

## ENERGY IMPULSE TRANSFORMATIONS IN FOOD PRODUCTION MEDIA

A. Sokolenko, O. Shevchenko, I. Vinnichenko, I. Maksymenko

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Impulse influence  
Thermodynamic  
equilibrium  
Energy transformations  
Steam generation  
Food production*

---

**Article history:**

Received 15.05.2019  
Received in revised form  
06.06.2019  
Accepted 24.06.2019

---

**Corresponding author:**

A. Sokolenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The paper presents the results of research on energy-impulse transformations in food processing media and the possibilities of evaluating and using the internal potentials of the media in the form of thermal energy and dissolved gas potentials. It is shown that the mechanism of generation of energy impulse influences is the transfer of liquids, a liquid vapor or gas-liquid media to thermodynamic equilibrium states with a rapid decrease in pressure. Since the existence of media in metastable states is prohibited by physical laws, the reaction of such systems to pressure reduction is the transition to new equilibrium conditions with reduced energy potentials. Such transformations correspond to the laws of thermodynamics, the principle of Le Chatelier, and the law of the most probable state, and are accompanied by limitations of energy potentials due to the generation of the vapor phase, or the steam and gas phases, or the gas phase. The conditions of phase transitions with the corresponding mathematical formalizations are determined, and the physical basis of phase transitions is used for the development of methods for processing media with vegetable, fruit and berry structures. The possibility of achieving a boiling mode of their liquid fractions for vacuuming under reduced initial temperatures led to the technology of cold pasteurization, which was supplemented with manifestations of osmotic pressure by the introduction of estimated amounts of sugars. It is shown that the combination of these two factors of influence is accompanied by counterflow of diffusion and the effects of prolonged storage of the resulting juices, beverages, berry structures up to 10-12 months and more.

The possibility of active and simultaneously “delicate” mixing of fermented dough and dough billets due to variable pressures in sealed fermentation machines is determined.

It is shown that changes in the pressure in the ingenious gas phases in the apparatus of anaerobic digestion lead to the possibility of creating their saturation and desaturation modes in their liquid phases in order to increase the marginal accumulation of ethyl alcohol.

## ЕНЕРГОІМПУЛЬСНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩАХ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

О. Ю. Шевченко, А. І. Соколенко, І. М. Вінніченко, І. Ф. Максименко  
Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати досліджень, що стосуються енергоімпульсних трансформацій у середовищах харчових виробництв і можливостей оцінки та використання внутрішніх потенціалів середовищ у формі теплової енергії і потенціалів розчинених газів. Показано, що засобом генерування енергетичних імпульсних впливів є переведення рідинних, парорідинних або газорідинних середовищ до станів термодинамічної нерівноваги швидкоплинним зниженням тисків. Оскільки існування середовищ у метастабільних станах заборонено фізичними законами, то реакцією таких систем на зниження тисків є перехід до нових умов рівноваги зі зменшеними енергетичними потенціалами. Такі трансформації відповідають закономірностям термодинаміки, принципу Ле Шательє і закону найбільш імовірного стану та супроводжуються обмеженнями енергетичних потенціалів за рахунок генерування парової фази або парової і газової фаз, або газової фази. Визначено умови фазових переходів з відповідними математичними формалізаціями, а фізичне підґрунтя фазових переходів використано для розробки способів обробки середовищ з овочевими, фруктовими та ягідними структурами. Можливість досягнення режимів кипіння їхніх рідинних фракцій при вакуумування за умов обмежених початкових температур привела до технології холодної пастеризації, яка доповнена проявами осмотичних тисків введенням розрахункових кількостей цукрів. Показано, що сполучення цих двох факторів впливу супроводжується зустрічними потоками дифузії й ефектами подовженого зберігання одержаних соків, напоїв, ягідних структур до 10-12 місяців і більше.

Визначена можливість активного й одночасно «делікатного» перемішування зброджуваного тіста і тістових заготовок за рахунок змінних тисків у герметичних бродильних апаратах.

