ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ПІДГОТОВКИ СПОЖИВЧОЇ ТАРИ, МАТЕРІАЛІВ І ПРОДУКЦІЇ ДО ФАСУВАННЯ

Олександр Семенов, Віталій Підлісний, Віктор Федорів, Михайло Горбатюк
Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський
som_s78@ukr.net, v.pidlisnyj37@gmail.com, fedoriv55@ukr.net
https://doi.org/10.37406/sXXIcp.2021.v2.21

Вступ

Сукупність фізичних і хімічних методів, що використовуються у процесах підготовки скляних, жерстяних банок і пляшок, плівкових або комбінованих матеріалів, з яких формуються "м'які" упаковки тощо, дозволяють наблизитися до виконання умови: "*…стерилізований продукт в стерильних умовах фасується у стерильну тару…"*. Поєднання цих трьох вимог відноситься до значної кількості і видів продукції і їх досягнення потребує не менш значних технологічних і енергетичних зусиль ніж у тих випадках, коли теплова обробка стосується фасованої і герметизованої продукції. Однак ці два вказаних напрямки мають подібні складові процесів.

Наприклад, вимога найменшого мікробіологічного забруднення сировини стосується всіх технологій харчових виробництв, підготовки тари, пакувальних матеріалів, здійснення процесів формування упаковок, процесів фасування тощо. Відмічене стосується як теплових методів пастеризації, так і стерилізації. Терміни "*пастеризація*" і "*стерилізація*" в класичному розумінні стосуються методів термічної обробки продукції. За стерилізації забезпечується повна загибель нетермостійкої спороутворюючої (вегетативної) мікрофлори і зменшення концентрації спороутворюючих мікроорганізмів до певного заданого рівня, достатнього для попередження мікробіального псування продукції під час зберігання в межах температур 15-30°С, а при необхідності і за більш високих температур з гарантією безпеки їх вживання. Відбувається стерилізація за температур більших 100°С, найчастіше при 120°С. Продукція, що пройшла таку обробку називається *повними консервами* [3].

Окремим випадком стерилізації є субстерилізація – термічна обробка продукції, що забезпечує загибель нетермостійкої неспороутворюючої мікрофлори і зниження концентрації мікроорганізмів до рівнів, що гарантують відсутність псування продукції під час зберігання при температурах 2-15°С і безпеку вживання на протязі зазначеного терміну зберігання. Температурний діапазон субстерилізації складає 100-110°С, а продукція, що їм відповідає, називається *напівконсервами*.

Пастеризація продукції – це термічна обробка, що забезпечує загибель дріжджів, плесеневих грибів і вегетативних форм бактерій в продуктах, що містять органічні кислоти, цукор, консерванти або інші речовини, що протидіють розвитку спорової мікрофлори.

Пастеризація продукції в потоці відбувається при температурах 70-120°С, а обробка фасованої продукції за температур менше 100°С.

Окремим випадком пастеризації слід вважати гаряче фасування. Термічна обробка при цьому має місце до фасування, однак досягнення летальних ефектів продовжується у названих стадіях і навіть по їх завершенню. При цьому забезпечується загибель дріжджів, плесеневих грибів, вегетативних форм бактерій,

обмежується розвиток спорових бактерій в продукції і упаковці за рахунок високої температури. Фасують продукцію в тару, температура внутрішньої поверхні якої більша 60°С, а у самого продукту вона близька до температури його кипіння.

Накопичений досвід термічної обробки продукції, пов'язаний з двома такими параметрами, як температура і час, певною мірою використовується і стосовно підготовки тари, пакувальних матеріалів, сформованих упаковок тощо. Очевидно, що з цієї точки зору важливе значення має інформація щодо впливу на мікроорганізми вегетативних і спорових форм різних фізичних і хімічних впливів або їх комбінацій.

Розділ 1.

Термостійкістю мікроорганізмів називають здатність клітин зберігати репродуктивні властивості за прогрівання їх до температур вищих за максимальні граничні температури їх розвитку. За сублетальних руйнувань має місце помітна різниця по рівню виживання на живильних середовищах оброблених і необроблених мікроорганізмів. Після відновлення структур від сублетальних руйнувань клітини відновлюють репродуктивні властивості. Таке відновлення можливе у тих випадках, коли в середовищах є хімічні компоненти, необхідні для ресинтезу нативних структур пошкоджених молекул. Відновлення структур інколи потребує достатньо подовжених термінів до повного відновлення життєдіяльності мікроорганізмів. Підвищені потреби сублетально пошкоджених клітин до живильних елементів супроводжуються підвищеною чутливістю до інгібіторів росту, наприклад до органічних кислот, нітритів, консервантів, антибіотиків, NaCl тощо. За сучасними поглядами втрата здатності спор до проростання і клітин до репродукції обумовлюється термічною денатурацією білкових речовин або нуклеїнових кислот. При цьому мають місце зміни специфічної конфігурації молекул, пов'язані з розривом внутрішньомолекулярних водородних зв'язків. Відмітимо, що подібна денатурація може бути як зворотною, так і незворотною. Загибель клітин і спор в результаті денатурації пов'язують з порушенням репродуктивного апарата або метаболічної системи, що забезпечує клітину енергією і хімічними речовинами.

