

УДК 664.8:658.562.5

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.148443

УНІВЕРСАЛЬНИЙ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АПАРАТ ДЛЯ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ З ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ

Запропоноване інноваційне конструктивне рішення універсального багатофункціонального апарата, що забезпечує реалізацію максимальної кількості тепломасообмінних процесів. А саме: витримування, підсушування, бланшування, уварювання, розварювання, настоювання, перемішування, розчинення та частково екстрагування. Поєднання цих процесів в єдиному апараті забезпечить його технологічну багатоопераційність, мобільність завдяки розташуванню на рухомій площадці. На ній змонтовано: моторне відділення; центральна опора фіксування робочої технологічної ємності; відділення з паровим генератором та вакуум насосом; технічні магістралі. Для керування основних режимних параметрів: швидкістю обертання валу мішалки; температурою нагрівання; тиском паровведення та вакуумуванням використовується засоби автоматизації. Також встановлена допоміжна технічна висувна піднімальна рейка з обертальним механізмом, призначена для розвантаження та завантаження ємності.

Конструктивне рішення багатофункціонального апарату забезпечує використання змінних секційно-модульних елементів. При цьому обігрівання технологічної ємності здійснюється гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу, що забезпечує вихід апарату на робочий режим протягом 1,5 хв., простоту обслуговування та зниження його металоемності конструкції.

Під час апробації універсального багатофункціонального апарата встановлено, що він забезпечує зменшення тривалості тепломасообмінних процесів. А саме: витримування органічної сировини на 22 %, бланшування на 25 %, екстрагування на 21 %, уварювання на 32 %, підсушування на 13 %, настоювання на 43 % та розчинення дрібнодисперсної фракції на 20 %. Питомі витрати енергії, затраченої на нагрівання одиниці продукту, менші на 10 % та 19 % в порівнянні з УПТОДС-150 та казаном КВМ-150 відповідно. Це підтверджує ефективність прийнятого інноваційного рішення при забезпеченні мобільності, енерго- та ресурсоефективності, легкості експлуатації та обслуговування апарата

Ключові слова: універсальна обробка, органічна продукція, багатоопераційність, фермерські господарства, ресурсоефективність, гнучкий плівковий резистивний електронагрівач

О. Є. Загорулько

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: zagorulko@hduht.edu.ua

А. М. Загорулько

Кандидат технічних наук, старший викладач*

E-mail: zagorulkoAN@hduht.edu.ua

К. Р. Касабова

Кандидат технічних наук

Кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчо концентратів**

E-mail: Kasabova_kateryna@hduht.edu.ua

В. М. Червоний

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М. І. Беляєва**

E-mail: chervoniy_v@gmail.com

О. В. Омельченко

Кандидат технічних наук

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

вул. Трамвайна, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005

E-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

С. М. Сабдаш

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра інженерних технологій харчових виробництв

Сумський національний аграрний університет

ул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, Україна, 40021

E-mail: s.v.sabadash@ukr.net

Н. П. Загорко

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра обладнання переробних і харчових виробництв

ім. проф. Ф. Ю. Ялпачика***

E-mail: zahorko@ukr.net

О. В. Пеньов

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедри технології конструкційних матеріалів***

E-mail: olegpenev66@gmail.com

*Кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв**

**Харківський державний університет харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

***Таврійський державний агротехнологічний університет

пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312

1. Вступ

Розвиток харчової індустрії України із запровадженням інноваційних мікробіологічних рішень із виробницт-

ва різноманітної продукції з мінімальним внеском органічної сировини на сьогодні не забезпечує повною мірою попиту на неї населення України та Європейських країн. Це пов'язано зі щоденним зростанням потреб населення

в природних органічних продуктах харчування. Зростання попиту на споживання високоякісної природної органічної сировини обумовлює доцільність пошуку інноваційних підходів з інтенсифікації технологічних тепломасообмінних процесів та обладнання для реалізації [1, 2]. Виробництво продуктів харчування з такої сировини потребує особливого підходу до неї одразу ж після її збирання у зрілому стані. Недотримання технологічних режимів, починаючи з перевезення та закінчуючи реалізацією кінцевої продукції, призведе до неминучої втрати корисних природних властивостей [3]. Від конструктивно-технологічних особливостей тепломасообмінних процесів залежить подальша харчова цінність отримуваної продукції.

До найбільш поширених тепломасообмінних процесів із переробки природної органічної сировини належать: витримування, підсушування, бланшування, уварювання, розварювання, настоювання, перемішування, розчинення та частково екстрагування. Кожна зазначена операція є особливою з точки зору її реалізації. У більшості випадків вона потребує використання високопродуктивного та металоемного обладнання. Проте інколи таке обладнання не здатне забезпечити високої якості отримуваної продукції та потребує складних інженерно-технічних комунікацій. Усе це обумовлює необхідність пошуку способів об'єднання тепломасообмінних процесів із переробки природної органічної сировини в єдиному сучасному універсальному багатофункціональному обладнанні.

Тому актуальним завданням є конструктивне рішення сучасного енерго- та ресурсозберігаючого універсального багатофункціонального апарату для проведення тепломасообмінних процесів при переробці природної органічної сировини. Це в свою чергу забезпечить конкурентоспроможність органічної високоякісної продукції, зменшення втрат сировини та ресурсовитрат на виробництво, що значною мірою забезпечить розширення асортименту продукції органічного походження в різноманітних продуктах харчування.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Органічні продукти харчування мають величезний попит на ринках Європейських країн. Це обумовлює модернізацію існуючого технологічного обладнання в умовах розвитку невеликих фермерських та готельно-ресторанних підприємств. Головною проблемою під час первинної переробки органічної сировини є первинна тепломасообмінна обробка зі збереженням корисних речовин. Важливу роль в цьому випадку має використовуване обладнання, яке в більшості випадках є одноопераційним, що значною мірою ускладнює універсальність його використання. Вирішення цього питання обумовлює необхідність в інноваційному підході до вирішення технологічно-конструктивних завдань зі створення універсального багатофункціонального обладнання багатоопераційного призначення [4, 5].

