



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ І  
ОСВІТИ  
ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ  
ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ**

**ДЕРЖАВНИЙ  
БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ТА ЯКОСТІ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ  
ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

***Тези доповідей  
Всеукраїнської науково-практичної конференції  
8 червня 2023 р.***



***Харків***

Редакційна колегія

*В.М. Михайлов*, д-р техн. наук, проф.  
(відпов. редактор);  
*М.І. Погожих*, д-р техн. наук, проф.;  
*А.О. Пак*, д-р техн. наук, доц.;  
*М.О. Янчева*, д-р техн. наук, проф.;  
*В.В. Євлаш*, д-р техн. наук, проф.;  
*Н.Г. Гринченко*, д-р техн. наук, доц.;  
*М.В. Сліпченко*, канд. техн. наук, доц.;  
*О.І. Завгородній*, д-р техн. наук, проф.;  
*Н.В. Сметанкіна*, д-р техн. наук, с.н.с.;  
*І.П. Стороженко*, д-р ф.-м. наук,  
проф.;

*Т.О. Сичова*, канд. техн. наук, доц.;  
*Д.О. Торяник*, канд.ф.-м. наук, доц.;  
*Д.І. Масленников*, канд.ф.-м. наук, доц.;  
*В.О. Гаєвська*, канд. техн. наук, доц.;  
*Д.А. Левкін*, канд. техн. наук, доц.;  
*О.А. Мандражи*, канд. пед. наук;  
*А.Ю. Гайдусь*, канд. техн. наук, доц.;  
*О.М. Жданович*, начальник редакційно-  
видавничого відділу університету;  
*В.П. Яковлева*, керівник відділу  
організації наукової роботи

П78

Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини : Всеукр. науково-практ. конф., 8 червня 2023р. : [тези] / редкол. : В. М. Михайлов [та ін.] ; Держ. біотехнол. ун-т. – Х. : ДБТУ, 2023. – 74 с.

Збірник містить тези доповідей із проблем сушіння харчових продуктів. Розглянуто такі питання: теоретичні аспекти й експериментальні дослідження процесів сушіння харчової сировини; розробка енергоефективних сушильних апаратів; технологія сушіння харчової сировини; формування якості продукції під час теплової обробки; тепломасообмінні процеси та обладнання харчових виробництв.

Збірник розраховано на наукових та практичних працівників, викладачів вищої школи, аспірантів, магістрантів та студентів вищих навчальних закладів.

**За достовірність інформації відповідає автор публікації.  
Видається в авторській редакції.**

**О.П. Афанасьєва**, канд. екон. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**О.І. Упатова**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ СНЕКІВ**

Джерелом високоякісного тваринного білка є м'ясо птиці, виробництво і перероблювання якого здійснює вагомий вклад у продовольчу безпеку України. Підприємствами ресторанного господарства м'ясо птиці використовується у виготовленні 45% всієї продукції через цінову доступність та швидкість приготування. Зростання рівня виробництва та споживання м'яса птиці вимагає від виробника освоєння більш сучасних і перспективних харчових продуктів, розширення асортименту та розробок технологій нових продуктів високої якості та харчової цінності.

У цьому напрямку особливо актуальним є виробництво снекової м'ясної продукції, технології якої дозволяють отримати вироби з високим вмістом білка та мінеральних компонентів за мінімізації деструктивних змін біологічних компонентів, що дозволяє віднести їх до функціональних харчових продуктів.

Для дослідження процесів сушіння напівфабрикату м'ясних снеків використовували конвективну сушарку Profit M ЕСП 1, технічні характеристики якої повністю відповідали вимогам сушіння. Вибір конвективної сушарки для одержання м'ясних снеків зроблено на основі технічних, технологічних і економічних показників, як найбільш раціонального способу сушіння для впровадження в діяльність закладів ресторанного господарства.

Дослідження кінетики сушіння зразків напівфабрикатів м'ясних снеків проводили з використанням функціональних плоских ємностей з обсягом завантаження 250 г, які розміщували в сушильній камері та продували гарячим повітрям з температурами 50 і 70 °С. Зважуванням визначали зміну маси продукту, після чого визначали кількість сухих речовин та знаходили вміст вологи в заданий проміжок часу.

Сушіння за температури 50 °С проводили до одержання масової частки вологи у сухих зразках 22 – 23%, що є необхідною умовою при виробництві сухих м'ясних продуктів. Відбувалось сушіння упродовж тривалого часу – 12 годин, тобто енерговитрати виявились досить високими. Також при цьому режимі снеки за показниками смаку виявились незадовільними, оскільки мали гумову консистенцію та ускладнене розжовування. Крім того, як відомо, температура м'яса під час сушіння не підвищується доти, поки випаровується волога. Тому,

чим нижча температура сушіння, то довше м'ясо перебуває в інтервалі температур, сприятливих для зростання мікроорганізмів. До того моменту, коли температура почне підвищуватися, мікроорганізми, в тому числі хвороботворні, можуть виявитися досить стійкими до температури та, можливо, зберегти життєздатність. Нагрівання за температури 70 °С вже протягом 5-10 хв забезпечує знищення до 95-99% вегетативної мікрофлори. Отже, сушіння за температури 50 °С є недоцільним для виробництва м'ясних снєків із використанням конвективного способу сушіння, і тому було обрано температурний режим 70 °С.

Тривалість сушіння напівфабрикатів м'ясних снєків за температури 70 °С було визначено за значенням показника активності води. У сучасних умовах виробництва і впровадження систем організації контролю якості саме активність води рекомендовано приймати як об'єктивний показник, що дозволяє контролювати процес сушки та міру готовності сухих продуктів. Це один із найважливіших показників якості та безпечності м'ясних продуктів і для забезпечення стабільних властивостей повинен не перевищувати значення 0,8.

У ході проведення сушіння напівфабрикатів спостерігається поступове випаровування вологи та зниження активності води. Тривалість сушіння напівфабрикатів м'ясних снєків становило 300 хвилин, що обумовлено досягненням показника активності води нормативного значення (0,8), яке забезпечує мікробіологічну стабільність та органолептичні показники, які властиві сухим м'ясним продуктам.

Як свідчать одержані результати дослідження, процес сушіння зразків напівфабрикатів, які відрізнялися за хімічним складом сировини, відбувався з різною швидкістю. Особливо це спостерігалось протягом першого періоду сушіння, коли відбувається видалення вільної механічно-зв'язаної вологи. Тому швидкість випаровування найбільша була для зразка з найменшою масовою часткою вологи. Протягом другого періоду сушіння відбувається випаровування зв'язаної вологи, тобто вологи, яка міцно зв'язана з компонентами сировини за рахунок фізичних і хімічних зв'язків. І тому найменша швидкість випаровування спостерігалася для зразка, який характеризувався підвищеним вмістом полісахаридів.

Таким чином, за результатами дослідження обґрунтовано спосіб та раціональні технологічні параметри сушіння напівфабрикатів м'ясних снєків, а також обрано конвективний тип сушіння за температури 70 °С як найбільш доцільний.

**М.В. Бакум**, канд. техн. наук (ДБТУ, Харків)  
**О.І. Завгородній**, д-р техн. наук (ДБТУ, Харків)  
**О.В. Сіняєва**, ст. викл. (ДБТУ, Харків)  
**М.М. Кречот**, канд. техн. наук (ДБТУ, Харків)

## **ВПЛИВ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ НА ЗНИЖЕННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ**

Всі технології по переробці зернових матеріалів обов'язково містять такі операції, як сепарація та сушіння. При плануванні відповідної технології слід враховувати, що вологість на певний відсоток буде знижена під час проведення очищення та сортування.

При проведенні очистки зернових матеріалів волога з них видаляється двома шляхами: Перший шлях випаровується та виноситься з повітрям, а другий шлях видаляється з домішками. Для отримання якісної очистки та сортування зернової сировини ці операції зазвичай необхідно проводити послідовно та інколи по декілька разів. В сепараторах, принцип роботи яких побудований на використанні повітряного потоку вологість зменшується на більший відсоток, а наприклад в решітних або трієрних сепараторах на менший відсоток, за рахунок відсутності інтенсивного повітряного потоку.

Необхідно зазначити, що матеріал, який зберігається у зерносховищах повинен зберігатися при вологості не вище 14 %, тому вологість яку має зерновий ворох після очистки і сортування, обов'язково знижується до величини регламентованої державними стандартами або вимогами споживача. Дослідження зміни вологості зернового матеріалу в процесі очищення та сортування зібраного врожаю пшениці виконувалися на матеріалі отриманому прямим комбайнуванням, одразу після потрапляння цього матеріалу на фермерський тік. Дослідження проводилися на ярій пшениці твердого сорту Харківська 39 вирощеній на полях фермерського господарства Харківської області у 2022 році. На якість зібраного врожаю впливали обставини які склалися в державі на період посіву і вирощування пшениці. Тому особливістю зібраного врожаю було те що, через несвоєчасний посів та обмежені можливості по удобренню та внесенню пестицидів, він містив значну кількість домішок і насіння бур'янів. Великий вміст домішок і насіння бур'янів, а також підвищена вологість зібраного зернового вороху, були спричинені засміченістю полів бур'янами. Ці бур'яни (зелена маса) погіршували умови обмолоту зернозбиральним комбайном, підвищили вологість зерна пшениці і в подальшому потрапили в зібраний ворох. Зібраний врожай

пшениці очищався одразу після потрапляння в господарство на решітному скальператорі і доочищався та сортувався на пневматичному сепараторі. Після пневматичного сепаратора були отримані п'ять фракцій зернового матеріалу. Вихідний зерновий матеріал містив в собі 96,15% насіння пшениці вологістю 16,33%. Також вихідний матеріал містив 3,85% домішок (у вигляді легких домішок 2,04% та насіння бур'янів 1,82%) вологість яких становила 19,85%. Загальна вологість вихідного матеріалу становила 16,55%.

