

**О.Ю. ШЕВЧЕНКО**, докт. техн. наук

**А.М. РОМАНЮК**,

**А.О. ШЕВЧЕНКО**

**A. SHEVCHENKO, A. ROMANYUK, A. SHEVCHENKO**

*Національний університет харчових технологій*

## **ЛОКАЛІЗОВАНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВПЛИВИ НА ВОЛОГОВМІСТКІ СЕРЕДОВИЩА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

*Розглянуто питання щодо впливу вакууму на вологовмісткі харчові середовища з метою руйнування міжклітинних структур і клітинних оболонок та запропоновано на цій основі нові технології по підвищенню соковіддачі*

**Ключові слова:** енергетичний вплив, вологовмісті середовища, адіабатне кипіння, вакуумна обробка

До числа високолокалізованих енергетичних впливів на вологовмісткі середовища рослинного та тваринного походження можна віднести вакуумну обробку і технологію різкого зниження тиску (ТРЗТ) з використанням в якості робочого агента діоксиду вуглецю. При цьому організація таких методів обробки повинна ґрунтуватися на певних

---

© О.Ю. Шевченко, А.М.Романюк, А.О.Шевченко, 2011

співвідношеннях термодинамічних параметрів.

Так в режимах вакуумування необхідно досягати тисків, за яких відбувається активне адіабатне кипіння вологи і генерування парової фази. Власне режими адіабатного генерування парової фази за фізичною основою споріднені з екструзійними явищами, але перші можуть здійснюватися з більшим подовженням у часі. Проте як у першому, так і у другому випадку енергетичний потенціал визначається рівнем входження середовища у нестабільний стан, який за інших рівних

умов визначається різницею початкових і кінцевих температур перехідного процесу від початкового до нового стану рівноваги. Локалізація енергетичного впливу стосується утворення парової або газової фаз безпосередньо, а тому і ефекти інтенсифікації мають найбільший прояв [1, 2, 3].

Виконаємо оцінку енергетичного потенціалу, який середовище втрачає в режимі адіабатного кипіння за час вакуумування. При цьому за вихідні дані приймемо початкову  $t_{(п)}$  і кінцеву  $t_{(к)}$  температури оброблюваного середовища. В першому наближенні будемо вважати, що в режимі адіабатного кипіння випаровується вода з теплоємністю  $c_B = 4,19$  кДж/кг·К. Приймемо також, що теплоємність середовища  $c_{сер}$  у своєму значенні наближається до теплоємності води. Тоді за початкової маси  $m_{(п)}$  кількість теплової енергії, витраченої на пароутворення, складе

$$Q_1 = c_{сер} \frac{m_{(п)} + m_{(к)}}{2} (t_{(п)} - t_{(к)}), \quad (1)$$

де  $m_{(к)}$  – кінцева маса середовища, що відповідає завершенню адіабатного кипіння.

Теплова енергія у кількості  $Q_1$  витрачається на генерування парової фази у кількості  $Q_2$  і

$$Q_2 = r (m_{(п)} - m_{(к)}), \quad (2)$$

де  $r$  – теплота пароутворення одиниці маси, середовища, кДж/кг.

Прирівнявши два останні співвідношення, одержимо

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{і} \quad c_{сер} \frac{m_{(п)} + m_{(к)}}{2} (t_{(п)} - t_{(к)}) = r (m_{(п)} - m_{(к)}), \quad (3)$$

Звідси знайдемо

$$m_{(к)} = \frac{m_{(п)} (c_{сер} t_{(к)} + 2r - c_{сер} t_{(п)})}{2r - c_{сер} t_{(к)} + c_{сер} t_{(п)}}. \quad (4)$$

Середовище з одиничною масою  $m$  і перепадом температур  $\Delta t = (t_{(п)} - t_{(к)})$  втратить теплової енергії

$$Q = c_B m \Delta t, \quad (5)$$

що відповідає середній потужності впливу на середовище в режимі

генерування пари

$$N_c = \frac{Q}{\tau} = \frac{c_B m \Delta t}{\tau}, \quad (6)$$

де  $\tau$  – час адіабатного кипіння.