Сьогодні використовуються різноманітні види обладнання для проведення тепломасообмінних процесів природної сировини, серед них: підігрівачі, бланшувачі, витримувачі, інші апарати періодичної та безперервної дії. У більшості випадків це обладнання має високу продуктивність і характеризується безперервним проведенням технологічних процесів зі складними технічними комунікаціями та складністю обслуговування [6].

Технологічні операції з витримування (у цукровому сиропі або органічних кислотах певної концентрації) та бланшування плодів використовують для підвищення проникної здатності міжклітинної структури під час подальшої обробки й пом'якшення тканинної структури рослинної сировини. В роботі [6] зазначені узагальнені технологічно-конструктивні способи проведення даних операцій, але невисвітлені питання щодо можливих шляхів їх практичної інтенсифікації. Це обумовлено складністю прогнозування, реалізації проведення тепломасообмінних процесів, оскільки режимні параметри визначаються дослідним шляхом для кожного конкретного випадку, залежно від виду, сорту, ступеня стиглості й розміру плодів та конструктивної особливості використовуваного обладнання [7]. Усі ці фактори обумовлюють складність дотримання й стабілізації процесів в одноопераційному обладнанні (стрічкових, барабанних та шнекових апаратів безперервної дії). Для подолання цих труднощів доцільними є попередні експериментально-практичні дослідження на багатоопераційних модульних апаратах за умов використання змішаних способів теплопідведення на основі сучасних низькометалоемних та безінерційних нагрівальних елементів.

Операцію з підсушування застосовують для запобігання зайвої гуркоті й терпкості певних різновидів органічної сировини. Зокрема використовують температуру в межах 50...60 °C, протягом 30...50 хв [7]. Під час обробки органічної природної сировини застосовують також уварювання для виробництва паст, варення та інших продуктів. Його метою є розм'якшення тканини плодів, видалення з них вологи та повітря, уведення цукру, знищення мікроорганізмів. Цей процес може проводитися за атмосферного тиску чи під вакуумом. Доцільність застосування вакууму зумовлена прагненням знизити температуру кипіння, що за атмосферного тиску може перевищувати 100 °C для продуктів із вмістом цукру понад 60 % [8].

Операція розварювання використовується для розм'якшення природної структури сировини, що сприяє збереженню тканинної цілісності, соковитості, яскравого забарвлення м'якоті перед протиранням для виготовлення в подальшому, наприклад, шпореподібних напівфабрикатів. В роботі [8] наведені результати дослідження його реалізації шляхом подавання пари в робочу ємність та встановлено, що втрати теплоти із-за витoku теплоносія становлять в середньому від 5...95 % в залежності від конструктивної особливості апаратів. Таким чином, залишилися невисвітленими питання щодо можливості шляхів інтенсифікації процесу та досягнення зниження енерго- та металовитрат. Усе це дозволяє стверджувати, що доцільним є подальші науково-практичні дослідження у напрямку зниження енерго- та ресурсовитрат.

Екстрагування базується на масоперенесенні речовини з метою досягнення рівноважного стану між екстрагентом і концентрованою речовиною або органічними розчинниками. В роботі [9] зазначається, що у більшості випадків під час екстрагування необхідно здійснювати класифікацію об'єктів екстрагування для окремого обладнання, що ускладнює перебіг процесу. Для інтенсифікації процесу пропонується використання вакуумування та псевдо зрідження, також підвищенням температури процесу, зменшенням розміру часток сировини та підвищенням ступеня перемішування. Але повною мірою в роботі невисвітлена можливість використання в виробництві саме багатоопераційних енергозберіга-

ючих апаратів, що значно підвищить рентабельність підприємства.

Для в'язких і рідких харчових продуктів (пюре, пасти та ін.), що складаються з декількох компонентів, застосовують перемішування із метою надання гомогенної структури та розчинення дрібнодисперсної фракції в рідині або технологічних однорідних сумішах. Їх проводять в одноопераційних реакторах або варильних казанах.

У харчовій промисловості, фермерських господарствах і готельно-ресторанних закладах використовують операцію з попереднього нагрівання сировини, в тому числі готової продукції, прямими джерелами теплоти (електричним струмом) або різноманітними проміжними теплоносіями. В роботі [10] вкотре підкреслюється, що саме тривалість процесів нагрівання є найголовнішим чинником оцінювання енерго- та ресурсоефективності процесу, як наслідок, отримуваної якості переробки рослинної сировини. Причиною цього є необхідність експериментального визначення режимних параметрів для кожного конкретного випадку. Проте, залишається не вирішеною проблема стосовно раціонального теплопідведення та можливості об'єднання окремих режимних завдань в єдиному конструктивно-технологічному рішенні, що забезпечить зменшення ресурсних витрат.

В роботі [12] зазначено необхідність ефективного використання енергетичних ресурсів в напрямку тенденції розвитку галузей харчової промисловості та індустріалізації багатьох країн, але шляхи їх вирішення повною мірою невисвітлені. Це пов'язано з тим, що в багатьох випадках вони є комплексними та залежать від багатьох складно прогнозованих чинників. Саме тому вони мають складне конструктивно-технологічне завдання, яке потребує експериментально-практичної апробації.