З аналізу результатів видно що відсортований матеріал розподілився по приймачах в таких пропорціях до першого 28,24%, до другого 59,01%, до третього 9,48%, до четвертого 2,47%, до п'ятого 0,8%. Але вміст цих приймачів був різним як за складом так і за вологістю. Так в перший приймач потрапило 98,52 % насіння пшениці і 1,48% домішок загальною вологістю 16,34%. До другого приймача виділився матеріал 98,4% насіння пшениці і 1,6% домішок, з вологістю маси 16,46%. Відповідно до третього 93,05% пшениці і 6,95% домішок з вологістю 16,49%. В четвертій і п'ятій приймачі потрапив матеріал з таким вмістом насіння пшениці відповідно 43,44% і 45,6%, а також з значним вмістом домішок відповідно 56,56% і 54,4%, через що була підвищена і його вологість до величини відповідно 16,1% і 15,9%. Тобто підвищення кількості домішок підвищує вологість фракції оскільки основна кількість вологи міститься саме в них. Також слід зазначити що вологість зерна і домішок також була різною відповідно в різних приймачах. Так вологість насіння пшениці змінювалася в невеликому діапазоні і становила для зерна що потрапило в перший приймач 16,3%, в другий 16,4%, в третій 16,1%, в четвертий 16,1%, в п'ятій 15,9%. Вологість домішок змінювалася в значно більшому діапазоні так в перший приймач потрапили домішки з вологістю 18,75%, в другий 19,86, в третій 21,72%, в четвертий 24,02%, в п'ятій 22,99%. З результатів експерименту можна зробити висновок що очищена фракція потрапила в перші три приймачі (це 96,73% матеріалу) вологість якої становить 15,42%, на її досушування необхідно буде затратити значно менше енергії. Основна кількість вологи виділилася разом з домішками в останні два приймачі (це 3,27% матеріалу) вологість вмісту цих приймачів становить 22,38%. Також слід зазначити що вміст перших трьох приймачів необхідно доочищати, а вміст останніх двох приймачів містить лише 1,4% насіння пшениці низької якості що економічно доочищати недоцільно. Також важливо і те що матеріал отриманий після скальператора і пневматичного сепаратора в подальшому буде очищатися більш якісно оскільки міститиме меншу вологість і кількість домішок.

**О.В. Богомолов**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)  
**В.І. Ірклієнко**, канд. техн. наук (ДБТУ, Харків)  
**О.О. Богомолов**, асп. (ДБТУ, Харків)  
**Б.В. Михайлов**, маг. (ДБТУ, Харків)  
**А.М. Ромашко**, маг. (ДБТУ, Харків)  
**Ю.І. Солдатенко**, маг. (ДБТУ, Харків)

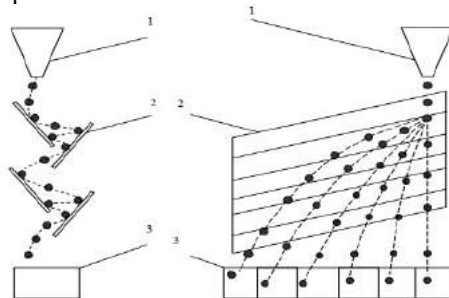
## ДО ПИТАННЯ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ

**Метою досліджень** є обґрунтування процесу сепарації та сушіння зернової суміші в складі якої є сухе і вологе насіння.

При збирання насіння деяких культур, наприклад гороху, сої, кукурудзи та інших, особливо з полів, що мають низини у купу зерна попадають, як сухі так і вологі зернини. При цьому якщо така суміш не спрямовується відразу на сушіння то вологість зерна в такій купі вирівнюється, тобто сухе насіння стає більш вологим, а вологе віддає свою вологу сухому. Цей процес проходить протягом декількох годин, іноді достатньо всього 2-3 години. І якщо кількість волого насіння в купі значна, то загальна вологість може підвищитись до такого рівня при якому його необхідно сушити. Причому сушити доводиться всю купу.

У той же час відомо, що вологе насіння має менш пружні властивості ніж сухе. Нами пропонується для такої суміші проводити попередню сепарацію зерна за пружними властивостями, відділення при цьому волого насіння від сухого і сушіння вже тільки вологого.

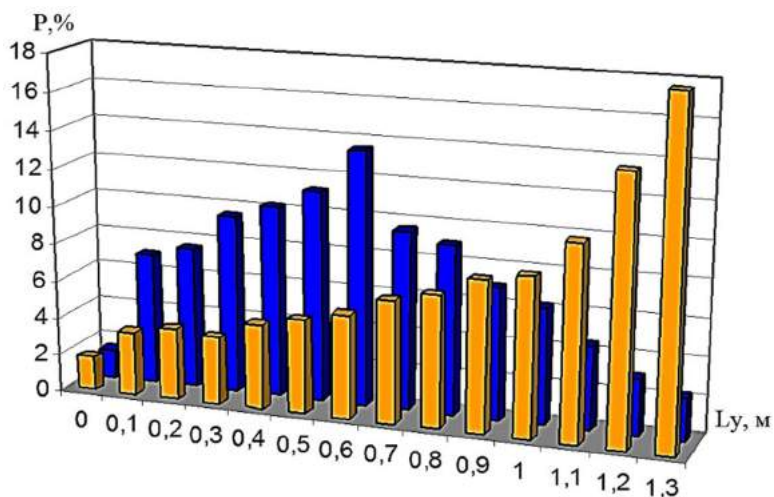
Відділення волого насіння від сухого можна здійснити на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі, схема якого представлена на рис 1.



**Рис. 1.** Схема багатоярусного ударного сепаратора: 1 – бункер; 2 – декі; 3 – приймачів продуктів поділу

Дослідження проводили на суміші зерна гороху вологістю 8,6% та суміші вологістю 24,3%, пропускаючи їх крізь сепаратор послідовно. Розподіл маси по фракціям фіксували за довжиною переміщення насіння від місця подачі через 0,1м.

На рис.2. представлені результати експериментальних досліджень багатоярусного ударного сепаратора на сепарації насіння гороху при таких параметрах повздовжній кут нахилу сепаруючих поверхонь -  $4^{\circ}$ , поперечний кут нахилу сепаруючих поверхонь -  $55^{\circ}$ , подача суміші – 50кг/год.



**Рис. 2. Розподіл насіння гороху: жовтий - з вологістю 8,6% синій - вологістю 24,3**

З рис.2 видно, що в дальні, від живильного бункера, приймачі потрапляє більша кількість гороху з меншою вологістю, а в ближні, від живильного бункера, приймачі – з більшою вологістю.

Таким чином з суміші зерна, в якій є вологе насіння можна відразу після збирання виділити вологе насіння і сушити вже тільки вологе. При цьому зменшаться енерговитрати, витрати на транспортування зерна, зменшиться загалом травмування зерна, а також відпадає необхідність сушити сухе насіння.



**В.А. Большакова**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**О.Б. Дроменко**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**В.М. Онищенко**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

## **ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА СУШЕНИХ ВИРОБІВ З М'ЯСА ПТИЦІ**

Сучасні умови воєнного часу вимагають від виробників освоєння більш сучасних та перспективних ніш продуктів харчування, розширення асортименту та розробки технологій нових продуктів високої якості та харчової цінності. Сушіння м'яса – це перспективний метод консервування м'яса, який в певній мірі надає можливість зберегти його вихідні властивості. Під час сушіння м'ясо зберігає не лише смак, а й високу харчову і біологічну цінність, поживні речовини, вітаміни і амінокислоти. Сушене м'ясо, як продукт харчування, є відомим в багатьох стародавніх культурах харчування. В'ялені продукти були отримані в результаті тривалих спостережень та експериментів. Найперші описи технології в'ялення м'яса та інших продуктів відомі ще з історії стародавньої Вірменії у 95-94рр. до н.е.

Сушіння як спосіб консервування їжі використовувалося людством століттями, стабільними джерелами харчування людини були сухе м'ясо, риба, фрукти. Асортимент сухих продуктів сучасної людини представлений насамперед закусочними продуктами, які можна поєднати загальним терміном «снекі». Снекі від англійського «snacks» - це продукти для швидкого та легкого вгамування голоду, або закуски, що не потребують додаткового приготування та повністю готові до вживання. До снекової належить продукція з пролонгованими термінами придатності, яку називають «ready-to-eat», виробництво такої продукції на сьогоднішній день є одним із перспективних напрямів структурування асортименту підприємств м'ясної промисловості. До споживчих ознак більшості сухих м'ясних продуктів типу "ready-to-eat" відноситься мала маса, наявність індивідуального пакування.

У зв'язку з попитом на продукти тривалого зберігання та високою прибутковістю цього виду продукції багато підприємств м'ясопереробної промисловості модернізують своє виробництво для виробництва в'яленого та сушеного м'яса, що створює передумови для розробки сучасного асортименту даного типу продукції та пошуку інноваційних рішень удосконалення технології сушеного та в'яленого м'яса.

На кафедрі технології м'яса ДБТУ було проведено комплекс досліджень по розробці технології виробів з сушеного м'яса птиці.

Особливістю запропонованої технології виробництва сушених виробів стало обрання в якості об'єкту дослідження фарш з м'яса птиці (куряче філе). Традиційною сировиною для виробництва виробів з сушеного та в'яленого м'яса є яловичина. Але використання м'яса птиці має ряд переваг: можливість розробки виробів дієтичного спрямування, більш низька собівартість продукції, наявність сировинних ресурсів. М'ясо птиці характеризується високим вмістом білка (16-22 %) та низьким вмістом жиру (1-4 %), що відповідає вимогам до сировини для виготовлення сухих продуктів. Близько 40% амінокислот білків м'язової тканини птиці відносяться до незамінних. М'ясо птиці є одним із найбільш цінних постачальників вітамінів групи В. У ньому багато макроелементів, серед яких виділяються калій, сірка, фосфор, натрій, кальцій, хлор, а також мікроелементів - заліза, цинку, міді, марганцю, що мають велике значення в обміні речовин. Ці дані дозволяють розглядати м'ясо птиці як цінну сировину для сухих м'ясних продуктів.

М'ясо птиці подрібнювали на вовчку з діаметром решітки 2,5 мм. Для досягнення пластичності фаршевих мас було досліджено вплив різних наповнювачів рослинного походження: картопляного крохмалю, рисового та пшеничного борошна, які вносили в концентраціях 3, 5, 10%. Визначено доцільність композиційного застосування рослинних наповнювачів, розробили рецептурну матрицю фаршу для виробництва сушеного м'яса (м'ясо птиці 85%, рисового борошна 7%, картопляного крохмалю 5%, пшеничного борошна 2%, сіль кухонна 1%). Експериментально підібрали композиції спецій та смако-ароматичних інгредієнтів для створення асортименту готової продукції. Сушіння проводили перегрітою парою за різних температур. Дослідили вплив товщини фаршевої пластини (в діапазоні 5...20 мм), температури обробки (110...150<sup>0</sup>С) на якісні показники продукту. Встановлено раціональні режими проведення сушіння (температура 130<sup>0</sup>С, товщина фаршевої пластини не менше 10 мм). Процес сушіння проводили до вологості 8...10%. Висушені пластини м'яса нарізали у вигляді локшини 10x50 мм. Визначено хімічний склад та показники якості готової продукції, досліджено динаміку фізико-хімічних та мікробіологічних показників сушеного м'яса в залежності від умов зберігання.

Таким чином, розширення асортименту та розробка технологій нових продуктів з м'яса птиці високої якості та харчової цінності, стійких до бактеріального псування при тривалому зберіганні робить вагомий внесок у продовольчу безпеку країни.