Показано, що зміни тисків у надрідинних газових фазах в апаратах анаеробного зброджування дають змогу створити в їхніх рідинних фазах режими сатурації і десатурації для підвищення граничних накопичень етилового спирту.

**Ключові слова:** імпульсний вплив, термодинамічна нерівновага, енергетичні трансформації, генерування парової фази, харчові виробництва.

**Постановка проблеми.** Переважно більшість харчових технологій можливо розглядати як сукупність енергоматеріальних трансформацій, що відбуваються у формі самопливних або примусово здійснюваних процесів. Кожен з них своєю основою має енергетичне підґрунтя, що стосується законів збереження і перетворень хімічної, теплової, механічної, електромагнітної та інших видів енергії [1—3]. При цьому величини енергетичних потенціалів визна-

чають інтенсивність перебігу вказаних процесів та їх інтенсивність на рівнях усталених і перехідних режимів. Відповідно до останніх перехідними вважаємо процеси, що характеризуються змінними параметрами будь-якої системи, до яких відносяться масові, геометричні, кінематичні, термодинамічні тощо. До числа найбільш інтенсивних за перебігом відносяться процеси, пов'язані з фазовими переходами пароутворення, конденсації, виділення розчиненої газової фази, кавітаційного колапсу диспергованої парової або газової фази тощо [4, 5].

В основі всіх названих процесів і явищ лежить термодинамічне співвідношення параметрів тиску і температури, оскільки фазовий перехід утворення парової фази води досягається в широкому діапазоні температур у межах  $0 < t < 100^{\circ}\text{C}$  саме за рахунок змін тисків. Для газорідинних середовищ сполучення температури і тиску відповідно до закону Генрі також дає змогу отримати різні рівні концентрацій розчиненого  $\text{CO}_2$ .

Оскільки технічні умови різкого зниження тиску в паро- або газорідинних системах є цілком досяжними, то це означає можливість їх швидкопливного переведення до термодинамічно незрівноважених станів. Однак фізичні закони забороняють існування середовищ у таких умовах, що забезпечує інтенсивний перехід до нових станів рівноваги, які відповідають новому значенню тиску. В адиабатних процесах пароутворення або виділення розчинених газів з утворенням диспергованих парогазових фаз у повному об'ємі середовищ відбувається різке зниження енергетичних потенціалів з показниками імпульсних впливів, що на порядок і більше перевищують традиційні впливи на середовища. Названі парогазові переходи стосуються не тільки рідинної фази, а й усіх наявних у ній вологонасичених структур рослинного, тваринного або іншого походження на макро- і мікрорівнях. Якщо названі структури мають замкнуті герметичні оболонки, то швидкоплинне генерування в них парових або газових фаз такі оболонки руйнує, що надзвичайно прискорює такі операції масообміну, екстрагування, подрібнення, сушіння, осмотичних процесів тощо. Такі результати енергоімпульсних впливів визначають доцільність їх технологічного використання [6].

**Мета дослідження:** оцінка перспектив використання енергоімпульсних трансформацій у середовищах харчових виробництв для інтенсифікації і результативності масообмінних процесів.

**Матеріали і методи.** Використано феноменологічні узагальнення щодо особливостей перебігу перехідних процесів, створюваних на основі термодинамічно незрівноважених станів, що знайшли своє відображення в патентно-захисених способах обробки середовищ.

**Викладення основних результатів дослідження.** В наведеному описі перебігу інтенсивного імпульсного перехідного процесу є узагальнення, яке стосується сучасної назви дискретно-імпульсних технологій (ДІТ). Очевидно, що наявність первинного енергетичного потенціалу в середовищі повинна забезпечуватись на відповідному етапі. В тепловій схемі це етап нагрівання з підвищенням тиску або без останнього, якщо переведення середовища на наступному етапі здійснюється за рахунок вакуумування.