Вище зазначене свідчить, що більшість тепломасообмінних процесів та існуюче технологічне обладнання для його реалізації характеризуються загальними конструктивно-технологічними недоліками. Основними серед яких є одноопераційність, енерго- та металоемність, складність технічних комунікацій, використання та обслуговування. Так, у роботі [11] підкреслюється необхідність дотримання встановленого в Європейських країнах закону про модернізацію безпеки харчових продуктів. Але залишилися невисвітленими питання щодо ефективності апробації даного законопроекту на окремі галузі харчової промисловості. Причиною цього є ступінь його сучасного інноваційного розвитку, недосконалість законодавства та меж відповідальності в країнах. Одним з шляхів вирішення цих труднощів є зацікавленість урядів країн до впровадження сучасних інноваційних конструктивно-технологічних рішень стосовно ресурсоефективного підходу до створення сучасних вимог на підприємствах харчової промисловості для виробництва високоякісної, конкурентоспроможної продукції. Це можливо досягти шляхом поєднання тепломасообмінних процесів в багатофункціональних універсальних апаратах зі зменшеними габаритно-ваговими характеристиками та спрощеними експлуатаційними властивостями.

Тому, одним з завдань харчової промисловості є ресурсоефективна переробка органічної сировини безпосередньо під час її збирання та подальшої теплової переробки. Це підтверджує доцільність завдання з об'єднання даних процесів в єдиному конструктивно-технологічному комплексі, що забезпечить якість отримуваної продукції та простоту технологічного обслуговування.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є визначення можливостей забезпечення ефектів енерго- та ресурсозбереження універсального багатофункціонального апарата (УБА) на основі оптимізації конструктивно-технологічних рішень для проведення тепломасообмінних процесів при переробці природної органічної сировини.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

- визначити основні параметри тепломасообмінних процесів органічної природної сировини в УБА;
- розробити конструкцію універсального багатофункціонального апарата;
- за результатами експериментальних та розрахункових досліджень підтвердити енерго- та ресурсоефективність розробленої конструкції УБА в порівнянні з базовими апаратами.

4. Матеріали, методи дослідження багатокомпонентних природних композицій та експериментальна установка

Оптимізацію запропонованих конструктивно-технологічних рішень для проведення тепломасообмінних процесів при переробці природної органічної сировини та визначення можливостей забезпечення енерго- та ресурсозбереження проводилися в лабораторіях Харківського державного університету харчування та торгівлі (Україна) на розробленій модельній установці УБА. Детальний опис експериментальної моделі УБА, а також матеріали та методи дослідження з тепломасообмінної обробки природної органічної сировини наведено в праці [13]. Під час проведення тепломасообмінних процесів використовувалися стандартні розрахункові та експериментальні методики з використанням автоматичних вимірювальних пристроїв фірми «ОВЕН» (Україна).

5. Універсальний багатофункціональний апарат для реалізації тепломасообмінних процесів

Основними вимогами під час проектування УБА є:

- намагання максимально зберегти природні властивості органічної сировини за рахунок використання прийнятних технологічно-конструктивних рішень із реалізації технологічних процесів;
- забезпечення мобільності, енерго- та ресурсоефективності обладнання, що характеризуватиметься легкістю експлуатації та обслуговування.

Для забезпечення усіх цих вимог необхідне максимальне об'єднання всіх можливих тепломасообмінних процесів. Зазначені операції можуть бути реалізовані у створюваному апараті внаслідок розробки допоміжних секційно-модульних пристроїв та раціонального конструктивного розташування в робочому просторі апарата.

Універсальний багатофункціональний апарат УБА-200 (рис. 1) має горизонтально розміщену внутрішню робочу технологічну ємність 1. Її обігрівання здійснюється гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею 2 (ГПРЕНВТ) [14].

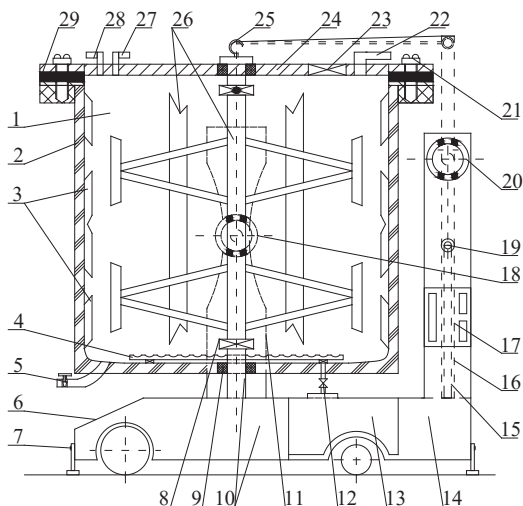


Рис. 1. Схема універсального багатофункціонального апарата УБА-200:

1 – внутрішня робоча технологічна ємність; 2 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею (ГПРЕНВТ); 3 – технічні відокремлювачі; 4 – змінна головка барботувального розпилювача; 5 – кран зливання технологічної рідини; 6 – пересувна площадка; 7 – стопові фіксатори; 8 – швидкоз'єднувальні муфти; 9 – вузлове з'єднання з підшипником; 10 – моторне відділення з виведеним обертовим валом; 11 – центральна опора фіксування робочої технологічної ємності; 12 – автоматичний запобіжник парової магістралі; 13 – відділення парового генератора; 14 – відділення з утворення вакууму; 15 – вакуумний трубопровід; 16 – допоміжна технічна висувна піднімальна рейка з обертальним механізмом; 17 – блок керування швидкістю обертання швидкоз'єднувальної муфти 8, температурою нагрівання технологічної ємності, тиском пароведення та вакуумом; 18 – механізм нахилу робочої технологічної ємності; 19 – з'єднувальний патрубок з під'єднання гнучкого шланга вакуумування; 20 – піднімальний механізм допоміжної технічної висувної піднімальної рейки з обертальним механізмом 16; 21 – накидні болти; 22 – патрубок під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19; 23 – герметичний завантажувальний бункер; 24 – кришка робочої технологічної ємності; 25 – крюк для піднімання кришки; 27 – змінний модульний елемент у вигляді мішалки; 27 – автоматичний запобіжний клапан; 28 – механічний клапан відведення надлишкового тиску; 29 – гумове ущільнення