Денатурацію білків і нуклеїнових молекул викликають також кислоти. У присутності кислоти іони кальцію (Ca^{2+}) та інші метали у процесі обміну речовин клітин видаляються (за pH≤4,0) і при цьому спори переходять у водневу термочутливу форму. Останнє дозволяє помітно знижувати температуру пастеризації, наприклад для плодоягідних консервів (нижче 100°С).

Рівень летальних ефектів також суттєво залежить від вологості навколишнього середовища.

Термостійкість мікроорганізмів у вологому середовищі помітно нижча, ніж у сухому повітрі або у перегрітій парі. При цьому показник термостійкості в залежноті від вологості продукту для різних видів мікроорганізмів різний. На термостійкість також впливає активність води (a_w). Саме тому зміна активної вологості продукції за рахунок додавання цукру, солі й інших хімічних компонентів і тим самим зниження a_w не тільки продукту а і клітин приводить до зниження летальних ефектів.

На стійкість мікроорганізмів щодо різних фізичних (у тому числі і термічних) факторів впливають не лише pH і a_w, але і концентрація іонів органічних кислот, вуглеводів, білків, жирів тощо. В узагальнюючій оцінці таких впливів слід погодитися з Шевченком О.Ю. [7], який пропонує повернуться до врахування осмотичних тисків розчинів.

Таким чином, стійкість мікроорганізмів щодо різних факторів впливів є

функцією спадковості, фізіологічного стану клітин або спор, у тому числі і комбінацій факторів впливів.

Вибір методів обробки тари і пакувальних матеріалів, як правило, ґрунтується на тому, що рівень досягнення летальних ефектів стосується всієї популяції мікроорганізмів. Однак досвід оцінки подібних явищ вказує на присутність їх гетерогенних властивостей. Останнє на рівні гіпотези знаходить своє відображення в математичних моделях, що ґрунтуються на реакціях 1-го порядку у формі рівняння Арреніуса:

$$K = A\exp\left(-\frac{E_{акт}}{RT}\right), \quad (1)$$

де К – константа швидкості загибелі, функція наслідкових властивостей, фізіологічного стану мікроорганізмів, умов і температур нагрівання;

А – передекспоненціальний множник, с;

$E_{акт}$ – енергія активації, кал/моль;

R – газова стала;

T – абсолютна температура.

Інший і розповсюджений підхід стосується використання кривих виживання, які представляються у формі графічної залежності кількості живих мікроорганізмів від часу за нагрівання. Рівняння кривої виживання має вигляд:

$$N_\tau = N_0 \exp(-K\tau), \quad (2)$$

де N_τ і N_0 – відповідно кількості клітин, що вижили, та їх початкової кількості.

Форми кривих виживання суттєво відрізняються в залежності як від виду популяції, так і характеристик середовища.

Рівень інформативного забезпечення щодо термічних впливів на мікроорганізми, як можливо оцінити за даними літературних джерел [1-4, 6, 7], є найбільш помітним, хоча оцінці факторів впливу на мікроорганізми та їх популяції присвячена значна кількість публікацій, які стосуються практично всього електромагнітного спектра частот [4, 7]. При цьому пошуки ведуться як у напрямках активації мікроорганізмів, так і їх інактивації аж до рівня летальних ефектів.

Особливістю значної кількості харчових і мікробіологічних технологій є використання різних мікроорганізмів для здійснення перетворень вхідних матеріальних сировинних потоків, по завершенню яких мікрофлора повинна вилучатися з середовища. У зв'язку з останнім використовують методи сепарації, фільтрації, ультрафільтрації, електричну, магнітну, електромагнітну обробки, накладання надвисоких тисків, вакуумування тощо.

Розділ 2.

Аналіз результатів наукових досліджень підтверджує відоме положення про значну резистентність культур мікроорганізмів, а точніше окремої частини з них зовнішнім впливам. Ця думка підтверджується рівнем впливів, які оцінюються, наприклад, за летальними ефектами кількома, а у кращих випадках десятками відсотків.

Між тим виробників подібний результат задовольнити не може, оскільки весь об'єм випущеної продукції повинен відповідати асептичному стану. Очевидно, що саме у зв'язку з останнім загально визнаними зі значного числа можливих технологій асептичної обробки продукції продовжують залишатись теплова на рівні пастеризації і стерилізації та застосування консервантів.