У газорідинній системі створення енергетичного потенціалу досягається примусовим розчиненням газової фази. Важливо, що, наприклад, в анаеробних процесах зброджування цукровмісних середовищ насичення на  $\text{CO}_2$  відбувається в самопливних процесах.

Один з відомих прикладів використання технологій різкого зменшення тисків (ТРЗТ) має відносно давню історію, яка стосується операцій дегоржажу у виробництві шампанського пляшковим методом. За цією технологією бродіння тиражної суміші відбувається в пляшках і в результаті рівень насичення вина діоксидом вуглецю досягає концентрації 10 г/л за тисків у них близько 0,6...0,7 МПа. Ці два параметри визначають загальний енергетичний потенціал, певна частина якого використовується на здійснення операції дегоржажу в режимі видалення частини виноматеріалу разом з осадом, що утворився в процесі бродіння. Розкорковування пляшки супроводжується швидким переходом продукту у метастабільний стан з відповідними наслідками, які залежать у тому числі і від температури. Цей термодинамічний параметр значною мірою визначає швидкість десорбції газової фази і втрата енергетичного потенціалу характеризується потужністю в кілька кВт. При цьому в рідинній фазі створюються потужні хвилі, що різко активують десорбцію  $\text{CO}_2$ .

Аналогічні процеси відбуваються за зброджування пивного суслу в герметичних циліндро-конічних апаратах (ЦКА), герметичних апаратах спиртової промисловості, в технологіях виробництва квасу та первинного виноробства. В усіх названих випадках команда на здійснення імпульсу розгерметизації подається за досягнення в апараті тиску на критичному рівні. Разом з тим очевидно, що регулярність частоти генерування імпульсів може бути детермінованою на користь інтенсифікації масообмінних процесів, сатурації і десатурації середовищ, теплообміну, використання інших енергетичних ресурсів і регулювання осмотичних тисків. Застосування методів ТРЗТ в процесах анаеробного бродіння має здійснюватися з урахуванням подвійного впливу температури, підвищення якої приводить до підвищення тиску і розчинності  $\text{CO}_2$  за інших рівних умов і одночасно до зниження розчинності за показником температури. За показниками питомої потужності в імпульсних впливах ТРЗТ наближаються до можливостей НВЧ електромагнітних полів [3].

Оцінюючи названі технології різкої зміни тисків, підкреслимо перспективи їх використання в системах з вакуумуванням для виробництва овочевих, ягідних і фруктових соків, у системах екстрагування речовин з сировини рослинного походження, диспергування, гомогенізації тощо.

Енергетична оцінка потенціалів у процесах дискретно-імпульсних технологій у режимах імпульсних впливів визначається різницею впливу безпосередньо на середовище в режимі адіабатного генерування парової фази. Різниця теплових потенціалів середовища до і після імпульсу за відомих меж зміни тисків визначається залежністю:

$$\Delta Q = cm_{(n)}(t_{(n)} - t_{(к)}), \text{ Дж}, \quad (1)$$

де  $c$  — теплоємність середовища, Дж/(кг·К);  $m_{(п)}$  — початкова маса середовища, кг;  $t_{(п)}$  і  $t_{(к)}$  — відповідно, початкова і кінцева температури середовища, К.

Оскільки початкова і кінцева температури в режимах фазових переходів пов'язані з тисками, то отримуємо:

$$t_{(п)} = t_{(п)}(P_{(п)}) \quad \text{і} \quad t_{(к)} = t_{(к)}(P_{(к)}), \quad (2)$$

звідси

$$\Delta Q = cm_{(п)} \left( t_{(п)}(P_{(п)}) - t_{(к)}(P_{(к)}) \right). \quad (3)$$

Тоді за середньої для цього діапазону зміни тисків питомої теплоти пароутворення  $r$  кількість генерованої пари складе:

$$\Delta m = \frac{\Delta Q}{r} = \frac{cm_{(п)} \left( t_{(п)}(P_{(п)}) - t_{(к)}(P_{(к)}) \right)}{r}. \quad (4)$$