Результати по оцінці енергетичних впливів стосовно середовища масою 1 кг наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Значення енергетичних потенціалів і потужностей впливу на середовище в залежності від перепадів температур  $\Delta t$  і часу  $\tau$  перебігу процесу за  $m = 1$  кг**

$\Delta t,$ °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$Q,$ кДж	8,32	16,76	25,14	33,52	41,9	50,28	58,66	67,04	75,42	83,2
За час адіабатного кипіння 10 с										
$N,$ кВт	0,838	1,676	2,514	3,352	4,19	5,028	5,866	6,704	7,542	8,32
За час адіабатного кипіння 20 с										
$N,$ кВт	0,419	0,838	1,257	1,676	2,095	2,514	2,933	3,352	3,77	4,16
За час адіабатного кипіння 30 с										
$N,$ кВт	0,279	0,558	0,838	1,117	1,397	1,676	1,955	2,235	2,514	2,77

Наведені характеристики енергетичних трансформацій показують можливість досягнення високих рівнів потужностей, які за своїми показниками на один-два порядки перевищують традиційні енергетичні переходи або енерговведення і наближаються до показників, які відповідають НВЧ-обробці. З першого погляду порівняння потужностей енергетичних трансформацій адіабатного кипіння середовищ і НВЧ-впливів може виглядати некоректним, оскільки в першому випадку мова йде про зниження енергетичного потенціалу, а у другому – про процес, в якому має місце енерговведення. Однак результати зміни енергетичних потенціалів співпадають, оскільки в обох випадках мають місце генерування в повному об'ємі середовищ масивів парових бульбашок і парової фази, кавітаційні процеси з їх наслідками тощо. Параметри, з

якими середовища вводяться в режим вакуумування, визначають їх енергетичний потенціал, що накопичується в результаті взаємодії і теплообміну з навколишнім середовищем або спеціального нагрівання, які можуть виконуватися на протязі якогось запрограмованого терміну. Однак режим адіабатного кипіння є помітно швидкоплинним і таким, що за рахунок величини  $\Delta t$  може бути наближеним до імпульсного. Власне останнє визначає високу технологічну ефективність обробки вологовмістких середовищ з досягненням деструктивних впливів на їх структуру.

*Вакуумна обробка* виконується у формі зменшення атмосферного тиску над рідинним, газорідинним, рідинним з домішками твердої фази, вологовмісткою сировиною рослинного або тваринного походження. Як було показано раніше, енергетичний потенціал оброблюваного середовища визначається його температурою і теплоємністю. Технологічний і термодинамічний прояв такого потенціалу має місце за зниження тиску в системі нижче рівня, за якого має місце адіабатне утворення парової фази. Останнє може стосуватися як масиву суцільного середовища у формі рідинної фази з домішками, так і сировини з певним вмістом рідинної фракції. Метою обробки останньої є руйнування міжклітинних структур і клітинних оболонок. Феноменологічні міркування вказують на залежність результатів такої обробки від таких факторів, як глибина вакуумування і час витримки. Рівень руйнування структур сировини визначає наступний режим соковіддачі, екстрагування тощо. Наприклад, механічне подрібнення приводить до руйнування 16–18 % оболонок клітин, що забезпечує стартові умови адіабатного кипіння. Прояви вакуумних впливів при цьому залежать в значній мірі від структури сировини, її щільності, вологовмісту тощо, а енергія перегрітого середовища при цьому витрачається на утворення поверхні поділу рідинної і парогазової фаз, утворення пари та генерування кавітаційних явищ. Саме останні супроводжуються цілим рядом фізичних ефектів.

Важливим чинником в порушенні умов рівноваги біологічних середовищ є розчинені гази. У відповідності до закону Генрі зниження фізичного тиску в рідинній фазі приводить до виділення розчинених газів у формі мікробульбашок, які виконують роль центрів порушення суцільності середовища і можливих наступних об'єктів колапсу.

Утворення парової фази в міжклітинних і клітинних структурах має деструкційні впливи на їх рівнях, що в спеціальних технологіях є метою вакуумного оброблення середовищ.

Наведена інформація дозволила виконати оцінку впливів вакуумного оброблення сировини рослинного походження на загальний відгук вакуумування і режими наступної соковіддачі.

Експериментальні дослідження стосувалися ягідної і овочевої сировини і їх кінцевою метою було створення нових харчових композицій. У зв'язку з останнім було заплановано одержати оцінку сукупності процесів вакуумної обробки і осмомолекулярної дифузії.