На рівні бактеріостатичних впливів ефективними є стабілізація показників продукції за рахунок охолоджування та заморожування, використання вакуумних упаковок або модифікованих газових середовищ. Динаміку розвитку двох останніх можливо оцінити за тими послідовними змінами, які відслідковуються в обладнанні закордонних поставок. Очевидно, що фірми-розробники нової техніки мають за технологічне підґрунтя особливості перебігу фізико-хімічних процесів, характерних для продукції і мікрофлори, що її супроводжує. Однак подібна інформація не потрапляє до споживачів технічних засобів з цілком зрозумілих причин, але аналіз рекомендованих правил і режимів експлуатації обладнання спонукає до об'єктивної оцінки максимально значущих положень теоретичного підґрунтя.

Метою цього розділу є аналіз подібної ситуації, пов'язаної з оцінкою параметрів роботи фасувального автомата фірми KHS, що в блоці з закупорювальним автоматом використовується для фасування газованих напоїв, пива, шампанського тощо. При цьому має бути виконана тріада умов, а саме: асептичний продукт в асептичних умовах фасується в асептичну тару.

Перша складова тріади виконується за рахунок використання пастеризаторів для теплової обробки продукції в потоці. Виконання двох інших умов є дещо складнішим, і це ускладнення пов'язане з особливостями роботи машин і застосуванням для обполіскування пляшок (банок) у фінальній стадії питної води, яка не є асептичною. Неасептичним є також повітряне середовище робочих приміщень.

У зв'язку з зазначеним у роботі фасувального автомата передбачено триразове вакуумування скляних пляшок з максимальною технологічно можливою глибиною вакуумування, за якої відбувається перехід за точку адіабатного кипіння залишків вологи. Як показано у дослідженнях О.Ю. Шевченка [7], подібні режими супроводжуються летальними ефектами щодо мікрофлори і на додаток зумовлюють фізичне вилучення мікроорганізмів, що перебувають у газовій частині об'єму пляшки.

Важливо, що у проміжках між операціями вакуумування відбувається заповнення пляшок діоксидом вуглецю з тиском, що відповідає тиску при фасуванні продукції. Звичайно цей показник перебуває в межах від 0,25 до 0,35МПа.

Оскільки діоксид вуглецю належить до добре розчинних газів і завдяки зазначеному показнику парціального тиску CO_2 відбувається швидке насичення залишків рідинної фази. Враховуючи незначну товщину шару залишків рідини, слід погодитися з припущенням про можливість досягнення рівня насичення, що відповідає стану рівноваги в системі рідина – газ (закон Генрі). Наслідком останнього стає порушення умови рівноваги в системі „середовище – мікробна клітина" і дифузії CO_2 через напівпроникні клітинну оболонку і цитоплазматичну мембрану. За невідомої для нас швидкості перебігу такого процесу можемо вказати лише на фактори, які йому сприяють.

У процесах дифузійного масообміну, у тому числі і через напівпроникні мембрани, вирішальну роль відіграють такі рушійні фактори, як різниця концентрацій та поверхня масообміну.

Звичайно, рушійним фактором виступає різниця концентрацій:

$$c_н - c_\tau, \qquad (1)$$

де $c_н$ – концентрація розчинюваної речовини, що відповідає стану насичення;

c_τ – плинна концентрація.

Тоді у загальновизнаній формі процес дифузії CO_2 відображається залежністю:

$$\frac{dG}{d\tau} = k_L F\left(c_н - c_\tau\right), \quad (2)$$

де k_L – коефіцієнт масопередавання дифузії;

F – поверхня, через яку відбувається дифузійне масопередавання;

τ – час процесу.

Відмітимо важливу особливість, пов'язану з визначенням константи насичення $c_н$.

За законом Генрі маємо:

$$c_н = kp, \quad (3)$$

де k – константа Генрі;

P – парціальний тиск газової фази.

Якщо масообмін має місце в системі "газ – рідина", то тиски зовнішнього рідинного середовища і у газовій бульбашці маємо з малопомітною різницею, що дозволяє визначити величину $C_н$ через значення суми зовнішнього і гідростатичних тисків. Однак на границі поділу рідинного середовища і клітинного соку (тобто на клітинній й цитоплазматичній оболонці) існує суттєво помітний стрибок градієнта фізичного тиску, величина якого пов'язана з осмотичним тиском клітинного соку. Стосовно останнього показника щодо мікроорганізмів дані авторам невідомі, однак відомо, що такий інтервал для клітин рослинного і тваринного походження є досить широким і становить від 0,5 до 20МПа. Проте за даними, що стосуються бактеріостатичних ефектів, слід очікувати величину осмотичних тисків клітинного соку мікроорганізмів на рівні 0,7–1,0МПа. Це означає, що відповідно до сучасних уявлень тиск клітинного соку дорівнює різниці парціальних тисків клітинного соку і рідинного середовища. Звідси виникає питання стосовно визначення константи насичення у рівнянні (2).