Н.В. Дмитренко, канд. техн. наук (ІТТФ НАНУ, Київ)

О.В. Гусарова, канд. техн. наук (НТУУ КПІ ім. І.Сікорського, Київ)

## ВПЛИВ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ НА ПРОЦЕС КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ТА ЯКІСТЬ ЧИПСІВ ІЗ ЯБЛУК

В останні роки в харчовій промисловості та ресторанному господарстві набули широкого використання фруктові чипси, як самостійний продукт, так і для приготування різних страв. Основним завданням їх виготовлення стало створення ефективних технологій, які б дозволяли отримати продукт з низькою залишковою вологістю (6...8%) при мінімальних витратах часу та енергії. Для підвищення ефективності процесу сушіння та якості продукту використовують різні способи, зокрема попередню обробку сировини. Традиційно використовують обробку парою, гарячою або киплячою водою, водними розчинами органічних кислот та лугів, розсолами, сиропами. Останнім часом значний інтерес викликає попередня обробка інфрачервоними променями, мікрохвильова обробка тощо.

Мета роботи – визначити вплив попередньої обробки фруктів струмами високої частоти (СВЧ) на процес їх конвективного сушіння.

Для дослідження було вибрано яблука сорту Ренет Симеренко, нарізані кружальцями товщиною 3...4 мм. Зразки попередньо обробляли СВЧ-випромінюванням потужністю 400, 600, 800 Вт протягом 40, 35, 25 с в побутовій СВЧ-печі Panasonic. Подальше сушіння проводили на конвективному сушильному стенді із застосуванням двох стадійного режиму зневоднення при параметрах сушильного агенту:  $t = 80/60$  °С,  $V = 1,5$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п. Аналіз кінетики сушіння здійснювали на підставі кривих сушіння (рис.1).

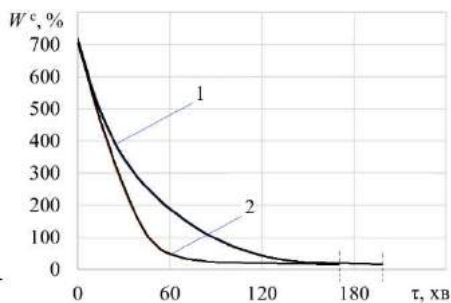


Рис.1. Кінетика сушіння паренхімних тканин яблук свіжих (1) та підданих 25 с попередньої обробці СВЧ-випромінюванням потужністю 800 Вт (2)  
 $\delta = 3...4$  мм,  $t = 80/60$  °С,  $V = 1,5$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.

Результати експериментів свідчать про суттєвий вплив попередньої СВЧ-обробки на стан паренхімних тканин яблука та процес їх сушіння. По-перше, короткочасна мікрохвильова обробка вирівняла та стабілізувала колір нарізаних яблук – підготовлені до сушіння зразки не окислювались протягом значного часу. По-друге, попередня обробка призвела до істотного зменшення вологості зразків ще до початку процесу конвективного сушіння. По-третє, процес конвективного сушіння прискорився порівняно із необробленими зразками до 14%, і зневоднити оброблені зразки вдалося до нижчої кінцевої вологості ніж необроблені за тих же умов (6 та 8% відповідно). Все це значно скоротило витрати часу на весь технологічний процес виготовлення чипсів та покращило їх якість. Одержані яблучні чипси за кольором, ароматом і смаком мало відрізнялись від вихідної сировини та набули ніжного хрускоту.

У межах дослідження якості кінцевого продукту було визначено коефіцієнт набухання та відновлюваність отриманих чипсів (табл.1).

Таблиця 1

**Дані експериментальних досліджень коефіцієнту набухання та відновлюваності отриманих яблучних чипсів**

Застосована попередня обробка	Коефіцієнт набухання $K_n$	Відновлюваність $B$ , %
Без попередньої обробки	3,74	64,74
СВЧ-випромінювання потужністю 400 Вт протягом 40 с	3,54	81,53
СВЧ-випромінювання потужністю 600 Вт протягом 35 с	3,24	89,24
СВЧ-випромінювання потужністю 800 Вт протягом 25 с	3,40	96,66

Як бачимо, порівняно з необробленими зразками, спостерігається суттєве підвищення відновлюваності отриманих чипсів:  $B = 64,7\%$  та  $B = 96,7\%$  відповідно. Таке високе значення відновлюваності свідчить про те, що у висушеному матеріалі збережені капіляри, по яким всмоктується та утримується вода.

Отже, використання у технології виготовлення яблучних чипсів попередньої обробки яблук СВЧ-випромінюванням та стадійного режиму зневоднення дозволяє інтенсифікувати конвективне сушіння на 14% та зменшити загальну тривалість всього процесу. Така попередня обробка є не тільки економічно доцільною, але й покращує вигляд і органолептичні показники кінцевого продукту.

**В.В. Євлаш** д-р. техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

**О.Ф. Аксьонова** канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**С.М. Губський** канд. хім. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**Н.В. Мурликіна**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

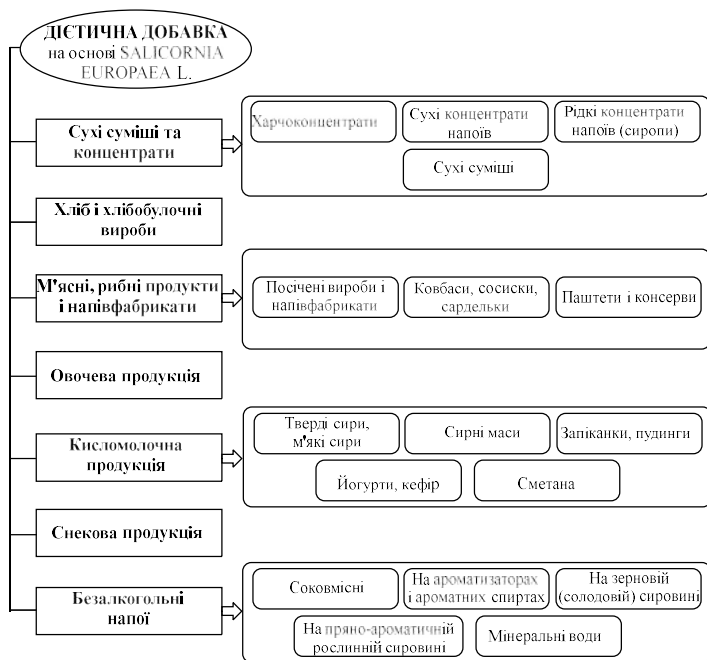
## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДІЄТИЧНОЇ ДОБАВКИ НА ОСНОВІ SALICORNIA EUROPAEA L. В ТЕХНОЛОГІЯХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

На сьогоднішній день у світі не вирішено низку проблем, пов'язаних із забезпеченням продовольством та гарантованою доступністю для кожної людини безпечних і якісних харчових продуктів. Питання повноцінного харчування є важливими для здоров'я. Вживання надмірної кількості вуглеводів, жирів, гострий дефіцит мінеральних речовин і вітамінів призводять до порушень обміну речовин. Населення багатьох країн відчуває дефіцит есенціальних нутрієнтів, зокрема Ca, Mg, P, I, Fe, F, Se. Своєчасним є пошук їстівної рослинної сировини, яка не використовується або використовується неповною мірою. Активізувалися дослідження нетрадиційної рослинної сировини з метою визначення її можливостей як потенційних нутрицевтиків. За останні роки визнано як цінне джерело нутрієнтів галофіт *Salicornia*, що містить в тому числі ті, які зумовлюватимуть поліпшення функціонально-технологічних властивостей продуктів із ними. Важливими властивостями для створення продуктів є емульгувальні, поліпшення текстури, солоний смак, кольороутворення, підвищення ефективності дріжджів (стимулює розмноження мікроорганізмів у процесі бродіння). *Salicornia Europaea L.* – один із найбільш солестійких видів на узбережжі Азовського моря і може стати в Україні перспективною нетрадиційною рослинною сировиною. Метою роботи було одержання зразків дієтичної добавки на основі надземної частини *Salicornia Europaea L.* (далі DSL) та визначення напрямів її перспективного використання в технологіях харчових продуктів.

Основні операції одержання DSL включали сушіння вимитої, просушеної надземної частини рослини і її подальше подрібнення. Сушіння проводили конвективним способом, що дозволяє зберегти властивості вихідних зразків. Температури сушіння було вибрано, виходячи з вимог до показників кольору і запаху. Зразки, висушені за температур 80, 70 і 60°C, мали суттєві відмінності кольору – темно-зелений з коричневими вкрапленнями, світло-коричневий і світло-зелений з світло-коричневими світлими вкрапленнями відповідно. Запах усіх зразків був характерним для висушеної рослинної сировини. Аналіз отриманих результатів дозволив вибрати раціональну температуру сушіння 70°C, за якої зразок мав монотонний колір. Подрібнення висушених зразків здійснювали за допомогою кульового млина до розмірів частинок основної фракції 30-50 мкм.

Експериментально було підтверджено, що зразки DSL містять усі поживні речовини – білки, жири, вуглеводи, є джерелом цінних вітамінів

(холін, нікотинова кислота, вітамін С,  $\beta$ -каротин та ін.) і мінеральних елементів (Mg, Ca, K, Fe, I), мають підвищений вміст Mg, характеризуються антиоксидантною активністю. У 100 г DSL визначено Na (3460 мг), K (1155 мг), Mg (770 мг), Ca (580 мг), P (650 мг), Si (80 мг), Zn (11,5 мг), Fe (9,6 мг), Mn (2,9 мг), Cu (2,3 мг) та ін. Мікробіологічні дослідження нової добавки підтвердили відповідність показників безпеки чинним вимогам і санітарним нормам. Розроблені зразки DSL запропоновано застосовувати для створення харчових продуктів та оптимізації раціону харчування населення з метою збагачення харчовими волокнами, мінеральними елементами, біологічно активними речовинами. Перспективні напрями застосування добавки у технологіях харчових продуктів показано на рис. 1.



**Рис. 1. Перспективні напрями застосування дістичної добавки на основі Salicornia Europaea L. у технологіях харчових продуктів**

З використанням DSL розроблено зразки солоних сирних мас, м'ясних січених виробів, тістового напівфабрикату та хліба житньо-пшеничного. Зразки нової продукції мали високі органолептичні характеристики і харчову цінність. Вони можуть бути запропоновані широким верствам населення як продукти для профілактики серцево-судинних захворювань та підтримки у фізіологічних межах функціональної активності організму.