При цьому з точки зору інтересів ефективності імпульсного впливу на середовище вирішальне значення має час його перебігу, що дає змогу перейти до оцінки середньої потужності енергетичної трансформації:

$$N = \frac{\Delta m}{\tau} = \frac{cm_{(п)} \left( t_{(п)}(P_{(п)}) - t_{(к)}(P_{(к)}) \right)}{r\tau}, \quad \text{Вт}, \quad (5)$$

де  $\tau$  — середній час перебігу процесу, с.

Записані аналітичні залежності стосуються адиабатних процесів і при цьому залежність у формі  $t_{(п)} = t_{(п)}(P_{(п)})$  може не існувати, оскільки певному значенню початкового тиску  $P_{(п)}$  відповідає певний діапазон температур, за яких середовище існує без фазових переходів. Однак граничні значення температур середовища в певному фізичному стані від температур залежать. На відміну від цього положення кінцева температура  $t_{(к)}$  однозначно пов'язана з кінцевим тиском.

Результатом швидкопливного генерування парової фази в структурах рослинного або тваринного походження є руйнування їхніх клітинних оболонок з важливими наслідками, які стосуються летальних ефектів мікрофлори, екструзійних ефектів, механічних впливів тощо. Важливо, що сучасні технічні можливості знайшли своє відображення в реалізації як дискретних, так і неперервних впливів, що стосуються окремих і неперервних процесів у різних технологіях. Однак використання вакуумних технологій переведення середовищ до термодинамічно незрівноважених станів поки що залишається за межами пильної уваги, незважаючи на значні переваги в технологічних результатах. Одним із напрямків доповнення дискретно-імпульсних технологій є поглиблене насичення рідинних фракцій та інших вологовмістких складових діоксидом вуглецю з подальшим переведенням до термодинамічно

незрівноваженого стану в режимі активної десорбції CO<sub>2</sub>. Відомо, що останній залежить від таких параметрів, як об'ємний коефіцієнт масопередачі  $k_v$ , плинна концентрація  $c_\tau$  розчиненого газу та концентрація насичення  $c_H$ . У свою чергу, коефіцієнт масопередачі залежить від фізико-хімічних характеристик фаз, поверхні масопередачі, гідродинамічного стану середовища тощо.

Масопередача в режимі десорбції відноситься до процесів першого порядку, оскільки зміни швидкості взаємодій пропорційні концентраціям речовин у першій степені. Нескінченно малій кількості десорбованого діоксиду вуглецю за елементарний час  $d\tau$  відповідає умова:

$$-dG = k_v (c_\tau - c_H) d\tau, \quad (6)$$

а кількості CO<sub>2</sub>, що десорбує за зміни концентрації від  $c_\tau$  до  $c_H$ , — залежність:

$$G = V (c_\tau - c_H), \quad (7)$$

де  $V$  — об'єм біологічного середовища.

Диференціювання останньої умови приводить до виду:

$$dG = V dc. \quad (8)$$

У результаті сполучення умов (6) і (8) можна записати:

$$-Vdc = k_v (c_\tau - c_H) d\tau, \quad (9)$$

або звідси одержуємо:

$$d\tau = -\frac{V}{k_v} \cdot \frac{dc}{c_\tau - c_H}. \quad (10)$$

Інтегруванням останньої умови отримаємо:

$$-\frac{V}{k_v} \ln(c_\tau - c_H) = \tau + A, \quad (11)$$

де стала інтегрування визначається за початкових умов:

$$\tau_{(n)} = 0; \quad c_{\tau(n)} = c_1.$$

Звідси маємо:

$$A = -\frac{V}{k_v} \ln(c_\tau - c_H). \quad (12)$$

Тоді з урахуванням умови (11) одержимо:

$$\tau = \frac{V}{k_v} (\ln(c_1 - c_H) - \ln(c_\tau - c_H)) \quad (13)$$

або в кінцевому варіанті:

$$\tau = \frac{V}{k_v} \ln \frac{c_1 - c_H}{c_\tau - c_H}. \quad (14)$$

Остання умова дає змогу знайти час  $\tau$ , за який концентрація розчиненого  $\text{CO}_2$  змінюється від заданого значення  $c_1$  до заданого плинного значення  $c_\tau$ . Звідси зміна плинної концентрації становитиме:

$$c_\tau = c_n + (c_1 - c_n) \exp\left(-\frac{k_v \tau}{V}\right). \quad (15)$$

Стосовно об'єму середовища  $V = 1$  за відомої залежності  $c_\tau = c_\tau(\tau)$  знайдемо об'єм десорбованого  $\text{CO}_2$  за нормальних умов:

$$V_\tau = (c_1 - c_n - (c_1 - c_n)) \exp(-k_v \tau) \frac{RT}{P}, \quad (16)$$

де  $R$  — універсальна газова стала, Дж/(кг·К);  $P$  — кінцевий тиск у системі, Па.

При цьому енергетичний потенціал, що супроводжує десорбцію  $\text{CO}_2$ , супроводжується залежністю:

$$E_i = PV_{\tau(i)}, \quad (17)$$

з потужністю процесу:

$$N_i = \frac{E_{(k)}}{\tau_{(k)}} = \frac{PV_{\tau(k)}}{\tau_{(k)}}, \quad (18)$$

де індекс  $(k)$  відповідає кінцевим параметрам.

Наведений теоретичний аналіз, що стосується перебігу перехідних процесів, дав змогу здійснити їх узагальнення на рівні винаходів за участю авторів статті. До них відноситься спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід (патент України 10461) [7] з такою формулою: «Спосіб одержання виходу соків при переробці плодів та ягід, що включає подрібнення, бланшування, пресування маси та освітлення соків, який відрізняється тим, що подрібнена маса після бланшування в режимі її транспортування подається на сатурацію під тиском 0,3—0,5 МПа з подальшим різким зменшенням тиску до атмосферного в приймальному буферному резервуарі перед пресуванням».

При сатурації подрібненої маси під тиском 0,3—0,5 МПа відбувається насичення клітин плодів та овочів сатуруючим газом з підвищенням загального внутрішнього тиску в клітинах. При подальшому різкому скиданні тиску до атмосферного в приймальному буферному резервуарі перед пресуванням відбувається повне руйнування оболонок клітин, що призводить до підвищення виходу соку з матеріалу, покращення умов пресування і освітлення соків та підвищення якості продукції.

Особливості наступного винаходу відображені в патенті України 84986 з формулою винаходу: «Спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід, що включає подрібнення, бланшування, пресування маси та освітлення соків, який відрізняється тим, що подрібнена маса після нагрівання до температури 40—42°C в режимі безперервного транспортування подається в герметизовану вакуумну камеру з тиском 0,03—0,005 МПа з досягненням температури адіабатного кипіння рідинної фракції матеріалу з утворенням парової фази».

За рахунок низького тиску у вакуумній камері рідинна міжклітинна і клітинна фракції оброблюваної маси потрапляють у метастабільний стан з подальшим активним кипінням і утворенням парової фази, яка здійснює руйнування міжклітинних структур і клітинних оболонок, що приводить до підвищення виходу соку з матеріалу, покращення умов пресування й освітлення соків та підвищує якість продукції. Спосіб полягає в тому, що підготовлена і подрібнена маса підігрівається до температур 40—42°C, за яких залишаються неушкодженими вітаміни та біологічно цінні речовини. В режимі безперервного транспортування вона подається у вакуумну камеру з тиском 0,03—0,005 МПа, в якій за рахунок внутрішньої теплоти починається активне кипіння рідинної фракції, утворення парової фази зруйнуванням міжклітинних структур і клітинних оболонок.