Для системи „газ – рідина" рушійна сила буде змінною і такою, що зменшується з часом рис. 1.

Для системи „середовище – мікробна клітина" як регуляторний фактор додається константа насичення по CO_2, що відповідає тиску клітинного соку (в позначці $c_{н(кл.с)}$) рис. 2.

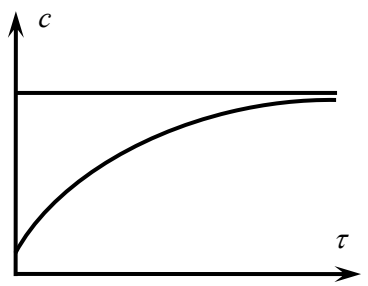

Рис. 1. Графік до визначення рушійного фактора в системі "газ – рідина"

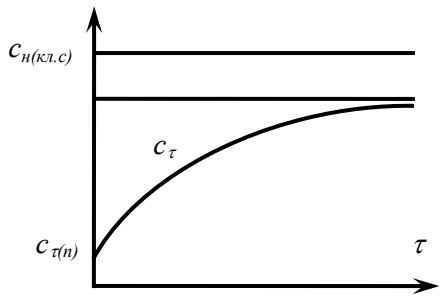

Рис. 2. Показники до визначення рушійного фактора в системі "середовище – мікробна клітина"

Зі збільшенням різниці ($c_{н(кл.с)} - c_н$) вплив її на масообмін зростає у напрямку збільшення, і навпаки. Найповільнішим процес буде за рівності $c_{н(кл.с)}=c_н$ і на початку процесу рушійний фактор визначається різницею $c_н$ і початковою концентрацією $c_{τ(п)}$,

а потім поступово зменшується і визначається як $c_н – c_τ$.

Як бачимо, вплив на рушійний фактор за інших рівних умов суттєво залежить від створюваного фізичного тиску на систему, який слід розглядати як регульований фактор.

Разом з тим, слід зробити порівняльну оцінку впливу на процес такого фактора, як поверхня масопередавання F.

У процесах масообміну через напівпроникні мембрани в умовах прямого і зворотного осмосу параметри і характеристики відомі або визначаються в дослідах. Порівняння за параметром площі здійснили стосовно системи „рідина – газова бульбашка”. При цьому приймемо розмір бульбашок від 1 до 10мм у діаметрі і будемо їх вважати сферичними. Також сферичними вважаємо і мікробні клітини з діаметром від 1 до 10мкм. Дані для визначення відношення площі об’єкта S до його об’єму V наведено у таблиці 1.

Як бачимо, перехід до мікробних клітин з масштабом у діаметрі 1:1000 у такому ж співвідношенні приводить до зростання показника питомої площі масообміну. Отже, можна зробити висновок про можливу високу швидкоплинність процесів масообміну у світі мікроорганізмів і у тому числі стосовно насичення клітинного соку діоксидом вуглецю. За вказаних співвідношень лімітування процесу сорбції CO_2 повинно мати місце в системі „газова фаза – рідинна фаза”. Проте з урахуванням її фізичного стану слід зробити висновок про швидкоплинність насичення рідинної фази діоксидом вуглецю.

Таблиця 1

Відношення площі об’єкта S до його об’єму V

Газові бульбашки										
Діаметр, $м·10^{-3}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S/V, $м^{-1}$	6	3	2	1,5	1,2	1,0	0,857	0,75	0,667	0,6
Мікробні клітини										
Діаметр, $м·10^{-6}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S/V,$м^{-1}·10^{-6}$	6	3	2	1,5	1,2	1,0	0,857	0,75	0,007	0,6

На наступному етапі вакуумування зі зниженням тиску від 0,25–0,30МПа до кінцевого 0,01МПа перепад становитиме 250–300 одиниць. Це означає, що за таких умов реалізується технологія різкої зміни тиску (ТРЗТ) [5] з наступним вакуумуванням і його ефектами. Ці обидві стадії супроводжуються летальними ефектами, що, очевидно, становить мету поєднання вакуумування і витримки в часі.

Окрім вказаних ефектів фізичних впливів заслуговує на увагу режим адіабатного кипіння залишків вологи, що супроводжується певним охолодженням скляної тари. Адже відомо, що випаровування 1г води потребує витрат 2258Дж теплової енергії, яка відбирається від охолоджуваного об’єкта. Зважаючи на те, що температура пива, шампанського, газованих напоїв тощо при фасуванні становить 2–3°С, зниження температури пляшок у режимі вакуумування має позитивну роль, оскільки воно призводить до зменшення температурних напружень безпосередньо при фасуванні і втрат продукції.