Лабораторна установка була представлена сукупністю пристрою фірми Webomatic 1 для вакуумного пакування продукції (рис. 1), лабораторної центрифуги 2, аналітичних ваг 3, мікроскопу 4, засобів створення пакувань 5 та СВЧ-нагрівача 6.

Дослідження стосувалися ягідної, фруктової та овочевої сировини з природним рівнем вологовмісту в них. Очевидно, що рівень впливу на сировину має залежати від різниці початкової температури оброблюваного середовища і температури, що відповідає кипінню вологої фракції за досягнутого мінімального тиску. У зв'язку з цим спостереження виконувалися за стабілізованих початкових температур сировини 18–20 °С і залишкового тиску у вакуумній камері  $P = 0,005$  МПа. При цьому враховувалося, що динаміка зміни тиску у вакуумній камері залежала від таких показників, як рівень її заповнювання продуктом, вологість сировини та її фізичні властивості, активність пароутворення і можливості техніки вакуумування.

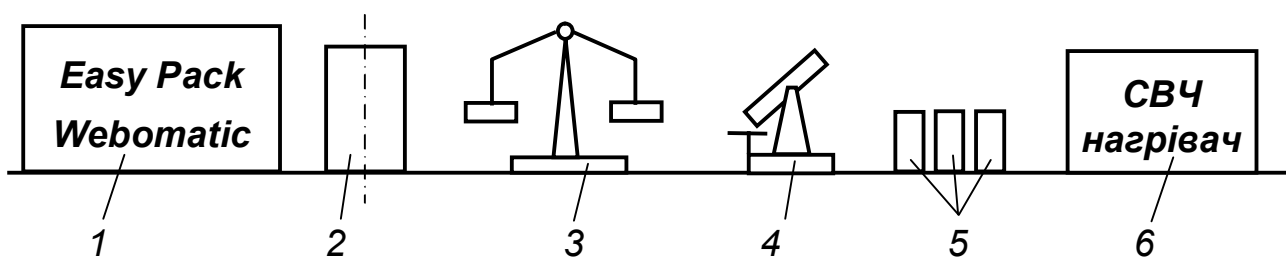


Рис. 1. Сукупність обладнання до лабораторних досліджень по оцінці впливів вакуумної обробки на сировину рослинного походження

З точки зору інтересів руйнування міжклітинних і клітинних структур значення має швидкість падіння тиску і інтенсивність утворення парової фази. На динаміку зниження тиску у вакуумній камері впливає співвідношення часток її об'єму і об'єму продукту. Окрім того в дослідженнях використовувалися спеціальні «витискувачі повітря», які дозволяли зменшувати об'єм камери до 50 % від початкового.

Інтенсивність утворення парової фази, трансформації і залишкові деформації сировини суттєво залежали від температурного напору. У зв'язку з цим в окремих дослідках температуру вхідного потоку сировини підвищували до 40–45 °С.

Ягоди малини, полуниці та чорниці оброблялися без подрібнення від температур навколишнього середовища 18–20 °С з кінцевим залишковим тиском у вакуумній камері 0,005 МПа. У всіх випадках вакуумування ягідної сировини візуально спостерігалось збільшення об'єму ягід до 30–40 % з наступним руйнуванням зовнішніх оболонок і кипінням вологої фракції. Вакуумна камера обладнана засобами стабілізації тиску на подовжений час в усьому діапазоні його зміни від  $P_{\max}$  до  $P_{\min}$ . Проте в режимі зупинки вакуумного насоса має місце поступове підвищення тиску в камері за рахунок генерування пари з вологовмісткого середовища. Утворення останньої у тому числі на міжклітинному і клітинному рівнях було основним деструкційним фактором, який можливо було спостерігати під мікроскопом. Результат

таких руйнувань пояснює підвищення виходу соків із сировини за інших рівних умов.

Порівняльні лабораторні дослідження по визначенню рівня соковіддачі здійснювалися на яблучній сировині, оскільки вона характеризується порівняно високим опором соковіддачі. Послідовність дій за цих досліджень була наступними.

1. Вихідна сировина підлягала ретельній санітарній обробці.

2. Виконувалося перетирання (подрібнення) плодів з ретельним перемішуванням для досягнення посередніх характеристик всього масиву сировини.

3. Масив подрібненої сировини ділився на рівні за масами частини.

