

УДК

*А.І. Соколенко, д-р техн. наук,  
К.В. Васильківський,  
канд. техн. наук,  
А.А. Палаш, канд. техн. наук,  
І.Ф. Максименко  
Національний університет  
харчових технологій*

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ІМПУЛЬСИ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

*До числа важливих чинників подальшого удосконалення енерго- і масообмінних процесів в харчових технологіях відносяться технології використання високоенергетичних імпульсів та внутрішніх енергетичних ресурсів матеріальних потоків, що пов'язане з необхідністю їх термодинамічних трансформацій. В статті наведені порівняльні характеристики методів трансформації енергетичних ресурсів, можливості їх досягнення на основі запропонованих схем, методики визначення енергетичних потенціалів.*

***Ключові слова:** масообмінні процеси, вакуумна обробка, енергетичні потенціали*

---

В значній кількості технологічних процесів харчової промисловості має місце організована взаємодія між матеріальними і енергетичними потоками, завданням якої є трансформація вхідної сировини і перетворення її у відповідну продукцію. До переліку таких взаємодій відносяться хімічні, механічні, гідравлічні, теплові, електричні процеси тощо або їх комбінації.

Особливості перебігу названих процесів скрупульозно вивчені. Відомими є фактори впливу на них, рушійні фактори, фізико-хімічні показники, геометричні, кінематичні, динамічні параметри. Однак кожне нове покоління дослідників здійснює поглиблення знань в межах від мікро- до макrorівнів і навіть до рівнів нанотехнологій [1—4].

До числа важливих задач, вирішення яких складає мету таких досліджень, традиційно відносять зниження питомих матеріальних і енергетичних затрат, підвищення якісних показників продукції та її калорійності, підвищення інтенсивності перебігу процесів і продуктивності обладнання, використання вторинних енергетичних ресурсів тощо. Окрім того, цілком закономірними є пошуки залежностей між інтенсивністю енергетичних впливів і результатами технологічних процесів. На можливості успіхів на цьому напрямку вказують такі методи теплової обробки продукції, як високотемпературна короткочасна стерилізація (ВТКС) або дискретно-імпульсні технології (ДІТ). Якщо у першому випадку головним чинником впливу слід очікувати температуру перебігу ВТКС, то в технологіях ДІТ задіяні термодинамічні параметри тиску і температури, варіації яких дозволяють досягати фазових переходів в режимах адіабатного кипіння. Утворення парової фази в інтенсивному і навіть суперінтенсивному режимах відбувається не лише в розчиннику, а і у іншій складовій рідинної фази, що відноситься до твердої фракції. Генерування парової фази в самому середовищі супроводжується одночасно кавітаційними проявами, у тому числі з механічними впливами потужностей, які на порядок і більше перевищують останні показники в традиційних методах обробки продукції. Досягнення таких фізико-механічних наслідків адіабатного генерування парової фази є наслідком потужного енергетичного імпульсу у зв'язку з переходом системи від різко утвореного розгерметизацією середовища термодинамічно незрівноваженого стану до нового зрівноваженого.

Цей перехід є швидкоплинним на відміну від етапу накопичення енергетичного потенціалу оброблюваним середовищем. Практично єдиною можливістю досягти технічно швидкостей нагрівання середовища співрозмірних зі швидкостями охолодження за адіабатного кипіння є використання надвисокочастотної електромагнітної обробки.

Співвідношення між часом накопичення і спрацювання енергетичних потенціалів є важливою характеристикою таких систем.

Завданням цього дослідження є аналіз новітніх інновацій в харчові технології, пов'язаних з їх енергетичними потенціалами.