Спосіб одержання цукрових сиропів і аналогів цукатів відображено в патенті України 90732 [8] з формулою винаходу: «Спосіб одержання цукрових сиропів і аналогів цукатів, що включає подрібнення і пересипку подрібненої маси ягід, фруктів і овочів цукром з доведенням концентрації сухих речовин від 60 до 90%, який відрізняється тим, що подрібнену масу фасують у тару, вакуумують і герметизують за рівня залишкового тиску в тарі 0,005—0,01 МПа та витримують для здійснення осмомолекулярної дифузії».

Фасування подрібненої і пересипаної цукром маси ягід, фруктів і овочів з її вакуумуванням та герметизацією за рівня залишкового тиску в тарі 0,005—0,01 МПа та подальше витримання для здійснення осмомолекулярної дифузії дає можливість одержання цукрових сиропів і аналогів цукатів підвищеної біологічної цінності зі збереженням природнім кольором, вітамінним та ферментним комплексами, покращення смакових якостей і підвищення терміну зберігання.

Використання способів вакуумних технологій дає змогу поєднувати дію термодинамічних параметрів з механічними впливами (патент України 63328 [9]). Відповідно до нього формула винаходу сформульована таким чином: «Спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід, що включає подрібнення, бланшування, пресування маси та освітлення соків, який відрізняється тим, що подрібнена маса після нагрівання до температури 38—42°C в дискретному режимі подається в гнучку оболонку, вакуумується з кінцевим тиском 0,003—0,004 МПа у вакуумній камері з досягненням адіабатного кипіння рідинної фракції з утворенням парової фази, герметизується в гнучкій оболонці і підлягає кількаретовим змінам тиску у вакуумній камері».

Нагрівання подрібнених плодів та ягід до температур 38—42°C, подавання їх у гнучку оболонку з подальшим вакуумуванням до кінцевих тисків 0,003—0,004 МПа приводить до адіабатного кипіння рідинної фракції з утворенням парової фази, що руйнує міжклітинні структури і клітинні оболонки сировини. Герметизація гнучкої оболонки і різка розгерметизація вакуумної камери супроводжується ударною дією атмосферного тиску і переведенням матеріалу в режим відпресовування соку. Кількаретові повтори зміни тисків у вакуумній камері завершуються на кінцевому процесі пресування підвищенням виходу і якісних показників продукції, збереженням вітамінів та біологічно цінних речовин.



Запропоновані новітні технології мають перспективи використання в процесах виробництва хліба. Так, патент України 72056 [10] стосується способу виробництва хліба з такою формулою: «Спосіб виробництва хліба, що передбачає заміс тіста з борошна, дріжджів, солі, його бродіння, оброблення, вистоювання і випікання, який відрізняється тим, що стадії бродіння і вистоювання здійснюються за підвищеного тиску діоксиду вуглецю 0,16—0,18 МПа, створеного мікроорганізмами в герметизованому об'ємі, різка розгерметизація якого здійснюється до рівня атмосферного».

Підвищення тиску бродіння і вистоювання відповідно до закону Генрі збільшує розчинність діоксиду вуглецю в тісті, що призводить до обмеження втрат сухих речовин борошна, оскільки зменшуються втрати  $\text{CO}_2$  в навколишнє середовище.

Спосіб виробництва хліба здійснюється таким чином: після проведення технологічної операції замісу тіста з борошна, дріжджів і солі виконується герметизація бродильної ємкості з досягненням тиску газової фази 0,16—0,18 МПа. По завершенні бродіння здійснюється різка розгерметизація ємкості, в результаті чого досягається підвищений об'ємний вміст  $\text{CO}_2$  у тісті. Наступною операцією є оброблення і вистоювання тістових заготовок з продовженням процесу бродіння за підвищеного тиску 0,16—0,18 МПа з подальшою різкою розгерметизацією вистійної шафи до атмосферного тиску. Останнє призводить до збільшення об'єму диспергованої у тістових заготовках газової фази.