У внутрішньому просторі робочої технологічної ємності 1 відповідно до конструкційних особливостей розташовуються такі елементи:

- горизонтальні технічні роздільні відокремлювачі 3. Призначені для пошарового розрізання рідинного та сировинного потоку в робочій технологічній ємності 1, насамперед під час тепломасообмінних процесів: екстрагування, настоювання, уварювання, перемішування та розчинення;

- модульно-змінна головка барботувального розпилювача 4, що з'єднується з технічним патрубком відведенням автоматичного запобіжника парової магістралі 11;
- магістраль крана зливання технологічних рідин 5.

Для забезпечення мобільності УБА згідно з конструкторським рішенням розташовується на пересувній

площадці 6 зі стоповими фіксаторами 7, яка має такі допоміжні конструктивні елементи:

- моторне відділення з виведеним обертовим валом 10 на основі черв'ячного редуктора, який проходить крізь вузлове з'єднання з підшипником 9, та закріпленою на кінці швидкоз'єднувальною муфтою 8;

- стаціонарну центральну опору для фіксування робочої технологічної ємності 1 із механізмом 18 для цієї ємності в межах 10...35°;

- автоматичний запобіжник парової магістралі 12, з'єднаний із відділенням парового генератора 13;

- відділення для утворення вакууму 14 із вакуумним трубопроводом 15;

- допоміжну технічну висувну піднімальну рейку з обертальним механізмом 16 із її піднімальним механізмом 20;

- блок керування 17, що забезпечує управління швидкістю обертання швидкоз'єднувальної муфти 8, температурою нагрівання технологічної ємності, тиском пари та вакуумом в апараті;

- з'єднувальний патрубок, призначений для під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19.

Для здійснення максимальної кількості тепломасообмінних процесів в УБА запропоновано використання змінних секційно-модульних елементів. А саме: змінний модульний елемент у вигляді мішалки 27 – перфорований із розміщеними всередині кутовими роздільниками та тарілчастий (рис. 2, а, б). Установлення змінних секційно-модульних елементів у технологічній ємності 1 здійснюється за допомогою швидкоз'єднувальних муфт 8, що забезпечують обертання з метою інтенсифікації процесів попередньої обробки.

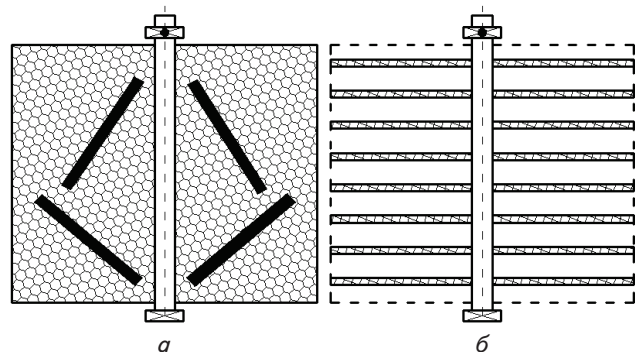


Рис. 2. Змінні секційно-модульні елементи, розроблені спеціально для універсального багатофункціонального апарата призначення: а – перфорований із розміщеними всередині кутовими роздільниками; б – тарілчастий

До технологічної ємності 1 за допомогою накидних болтів 21 (4 шт.) кріпиться кришка робочої технологічної ємності 24, що має гумове ущільнення 29 у місцях взаємодії з технологічною ємністю 1. На кришці робочої технологічної ємності 24 розташовуються такі конструктивні елементи: патрубок 22 для із під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19. Герметичний завантажувальний бункер 23, призначений для засипання технологічної дрібнодисперсної суміші з її подальшим змішуванням та розчиненням, а також технологічних рідин загалом.

На кришці робочої технологічної ємності 24 встановлено допоміжний крюк 25 для її піднімання під час зміни секційно-модульних елементів і розвантаження апарата. Із метою запобігання збільшенню надлишкового тиску

в технологічній ємності 1 на кришці робочої технологічної ємності 24 встановлено автоматичний запобіжний клапан 27. Із метою розвакуування технологічної ємності 1 уручну встановлено механічний клапан для відведення надлишкового тиску 28.

Використання змінних секційно-модульних елементів розв'язує технологічне завдання з тепломасообмінної обробки органічної природної сировини. Наприклад, для екстрагування та бланшування використовують перфорований елемент із розміщеними всередині кутовими розділювачами (рис. 2, а). Розділювачі призначені для запобігання ущільненню сировини та її поступового переміщення (перемішування) в секційно-модульній перфорованій ємності під час її обертання. Тарілчастий секційно-модульний елемент (рис. 2, б), використовується в більшості випадків для підсушування сировини. При цьому діаметри отворів підбираються відповідно до різновиду та геометричної форми органічної сировини. Спеціально розроблений змінний модульний перемішувальний елемент у вигляді двоповерхової лопати призначено для проведення процесів перемішування, розчинення дрібнодисперсної фракції та її настоювання.

Змінний модульний елемент у вигляді мішалки 27 використовують під час витримування, настоювання, розварювання в технологічних кислотах і рідинах, уварювання. А також для перемішування та розчинення дрібнодисперсної фракції в рідині або однорідних технологічних сумішах.