**В.В. Євлаш**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

**Л.В. Газзаві-Рогозіна**, канд. с.-г. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**М.П. Головко**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

## **ВИВЧЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗРАЗКІВ СУШЕНИХ ВИЧАВКІВ З ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

Сушені овочі містять багато клітковини, харчові волокна в сушених овочах нормалізують роботу шлунково-кишкового тракту. Крім того, клітковина блокує і знижує загальний рівень холестерину, що надходить з їжею, це допомагає при захворюваннях серця і знижує ризики їх розвитку. Українці масово переходять від споживання традиційних картопляних чіпсів до «здорових» корисних снеків – сушених овочів, фруктів та ягід. Особливо ж зростає споживання у зимовий період та міжсезоння, коли асортимент свіжих продуктів замалий. Сушені овочі - це продукти, які піддають термічній обробці, видаливши зайву вологу, щоб забезпечити їх зберігання. У свіжих овочах міститься близько 80% -90% води. З цієї причини вони є швидкопсувними продуктами, які дуже швидко в'януть і гниють. Якщо зменшити масову частку рідини в овочах на 12% -15%, то у них з'явиться можливість протистояти впливу різних мікроорганізмів. Висушені овочі зможуть не псуватися дуже довго при дотриманні правильних умов зберігання. Це незамінні напівфабрикати для виробників м'ясних і рибних консервів. У технологічного процесу сушіння є ряд переваг. Це невеликі габарити брикетів, проста і недорога упаковка, зручна доставка, великий термін зберігання, а також необтяжлива логістика без установки необхідного холодильного обладнання. Сьогодні налічується кілька технологічних процесів сушки: конвективна, кондуктивна, сублимаційна, високочастотна, екологічна ІК-технологія сушки. Снекова промислова продукція повинна відповідати якості згідно ГОСТу і ТУ.

З метою вивчення мікробіологічних показників зразків сушених вичавок з овочевої сировини, кафедрою хімії, біохімії, мікробіології та гігієни харчування ДБТУ проводилось дослідження двох зразків сушених вичавок:

Зразок 1. Вичавки з моркви висушені за умов вакуумування при постійному вібраційному перемішуванні при режимах роботи сушарки: амплітуда 0,005 м, частота 8 Гц.

Зразок 2. Вичавки з моркви висушені за умов вакуумування при постійному вібраційному перемішуванні при режимах роботи сушарки: амплітуда 0,009 м, частота 8 Гц.

Згідно МБТ N5061-89 «Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування» від 01.08.89, п. 6.2.1. «Овочі сухі» даний вид продукції повинен відповідати наступним мікробіологічним показникам: КМАФАМ (кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів) КУО в 1 гр. не більше чим  $5 \times 10^5$ ; БГКП (бактерії групи кишкової палички), маса продукту, в якій наявність не допускається - 0,01 гр.; кількість плісняви у 1 гр. не більше чим 100 – 1000 КУО, згідно п. 6.2.4. «Спеції та пряності».

Дослідження проводили: КМАФАМ – на 2% м'ясо-пептонному агарі. Було зроблено розведення для посіву на МПА у співвідношенні  $10^{-4}$  та  $10^{-5}$ , що відповідає вимогам до п.6.2.1. МБТ N5061-89. В розведений зразок продукту в об'ємі 1 мл додавали розплавлений та потім охолоджуваний до 45 °С Агар, розмішували і заливали в чашки Петрі. Після застигання агарового шару зразки закладали у термостат. Досліджування супроводжувалось постанововою контролю росту культури на поживному середовищі. Після термостатування при  $T=37$  °С протягом 48 годин отримали результат. Проводили підрахунок КУО. В результаті проведених досліджень отримали результат: Зразок 1. – КМАФАМ –  $3,5 \times 10^5$  – у межах норми; Зразок 2. – КМАФАМ –  $4 \times 10^5$  – у межах норми.

Дослідження на БГКП проводили на середовище Кесслер з лактозою (з поплавками) із дотриманням співвідношення розведення продукту і середовища 1:10 з подальшим пересівом на середовище Ендо. Після термостатування при  $T=37$  °С протягом 48 годин отримали результат. В результаті проведених досліджень отримали результат: Зразок 1. – БГКП відсутні; Зразок 2. – БГКП відсутні.

Дослідження на плісняву проводили на середовище Сабуро. Після термостатування при  $T=37$  °С протягом 72 годин отримали результат. Зразок 1. – 200 КУО, що у межах норми; Зразок 2. – 250 КУО, що у межах норми.

У результаті проведених досліджень отримали результат: Зразок 1. Вичавки з моркви висушені за умов вакуумування при постійному вібраційному перемішуванні при режимах роботи сушарки: амплітуда 0,005 м, частота 8 Гц. – мікробіологічні показники у межах норми.

Зразок 2. Вичавки з моркви висушені за умов вакуумування при постійному вібраційному перемішуванні при режимах роботи сушарки: амплітуда 0,009 м, частота 8 Гц. – мікробіологічні показники у межах норми.



**А.М. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**О.Є. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**Н.В. Титаренко**, студ. (ДБТУ, Харків)

## **ШНЕКОВА ТЕРМОРАДІАЦІЙНА СУШАРКА ДЛЯ СУШІННЯ ВИЧАВКІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Вичавки рослинного походження утворюються при переробці сільськогосподарської сировини та мають у складі багато поживних речовин, які з легкістю піддаються подальшій обробці за умов використання раціональних режимів. Переробка багатокомпонентної рослинної сировини з різноманітним вмістом фізико-хімічних компонентів спрямована на виділення, як правило одного будь-якого компоненту з формуванням значного вмісту відходів (шкірки, кісочок тощо), які не мають подальшої виробничої реалізації. Виробничі відходи рослинного походження є вторинним сировинним ресурсом зі значним вмістом цінних речовин-вітамінів, клітковини, білка, мікроелементів тощо з вмістом 5...45 % сухих речовин у вичавках, обмежуючи тривалість переробки та зберігання. Зумовлюючи необхідність забезпечення повноцінного вилучення корисних елементів вичавок рослинного походження отримуваних при переробці різноманітної природної сировини для формування напівфабрикатів певного ступеня готовності, зокрема екстрактів, сушених фракцій тощо.

Отже актуальним завданням є впровадження інноваційних рішень з високоякісної переробки рослинної сировини, як природного джерела поживних речовин, зокрема й на етапах обробки вичавок рослинного походження, які мають високий відсоток в багатьох галузях. Переробка вичавок рослинного походження дозволить знизити рівень відходів переробного процесу, отримати додатково напівфабрикати різного ступеня готовності, з можливістю подальшого використання у вигляді природних функціонально-фізіологічних наповнювачів для багатьох харчових виробів. Забезпечуючи безвідходний рівень переробної промисловості за умов використання інноваційних конструктивно-технологічних рішень з максимальним забезпеченням збереження природних джерел від моменту збирання до формування різноманітних оздоровчих виробів щоденного споживання. Отримання високоякісних сушених вичавок рослинного походження в умовах сушіння додатково забезпечує зменшення об'єму сировини, а отже й витрати на транспортування, зберігання та формування високої відновлювальної здатності. Сушені вичавки

рослинного походження можуть бути використані в ролі готових та попередньо купажованих виробів різного функціонально-фізіологічного призначення при формуванні оздоровчих раціонів харчування, зокрема й пайків швидкого приготування тощо

Робота апарата полягає в наступному: вичавки надходять до завантажувального бункера зі струнними розділювачами для попереднього розділення об'єму дослідної сировини перед потраплянням до робочої камери шнекової терморадіаційної сушарки. Корпус шнекової терморадіаційної сушарки являє собою нержавіючу циліндричну робочу поверхню, з зовнішньої поверхні якої розміщений гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу (ГПРЕНВт). Особливістю робочого органа (шнеку) терморадіаційної шнекової сушарки є спроможність нагрівання своєї внутрішньої поверхні нагрівачем. Для попередження злипання дослідних зразків з першого по третій вітки шнеку додатково розміщені лезові розділювачі, що пояснюється більш високим початковим вологовмістом, а отже й здатністю до злипання призводячи до нерівномірності висушування.

Апарат забезпечений комплексом з використання відпрацьованого вторинного повітря (двохкільцевий канал) для підігрівання та часткового осушування первинного повітря, забезпечуючи інтенсифікацію вологопоглинання під час проходження ним робочої камери сушарки. Вентилятором здійснюється нагнітання первинного повітря спочатку до внутрішнього простору двухкільцевого каналу через патрубок з подальшим потраплянням до робочої камери. Відпрацьоване вторинне повітря (35...80 °C) за допомогою витяжного вентилятора надходить до зовнішнього простору двухкільцевого каналу та відводиться в навколишнє середовище крізь патрубок. Таким чином у двухкільцевому комплексі забезпечується інтенсифікація теплообміну між повітряними потоками, а додаткове покриття корпусу сушарки термоізолюючим алюфомом забезпечує зменшення втрат до навколишнього середовища. Вдосконалена модель шнекової терморадіаційної сушарки має також сучасні засоби з перетворення вторинної теплової енергії в низьковольтну напругу живлення за рахунок розміщених елементів Пельтьє на технічній циліндричній зовнішній обігрівасмій поверхні шнеку.

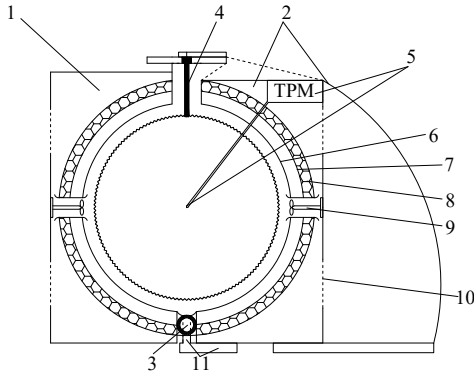
Сировина після надходження до робочої камери шнекової сушарки, переміщується до розвантажувального бункера, проходячи процес висушування (35...80 °C) до кінцевого вологовмісту на рівні 8...13 % СР.

А.М. Загорулько, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)  
Н.В. Титаренко, студ. (ДБТУ, Харків)

## АПАРАТ ДЛЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Винахід відноситься до харчової промисловості, а саме до конструкції апаратів для низькотемпературної обробки м'ясних виробів ІЧ-випромінюванням, і може бути використаний на підприємствах харчування та в побуті під час виробництва м'ясних виробів, наприклад ковбасних, м'ясних з домішками природної сировини та в інших галузях промислових виробництв.

Робота апарата для низькотемпературної обробки м'ясних виробів ІЧ-випромінюванням (рис. 1) полягає в наступному.



