері, МПа	Рівень летальних ефектів, %
	без адіабатного кипіння			з адіабатним кипінням		
Вода+дріжджі	15	0,002	75	38	0,002	90
10% розчин цукру у воді+дріжджі	15	0,002	50	38	0,002	70
15% розчин цукру у воді+дріжджі	15	0,002	30	38	0,002	60

З табл. 1 видно, що збільшення осмотичного тиску розчину послаблює рівень летальних ефектів від вакуумування, яке в цій групі дослідів продовжувалося протягом 10 хв. Разом з тим суттєвий вплив на досягнення летальних ефектів має організація адіабатного кипіння середовищ.

Дослідження показали, що на рівень летальних ефектів впливають такі показники, як час витримки середовища у вакуумній камері та динаміка зміни тиску у вакуумній камері від максимального до мінімального значень. Узагальнені дані цієї серії досліджень наведені в табл. 2. Стабілізована на рівні 8°C початкова температура середовищ забезпечувала відсутність адіабатного кипіння. Разом з тим з табл. 2 видно відчутний вплив швидкості зменшення тиску від початку вакуумування до його завершення на рівень летальних ефектів.

Наведені в табл. 2 і 3 узагальнені результати досліджень надають можливість оцінки у виборі параметрів впливу. При цьому не виключена наявність взаємних впливів факторів і перехід до комплексної оцінки доцільно шукати на шляху багатфакторного експерименту.

Таблиця 2. Дані оцінювання впливів часу вакуумування і динаміки зміни тиску на рівень летальних ефектів

Середовище	Початкова температура середовища, °C	Час зниження тиску, с	Час витримки у вакуумній камері, с	Рівень летальних ефектів
Вода+дріжджі	8	90	60	20
Вода+дріжджі	8	90	120	30
Вода+дріжджі	8	90	1200	100
Вода+дріжджі	8	15	10	95
Вода+дріжджі	8	15	30	100
Вода+дріжджі	8	15	60	100

Перелік і значення факторів нижнього та верхнього рівнів наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Фактори нижнього і верхнього рівнів

Параметр	Одиниця вимірювання	Код	Рівні			Інтервал варіювання
			нижній	нульовий	верхній	
Початкова температура середовища t	°C	z_1	8	23	38	15
Концентрація СР	%	z_2	0	7,5	15	7,5
Час витримки у вакуумній камері, τ	с	z_3	10	605	1200	595
Швидкість зміни тиску у вакуумній камері, dP/dt	МПа/с	z_4	0,0001	0,0003	0,0005	0,0002

Дослідження планується як повний факторний експеримент за чотирьох факторів і йому відповідає постановка 16 дослідів.

Матрицю планування, що їм відповідає, представлено у табл. 4.

Таблиця 4. Матриця планування

№ п/п	z_1	z_2	z_3	z_4	$z_1 z_2$	$z_1 z_3$	$z_1 z_4$	$z_2 z_3$	$z_2 z_4$	$z_3 z_4$	$z_1 z_2 z_3$	$z_1 z_3 z_4$	$z_2 z_3 z_4$	$z_1 z_2 z_3 z_4$	z_0	Рівень летального ефекту, %
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	50
2	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	60
3	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	40
4	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	50
5	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	95
6	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	100
7	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	60
8	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	65
9	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	30
10	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	50
11	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	40
12	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	60
13	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	95
14	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	100
15	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	45
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	97

Сучасний стан теорії багатфакторного експерименту надає можливість у кількісній формі показати вплив факторів на вихідну величину, якою є рівень летальних ефектів. У зв'язку з проведенням дворівневого експерименту кожен фактор набуває два значення (верхнє і нижнє). Набори верхніх і нижніх значень факторів створюють область експерименту. Завершується експеримент побудовою поліноміальної моделі.

Дослідження виконувались на камерній вакуумпакувальній машині Easy PACK фірми WEBOMATIC (Німеччина), а результати визначення рівнів летальних ефектів представлено у табл. 4.