УБА також обладнаний стоповими фіксаторами 7, які розміщені на станині пересувної площадки 6 та призначені для запобігання її рухливості під час роботи апарата.

Принцип роботи УБА відповідно до запропонованих тепломасообмінних процесів полягатиме в наступному. Для проведення процесів із витримування, бланшування, настоювання та частково екстрагування в технологічних кислотах завчасно підготовлена природна органічна сировина завантажується до змінного секційно-модульного перфорованого елемента. Усередині нього розміщені кутові розділювачі (рис. 2, а). За допомогою допоміжної технічної висувної піднімальної рейки 16 та швидкоз'єднувальної муфти 8 цей елемент попередньо кріпиться на кришці робочої технологічної ємності 24 із крюком для її піднімання 25. Рейка має обертальний механізм 20. Ця конструкція завантажується до внутрішньої робочої технологічної ємності 1, де в нижній частині входить у зчеплення зі швидкоз'єднувальною муфтою 8. Після фіксування змінного секційно-модульного перфорованого елемента в робочій ємності апарата здійснюється фіксування кришки робочої технологічної ємності 24 накидними болтами 21.

Потім оператор установлює потрібні технологічні параметри за допомогою блока керування 17, серед них:

- швидкість обертання швидкоз'єднувальної муфти 8, вал якої встановлено в герметизоване вузлове з'єднання з підшипниками 9. Частота обертання приводу муфти змінюється в межах $5...15 \text{ хв}^{-1}$, що забезпечується черв'ячним редуктором, установленим у моторному відділенні 10. При цьому встановлено автоматичну затримку вмикання черв'ячного редуктора, доки температура в робочій ємності не досягне значення 25°C . Це, у свою чергу, забезпечить енергозбереження на стадії нагрівання сировини;

- температура нагрівання. Робоча поверхня УБА обігривається ГПРЕНВТ 2, який здатен забезпечити її максимальну температуру на рівні 130°C ;

- тиск вакуумування. Розроблений апарат здатен забезпечити тиск у відділенні утворення вакууму 14

у межах $13...19 \text{ кПа}$ (для процесів уварювання та розварювання). Тиск після утворення надходить до патрубку під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19, який з'єднується з патрубком 22;

- тиск барботування. Гаряча пара утворюється у відділенні з парогенератором 13. Після досягнення тиску гарячої пари в межах $0,1...0,5 \text{ МПа}$ відкривається автоматичний запобіжник парової магістралі 12 і надходить пара до змінної головки барботувального розпилювача 4.

Змінний секційно-модульний перфорований елемент із кутовими розділювачами (рис. 2, а) завантажується та фіксується у внутрішній робочій технологічній ємності 1. У ході здійснення процесів із витримування, бланшування, настоювання та частково екстрагування, технологічна ємність 1, заповнюється рідинами крізь герметичний завантажувальний бункер 23 відповідно до технологічних потреб приблизно на 50 % свого об'єму. Бункер розташований на кришці апарата 24.

Витримавши природну органічну сировину протягом певного часу, оператор вимикає нагрівання, барботування та розвакуування технологічної ємності 1 за допомогою механічного клапана відведення надлишкового тиску 28. Потім він від'єднує патрубок під'єднання гнучкого шланга вакуумування 19 від вакуумувача 14 та за допомогою механізму нахилу робочої технологічної ємності 18 повертає цю ємність на кут у межах $10...35^\circ$. Після чого відкривається кран зливання отриманої технологічної рідини 5, з'єднаний із технологічним трубопроводом або певною ємністю.

Після завершення зливання попередньо обробленої технологічної рідини ємність 1 повертають у початкове геометричне положення і розкручують накидні болти 21. Потім за допомогою допоміжної висувної піднімальної рейки 16 з обертальним механізмом 20 розвантажують внутрішню робочу технологічну ємність 1. При цьому з метою розчеплення нижньої швидкоз'єднувальної муфти кришку апарата 24 спочатку підіймають на $0,01 \text{ м}$ та повертають на кут $5...10^\circ$. Після цього підіймають та повністю розвантажують секційно-модульний перфорований елемент із подальшою технологічною обробкою сировини.

Використання змінного модульного елемента у вигляді мішалки 27 та секційно-модульного тарілчастого елемента (рис. 2, б) в інших операціях із попередньої обробки (теплової) має аналогічний принцип роботи, відрізняється лише певними особливостями. Наприклад, під час підсушування органічної природної сировини на тарілчастих елементах не нахилиють внутрішню робочу технологічну ємність 1 після завершення обробки.

Проведені дослідження з визначення основних технологічних параметрів попередньої теплової обробки органічної природної сировини у УБА в різному стані. А саме: сушеному (під час екстрагування), порошкоподібному й рідинному (розчинення та змішування) – із подальшим порівнянням отриманих результатів із відомими технологічними апаратами на основі КВМ-150 [15] та УПТОДС-150 [16].

Результати експериментально-практичних досліджень під час апробації розробленого УБА порівняно з аналогами наведено у табл. 1, які підтверджуються зменшенням тривалості теплової обробки запропонованих процесів експериментальної моделі, що є показником підвищення ефективності запропонованих конструктивно-технологічних рішень. Використовуючи стандартну методику проведення тепломасообмінного процесу з підсушування, визначено ефективність використання розробленої моделі УБА на прикладі порівняльного графіку кінетики.