**Рис. 1. Апарат для низькотемпературної обробки м'ясних виробів  
іч-випромінюванням**

Спочатку здійснюється розкриття однієї з двох шарнірно з'єднаних вертикальних прямокутних не теплоізолюваних половинок (відкидна 1), за рахунок рухомого шарніру 3. Після чого попередньо підготовлений м'ясний виріб (певної геометричної форми, відповідно до геометричної форми зони його розміщення) за допомогою штанги фіксування м'ясного виробу 4 кріпиться в апараті на фіксованій з противагою 2 вертикальній прямокутній не теплоізолюваній половині. Під час фіксування м'ясного виробу на штанги 4, здійснюється одночасне встановлення голчастої терморпари 5 з'єднаної з терморегулюючим пристроєм в центр виробу.

Потім з'єднують не теплоізольовану вертикальну прямокутну відкидну половинку 1, за рахунок рухомого шарніру 3 із фіксованої з противагою 2 не теплоізольованою вертикальною прямокутною половинкою. Утворюючи тим самим зону низькотемпературної обробки ІЧ-випромінюванням, за рахунок використання плівки подібного резистивного електронагрівача випромінювального типу (ПпРЕНВТ) 6, який повторює геометрію робочої зони. ПпРЕНВТ 6 з'єднаний з терморегулюючим пристроєм та за допомогою голчастої термопари 5 призводить до його нагрівання та вмикання з метою контролю параметру термічної обробки м'ясного виробу (80...85 °С, в центрі виробу).

Теплота, яка утворюється на зовнішній частині ПпРЕНВТ 6 поглинається поглинальним екраном (чорного кольору) 7. На зовнішній поверхні якого розташовані елементи Пельтьє 8, які забезпечують перетворення отримуваної кондуктивним методом теплоти від поглинального екрану 7 в напругу живлення (4...5 Вт), яка використовується на роботу витяжних вентиляторів 9 змонтованих у наскрізних отворах. За рахунок роботи вентиляторів забезпечуються відведення вологого повітря з робочого простору апарата в не теплоізольовані шарнірно з'єднані вертикальні прямокутні не теплоізольовані половинки: відкидна 1 та фіксована з противагою 2. Також окрім отримування напруги елементи Пельтьє 8, забезпечують одночасне охолодження технічного простору вертикальних прямокутних половинок: відкидної 1 та фіксованої з противагою 2, тим самим ліквідуючи необхідність їх теплоізоляції. Відведене вологе повітря з робочого простору апарата в не теплоізольовані вертикальні прямокутні половинки (відкидна 1 та фіксована з противагою 2), поступово надходить в навколишнє середовище крізь технічні отвори 10. А м'ясний сік, який отримувався під час термічної обробки відводиться крізь технічний простір з'єднаний з накопичувальною ємністю 11 в рухомому шарнірі 3.

Процес низькотемпературної обробки м'ясного виробу завершується при досягненні температури в межах 80...85 °С, в центрі виробу, при цьому терморегулюючий з голчастою термопарою 5 автоматично вимикає ПпРЕНВТ 6. Після чого здійснюється розкриття не теплоізольованої вертикальної прямокутної відкидної половинки 1, за рахунок рухомого шарніру 3 та виймання готової продукції зі штанги фіксування м'ясного виробу 4.

Технічним результатом, що досягається при використанні винаходу є: повторення геометричної зони низькотемпературної обробки ПпРЕНВ та підвищення експлуатаційних характеристик апарату.

**А.М. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**Н.В. Титаренко**, студ. (ДБТУ, Харків)

**Е.Б. Ібасєв**, аспір. (ДБТУ, Харків)

## **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА ІЧ-СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ**

У процесі переробки рослинної сировини особлива увага приділяється її тепломасообмінній обробці, обладнанню та режимним параметрам для забезпечення максимального збереження початкових властивостей. В більшості випадках апаратурно-технологічні комплекси характеризуються низьким рівнем ресурсоефективності за рахунок використання високотемпературних проміжних теплоносіїв, у випадку електричних носіїв складності виникають із високою інерційністю, металоємністю та стабілізацією температурного впливу. Підтверджуючи доцільність пошуку інноваційних рішень спрямованих на розробку та удосконалення інженерних рішень спрямованих на підвищення ресурсоефективності тепломасообмінного обладнання.

Одним із напрямів підвищення ефективності тепломасообмінного обладнання є підвищення ресурсоефективності за рахунок використання енергоощадних комплексів. Так використання сучасних ІЧ-випромінювачів з чіткою динамікою роботи та низькою температурою робочої поверхні забезпечить низькотемпературну обробку рослинної сировини та раціональну якість виробництва.

Аналізуючи апаратурно-технологічну складову основного тепломасообмінного обладнання з концентрування та ІЧ-сушіння рослинної сировини можна виділити основні недоліки. Зокрема використання проміжних високотемпературних теплоносіїв або парогенераторів з технічними магістралями збільшує металоємність та енерговитрати обладнання та ускладнює стабілізацію температурного впливу з нерівномірним прогріванням сировини. При цьому базові тепломасообмінні апарати характеризуються відсутністю комплексів з використанням вторинної енергії для підвищення ресурсоефективності. Це, обумовлює актуальність науково-практичних досліджень по мінімізації інженерно-конструктивних не доопрацювань з врахуванням сучасних енергоощадних електронагрівачів та комплексів з використанням вторинної енергії на їх основі.

Одним з напрямків забезпечення ресурсоефективності під час апаратурного вдосконалення тепломасообмінних процесів концентрування та ІЧ-сушіння рослинної сировини є впровадження сучасних електричних теплоносіїв. Використання яких дозволить підвищити ефективність базових конструкцій для концентрування та

сушіння рослинної сировини, за рахунок ліквідації проміжних високотемпературних теплоносіїв з технологічними мережами. При цьому забезпечить чітку стабілізацію температурного впливу в умовах рівномірного температурного поля від електронагрівачів з низькою інерційністю та металоємністю. Одним із різновидів таких ПЧ-випромінювачів є плівкоподібний резистивний електронагрівач випромінювального типу (ПпРЕНВт), що характеризуватиметься підвищеною електробезпекою, надійністю, механічною міцністю, ресурсоефективністю, гнучкістю. Фіксована геометрія нагрівальної площини з поглинальною довжиною випромінювальної хвилі від 2 до 15 мкм та відведення підключення до електромережі забезпечує використання у наступному тепломасообмінному обладнанні.

Удосконалений роторно-плівковий випарник (РПВ) з нижнім розташуванням сепаруючого простору, шнековим вивантаженням концентрованої органічної плодово-ягідної пасти та попереднім підігріванням пюре вторинною парою. Енергія концентрованого продукту та вторинної пари попередньо підігріває пюре, що подається в апарат на 8...10 °С. Обігрівання апарата ПпРЕНВт, ліквідує парову складову систем теплопідведення. Розрахунковим шляхом підтверджено зменшення питомої витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту: РПВ – 547 кДж/кг з тривалістю 75 с, в порівнянні з базовим вакуум-випарним апаратом – 1090 кДж/кг, тривалість 1,08 години.

Вдосконалено конструкцію терморадіаційної однобарабанної вальцової сушарки, яка відрізняється комбінованим способом теплопідведення, формуванням шару пасти товщиною від 4 до 8 мм на робочій поверхні вальцю та зрізанням сушеного шару. Сушарка дозволяє отримувати порошкоподібну фракцію плодовоовочевого напівфабрикату з вмістом сухих речовин 3...5 % від вмісту 45 % вихідної пасти при низькотемпературному режимі 45...65 °С. Визначена тривалість сушіння купаженої пасти при зміні шару: для товщини 8 мм становить 75 хв.; 6 мм – 60 хв, та 4 мм, відповідно 56 хв (кінцевий вміст напівфабрикату – 5 % СР). Процес сушіння реалізовувався за температури 65 °С та швидкості повітряного потоку 0,15 м/с.

Отримані на вдосконаленому обладнанні купажі пастоподібних та сушених рослинних напівфабрикатів в подальшому можуть бути використані для виробництва різноманітних продуктів харчування з підвищенням харчової цінності. Це забезпечить розширення асортименту багатोцільових раціонів харчування населення європейських країн та в першу чергу людей, що перебувають в екстремальних умовах, зокрема військового та медичного контингенту.

**О.Є. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**А.М. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**В.В. Лаврук**, асп. (ДБТУ, Харків)

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДООВОЧЕВИХ ПАСТ**

Теплофізичні властивості рослинної сировини значною мірою впливають на якість проведення тепломасообмінних операцій, в тому числі при: підігріванні, пастеризації, витримуванні, тощо. До найбільш впливових властивостей сировини можна віднести: в'язкість, кристалізацію, фазові перетворення (при екстрагуванні), наявність більш менш неоднорідної структури, а також тягучість.

При цьому більшість теплообмінного обладнання є морально застарілим та низько ресурсоефективним, зокрема й широко використовувані скребкові теплообмінники. Більшість з них мають складність чіткої стабілізації між тиском пари в оболонках та кінцевою температурою обробки сировини, без її пригорання, а отже й псування.

Вирішення цих питань потребує детальних науково-практичних досліджень способів вдосконалення обладнання для попереднього підігрівання рослинної сировини для максимального збереження її початкових властивостей.

З постановкою актуального завдання встановлення чітко-стабілізованих температурних параметрів в умовах забезпечення щадних тепломасообмінних режимів при попередньому підігрівання сировини перед концентруванням в удосконаленому теплообміннику для виробництва якісних виробів природного походження.

Для усунення існуючих недоливів проведено дослідження процесу попереднього підігрівання плодово-ягідного пюре в скребковому теплообміннику при забезпеченні рівномірності нагрівання робочих поверхонь, що обігріваються розробленим гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінюючого типу (ГПРЕНВТ). При цьому важливим є забезпечення рівномірності розподілу шару сировини в умовах переміщення в залежності від конструктивних особливостей лопатей.

Для визначення ефективності вдосконаленого скребкового підігрівача проведено порівняльну характеристику витрат енергії на попереднє підігрівання рослинної сировини перед концентруванням. А саме пореподібної суміші на основі: яблука, абрикоса та кизилу. Вдосконалений скребковий теплообмінник порівнювався з базовою

конструкцією підігрівача з паровою оболонкою, що найчастіше використовується на консервних підприємствах.

Використання нагріву за допомогою ГПРЕНВТ спрощує умови експлуатації за рахунок заміни парового обігріву електричним, зменшуючи металовитрати на парову складову. Питомі витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту в скребковому теплообміннику менші в 1,48 рази в порівнянні з базовим апаратом. При цьому тривалість підігрівання становить 10 с, що суттєво покращує якісні показники продукції, що обробляється.

Ефективність процесу підігрівання в скребковому теплообміннику значною мірою залежить від конструкції перемішувального пристрою, що утворює гідродинамічний рух плодово-ягідної сировини на робочій поверхні.