Додаткове охолодження пляшок відбувається у зв’язку з заповненням їх діоксидом вуглецю. Ця операція здійснюється за рахунок з’єднання об’ємів пляшки і

газованого простору напірного баку фасувального автомата, в якому рідинна і газова фаза перебувають в стані термодинамічної рівноваги. Це означає, що температури вказаних фаз однакові. Проте, перехід CO_2 з напірного баку в вакуумований об'єм пляшки супроводжується зміною тиску від p_1 до початкового $p_{2(п)}$, який поступово зростає і наближається до p_1. У такому перехідному процесі тиск p_2 є функцією часу, тобто:

$$p_2 = p_2(\tau) \tag{4}$$

і тоді температура газу в пляшці T_2 визначається залежністю:

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2(\tau)}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}}, \tag{5}$$

де T_1 – абсолютна температура газової фази в напірному баку фасувального автомату;

m – показник політропи процесу.

За показників політропи m=1,3 та m=1,2 у таблиці 2 наведено співвідношення температур T_1/T_2 за перепадів тиску P_1/P_2.

Окрім того в таблиці 2 наведені значення температури газової фази t_2 в об'ємі пляшки в градусах Цельсія, вирахувані при T_1=276К. Аналіз останніх вказує на те, що час перехідного процесу повинен супроводжуватися охолодженням пляшки зі спадаючою інтенсивністю, проте і на завершення вирівнювання тисків при $t_2 \approx 3°C$, температурний напір має місце. Це означає, що за збереження сталого тиску $p_2=p_1$ теплообмін продовжується, а у наступному стані різкого зниження тиску p_2 до атмосферного і вакуумування температура газової фази T_2 відповідно зменшується і теплообмін знову інтенсифікується.

Таблиця 2

Відношення температур T_1 і T_2 газової фази в пляшках і напірному баку в перехідному процесі

Відношення температур T_1/T_2										
p_1/p_2	9	8	7	6	5	4	3	2	1,5	1,1
m=1,3	1,66	1,616	1,566	1,512	1,449	1,307	1,289	1,174	1,098	1,072
m=1,2	1,442	1,414	1,383	1,348	1,378	1,26	1,201	1,123	1,07	1,016
t_2, °C при m=1,3	-106,7	-102,2	-96,8	-90,5	-82,5	-61,8	-58,9	-37,9	-21,6	-2,94
t_2, °C при m=1,2	-81,6	-77,8	-73,4	-68,3	-72,7	-54,0	-43,19	-27,2	-15,0	-1,35

Загальний вигляд графіків зміни тиску і температури газової фази на протязі трьох етапів показано на Рис. 3. Перший етап відповідає заповненню пляшки діоксидом вуглецю, другий – витримці в часі при $p_2=p_1$, а третій – падінню тиску газової фази і вакуумуванню. При цьому максимальна температура газової фази близька до значення T_1=276К.

Вибір показника політропи в розрахунках прийнято умовно з метою оцінки напрямів впливу і їх порядку. Наявність надійних даних може бути базою для більш точних розрахунків, складання теплових балансів, оцінки температурних стресів мікроорганізмів тощо.

З вищевикладеного можна зробити наступні висновки. Фізичні впливи на основі вакуумування і технологій різкої зміни тисків знаходять практичну реалізацію в сучасних фасувальних автоматах.

Наслідками вакуумування і різкої зміни тисків є асептична підготовка внутрішнього об'єму пляшок та їх охолодження.

Видалення повітря з такою складовою, як кисень, з пляшок забезпечує колоїдну стійкість пива, шампанського, газованих напоїв тощо.

В реалізації технологій різкої зміни тисків слід врахувати феноменологічний висновок про можливість суттєвого прискорення масообмінних процесів на межі „рідинне середовище – мікробіологічна клітина" порівняно з масообміном в системі „газова фаза – рідинна фаза".