Перелік узагальнених тепломасообмінних процесів із результатами-дослідження

Назва тепломасообмінних процесів	Відношення температури робочої поверхні до тривалості, °C/с		
	Традиційний варильний казан КВМ-150	УПТОДС-150	УБА-150
Витримування в технологічних кислотах	20...25/1800	20...25/1550	15...20/1200
Бланшування	105...110/300	105...110/240	80...85/180
Екстрагування	85...90/6800	85...90/3600	75...80/2850
Витримування	70...75/900	70...75/740	60...65/500
Підсушування	50...55/3600	50...55/3450	45...50/3000
Перемішування	47 хв ⁻¹	10 хв ⁻¹	5...15 хв ⁻¹
Настоювання	25...30/2000	25...30/1400	15...20/800
Розчинення дрібнодисперсної фракції	30...40/1800	30...40/900	25...30/720

Сушінню піддавались плоди терну з початковою вологістю 78 % до кінцевого вологовмісту 25 % (рис. 3). Аналіз отриманих експериментальних кривих свідчить про інтенсивність процесу підсушування сировини у розробленому УБА та зменшенню тривалості термічної обробки порівняно з КВМ-150 на 17 % (шляхом розташування в робочій камері перфорованого тарілчастого вкладиша) та УПТОДС-150 на 9,6 %. Підвищення ефективності УБА на прикладі підсушування пояснюється, насамперед, зменшенням тривалості виходу апарата на стаціонарний режим за рахунок швидкого виходу ГПРЕнВТ на робочу температуру порівняно з базовими апаратами.

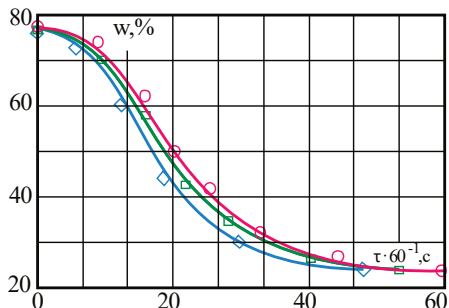


Рис. 3. Кінетика процесу підсушування плодів чорноплідної аронії: ○ – КВМ-150; □ – УПТОДС-150; ◇ – УБА-150

Результати, отримані під час порівняння з найбільш близьким прототипом (УПТОДС-150, табл. 1), підтверджують зменшення тривалості всіх запропонованих тепломасообмінних процесів із переробки природної органічної сировини. При цьому одночасно зменшився температурний вплив на сировину за рахунок вакуумування технологічної ємності УБА. Наприклад: тривалість витримування органічної сировини в технологічних кислотах зменшилася на 22 %, бланшування на 25 %, екстрагування на 21 %, витримування на 32 %, підсушування на 13 %, настоювання на 43 % та розчинення дрібнодисперсної фракції на 20 %. Зменшення тривалості тепломасообмінних процесів в УБА в порівнянні з базовими апаратами досягається за рахунок безпосередньої взаємодії нагрівача з робочою камерою, що тим самим дозволяє скоротити тривалість виходу апарата на стаціонарний режим.

Ефективність конструктивно-технологічного рішення, реалізованого в дослідному зразку УБА стосовно енерго- та ресурсозбереження, підтверджуються прак-

тично-розрахунковими рівняннями теплового процесу порівняно з традиційними (як базові варіанти прийнято варильний казан КВМ-150 та УПТОДС-150 з паровим обігрівом), а саме:

- розрахунками питомих витрат енергії затрачуваної на нагрівання одиниці продукту в апаратів підтверджено зменшення показників на 10 % та 19 % порівняно з УПТОДС-150 та казаном КВМ-150 відповідно (табл. 2), а питома металоємність зменшується вдвічі в порівнянні з УПТОДС-150;

- можливість зменшення температури нагрівача порівняно з паровим нагрівом на 15...25 °C, за рахунок розташування нагрівача на зовнішній поверхні робочий ємності, оскільки відповідно до технічних властивостей ГПРЕнВТ забезпечується його вихід на робочу температуру поверхні протягом 1,5 хв., до заданої режимної температури;

- стандартні технологічні лінії з переробки рослинної сировини для проведення тепломасообмінних процесів мають здебільшого одноопераційне обладнання, таке як бланшувачі, екстрактори, розварювачі, варильні котли тощо. Розроблений УБА відповідно до конструктивно-технологічної реалізації забезпечує можливість багатоопераційного проведення теплової обробки в єдиному апараті, тим самим забезпечить значне зменшення габаритно-вагових характеристик лінії.

Значне зниження енерговитрат у новій установці має істотне екологічне значення, оскільки за переважного вироблення електроенергії на теплових електростанціях зменшення споживання енергії зумовлює зниження викиду CO₂ в атмосферу.

З табл. 2 можна зробити висновок, що використання електрообігріву порівняно з обігрівом паром зменшить енерго- і метало витрати, спростить регулювання температури в робочій камері апарата.

Під час дослідження були визначені технічні параметри розробленого універсального багатофункціонального апарата (табл. 3).

У ході дослідження отримано узагальнені технічні параметри розробленого УБА, які підтверджують ефективність його використання на невеликих фермерських та готельно-ресторанних підприємствах. У разі його розміщення на малопродуктивних технологічних лініях із продуктивністю 50...200 кг/год УБА порівняно з існуючими прототипами (табл. 1, 2) забезпечить гарантоване підвищення техніко-експлуатаційних показників існуючого одноопераційного обладнання.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика втрат енергії на нагрівання рідини під час бланшування