У конструкції скребкового теплообмінника запропонована шарнірна лопать зі зрізаючою крайкою, що має сумарну товщину шару рідини при частоті 50 хв-1 – 2,65 мм, а при 350 хв-1 – 1,5 мм, порівняно з стандартною шарнірною лопаттю (товщина шару від 5,0 мм 1,5 мм) при витраті продукту  $W = 50$  л/год. Таким чином підтверджено рівномірність розподілу шару сировини від шарнірної лопаті зі зрізаючою крайкою з забезпеченням рівномірного нагрівання всього її об'єму.

Перевагою впроваджених конструктивно-технологічних рішень є застосування сучасних інженерних розробок для інтенсифікації процесів підігрівання рослинної сировини. Окрім того, забезпечуючи покращення технічних параметрів скребкових теплообмінників, підвищуючи їх конкурентоспроможність, зменшуючи собівартість при гарантованій якості отриманої функціональної продукції. Вдосконалений скребковий теплообмінник рекомендується використовувати для швидкого нагрівання рослинної сировини з застосуванням щадних температурних режимів до 65 °С.



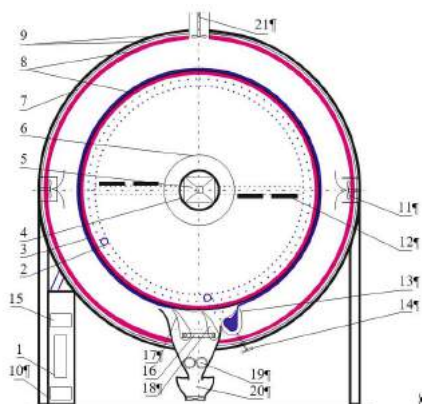
**В.М. Михайлов**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)  
**А.М. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)  
**А.М. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

## **ТЕРМОРАДІАЦІЙНА ОДНОБАРАБАННА ВАЛЬЦЬОВА СУШАРКА**

У роботі наведена вдосконалена модель терморадіаційної однобарабанної вальцьової сушарки для сушіння попередньо концентрованої купаженої органічної сировини (пасти) у напівфабрикати порошкоподібної фракції. Сушарка дозволяє завдяки комбінованого способу сушіння та шляхом формування за допомогою цапфи, шару сировини товщиною від 3 до 8 мм, отримувати порошкоподібну фракцію. Сушіння відбувається до вмісту сухих речовин (СР) 3...5 % від початкового вмісту попереднього концентрованого в роторному плівковому випарнику плодоовочового пюре в пасту з вмістом СР 45%. Також вдосконалена сушарка відрізняється способом зрізання сушеного шару сировини, а саме для цього використовується підпружинена площадка з конусоподібними зрізаючим ножом та відбійником з фторопластовим напиленням (рис. 1). Сам процес сушіння відбувається за щадного температурного режиму 45...65 °С, що дозволяє отримувати сушений напівфабрикат високої якості з яскравим природним кольором.

Робота апарата полягає в наступному: купажена органічна паста концентрована у роторному випарнику до вмісту 43...45% СР. Надходить за допомогою шестеренчастого насосу 1 до змієвика 2, розташованого у внутрішнього простору барабана 3. Змонтованого на валу 4, який встановлено у підшипникових комірках 5 для забезпечення обертального руху від редуктора 6. Обігрівання робочої поверхні рифленого барабана 3 та ІЧ-нагрівання шару сировини здійснюється за допомогою двох гнучких плівкових резистивних електронагрівачів випромінювального типу 8. Електронагрівачі розташовано циліндрично: один у внутрішньому просторі барабана вальця 3 (кондуктивне нагрівання); другий в робочий камері закріплений на нержавіючому кожуху 9 (ІЧ-нагрівання). Температурний діапазон нагрівання для внутрішньої поверхні барабана 3 робочої поверхні циліндричної робочої камери 7, становить 45...65 °С для забезпечення низькотемпературної обробки концентрованої пасти. Зовнішня поверхня циліндричної робочої камери 7 для зменшення тепловтрат покрита теплоізолюючим алюфомом з нержавіючим кожухом 9, що одночасно утворює корпус

вальцьової сушарки, змонтованої на опорах 10. Для забезпечення надходження свіжого повітря до робочого простору вальцьової сушарки встановлені 2 нагнітальні вентилятори 11, які працюють автономно від перетворення вторинної теплоти елементами Пельтьє 12 в низьковольтну напругу живлення (15...40 Вт). Які розміщені у внутрішньому просторі рифленого барабана 3 де постійно підтримується температура в межах до 65 оС. Нанесення концентрату здійснюється симетрично встановленим відносно рифленій робочій поверхні барабана 3 конусоподібного розпилювача (цапфа) 13, кінці якого з'єднані зі змієвиком 2 для однорідного нагнітання сировини з регулятором шару сировини 14. Головною умовою процесу сушіння пасти є висушування за один оберт робочої поверхні барабана 3 до вмісту 3...5 СР, регулювання швидкості обертання валу 4 здійснюється тиристорним регулятором 15.



**Рис.1. Схема вдосконаленої моделі терморадіаційної однобарабанної вальцьової сушарки**

Для зрізання сушеного напівфабрикату використовується підпружинена площадка 16 з конусоподібними зрізаючим ножом 17 та відбійником 18 з фторопластовим напиленням. Для забезпечення більш однорідної порошкоподібної фракції сушеного напівфабрикату у зоні зрізання змонтовані зубчасті вальці 19, що обертаються на зустріч друг другу та дозволяють регулювати фракцію за рахунок зазору між ними. Порошкоподібна фракція під силою тяжіння падає до розвантажувального бункера з вагомим дозатором 20, а відведення вологовмісного повітря з вальцьової сушарки здійснюється за рахунок витяжного вентилятора 21.

**В.М. Михайлов**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)  
**С.В. Прасол**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)  
**А.О. Шевченко**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

## **ВПЛИВ РЕЖИМІВ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ**

На підставі аналізу сучасних уявлень про тепло-масообмін виділено низку прогресивних технічних рішень, запровадження яких сприятиме підвищенню ефективності процесів та покращенню якості концентрованої та сушеної продукції, а саме: застосування НВЧ-нагріву – для інтенсифікації нагріву і вологоперенесення; вакуумування середовища – для зниження температури кипіння рідинної фази; використання перемішувачого пристрою – для активізації процесу випаровування через руйнування зневоднюваної дифузійної зони в прикордонному шарі.

Експериментальними дослідженнями було доведено, що регулюванням режимними параметрами НВЧ-обробки за умов вакуумування робочого середовища та забезпечення одночасного перемішування подрібненої рослинної сировини досягається ефект інтенсифікації вологовидалення, що при цьому процес НВЧ-концентрування скорочується в межах 28...37 %, а НВЧ-сушіння – в межах 22...29 %.

На даному етапі досліджень було визначено якісні зміни фізико-хімічних властивостей рослинної сировини, що відбуваються під час НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння за умов вакуумування та перемішування (екстрактивності, ступеня набухання, вмісту азотвміщуючих компонентів та вітамінного складу).

Як предмет досліджень було обрано пряні овочі – петрушка, пастернак, селера і кріп, які є смакоароматичним компонентом широкого асортименту кулінарних страв і постачальником цукристих і азотвміщуючих речовин, багатьох вітамінів, мінеральних солей, ефірних олій, органічних кислот, харчових волокон і інших корисних речовин.

На основі цієї сировини при рівномірному співвідношенні складових компонентів було виготовлено два види досліджуваних зразків – суміш подрібнених коренів та суміш подрібненої зелені, які підлягали НВЧ-концентруванню та НВЧ-сушінню за умов вакуумування робочої камери 50 кПа та одночасного перемішування стрічковою мішалкою. Як контроль використовували зразки пасто- та

порошкоподібної продукції, отриманих при традиційному НВЧ-нагріві.

Визначено, що масова частка розчинних сухих речовин в порошках для обох досліджуваних видів сумішей відрізняється несуттєво і збільшується при підвищенні температури екстрагування, а також при зниженні температурного режиму НВЧ-обробки продукції в умовах вакуумування. У середньому у дослідних зразків максимальна частка розчинних сухих речовин, що отримана при температурі екстрагування 90 °С, складає 5,8 %, що перебільшує на 23...26 % показник при НВЧ-сушінні за атмосферних умов. Це вказує на більший ступень збереження водорозчинних речовин (ароматичних, смакових), які при змішуванні з рідиною переходять в розчин, забезпечуючи смакові особливості, харчову цінність та колір готового продукту.

Для оцінювання ступеня встановлюваності отриманої сушеної продукції під час розмочування, проведені дослідження, які спрямовані на визначення коефіцієнта набухання, що дає можливість оцінити – у скільки разів порошок здатний збільшити свою масу за рахунок поглинання вологи. Визначено, що коефіцієнт набухання для дослідних зразків порошку з суміші подрібнених коренів пряних овочів складає – 4,6...4,9, а з суміші подрібненої зелені пряних овочів – 5,3...5,8, що в цілому перебільшує на 6,5...9,4 % і вказує на менший ступень денатураційних змін білкової частини зразків.

Дослідженнями хімічного складу доведено більш високий ступень збереженості властивостей дослідних зразків за рахунок скорочення тривалості та зниження температурного режиму процесу: вміст азотвміщуючих компонентів (у відносних величинах) у пастоподібного продукту більше на 36...43 %, а у порошкоподібного – на 56...63 %. Вміст вітамінів також є більшим. Тобто, в середньому вміст вітамінів перебільшує у пастоподібного продукту – на 65...92 %, а у порошкоподібного продукту – на 80...125 %. Безумовно, що менші пошкодження азотвміщуючих компонентів та втрати вітамінного складу пояснюються помірним тепловим впливом, який відбувається за умов вакуумування при низькотемпературному режимі та скороченій тривалості.

Таким чином, результатами досліджень змін фізико-хімічних властивостей було доведено доцільність при виробництві продукції на основі рослинної сировини застосовувати в якості тепло-масообмінної обробки НВЧ-нагрівання за умов вакуумування та перемішування з точки зору збереження харчової цінності рослинної сировини та її оздоровчих властивостей.