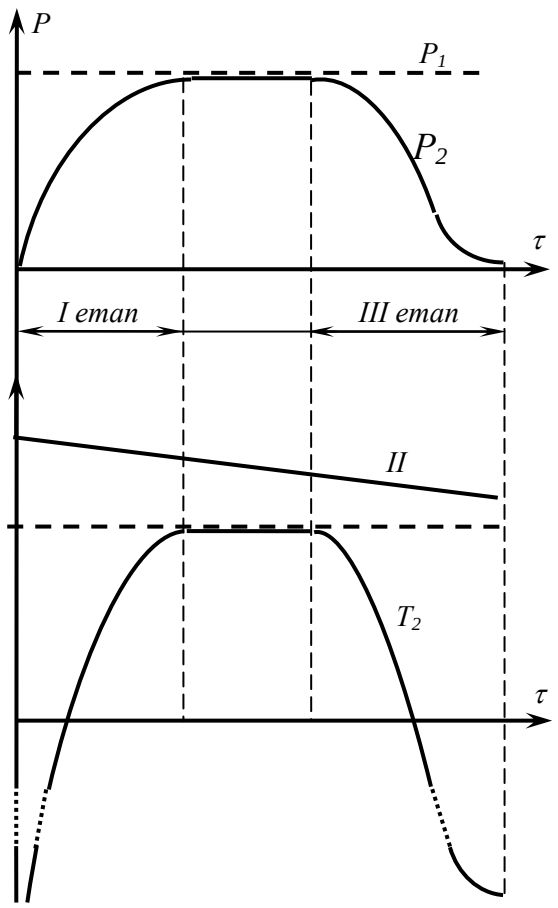

Рис. 3. Графіки зміни тиску і температури газової фази протягом трьох етапів при заповненні пляшки CO_2 і вакуумуванні

Розглянуті особливості підготовки скляної тари на автоматах фірми KHS стосуються наступного фасування газованих напоїв, для яких є небажаним контактування з повітрям, а точніше з киснем повітря. При цьому присутність операції вакуумування можлива лише за міцної і жорсткої тари, яка спроможна витримувати різницю зовнішнього тиску і залишкового тиску вакуумування. Враховуючи важливість вибраної послідовності технологічних операцій узагальнимо сукупність позитивних наслідків, які при цьому виникають, а саме:

- обмежується рівень контактування напоїв з повітрям і киснем завдяки першочерговому вакуумуванню пляшок (банок);
- перехід через температуру адіабатного кипіння залишкової вологи на внутрішній поверхні тари знижує вірогідність мікробіального забруднення, оскільки адіабатне кипіння її супроводжується видаленням мікробних структур разом з утворюваною парою;
- адіабатне кипіння залишків вологи приводить до охолодження тари, зближуючи температури останньої з температурою фасованого продукту (0-4°С). Наслідком такого зближення є обмеження термічних напружень при фасуванні і зменшення втрат тари і продукції при ізобаричному фасуванні;
- чергування операцій вакуумування і заповнення пляшок (банок) діоксидом вуглецю при тисках фасування (0,258-0,35МПа) супроводжується зміною напрямків масоперенесення на поверхні мікробних клітин. Різке зниження тиску в упаковках

приводить до критичних режимів десатурації клітинного соку мікробних клітин, що залишаються на внутрішній поверхні і у газовій фазі, і летальних ефектів;

- фасування напоїв в газову фазу CO_2 при рівноважних тисках забезпечує утримання в напоях діоксиду вуглецю в розчиненому стані і розрахункові режими заповнення тари. З цієї точки зору важливо обмежувати температурні перепади напоїв і тари, оскільки невиконання цієї умови на початковій фазі фасування приводить до активної десорбції CO_2, утворення пінної фракції і недозаповнення тари.

Перехід до технологій фасування газованих напоїв, пов'язаних з використанням ПЕТ-пляшок різних типорозмірів, привів до необхідності переглянути сукупність підготовчих операцій, оскільки вакуумування такої тари неможливе через обмежену жорсткість зовнішньому тиску. При цьому слід врахувати сукупність операцій, що виконуються як підготовчі.

У загальній постановці лінія фасування напоїв у ПЕТ-пляшках комплектується видувними машинами, на яких здійснюється формування виробів з преформ.

Операція формування починається нагріванням преформ до температур, за яких досягається асептичний стан сформованих пляшок (банок). Однак подальше транспортування виробів у загальновизнаних технологіях супроводжується за рахунок стиснутого вентиляторами повітря, яке найчастіше не підлягає асептичній обробці. В результаті гарантовано досягається неасептичний стан тари з необхідністю подальшого виправлення ситуації. Оскільки кількаразове заповнення тари діоксидом вуглецю з підвищенням тиску до значень, за яких відбувається фасування, з наступним зниженням до атмосферного не забезпечує повернення пляшкам асептичного стану, то по завершенню операцій вуглекислотного "промивання", здійснюється введення в них розпиленого консерванта (найчастіше розчину бензоата натрію), який стає складовою частиною напою або іншої продукції. Окрім цього недоліку відсутність операції вакуумування означає наявність залишків кисню в атмосфері упаковки під час фасування і після її герметизації, що пов'язано зі зниженням колоїдної стійкості напоїв, пива тощо.

Поєднання фізичних впливів в операціях підготовки скляної тари показано у вигляді блочної схеми на рис. 4. Разом з тим схема демонструє технологічні переваги використання скляної тари.