Математична обробка результатів експериментальних досліджень представлена у вигляді рівняння:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & 64,812 + 7,937z_1 - 7,687z_2 + 17,312z_3 - 0,187z_4 + 2,9375z_1z_2 + \\ & + 2,3125z_1z_3 + 4,1875z_1z_4 - 7,6875z_2z_3 + 3,5625z_2z_4 + 2,3125z_3z_4 + \\ & + 2,9375z_1z_2z_3 + 1,6875z_1z_3z_4 - 1,4375z_2z_3z_4 + 2,9375z_1z_2z_4 + \\ & + 2,937z_1z_2z_3z_4. \end{aligned}$$

Опрацювання даних дослідження базується на методах математичної статистики, використання яких можливе за припущення, що отримані результати мають нормальне розподілення.

З рівняння видно, що найбільший ефект у напрямку досягнення летальних ефектів має фактор z_3 — час витримки біологічної системи у вакуумній камері після

досягнення кінцевого тиску. На те, що час витримки у вакуумній камері є найбільш ефективним фактором, вказує кореляційний коефіцієнт при z_3 дорівнює +17,312. Фізична суть впливу цього фактора пояснюється комплексом причин, до яких слід віднести зміну в швидкостях масообмінних процесів, особливо по CO_2 . Насправді, відповідно до закону Генрі за тиску, що наближається до нуля, тоді як всередині клітини фізичний тиск підтримується на рівні, що відповідає осмотичному тиску клітинного соку, видалення CO_2 через цитоплазматичну і клітинну оболонки сповільнюється аж до повного припинення. Такі умови мають привести, як мінімум, до бактеріостатичних і, врешті, до летальних ефектів.

У зв'язку з викладеним слід зробити висновок про те, що зниження осмотичного і фізичного тиску клітинного соку має привести до зниження летальних ефектів за інших рівних умов. Досягти зниження вказаних тисків клітинного соку можливо за рахунок збільшення осмотичного тиску розчину. З табл. 4 видно, що подвійний ефект впливу осмотичного тиску розчину цукру (фактор z_2) значною мірою нівелює вказаний ефект з порушення швидкості масообмінних процесів.

Це підкреслюється тим, що у всіх дослідях, у яких концентрація цукру є максимальною, летальні ефекти суттєво знижуються, чому також відповідає кореляційний коефіцієнт при z_2 , рівний -7,687.

Тільки у тих дослідях, де має сполучення максимального фактора z_3 і мінімального z_2 летальні ефекти наближаються до 100%.

Оцінка по впливу фактора z_2 приводить до висновку, що підвищення осмотичного тиску середовища, в якому знаходяться мікроорганізми, створює бар'єр на шляху досягнення летальних ефектів. Прийнята у дослідях концентрація цукру 15% відповідає осмотичному тиску 1,0685 МПа.

Водночас слід звернути увагу на те, що у бродильних виробництвах вказана концентрація цукру у більшості випадків є граничною. Відомі також рекомендації підтримувати концентрацію цукрів маючи на гранично нижньому рівні у виробництві хлібопекарських дріжджів. За порушення цієї умови швидкість масообмінних процесів і приросту біомаси зменшуються.

Другим за інтенсивністю фактором впливу у напрямку досягнення летальних ефектів у дослідях визначено початкову температуру середовища (фактор z_1). Кореляційний коефіцієнт цього фактора становить величину +7,937. Звернемось до пар дослідів, які відрізняються лише верхнім і нижнім рівнями фактора z_1 (досліди 1—2; 3—4; 5—6...). В умовах, коли має місце адіабатне кипіння при вакуумуванні, припущення рівня летальних ефектів складає близько 10%.

Виходячи з принципу суперпозиції, слід очікувати найбільших рівнів летальних ефектів за найкращого сполучення рівнів факторів z_1 , z_2 та z_3 , оскільки четвертий незалежний фактор має найменший і відносно малий кореляційний коефіцієнт — 0,187. Такому найкращому сполученню відповідають значення факторів z_1 — max; z_2 — min; z_3 — max. Таке сполучення реалізується у дослідях № 6 і № 14 і йому відповідають летальні ефекти на рівні 100%.