**В.М. Онищенко**, д-р техн. наук (ДБТУ, Харків)

**А.О. Пак**, д-р техн. наук (ДБТУ, Харків)

**А.В. Онищенко** (ДБТУ, Харків)

**С.Т. Інжиянц** (ДБТУ, Харків)

## **РОЗРОБКА АПАРАТА ДЛЯ СУШІННЯ ПЛІВКИ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ІЗ КИШКОВОЇ СИРОВИНИ**

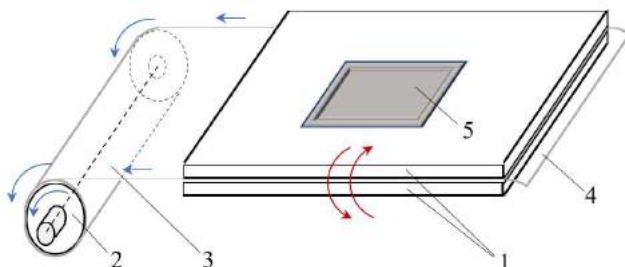
Світові тенденції розвитку ринку ковбасних оболонок останнім часом свідчать про стабільне збільшення обсягів їх виробництва і використання. Це є наслідком підвищення попиту як на готові ковбасні вироби, так і напівфабрикати в оболонках. Незважаючи на стрімкий розвиток інновацій у технології штучних оболонок, кишкові ковбасні оболонки залишаються пріоритетними чинниками формування якості ковбасних виробів та їх попиту. Це зумовлено універсальністю їх використання з технологічної точки зору та споживчими перевагами, пов'язаними здебільшого з натуральністю використаної сировини.

Поряд з цим, прижиттєві та технологічні дефекти обробки кишок спричиняють утворення у кишковому виробництві значної кількості відходів фабрикату, внаслідок чого цінна тваринна сировина використовується не за основним призначенням й нераціонально. Вирішити проблему раціонального використання кишкової сировини та підвищення економічної рентабельності виробництва дозволить запровадження ефективних технологій склеєних кишкових ковбасних оболонок. Сутність технології склеєних кишкових ковбасних оболонок полягає у здатності кишок утворювати стійке зчеплення смуг між собою за певної зовнішньої дії.

У дослідженні пропонується концептуальна реалізація апарата, загальний вигляд якого представлений на рис. 1. Спосіб зшивання кишкової сировини, що пропонується, полягає у наступному (рис. 1). Зразки (смуги) вологих кишкових плівок розкладають навхлест між робочими поверхнями 1 так, щоб залишалися вільні кінці кишкових оболонок 4 ззовні робочих поверхонь. Зразки сировини розкладають навхлест, тобто один на один, з метою отримання ділянок, що являють собою два шари, які підлягають зшиванню способом теплової коагуляції.

Далі, обираючи відповідні режими роботи поверхонь 1 за допомогою пульту керування 5, зшивають та висушують їх до кінцевого вологовмісту. Тобто зразки кишкової сировини між робочими поверхнями спочатку зшивають способом теплової

коагуляції, а потім робочі поверхні нагрівають і кондуктивним способом висушують зшити вологу сировину.



**Рис. 1. Загальний вигляд концептуального рішення апарата для зшивання кишкової сировини за допомогою теплової коагуляції: 1 – робочі поверхні для зшивання кишкової сировини; 2 – барабан для змотування склесних кишкових плівок; 3 – склесні кишкові плівки у вигляді стрічки; 4 – вільний кінець стрічки; 5 – планшет для керування режимом роботи робочих поверхонь**

У результаті отримують полотно з розміром, що відповідає площі робочих поверхонь. При цьому вільні кінці 4 залишаються вологими. Робочі поверхні розкривають та отримане полотно накручують на барабан 2. Вологі вільні кінці 4 переміщуються у напрямку, вказаному на рис.1 стрілками, на край робочої поверхні. Наявність вологих вільних кінців обумовлена зручністю щодо склеювання висушеної сировини із вологою під час їх поєднання перед зшиванням. Операцію з укладання зразків (смуг) вологих кишкових плівок повторюють, укладаючи їх навхлест на вологі вільні кінці та навхлест один між одним. Робочі поверхні зводять та повторюють операцію зі зшивання та висушування. Таким чином отримують стрічку, яка є напівфабрикатом для виробництва кишкових оболонок різного розміру та форми, а також може бути використана як натуральний листовий плівковий матеріал багатofункціонального призначення у харчовій промисловості.

Розроблений апарат можна вважати універсальним щодо геометричних розмірів та товщини вихідної сировини, її походження. Універсальність досягається шляхом підбору відповідних раціональних режимів роботи апарата: температура та схема вмикання робочих органів для зшивання, тривалість зшивання, температура та тривалість сушіння. При цьому слід відмітити, що в одному пристрої проводиться і зшивання кишкової сировини, і її висушування до кінцевого вологовмісту.

**В.М. Онищенко**, д-р техн. наук (*ДБТУ, Харків*)

**М.О. Янчева**, д-р техн. наук (*ДБТУ, Харків*)

**А.О. Пак**, д-р техн. наук (*ДБТУ, Харків*)

**А.В. Онищенко** (*ДБТУ, Харків*)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНДУКТИВНОГО СУШІННЯ ПЛІВКИ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ІЗ КИШКОВОЇ СИРОВИНИ**

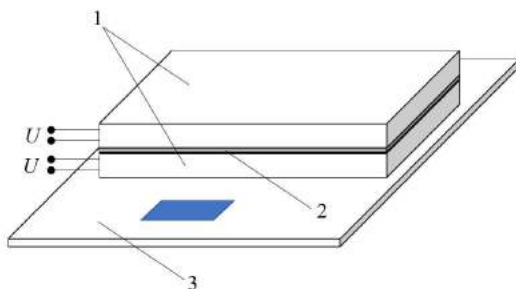
Однією з найважливіших складових світової концепції ощадливого виробництва є усунення і скорочення залишків та відходів сировини. Рациональному використанню натуральної сировини у харчових технологіях приділяється пильна увага, особливо ефективними виглядають рішення з ресурсозбереження під час виробництва продукції м'ясної промисловості.

Технології обробки кишок сільськогосподарських тварин з метою одержання універсальних натуральних ковбасних оболонок та виготовлення ковбасних виробів супроводжуються значною кількістю відходів та браку кишок, що зумовлено інтенсифікацією у тваринництві, прижиттєвими та технологічними чинниками. При цьому більш глибока переробка невикористаних залишків некондиційної кишкової сировини у реструктуровану харчову продукцію не завжди є виправданою. Це пов'язано із необхідністю значних фізико-хімічних перетворень, порівняно з прямим використанням кишок як природної захисної ємності для фаршу ковбасних виробів. З цієї точки зору виробництво склеєних кишкових ковбасних оболонок дозволяє суттєво і вигідно скоротити частку залишків та відходів сировини. А запровадження ефективних способів міцного та стабільного зчеплення відрізків і смуг фабрикатів кишок та їх апаратурного оформлення для виготовлення рукавних і листових плівкових матеріалів багатофункціонального призначення є актуальним напрямом наукових досліджень.

При цьому слід відмітити, що однією із найбільш енергоємних операцій при виробництві матеріалів із кишкової сировини є сушіння. Рентабельність виробництва плівок із кишкової сировини суттєвим чином залежить від витрат на процес зневоднення вихідної сировини.

У дослідженні розглядається процес зневоднення кишкової сировини до кінцевого вологовмісту способом кондуктивного сушіння. Застосування кондуктивного сушіння обумовлене способом отримання вологої плівки із кишкової сировини, а, саме, способом зшивання фабрикатів черев, які є вихідною сировиною.

Кінетику сушіння плівки із кишкової сировини отримували з використанням експериментального стенду, який наведено на рис.1.



**Рис.1. Експериментальний стенд для отримання кінетики кондуктивного сушіння плівки із кишкової сировини**

Зразок вологої плівки (2) розмішують між нагрівальними поверхнями (1), що знаходяться на вагах (3). Змінюючи напругу на джерелі живлення нагрівальних поверхонь, обирають визначену температуру сушіння. Далі фіксують масу зразка через певні проміжки часу та розраховують поточний вологовміст. Вимірювання проводили до досягнення зразком постійного вологовмісту. Дослідження проводили за різної температури нагрівальних поверхонь, яка змінювалась дискретно від 40 до 70°C. Тривалість сушіння зразків вологої плівки із кишкової сировини наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

**Тривалість сушіння вологої плівки із кишкової сировини за різної температури нагрівальних поверхонь**

Температура, °C	40	50	60	70
Тривалість сушіння, хв.	25	19	15	14

При збільшенні температури від 40°C до 50°C (на 25%), тривалість зневоднення зменшується на 24% (з 25 хв. до 19 хв.). При подальшому збільшенні температури від 50°C до 60°C (на 21%), тривалість сушіння зменшилась на 21% (з 19 хв. до 15 хв.). За збільшення температури від 60°C до 70°C (на 17%), тривалість сушіння зменшилась лише на 7% (з 15 хв. до 14 хв.). Виходячи з наведених результатів, раціональною температурою нагрівальних поверхонь слід вважати 60°C, оскільки подальше збільшення температури не дає суттєвого зменшення тривалості зневоднення та може привести до погіршення якості кінцевої продукції.



**А.В. Пак**, канд. техн. наук (УПА, Харків)

**О.А. Мандражи**, канд. пед. наук (ДБТУ, Харків)

**А.О. Пак**, д-р техн. наук (ДБТУ, Харків)

## **ВИЗУАЛІЗАЦІЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ У ВНУТРІШНЬОМУ ОБ'ЄМІ ТЕРМОСТАТА ПАРАЛЕЛЕПІПЕДНОЇ ФОРМИ**

Для знаходження розподілення температури та вологовмісту під час індукованого тепломасообміну (ІнТМО) у внутрішньому виділеному об'ємі термостата паралелепіпедної форми, що містить три фази: газову, рідку та тверду (колоїдне капілярно-пористе тіло), пропонується математична модель процесу у вигляді системи нестационарних рівнянь у частинних похідних із заданими початковими та межовими умовами. Наявність часової складової та прагнення враховувати реальні просторові геометричні форми внутрішнього виділеного об'єму термостата ускладнюють математичну модель задачі. Вказані труднощі подолано сумісним використанням  $R$ -функцій і проєкційного методу Бубнова-Гальоркіна. Запропонована форма розв'язку початково-крайової задачі точно враховує геометричну форму внутрішнього виділеного об'єму термостата та межові умови. Етап одержання числових розв'язків завершується розв'язанням системи звичайних диференціальних рівнянь з початковими умовами, що сформовані проєкційним методом. Отриманий наближений розв'язок задачі про розподіл температури та вологовмісту у виділеному внутрішньому об'ємі термостата паралелепіпедної форми, що містить три фази, з комбінацією межових умов третього та першого роду використовується для моделювання ІнТМО.

Ефект ІнТМО в термостаті можна ідентифікувати за кінетикою температури (наявність ділянки кінетики з негативним прирощення температури –  $dT < 0$ ). Таким чином, скористаємось розробленими алгоритмами для знаходження розподілу температури у внутрішньому виділеному об'ємі термостата циліндричної та паралелепіпедної форми, що містять три фази: газову, рідку, тверду (колоїдне капілярно-пористе тіло). Обмежимося наведенням в тексті роботи наочних матеріалів.