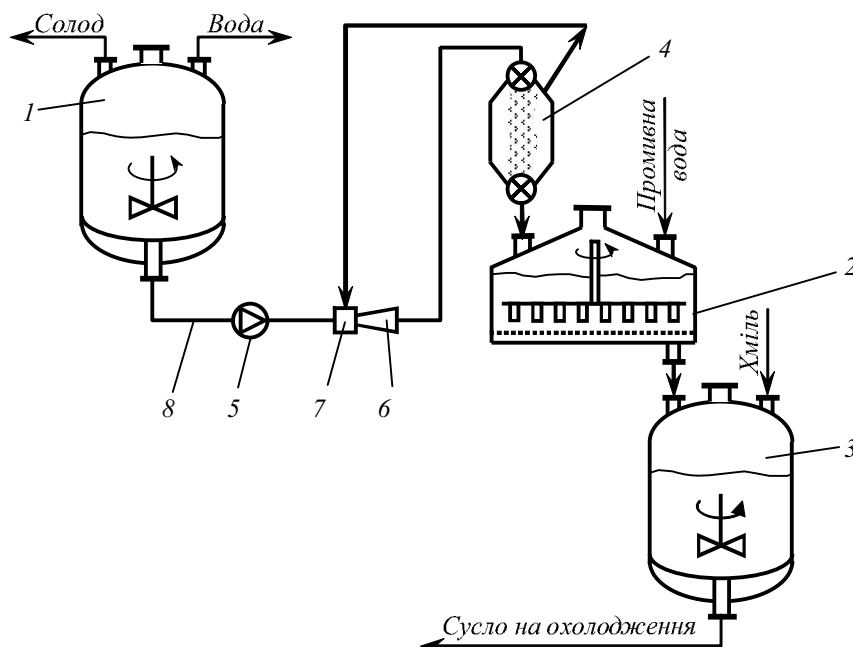
Зі вступної частини статті витікає висновок про значимість технологій, які дозволяють здійснювати накопичення енергетичних потенціалів в системах або окремих середовищах. Очевидно, що названі ВТКС і ДІТ ґрунтуються на потенціалах теплової енергії, накопичення яких можливе лише за присутності матеріальних носіїв. Оскільки переробка і трансформація сировинних потоків в значній кількості технологій здійснюються з використанням теплової енергії, то саме в них можливим є накопичення і використання енергетичних потенціалів.

Однак за вибору подібних підходів перш за все враховуються технологічні вимоги. Наприклад, приготування заторів у пивоварній галузі вимагає обмежень температур у двох рівнях для забезпечення дієздатності ферментних комплексів  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілаз, а максимальна температура заторної маси не перевищує 80 °С.

Проте і у цьому випадку обробка середовища заторної маси з досягненням режиму адіабатного генерування пари, яку слід вважати вторинною, є можливою. Для цього достатньо створити відповідне зниження тиску, наприклад, на ділянці транспортування затору у фільтраційний чан.

Розглянемо особливості енергетичних трансформацій за вказаної умови.

Автори цієї публікації пропонують патентно захищену систему, схема якої наведена на рис. 1. Ідея пропозиції полягає у тому, що у результаті вакуумної обробки потоку затору і генерування вторинної пари структура твердої фази руйнується



**Рис. 1. Схема варильного агрегату для варіння пива:**

1, 2, 3 — відповідно заторний, фільтраційний та суловарильний апарати; 4 — вакуумна камера; 5 — насос; 6 — ежекційний пристрій; 7 — зона розрідження ежектора; 8 — трубопровід

на макрорівні. Це суттєво прискорює перебіг процесів фільтрації і оброблювання промивними водами. При цьому макроструктури крупки і оболонки ячменю повністю зберігають здатність утворювати фільтраційний шар.

Енергетичний потенціал ДЕ, задіяний в такій технології обробки, також визначається глибиною введення середовища у незрівноважений стан. При цьому маємо

$$\Delta E = mc\Delta t, \quad (1)$$

де  $m$  — маса одиниці обробленого затору;  $c$  — теплоємність середовища;  $\Delta t$  — перепад температур потоку.

$$\Delta t = t_{(п)} - t_{(к)}(P_{\text{вак}}), \quad (2)$$

де  $t_{(п)}$  — початкова температура потоку;  $t_{(к)}(P_{\text{вак}})$  — кінцева температура потоку, записана як функція тиску  $P_{\text{вак}}$ .

Наявність циркуляційного контуру вторинної пари і ежектора нівелюють енергетичні теплові втрати середовища при вакуумуванні.

Середня потужність енергетичного імпульсу у впливі на середовище оцінюється з врахуванням часу його перебігу  $\tau$ :

$$N = \frac{\Delta E}{\tau} = \frac{mc(t_{(п)} - t_{(к)}(P_{\text{вак}}))}{\tau}. \quad (3)$$

Для кількісної оцінки можливих енергоматеріальних трансформацій звернемося до початкових і кінцевих параметрів обробки заторів. У зв'язку з цим призначаємо  $t_{(п)} = 80$  °С, а  $t_{(к)} = 78; 76; 74; 72$  та  $70$  °С.

Стосовно обраних умов складемо таблицю з вихідними і розрахунковими даними.