Вплив швидкості зниження тиску за вакуумування у цих дослідях виявився незначним. Усупереч сподіванням зростання швидкості зниження тиску приводить до зменшення функції відгуку, хоча зменшення майже не відчутне. Проте в загальній оцінці ситуації і цьому результату можливо знайти пояснення. Очевидно, що зростанню швидкості зниження тиску відповідає загальне зниження часу вакуумної обробки.

Одержані результати сукупності впливів вказаних факторів надають можливість прогнозу й окреслення сфер використання одержаної наукової інформації.

Вакуумне пакування харчової продукції здійснюється за відповідних стандартів параметрів і в загальних випадках такий чинник, як осмотичний тиск розчину, є стабілізованим. До числа керованих параметрів при цьому відносяться температура, рівень залишкового тиску вакуумування і час витримки вакуумованого середовища.

Одержана в дослідях інформація дає підстави пояснити нестабільність результатів летальних ефектів за вакуумного оброблення, наприклад, питної води [5]. Залишковий тиск вакуумування і витримка в часі стабілізованої таким чином системи повинні бути цілком певними. Разом з тим не слід нехтувати можливістю організувати адіабатне кипіння оброблюваного середовища.

У проведених дослідях час адіабатного кипіння залежав від початкового енергетичного потенціалу середовища, мірою якого була температура. Подібні умови мають місце і при вакуумному пакуванні продукції.

Однозначно підвищенню рівня асептичного стану продукції відповідає підвищення початкової температури. Однак і цей показник по кожному виду продукції певним чином регламентується.

Щодо вакуумної асептичної обробки води існує умовне обмеження, пов'язане з енергетичними витратами для забезпечення заданої початкової температури.

Частка впливу від адіабатного кипіння порівняно з рівнем вакуумування і часом витримки може бути збільшена за рахунок зовнішнього підведення теплоти до оброблюваного середовища і продовження таким чином часу кипіння.

Використання вакуумної обробки для досягнення асептичного стану продукції певним чином обмежене заданою продуктивністю обладнання для пакування продукції, однак в умовах технологічної обробки ці обмеження знімаються.

Адіабатне кипіння у поєднанні з вакуумуванням відносяться до суто фізичних чинників, які з повним правом можна вважати екологічно чистими технологіями.

Саме на цій основі слід шукати шлях до мікробіологічної чистоти питної води як загального, так і спеціального забезпечення. Іншими точками прикладання вакуумних технологій з елементами адіабатного кипіння є виробництво напоїв, соків, компотів, хоча при цьому слід пам'ятати про дестабілізуючу в асептуванні роль осмотичних тисків.

Результати експериментальних досліджень однозначно вказують на зменшення рівня летальних ефектів зі збільшенням осмотичних тисків середовищ. При цьому має місце підсилення ефектів за переходу середовища до режиму адіабатного кипіння, яке є наслідком його вакуумування. Пояснення цих факторів потребує розробки відповідної гіпотези.

Фарбування внутрішніх структур дріжджових клітин у розчині метиленової сині вказує на те, що має місце руйнування цитоплазматичних і клітинних оболонок. Воно могло відбутися за двох груп чинників, до яких віднесемо зовнішні і внутрішні впливи. До зовнішніх належать тиск, температура, кавітаційні явища в режимах адіабатного кипіння і навіть геометрія об'єму, в якому розташовано середовище. Останнє пов'язано з тим, що залишковий тиск у вакуумній камері і висота стовпчика середовища можуть бути співрозмірними, і в результаті дестабілізується адіабатне кипіння в повному об'ємі.

Адіабатне кипіння має активні прояви щодо різних складових розчинів, однак стосовно клітин мікроорганізмів термодинамічні параметри середовища не досягаються. Пов'язано це з тим, що фізичний тиск клітинного соку, рівний різниці його

осмотичного тиску і осмотичного тиску середовища, може набагато перевищувати фізичний тиск у вакуумній камері. Останнє приводить до висновку, що в таких умовах утворення парової фази розчинника в середині клітини неможливе.