Спосіб інтенсифікації бродіння тіста відображено в патенті України 111282 [11] з такою формулою корисної моделі: «Спосіб інтенсифікації бродіння тіста, який включає режим механічного перемішування, що здійснюють для розпушування тіста і досягнення газотримувальної здатності, необхідної для забезпечення формоутворювальної здатності, реологічних властивостей і одержання продуктів спиртового і молочнокислого бродіння, що обумовлюють смак і аромат хліба, який відрізняється тим, що процес бродіння супроводжують безперервними імпульсними змінами тиску діоксиду вуглецю над середовищем в межах від 0,15 до 0,10 МПа з частотою 0,2 Гц і витримкою у 8 с за тиску 0,15 МПа».

Безперервні імпульсні зміни тиску діоксиду вуглецю над середовищем від 0,15 до 0,10 МПа з частотою 0,2 Гц і витримкою у 8 с за тиску 0,15 МПа приводять до розширення і подальшого стискання диспергованої газової фази і повнооб'ємного перемішування тіста з інтенсифікацією масообмінних процесів між середовищем і мікроорганізмами та на міжфазній поверхні, утвореній твердою фазою та кавернами  $\text{CO}_2$ . При цьому збільшений середній тиск діоксиду вуглецю над середовищем відповідно до закону Генрі призводить до збільшення сталої розчинності  $\text{CO}_2$  в тісті, що також сприяє інтенсивності масообміну й обмеженню втрат сухих речовин у зв'язку зі зменшенням втрат діоксиду вуглецю у навколишнє середовище.

Патент України на винахід 119107 [12] стосується способу зброджування цукровмісних середовищ: «Спосіб зброджування цукровмісних середовищ, що включає підготовку розчину цукру і внесення в розчин дріжджів-цукроміцетів, який відрізняється тим, що після завершення лаг-фази і повного насичення

середовища діоксидом вуглецю тиск в об'ємі газової надрідинної фази  $\text{CO}_2$  примусово підтримують швидкоплинно змінним від 0,13 до 0,10 МПа і знову до 0,13 МПа з паузами витримки 5 хв на нижньому рівні і 15 хв на верхньому рівні».

Самогенерування діоксиду вуглецю в процесах бродіння супроводжується його масопередачею на межі поділу фаз «дріжджові клітини — середовище» і поступовим підвищенням його концентрації до рівня насичення. Відповідно до закону Генрі, за яким константа насичення пропорційна парціальному тиску газової фази, середовище можливо переводити з насиченого стану в ненасичений і, навпаки, за рахунок зміни тиску в середовищі, наприклад, зміною тиску в газовому надрідинному об'ємі. Зменшення тиску в системі зменшує розчинність газу і переводить середовище в перенасичений стан, завдяки якому активно відбувається його дегазація. Підвищення тиску в системі приводить середовище в ненасичений стан з активізацією масопередачі на межі поділу фаз, підвищується зброджувальна активність дріжджів, зростають продуктивність, концентрація етилового спирту і зменшуються енергетичні витрати на процес перегонки.

### **Висновки**

1. З відомого співвідношення про те, що в узагальненій оцінці теплових балансів харчових технологій одержання 1 Дж хімічної енергії у вихідній продукції супроводжується витратами введених в систему 10 Дж зовнішніх енергетичних потоків, приводить до висновку про необхідність і доцільність виконання ретельного енергетичного й економічного менеджменту. Призначення введених енергетичних потенціалів стосуються трансформацій матеріальних потоків, у тому числі зі змінами їх термодинамічних параметрів або фазових переходів. В останньому випадку досягаються імпульсні впливи, генеровані в середовищах, кінцеві результати яких супроводжуються механічними проявами, руйнуванням структур, кавітаційними явищами, гідравлічними ударами тощо.