4. Контрольні досліди виконувалися як перший і останній без вакуумної обробки. За їх виконання необроблена маса задавалася в барабан лабораторної центрифуги, яка вмикалася на дві хвилини з одержанням рідинної фракції і фракції залишків сировини.

5. Здійснювався вимір об'єму рідинної фракції і маса залишків «твердої» фази та додатково контролювалася маса рідинної фракції.

6. В дослідах здійснювалося вакуумування подрібненої сировини до залишкового тиску 0,005 МПа з витримкою в часі на протязі 2 хв.

7. Після завершення вакуумування здійснювалося розділення фракцій на центрифuzі з відповідними наступними вимірами об'ємів одержаної рідинної фази і маси «твердої» фази.

Результати експериментів представлені у табл. 2.

Таблиця 2

**Співвідношення мас рідинної фракції і «твердої» фази в робочих і контрольних дослідах**

№ досліджу	Контроль-ний дослід	Робочі досліди						Контроль-ний дослід
		1	2	3	4	5	6	
Маса мезги, кг	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Маса залишкової твердої фази, кг	0,2	0,14	0,135	0,135	0,14	0,13	0,13	0,196

Маса рідинної фази, кг	0,1	0,16	0,165	0,165	0,16	0,17	0,17	0,105
Вихід рідинної фази, %	33,3	53,3	55,0	55,0	53,3	56,7	56,7	35,0

Різницю у виходах першого і другого контрольних дослідів слід пояснити тим, що останній здійснювався з затримкою у часі, що приводить до певного рівня впливу гравітаційного поля. Деяке зростання виходу також помітне і у робочих дослідях.

Подальші візуальні спостереження показали, що з числа оброблюваних овочів найбільша реакція у формі інтенсивного утворення парової фази мала місце при обробці кавунів і перцю болгарського. За названим показником одержано такий ряд фруктів і овочів: кавун, перець, лимони, слива, алича, ананас, капуста, цибуля, яблука, груші, гарбуз.

При підвищенні початкової температури середовищ до 40–45 °С час витримки у вакуумній камері скорочується на 40–45 %. По різних видах продукції вакуумні технології порівняно з контрольними дослідями підвищують вихід продукції на 22–30 %.

**Висновок.** Одержано оцінку енергетичних впливів внутрішньої теплової енергії матеріальних потоків в результаті трансформацій термодинамічних параметрів за рахунок вакуумування середовищ та показано можливість використання процесів вакуумування вологовмістких потоків похідних ягідної, фруктової і овочевої сировини для інтенсифікації масообмінних процесів і розробки нових технологій і нових видів продуктів харчування.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Кулінченко В.Р. Вплив поверхневих сил і тиску на гідростатичну рівновагу парової бульбашки / В.Р.Кулінченко, І.К.Мотуз, О.О. Онопрієнко // Наукові праці УДУХТ. – К.: УДУХТ, 2001. – № 10. – С. 123–124.

2. Федоткин И.М. Физико-математические основы интенсификации



процессов / Федоткин И.М. – Кишинев: Штинца, 1987. – 262 с.

3. *Флауменбаум Б.Л.* Основы консервирования пищевых продуктов / *Флауменбаум Б.Л.* – М.: Легкая и пищевая пром-сть. – 1982. – 272 с.

*Одержана редколлегією 14.10.2011*

**А.Ю. ШЕВЧЕНКО, А.М. РОМАНЮК, А.О. ШЕВЧЕНКО,  
ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВЛИЯНИЯ НА  
ВЛАГОСОДЕРЖАЩИЕ СРЕДЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Рассмотрено влияние вакуума на влагосодержащие пищевые среды с целью разрушения межклеточных структур и клеточных оболочек и предложены на этой основе новые технологии повышения сокоотдачи.*

*Ключевые слова:* энергетическое влияние, влагосодержание сред, адиабатное кипение, вакуумная обработка.

**A. SHEVCHENKO, A. ROMANYK, A. SHEVCHENKO  
LOCALIZED EFFECT ON THE MOISTURE-ENERGY ENVIRONMENT OF  
FOOD PRODUCTION**

*Questions about the impact of vacuum on water-containing food medium to destroy intercellular structures and cell membranes and proposed on this basis new technologies to improve leakage of juice.*

*Keywords:* impact energy, moisture protection, adiabatic boiling, vacuum processing.