Однак з наближенням осмотичних тисків середовища і клітинного соку очікується зниження фізичного тиску в клітинах. Отже, можемо констатувати, що зі зменшенням осмотичного тиску середовища (аж до нуля для дистильованої води), можливості утворення парової фази знижуються, а за якогось граничного значення π_2 утворення парової фази стає неможливим.

Проте серед діючих факторів залишаються розчинені в клітинному соку газу. Рідинне середовище насичене розчиненими газами, до яких слід віднести азот і діоксид вуглецю. Рівень насиченості при цьому відповідає закону Генрі.

Азот як інертний газ потрапляє в середовище з повітря, тому його вміст у розчиннику є цілком визначеним. Вміст кисню може бути різним у зв'язку з тим, аеробним чи анаеробним є процес. Стосовно діоксиду вуглецю однозначно можна стверджувати про його наявність у клітинному соку і рідинному середовищі. При цьому обов'язковим є перебільшення концентрації CO_2 у соку над концентрацією його в рідинному середовищі, оскільки дріжджі є джерелом синтезу діоксиду вуглецю. Вказана різниця концентрацій є рушійною силою, а кількість розчиненого CO_2 в стані рівноваги відповідає певним тиску і температурі.

Активне зниження тиску у вакуумній камері знижує фізичний тиск у мікробіологічній клітині, завдяки чому порушується стан рівноваги і це повинно привести до швидкого виділення газової фази, активізації масообміну по CO_2 та додаткового підвищення внутрішнього тиску у клітинах. Останнє за певних умов може привести до самостабілізації клітини на новому рівні тиску, але наслідок може бути і летальним, якщо утворення газової фази було швидким і активним. З цієї точки зору має значення не тільки загальний час вакуумування, а й швидкість зниження тиску у вакуумній камері. Проте останнє нівелюється швидкістю виділення CO_2 з клітинного соку.

Підвищення концентрації сухих речовин у середовищі, по-перше, знижує загальну розчинність газів. Це також стосується і клітинного соку. І, по-друге, підвищення осмотичного тиску середовища зменшує кількість води у клітинному соку. Отже, зростання осмотичного тиску середовища по впливу (і у тому числі летального) повинно обмежувати дію розчинених газів.

Летальні впливи розчинених газів згідно із запропонованою гіпотезою знаходяться в чіткому кореляційному зв'язку з вмістом сухих речовин у середовищі. Збільшення осмотичного тиску останнього однозначно приводить до зниження рівня летальних ефектів.

Такі внутрішні чинники, як утворення парової фази і виділення розчинених газів, можуть виникати паралельно або перший може бути відсутнім. Тому за відносно малих осмотичних тисків середовищ, що супроводжуються збільшеним фізичним тиском у мікробних клітинах, переважає вплив розчинених газів.

На додаткову перевірку останнього положення було проведено дослідження, пов'язане з організацією бродіння пивного суслу в герметично закритій упаковці. У результаті було досягнуто тиск CO_2 1,2 МПа і за температури 5°C здійснено розгерметизацію. При цьому за зниження тиску до атмосферного протягом 3—5 с летальні ефекти складали 100%. Подовження часу розгерметизації до 30 с супровод-

жувалося рівнем летальних ефектів 95—98%. Подальше сповільнення динаміки зниження тиску відчутно знижувало летальні впливи і за часу розгерметизації 5 хв вони були відсутні.

Важливе значення у таких дослідженнях має температура середовища, оскільки з її зростанням суттєво знижується розчинність газів. Так, наприклад, стала насичення по CO_2 для води при переході від 5 до 30°C знижується приблизно вдвічі. Це означає суттєве зростання енергетичного потенціалу середовища і можливість досягнення більш високих рівнів летальних ефектів.