Втрати енергії	КВМ-150	УПТОДС-150	УБА-50
Нагрів апарата	$Q_{нагр} = m_1 \cdot c_c \cdot (t_2' - t_1') - m_1 \cdot c_c \cdot (t_2'' - t_1'') = 145 \cdot 0,48(143 - 20) + 175 \cdot 0,48(90 - 20) = 14440$ кДж	$Q_{нагр} = m_1 \cdot c_c \cdot (t_2' - t_1') - m_1 \cdot c_c \cdot (t_2'' - t_1'') = 95 \cdot 0,48 \cdot (143 - 20) + 105 \cdot 0,48 \cdot (90 - 20) = 9136$ кДж	$Q_{нагр} = m_1 \cdot c_c \cdot (t_2' - t_1') = 35 \cdot 0,48 \cdot (90 - 20) = 1176$ кДж
На нагрівання продукту	$Q_{пр} = m \cdot c \cdot (t_k - t_{н}) = 150 \cdot 4,19 \cdot (90 - 20) = 44089$ кДж	$Q_{пр} = m \cdot c \cdot (t_k - t_{н}) = 150 \cdot 4,19 \cdot (90 - 20) = 44089$ кДж	$Q_{пр} = m \cdot c \cdot (t_k - t_{н}) = 50 \cdot 4,19 \cdot (90 - 20) = 14696$ кДж
У навколишнє середовище	$Q_{вт} = 0,02 \cdot Q_{пр} = 0,02 \cdot 44089,5 = 882$ кДж	$Q_{вт} = 0,02 \cdot Q_{пр} = 0,02 \cdot 44089,5 = 882$ кДж	$Q_{вт} = 0,02 \cdot Q_{пр} = 0,02 \cdot 14696,5 = 294$ кДж
Загальна кількість	$Q = 59412$ кДж	$Q = 54107$ кДж	$Q = 16166$ кДж
Питомі витрати	$q_{пр} = \frac{Q}{m} = \frac{59412}{150} = 396$ кДж/кг	$q_{пр} = \frac{Q}{m} = \frac{54107,25}{150} = 361$ кДж/кг	$q_{пр} = \frac{Q}{B} = \frac{16166,4}{50} = 323$ кДж/кг
Питома металоемність апарата	$m = M/F = 390/1,2 = 325$ кг/м ²	$m = M/F = 300/1,2 = 250$ кг/м ²	$m = M/F = 75/0,6 = 125$ кг/м ²

Це досягається насамперед за рахунок багатоопераційності, мобільності, ресурсоефективності, зниження температурного впливу на сировину шляхом вакуумування робочої ємності та використання ГПРЕНВТ під час її обробки, енерго- та металовитрат загалом. Зазначене, у свою чергу, забезпечить високу якість отриманого напівфабрикату на виході з УБА.

Наведені технологічні параметри з проведення зазначених тепломасообмінних процесів забезпечують зменшення тривалості та температурного впливу. Це, у свою чергу, забезпечить щадний підхід до органічної природної сировини та максимальне збереження її початкових властивостей.

Таблиця 3

Технічні параметри універсального багатофункціонального апарата

Технічний параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Об'єм технологічної ємності	м ³	0,05...0,2
Потужність двигуна обертового приводу	кВт	0,35
Температура робочої поверхні (ГПРЕНВТ)	°С	до 130
Витрата пари під час бланшування	кг/год	15...30
Частота обертового приводу	хв ⁻¹	5...15
Вага (без завантаження)	кг	75...130

6. Обговорення отриманих результатів обробки природної органічної сировини в розробленому універсальному багатофункціональному апараті

Експериментально-практичні результати дослідження підтверджують конструктивно-технологічну ефективність використання УБА для проведення тепломасообмінних процесів із переробки природної органічної сировини та забезпечення високої якості отриманої сировини.

Запропонований конструктивно-технологічний підхід під час проектування УБА дозволив об'єднати більшість тепломасообмінних процесів в єдиному універсальному апараті. Причому цей апарат характеризується мобільністю, простотою та безпекою використання, зменшеною енерго- та металоемністю, що досягається за рахунок використання сучасного ГПРЕНВТ та ліквідації нагрівальної парової оболонки. Таке рішення є перспективним, оскільки дозволяє знизити інерційність та металоемність базових конструкцій схожих апаратів.

Перевагами цього дослідження порівняно з існуючими аналогами є перш за все створення прийнятної конструктивно-технологічного рішення за інтенсифікації тепломасообмінних процесів. Це забезпечить покращення технічних параметрів зазначених апаратів і зменшення собівартості. Упровадження запропонованого апарата та рекомендованих режимних параметрів у харчову промисловість забезпечить якісний підхід до сировини на початкових стадіях виробництва високоякісних напівфабрикатів із максимально збереженим вмістом БАР і лікувально-профілактичних властивостей. Запропонований УБА за рахунок максимально об'єднання тепломасообмінних процесів та зручності проведення може бути використаний не лише для переробки сезонної органічної сировини. А також для приготування емульсій, соусів, згущених молочних виробів, та інших напівфабрикатів та готової продукції безпосередньо у місцях реалізації.

Попередньо досліджувалися процеси термічної обробки дикорослої сировини на УПТОДС [16], при цьому обігрівання його робочої камери здійснювалося паровою оболонкою. Така система обігрівання характеризувалася інерційністю, металоемністю, нерівномірністю нагрівання, складністю експлуатації й автоматизації. Саме ці технічні недоліки були усунені завдяки запропонованому інноваційному рішення в розробленому апараті.

Під час обробки природної органічної сировини у єдиному універсальному комплексі обладнання значну увагу необхідно приділяти використанню прийнятних технологічних режимів. Це обумовлено природними властивостями сировини, пов'язаними зі швидким псуванням та коротким терміном зберігання перед переробкою та транспортуванням. Саме тому під час переробки органічної сировини в більшості випадках використовують бланшування, витримування, підсушування й інші види тепломасообмінної обробки з метою забезпечення необхідних технологічних властивостей для подальшого виготовлення високоякісних продуктів харчування. Розроблену конструкцію УБА рекомендовано використовувати за перерахованими тепломасообмінними процесами

в межах регулювання температури від 30 до 130 °C під час обробки рослинної сировини.