Використання технологій фасування газонасичених напоїв на основі ПЕТ-тари має за підґрунтя переваги скоріше економічного плану. На Рис. 5 зображено схему, в якій відображено недоліки і переваги цієї технології. При цьому відмітимо важливе негативне положення, пов'язане з відносно високою вартістю преформ і тари, що видувається з них і те, що ці витрати цілком відносяться на споживача продукції.

Економічні проблеми, що супроводжують цю технологію, мають подвійний рівень. Один з них стосується необхідності використання консервантів, а інший – пов'язаний з необхідністю збирання, сортування і переробки використаної упаковки. Хоча в державах Європи мають місце зразки впроваджених і діючих систем утилізації відходів, для України вирішення цієї задачі на державному рівні залишається проблематичним.

Рис. 4. Схема до визначення сукупності фізичних впливів на скляну тару в режимі передфасувальної обробки

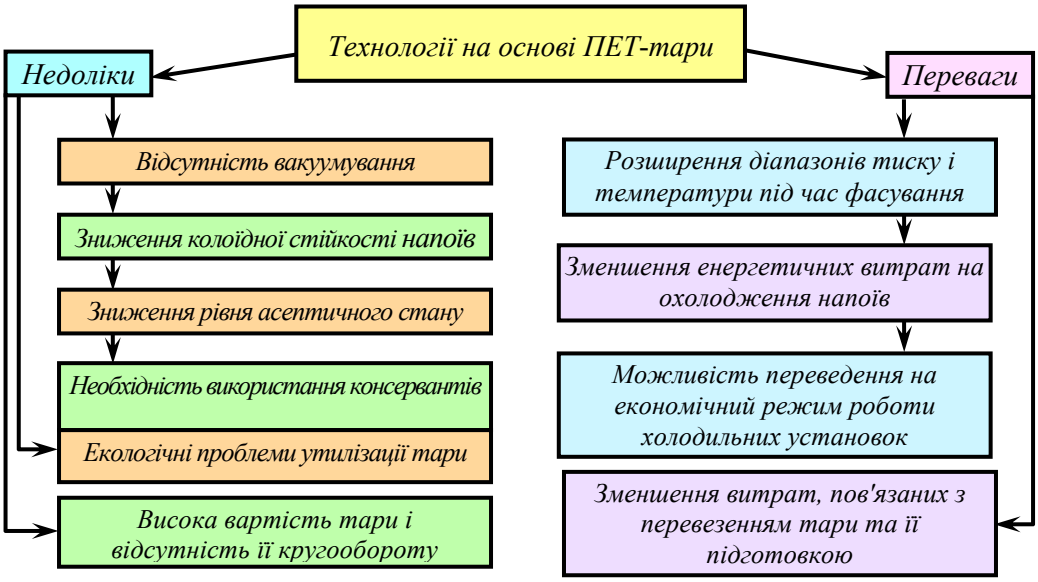

Рис. 5. Схема щодо фізичних і економічних недоліків і переваг технологій фасування газованих напоїв на основі ПЕТ-тари

На рис. 5 до числа переваг технологій фасування на основі використання ПЕТ-тари віднесено можливість розширення тисків і температур фасування в сторону збільшення останніх. По-перше, такі можливості відкриваються у зв'язку з механічною міцністю поліетилентерафталату і виробів з нього, а також у зв'язку з відсутністю впливів термічних напружень. Лабораторні дослідження ПЕТ-пляшок місткістю 1,0, 1,5 та 2,0л показали, що вони витримують внутрішні тиски до 1,3МПа без помітних залишкових деформацій. Цей показник тиску значно перевищує аналогічну характеристику скляної тари. По-друге, підвищення тиску фасування дозволяє в умовах збереження рівноваги у газорідинній системі підвищувати температуру середовища, що знаходиться у відповідності з законом розчинності

газів. Саме відповідність параметрів тиску і температури нормативному значенню вмісту CO_2 може бути забезпечена різними сполученнями. Власне нормована розчинність діоксиду вуглецю за своєю розмірністю співпадає з поняттям константи насичення $C_н$, яка визначається законом Герні:

$$C_н=kP_п, \quad (6)$$

де k – константа Герні, що залежить від властивостей газу і розчинника та температури останнього;

$P_п$ – парціальний тиск газу у газовій фазі.

На Рис. 6 наведено графічну залежність $C_н=C_н(P_п)$. В межах тисків від 0,1 до 0,7МПа остання залежність має лінійний характер, а тому константа Генрі на її графіку відображена тангенсом кута нахилу, що утворюється прямими з горизонтальною віссю. Таким чином, константа Генрі може бути представлена фукнцією температури. В роботі [1] аналітичне відображення цієї залежності здійснено для води формулою:

$$k=\exp(3{,}49–0{,}0316t). \quad (7)$$

Таким чином на графіку показано можливість сполучення температури t°C і тисків фасування P, які відповідають парціальним тискам $P_п$.