Підвищення температури середовища, як відмічалось, перед вакуумуванням також дає змогу реалізувати накопичений енергетичний потенціал в умовах адіабатного кипіння.

Отже, за рахунок розчинення газів (найзручніше CO_2) суттєво розширюється діапазон зміни тисків і фізичних явищ, що їх супроводжують.

Висновки. Завершуючи оцінку комплексного впливу факторів z_2 і z_3 , зробимо такі висновки:

1. Вакуумування біологічного середовища за рахунок зниження сталих насичення газами рідинної фази створює обмеження в масообміні між мікробіологічними клітинами і середовищем.

2. Рівень обмежень процесів масообміну і стану мікробних клітин залежить від осмотичного тиску розчину.

3. Обмеження обмінних процесів в клітинах і в системі «клітина–середовище» за рахунок осмотичного тиску останнього приводить до зростання захисних функцій і бактеріостатичних ефектів. За рахунок зростання осмотичного тиску розчину і міграції води з клітинного соку фізичний тиск у клітинах зменшується і зменшується розчинність газів у соку. Результатом цього є обмеження рівня летальних ефектів.

4. Другим за інтенсивністю впливу фактором є z_1 — початкова температура середовища.

5. Найкращому сполученню факторів відповідають z_1 — max, z_2 — min та z_3 — max, якому відповідають 100% летальних ефектів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Локалізовані енергетичні впливи на вологовмісткі середовища харчових виробництв / Шевченко О. Ю. та ін. // Харчова промисловість. — 2012. — № 2. — С. 18—22.
2. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Фенікс, 2012. — 484 с.
3. Полумбрик М. О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / Полумбрик М. О. — Київ: Академперіодика, 2001. — 487 с.
4. Фізико-хімічні методи обробки сировини і стабілізація харчових продуктів / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Люксар, 2009. — 454 с.
5. Фізико-хімічні методи обробки сировини і харчової продукції / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Кондор, 2015. — 324 с.
6. Сторожук В. М., Мельничук О. Е. Енергоощадні технології у виробництві фруктових консервів / Сторожук В. М., Мельничук О. Е. // Наукові праці УДУХТ. — 2001. — № 10. — С. 116—117.
7. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях: монографія / Соколенко А. І., Мазаракі А. А., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Сукманові В. О. Під ред. Соколенко А. І. та ін. — Київ: Фенікс, 2011. — 536 с.
8. Інтенсифікація енерго- масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних і мікробіологічних виробництв / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Кондор, 2018. — 212 с.

9. Безпалько С. А. Дослідження дисипативного нагрівання в замкненому контурі теплогенератора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.06. Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут». — Київ, 2008. — 20 с.

10. Енергетичні імпульси в харчових технологіях / Соколенко А. І. та ін. // Наукові праці НУХТ. — 2012. — № 47. — С. 73—78.

11. Піддубний В. А. Інтенсифікація масообміну в умовах перехідних процесів Піддубний В. А. — Київ: Люксар, 2006. — 348 с.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕД НА УРОВЕНЬ ЛЕТАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ВАКУУМИРОВАНИИ

К. В. Васильковский, А. В. Дереновская, И. Ф. Максименко, Е. Л. Скуйбида
Национальный университет пищевых технологий

Статья касается взаимосвязей между термодинамическими параметрами переходных процессов, временем их осуществления, начальной температурой, концентрацией сухих веществ, скоростью изменения давления во влиянии на уровне летальных эффектов микрофлоры, присутствующих в обрабатываемых средах, концентрации растворенных газов, ограничения обменных процессов в клетках и системах «клетка–среда» за счет осмотических давлений при течении процессов вакуумирования.

Показано, что за счет увеличения осмотических давлений и миграции воды из клеточного сока физическое давление в клетках уменьшается и растворимость газов в клеточном соке ограничивается. Результатом этого есть ограничение уровня летальных эффектов.

Ключевые слова: вакуумирование, летальный эффект, осмотическое давление, микроорганизмы, фактор влияния.