Оскільки енергетичний імпульс створюється завдяки термодинамічній трансформації самого середовища, то його оцінку в кДж/кг слід визначити різницею  $h'_{(п)} - h'_{(к)}$ , яка зростає з різницею температур  $t_{(п)}$  і  $t_{(к)}(P_{\text{вак}})$ .

Разом з тим зростання вказаної різниці температур супроводжується зміною теплоти пароутворення, у зв'язку з чим її на кожному інтервалі  $t_{(п)} - t_{(к)}(P_{\text{вак}})$  слід визначити середнім значенням:

$$r_c = \frac{r_{(п)} + r_{(к)}}{2}. \quad (4)$$

**Таблиця. Вихідні і розрахункові дані енергоматеріальних трансформацій заторної маси за початкової температури  $t_{(п)} = 80$  °С і  $P_{(п)} = 1$  бар**

Показник	Кінцеві температури затору, °С					
	80	78	76	74	72	70
Кінцевий тиск в системі, бар	0,47359	0,43650	0,40190	0,36963	0,33957	0,31161
Ентальпія $h'$ рідинної фази, кДж/кг	334,92	326,52	318,13	309,74	301,36	292,97
Ентальпія $h''$ парової фази, кДж/кг	2643,8	2640,4	2637,0	2633,6	2630,2	2626,8
Теплота $r$ пароутворення, кДж/кг	2308,9	2313,9	2318,9	2323,9	2328,8	2333,8
$h'_{(п)} - h'_{(к)}$ , кДж/кг	—	8,4	16,79	25,18	33,58	41,95
$h''_{(п)} - h''_{(к)}$ , кДж/кг	—	3,4	6,8	10,2	13,6	17,0
Кількість генерованої вторинної пари $m_n$ , кг	—	0,00363	0,00724	0,0108	0,0144	0,01797
Об'єм пари $V$ , м <sup>3</sup>	—	0,01336	0,0288	0,0465	0,067	0,0907

Наявність наведених даних дозволяє визначити кількість генерованої пари у кожному з вказаних інтервалів температур

$$m_{\text{п}} = \frac{h'_{(\text{п})} - h'_{(\text{к})}}{r_{\text{с}}} = \frac{2(h'_{(\text{п})} - h'_{(\text{к})})}{r_{(\text{п})} + r_{(\text{к})}} \quad (5)$$

і в залежності від величини  $m_{\text{п}}$  за використання таблиць термодинамічного стану води та водяної пари визначити питомий об'єм пари  $\nu$  і її загальний об'єм  $V$ :

$$V = \nu m_{\text{п}}. \quad (6)$$

Для поглиблення уявлення про одержані співвідношення наведемо їх графічну інтерпретацію (рис. 2 та рис. 3).

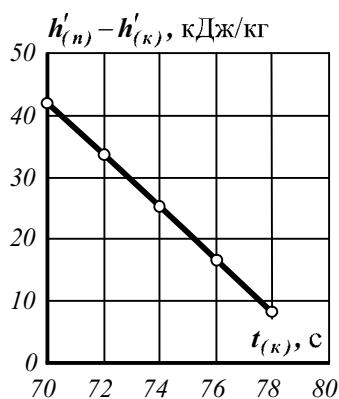


Рис. 2. Залежність енергетичного імпульсу від кінцевої температури середовища  $t_{(\text{к})}$

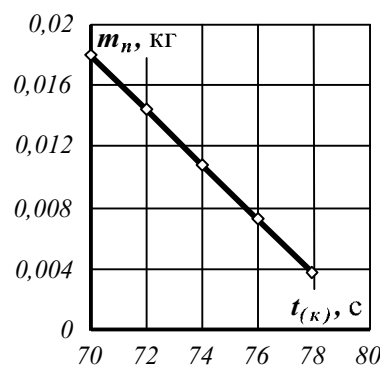


Рис. 3. Залежність маси генерованої пари від кінцевої температури  $t_{(\text{к})}$

З графіків видно, що розшукувані залежності відображаються функціями, наближеними до лінійних.

Значення потужностей, які відповідають перебігу енергетичних імпульсів оцінимо, наприклад, за кінцевого часу процесу  $\tau_{(\text{к})} = 10$  с. Тоді у відповідності до одержаних значень  $\Delta h' = h'_{(\text{п})} - h'_{(\text{к})}$  одержуємо потужності зі значеннями відповідно 0,84; 1,679; 2,518; 3,355 та 4,195 кВт. При цьому підкреслимо, що останні відносяться до 1 кг рідинної фази середовища.