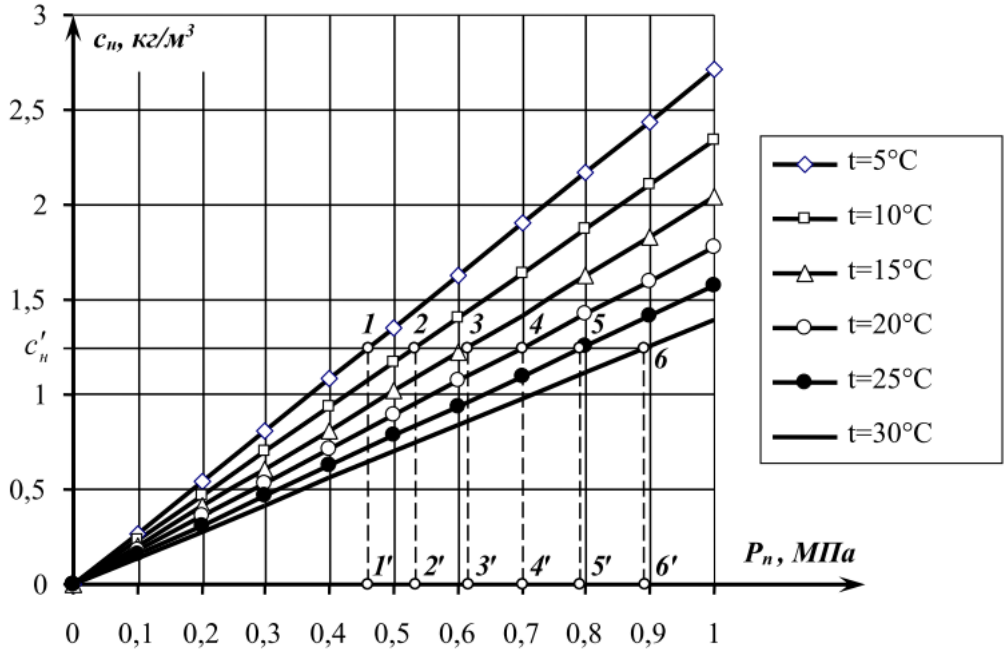

Рис. 6. Графіки залежності параметра $C_н$ для води від тиску і температури

Висновки

1. Одержано оцінку впливів вакуумування скляної тари перед фасуванням в неї напоїв. Позитивні впливи вакуумування пов'язані зі зменшенням кількості мікроорганізмів, що знаходяться в газовій фазі, залишках рідинної фази, летальними ефектами мікрофлори, додатковим охолодженням тари.

2. Чергування операцій вакуумування тари і подавання в неї діоксиду вуглецю під тиском 0,25-0,35МПа супроводжується зміною напрямків масоперенесення на поверхні мікробних клітин, що підвищує рівень летальних ефектів.

3. Перехід до використання ПЕТ-тари в операціях фасування газованих напоїв

супроводжується необхідністю відмовитися від вакуумування і заміни такого чисто фізичного впливу необхідністю використовування хімічних консервантів та до збільшення втрат діоксиду вуглецю, пов'язаних з газовим «промиванням» тари.

Список використаних джерел

[1] Semenov A. M., Pidlisniy V. V., Palilyul'ko N. I. Physical influences on tarry preparation process to packing liquid products. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics.* 2016. Vol. 2. No. 24. pp. 237-243.

[2] Варфоломєєв А. Й. Удосконалення технологічних процесів та обладнання для стабілізації якості рідких харчових продуктів : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.18.12. Київ, 2001. 19 с.

[3] Моделювання процесів пакування : навч. посіб. / ред. А. І. Соколенко та ін. Вінниця : Наукова книга, 2004. 272 с.

[4] Семенов О. М. Удосконалення процесів пастеризаційної і стерилізаційної обробки харчової продукції і напоїв : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.18.12. Київ, 2011. 21 с.

[5] Семенов О. М., Ткач О. В., Смольчук К. С. Вплив передфасувальної обробки продукції на її якість і зберігання у скляній тарі. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сільськогосподарські науки*. Вінниця, 2012. № 5. С. 209-212.

[6] Шевченко О. Ю. Визначення параметрів вакуумного пакування харчових продуктів. *Харчова і переробна промисловість.* 2004. № 3. С. 140-143.

[7] Шевченко О. Ю. Наукові основи і апаратурне оформлення процесів довгострокового зберігання харчових продуктів : автореф. дис. … докт. техн. наук : 05.18.12. Київ, 2006. 43 с.