2. Ефективність імпульсних впливів пов'язана з часом їх перебігу та інтервалами в змінах енергетичних потенціалів. Фізичне підґрунтя реалізації імпульсних впливів передбачає переведення середовищ до термодинамічно незрівноважених станів за рахунок зниження тисків у системах. Це стосується як систем з тепловими енергетичними потенціалами, так і газонасичених систем.

3. Прояви енергетичних імпульсів відбуваються у всьому об'ємі середовища незалежно від наявності або відсутності в системі гідростатичних тисків і висотних координат будь-якої локальної зони та визначаються перепадами тисків.

4. Рушійні фактори імпульсних впливів за теплових енергетичних потенціалів визначаються різницями температур, а в газонасичених системах — різницею початкових і кінцевих концентрацій розчинених газів.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з практичною реалізацією запропонованих і запатентованих способів обробки харчових і мікробіологічних середовищ.

**Література**

1. Інтенсифікація тепло- і масообмінних процесів в харчових технологіях: монографія / Соколенко А. І., Мазаракі А. А., Шевченко О. Ю. та ін. Київ: Фенікс, 2011. 536 с.
2. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях: монографія / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Васильківський К. В. та ін. Київ: Фенікс, 2012. 484 с.
3. Інтенсифікація енерго- масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних виробництв: монографія / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Васильківський К. В. та ін. Київ: Кондор-Видавництво, 2018. 212 с.
4. Intensification of energy and mass exchange processes in fermentation technologies: monograph / Sokolenko A., Shevchenko O., Vasylykivskiy K., Stepanets O., Maksymenko I., Shevchenko A. Pleven: Mediateh, 2018. 145 p.
5. Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Вінніченко І. М., Васильківський К. В. Особливості масообмінних процесів в анаеробних газорідних середовищах. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Том 24, № 5. С. 124—134.
6. A porous media model for CFD simulations of gas-liquid two-phase flow in rotating packed beds. *Chemical Engineering Science*. 2018. Volume 189, 2 November. P. 123—134. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250918302902> (дата звернення 06.05.2019).
7. Спосіб одержання виходу соків при переробці плодів та ягід: пат. на кор. модель 10461 Україна: МПК А23L 2/04 (2006.01) / Соколенко А. І., Українець А. І., Шевченко О. Ю., Мацко О. П. Лензіон В. Й.; власник НУХТ. № u200504151; заявл. 29.04.2005; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.
8. Спосіб одержання цукрових сиропів і аналогів цукатів: пат. на винахід 90732 Україна: МПК А23В 7/08 (2006.01), А23L 3/00 / Максименко І. Ф., Соколенко А. І., Піддубний В. А., Шевченко О. Ю., Васильківський К. В.; власник НУХТ. № a200802703; заявл. 03.03.2008; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.
9. Спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід: пат. на кор. модель 63328 Україна: МПК С13В 10/00 / Соколенко А. І., Леус Р. М., Максименко І. Ф.; власник НУХТ. № u201101814; заявл. 16.02.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
10. Спосіб виробництва хліба: пат. на кор. модель 72056 Україна: МПК А21D 8/02 (2006.01) / Соколенко А. І., Білик О. А., Максименко І. Ф.; власник НУХТ. № u201114575; заявл. 08.12.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15.
11. Спосіб інтенсифікації бродіння тіста: пат. на кор. модель 111282 Україна: МПК А21D 8/00 / Соколенко А. І., Коваль О. В., Білик О. А., Піддубний В. А.; власник НУХТ. № u201603663; заявл. 06.04.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.
12. Спосіб зброджування цукровмісних середовищ: пат. на винахід 119107 Україна: С12Р 7/06 (2006.01), С12G 3/02 (2019.01) / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Максименко І. Ф., Степанець О. І., Вінніченко І. М.; власник НУХТ. № a201709857; заявл. 11.10.2017; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.