Наслідком подібних впливів на рідиновмістке середовище є покращення режимів фільтрації і промивання заторів, підвищення екстрактивності суслу та зменшення втрат екстрактивних речовин. Стосовно технологій обробки інших середовищ, у тому числі термолабільних, важливою є можливість обробки їх у зоні обмежених температур. Тим більш доцільним є використання запропонованої технології генерування енергетичних імпульсів в оброблюваних середовищах за рахунок вакуумування у випадках технологічних температур їх обробки, наближених до 100 °С.

Разом з тим при технологічній потребі за рахунок вакуумування існує можливість досягати супершвидкісного охолодження середовищ з наближенням кінцевої температури до 2...4 °С. При цьому єдиною причиною адіабатного охолодження є генерування парової фази, видалення якої з середовища вимагає подолання бар'єру зовнішнього для системи тиску. Це означає неминуче підвищення її температури і можливість подальшого використання цієї частини теплових енергетичних ресурсів.

**Висновки.** 1. Використання технологій вакуумної обробки харчових середовищ супроводжується закономірностями, що відповідають дискретно-імпульсним технологіям.

2. Збільшення різниці температур середовищ, що мають місце за адиабатного генерування парової фази в них визначає можливість підвищення потужності генерованих енергетичних імпульсів.

3. Технології вакуумної обробки середовищ слід оцінювати як заходи з перерозподілу їх енергетичних потенціалів, тобто як додатковий напрямок при створенні теплових насосів.

4. Наявність циркуляційних контурів вторинної пари забезпечує повернення енергетичних потоків в оброблювані середовища.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях* / [А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко та ін.]; під ред. д-ра техн. наук, проф. А.І. Соколенка. — К.: Фенікс, 2011. — 536 с. — ISBN 978-966-651-999-0.

2. *Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва* / [Паламарчук І.П., Берник П.С., Стоцько та ін.]; навчальний посібник. — Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2006. — 368 с. — ISBN 966-8450-13-2.

3. *Г.О. Єресько. Технологічне обладнання молочних виробництв* / Г.О. Єресько, М.М. Шинкарик, В.Я. Ворощук. — К.: Фірма «ІНКОС», Цент навчальної літератури, 2007. — 344 с. — ISBN 966-8347-41-2.

4. *Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. Монографія* / Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійничук С.Т. — К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. — 424 с. — ISBN 978-966-2203-01-1.

*А.И. Соколенко, К.В. Васильковський,  
А.А. Палаш, И.Ф. Максименко*

### **Енергетические импульсы в пищевых технологиях**

*К числу важных факторов дальнейшего совершенствования энерго- и массообменных процессов в пищевых технологиях относятся технологии использования высокоэнергетических импульсов и внутренних энергетических ресурсов материальных потоков, что связано с необходимостью их термодинамических трансформаций. В статье приведены сравнительные характеристики методов трансформации энергетических ресурсов, возможности их достижения на основе предложенных схем, методики определения энергетических потенциалов.*

**Ключевые слова:** *массообменные процессы, вакуумная обработка, энергетические потенциалы*

*A. Sokolenko, K. Vasilivskiy,  
A. Palash, I. Maksimenko*

### **Pulse of energy in food technology**

*Important factors for further improving of the energy- and mass-transfer processes in food technologies include technologies of high-energy pulses using and the internal energy of material flows, due to the necessity of their thermodynamic transformations. The article contains comparative characteristics of energy resources transformation methods, the possibilities of their achievements on the basis of the proposed schemes, methods for determining of the energy potential.*

*Proposed scheme is to use the vacuum treatment of congestion in the technology of beer production at the site of their transfer from the mash to the filtration apparatus. The flux mash mass passes through a vacuum chamber with floodgate. Underpressure in vacuum chamber to the pressure 70 mm of the mercury column provides a mode of adiabatic secondary steam generation from the liquid fraction of the flow. The sampled vapor phase returns in a closed loop to the ejector and condenses by contact with the transported mass, returning energy spent for evaporation.*

## **ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

---

*Mechanical vacuum impact on the flow in the vacuum chamber is accompanied with micro effects in the solid phase, providing intensive extraction of target substances from the filter mass.*

**Key words:** *mass transfer processes, vacuum processing, energy potentials.*

---

*e-mail:* [jimp@ukr.net](mailto:jimp@ukr.net)

*Надійшла до редколегії 16.04.2012 р.*