У подальшому планується проведення детального дослідження з реалізації тепломасообмінних процесів в запропонованому апараті. Заплановано також пошук шляхів подальшого вдосконалення УБА із метою максимального збереження початкових природних властивостей органічної сировини.

7. Висновки

1. Аналіз літературних джерел щодо технологічних і конструктивних передумов проведення тепломасообмінних процесів (витримання, підсушування, бланшування, уварювання, розварювання, настоювання, перемішування, розчинення та частково екстрагування). Для переробки органічної сировини, дозволив визначити загальні недоліки. Серед них: одноопераційність, енерго- та металоємність, складність технічних комунікацій, використання, обслуговування, незначна кількість для невеликих фермерських господарств та підприємств готельно-ресторанного бізнесу. Це обумовлює потребу в пошуку інноваційного конструктивне рішення багатоопераційного універсального багатофункціонального обладнання. Характерною рисою якого буде: висока продуктивність, мобільність, простота технологічного обслу-

говування та забезпечення високої якості отримуваних органічних напівфабрикатів.

2. Здійснено порівняння УБА з прототипом (УПТОДС-150) та підтверджено зменшення тривалості тепломасообмінних процесів при переробці органічної сировини. А саме: зменшення тривалості витримання органічної сировини в технологічних кислотах на 22 %, бланшування на 25 %, екстрагування на 21 %, уварювання на 32 %, підсушування на 13 %, настоювання на 43 % та розчинення дрібнодисперсної фракції на 20 %. Також забезпечується зменшення тривалості температурного впливу на сировину за рахунок вакуумування технологічної ємності УБА. Розрахунками питомих витрат енергії затрачуваної на нагрівання одиниці продукту в апаратів підтверджено зменшення показників на 10 % та 19 % порівняно з УПТОДС-150 та казаном КВМ-150 відповідно, а питома металоємність зменшується вдвічі в порівнянні з УПТОДС-150.

3. Використання УБА на технологічних лініях із продуктивністю 50...200 кг/год забезпечить гарантоване підвищення техніко-експлуатаційних показників існуючого одноопераційного обладнання. За рахунок багатоопераційності, мобільності, ресурсоефективності, зниження температурного впливу на сировину вакуумування робочої ємності. А використання ГПРЕНВТ забезпечить значне зниження енерго- та метало витрат, що в цілому дозволить виробляти високоякісні органічні напівфабрикати, зокрема, в місцях збирання.

Література

1. Концепція розвитку органічного землеробства в Україні до 2020 року / Шкуратов О. І., Дребот О. І., Чудовська В. А. та ін. К.: ТОВ «Екоінвестком», 2014. 16 с.
2. Виробництво органічної сільгосппродукції та сировини // Агробізнес сьогодні. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/uvpravovomu-poli/item/1858-vyrobnystvo-orhanichnoi-silhospproduktsii-ta-syrovyny.html>
3. Абрамюк В. Перспективи розвитку харчової промисловості України // Всеукраїнська студентська інтернет-конференція. 2013. URL: <http://conf-cv.at.ua/forum/127-1388-1>
4. Influence of common juniper berries pretreatment on the essential oil yield, chemical composition and extraction kinetics of classical and microwave-assisted hydrodistillation / Marković M. S., Radosavljević D. B., Pavićević V. P., Ristić M. S., Milojević S. Ž., Bošković-Vragolović N. M., Veljković V. B // *Industrial Crops and Products*. 2018. Vol. 122. P. 402–413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.018>
5. Тележенко Л. Н., Безусов А. Т. Биологически активные вещества фруктов и овощей: сохранение при переработке: монография. Одесса: Оптимум, 2004. 268 с.
6. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв: підр. Х.: ХДУХТ, 2002. 420 с.
7. Процес поділу плодів та овочів на однорідні за розмірами партії // Студопедія. Ваша школопедія. URL: http://studopedia.com.ua/1_355784_protases-podilu-plodiv-ta-ovochiv-na-odnoridni-za-rozmirami-partii.html
8. Гладушняк О. К. Технологічне обладнання консервних заводів: підр. Херсон: Гринь Д.С., 2015. 348 с.
9. Mustafina A. S., Fedyayev K. S. Classification of extraction objects. *European Science and Technology // Materials of the IV International research and practice conference*. Vol. I. Munich, 2013. P. 296–300.
10. The influence of different time durations of thermal processing on berries quality / Arancibia-Avila P., Namiesnik J., Toledo F., Werner E., Martinez-Ayala A. L., Rocha-Guzmán N. E. et. al. // *Food Control*. 2012. Vol. 26, Issue 2. P. 587–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.01.036>
11. Adalja A., Lichtenberg E. Implementation challenges of the food safety modernization act: Evidence from a national survey of produce growers // *Food Control*. 2018. Vol. 89. P. 62–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.024>
12. Pogozhikh M., Pak A. The development of an artificial energotechnological process with the induced heat and mass transfer // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1, Issue 8 (85). P. 50–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91748>
13. Загорулько А. М., Загорулько О. Є. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу: Пат. № 108041 UA. № u201600827; заявл. 02.02.2016; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. URL: <http://uapatents.com/5-108041-gnuchkijj-privkoviijj-rezistivnijj-elektronagrivach-viprominyuyuchogo-tipu.html>
14. Котел вакуумный КВМ. URL: http://www.agro-mash.ru/280111_kotel_vak_KVM.html
15. Черевко О. І., Афукова Н. О., Кіптела Л. В. Пристрій для попередньої теплової обробки дикорослої сировини: Пат. № 53975 UA. № 2002042926; заявл. 11.04.2002; опубл. 17.02.2003, Бюл. 3.