На рис. 1 наведено розподілення полів температур за різних моментів часу під час ІнТМО в термостаті з паралелепіпедною формою внутрішнього виділеного об'єму, отримані з використанням розробленої математичної моделі.

Розподілення температур наведені для поперечного перерізу виділеного внутрішнього об'єму термостата. Рис. 1 I, 1 II відповідають початку процесу, а саме етапу прогрівання внутрішнього середовища термостата з трьох фазами. Внутрішнє середовище термостата прогрівається і починається видалення системної води, причому поширення зони випаровування відбувається від обтюраторів (рис. 1 III, 1 IV). По мірі випаровування води температура шарів, які досягли свого кінцевого вологовмісту, підвищується (рис. 1 V). Рис. 1 VI відповідає завершенню процесу зневоднення – встановлюється рівновага за температурою та вологовмістом.

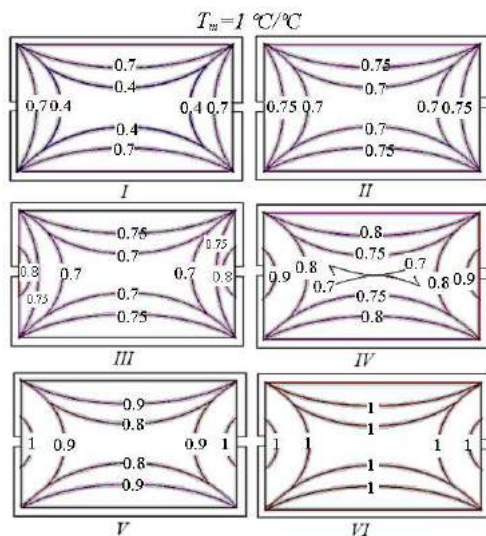


Рис.1. Розподілення полів температур за різних моментів часу у внутрішньому виділеному об'ємі термостата паралелепіпедної форми під час ІнТМО, отримані розв'язком задачі теорії ТМО за сумісного використання методу *R*-функцій і проєкційного методу: I, II – нагрівання; III, IV, V – ТМО; VI – рівновага

З отриманих результатів видно, що температура у внутрішньому виділеному об'ємі термостата, як циліндричної, так і паралелепіпедної форми, не зменшується, тобто  $dT \geq 0$ , що свідчить або про «зрив» ефекту ІнТМО, або про відсутність його «запуску». Таким чином, застосування розроблених моделей, які базуються на класичних диференціальних рівняннях ТМО навіть з використанням методу *R*-функцій, без урахування утворення та розвитку дисипативних структур, тобто без урахування «запуску», «протікання» та «закінчення» ефекту ІнТМО, не відбиває реальних розподілень температури в термостаті та їх кінетику під час ІнТМО.

**О.В. Петренко**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**В.О. Потапов**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ТОМАТІВ**

Томати, є найпопулярнішими і повсюдно поширеними овочевими культурами в світі. Обсяги їх виробництва і споживання поступово зростає – за останні 30 років світовий ринок томатів збільшився в 3 рази. При переробці томатів в харчові продукти і концентрати утворюється значна кількість швидкопсувних побічних продуктів (вичавки), які потребують негайної утилізації. У той же час вони містять ряд поживних і біологічно активних речовин. Хімічний склад їх по ряду показників близький до вихідної сировини (див. табл.).

Таблиця

### **Хімічний склад томатних вичавків**

Показники	в % на суху речовину
Вуглеводи	8,17
Білки	31,60
Жири	3,00
Клітковина	16,78

Вичавки відрізняються підвищеним вмістом клітковини і водорозчинних вітамінів (вітаміни В1, В6 і вітаміни групи С), а також геміцелюлози, протопектину, целюлози і білків. До складу томатних вичавків входять, (в процентному відношенні до сировини): пульпа до 4,9%, оболонки 0,6%, судинні волокна, плодоніжки, подрібнені насіння і оболонки 0,4%. У насінні томатів (повітряносухого) міститься 27-30% жиру, 25-35% азотистих і 11-18% безазотистих екстрактивних речовин, 2,5-5,8% мінеральних речовин і 12-25% целюлози. Оболонки томатів містять до 10% вологи, близько 70% целюлози, 5% пектинових речовин, 5,4% білків, 3,3% жиру, 6,5% золи і 2,5 мг% каротину.

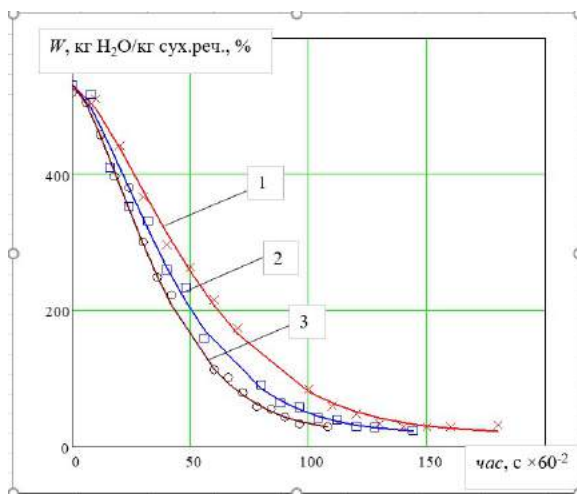
Одним із способів збереження і подальшої переробки томатних вичавок, є сушіння до кінцевої вологості 8...14%. Відомо, що томати сухі і проміжної вологості мають високу біологічну цінність, антиоксидантну активність і імунозахисні властивості.

Нами було проведено дослідження кінетики сушіння продуктів переробки томатів (томатних вичавків), які було отримано з підприємства, що займається переробкою томатів. Томатні вичавки

було розділено на три частини. Для сушіння використовували сушарку з конвективним теплопідведенням.

Сушіння зразків проводили з використанням функціональних ємностей з об'ємом завантаження 250 г, які розміщували в сушильній камері і продували гарячим повітрям з температурами: 60, 70, 80°C. Зважуванням визначали зміну маси продукту, після чого визначали кількість сухих речовин і знаходили вміст вологи в заданий проміжок часу.

На рис. наведено кінетику конвективного сушіння томатних вичавків (залежності вмісту вологи від часу висушування за різних температур). Як видно з рис., тривалість сушіння залежить від температури та змінюється в інтервалі від 120 до 180 хв.



**Рис. – Кінетика конвективного сушіння томатних вичавків:  
1 - 60 °C; 2 - 70 °C; 3 - 80 °C**

Як видно з рис., кінетика видалення вологи від початкової до 220% зменшується практично в 2 рази. З графіку наглядно видно, що кінетика видалення вологи за температури 60, 70 та 80°C значно відрізняються. Найбільш тривалий час сушіння спостерігається за температури 60°C та складає 180 хв. Такий вид залежності швидкості сушіння від вмісту вологи характерний для інтенсивних способів сушіння капілярно-пористих тіл і свідчить про досить інтенсивний процес сушіння напівфабрикату.

Таким чином, дослідження показали, що збільшення температури сушильного агенту призводить до скорочення тривалості сушильного процесу, оптимальним режимом сушіння томатних вичавків за температури 80 °C протягом 120 хв. що повністю задовольняє технологічні вимоги.

## **СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ ПОРОШКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ПАСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ**

Одним із способів підвищення харчової цінності пастильних виробів є внесення до класичних рецептур компонентів, що містять значну кількість мікронутрієнтів. До таких компонентів відносяться порошки, які отримують з рослинної сировини.

Широке використання знайшли рослинні порошки, які отримані шляхом комбінованої конвективно-вакуумно-імпульсної сушки. Так, використання порошку глоду в технології зефіру дозволило збагатити продукт цінними мікроелементами, скоротити час вистоювання продукту без втрати якості структури, знизити втрати вологи під час зберігання і, як наслідок, збільшити термін зберігання виробів. Доведено доцільність введення гарбузового та морквяного порошоків до рецептури зефіру для одержання виробів зі стабільними якісними показниками і підвищеним вмістом біологічно активних речовин.

Відомим є спосіб виробництва зефіру з використанням порошку сухої ламінарії, що дозволило не тільки надати виробам привабливого забарвлення, але й задовольнити профілактичну норму йоду, рекомендовану для щоденного споживання. Для надання зефіру рожевого забарвлення використовують порошокоподібний буряково-молочний або буряково-патоковий напівфабрикат, що дозволяє додатково підвищити біологічну цінність виробів.

З метою збагачення пастильних виробів вітамінами, макро- та мікроелементами, запобігання та ліквідації дефіциту йоду в харчуванні вченими запропоновано використання в рецептурах зефіру і лукуму дієтичної добавки Ламідан (продукт, виготовлений з бурих морських водоростей) у вигляді порошку, цикорлаку (суміш екстракту цикорію та сухого знежиреного молока) та екстракту суданської троянди. Уведення даних добавок надає готовим продуктам рожевого кольору, покращує смак та запах, а саме надає приємний кавовий смак, збільшує терміни зберігання.

Науковцями удосконалено технологію зефіру шляхом використання порошку топінамбуру та фруктози, що дозволило знизити цукроємність, збільшити термін зберігання і підвищити харчову цінність виробу. Також підвищити харчову цінність і знизити

енергетичну цінність виробів можна за рахунок введення полідекстрази та сорбіту разом із яблучним порошком та рисовим крохмалем до рецептури зефіру за рахунок заміни цукру-піску.

Відомою є технологія зефіру на основі пюре з чорної смородини з додаванням порошку базилика. Заміна 5% пюре з чорної смородини на порошок із базилика в рецептурі зефіру дозволила одержати вироби з максимально високими органолептичними показниками та підвищеним вмістом харчових волокон, калію, кальцію, фосфору і вітаміну С.

Досліджено властивості зефіру з нанесеним їстівним покриттям без добавок та з фруктовими порошками (виробник «DianaNaturals»): лимон, полуниця та чорниця. Показано, що зефір в їстівному покритті з лимонним порошком найкраще зберігає свої властивості.

Науковцями було розроблено новий вид пастильних виробів типу маршмелу функціонального призначення з використанням фруктози, топінамбуру та плодово-овочевої сировини. Встановлено, що під час додавання порошку топінамбуру та фруктових соків у вироби маршмелу, їх енергетична та харчова цінність збільшується на 7...34%.

Удосконалено технологію маршмелу з використанням сублимованого порошку з чорної смородини, що дозволяє виключити з рецептури синтетичні барвники та ароматизатори. Експериментально підтверджено, що 100 г нових виробів містять 53,2% від добової норми антоціанів, 11 % від добової норми вітаміну С, а також (мг/100 г): пектинові речовини –  $77,0 \pm 2,3$ ; низькомолекулярні фенольні сполуки –  $4,9 \pm 0,1$ ; дубильні речовини –  $10,5 \pm 0,3$ . Доведено, що органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості нового виробу протягом 30 діб зберігання в герметичній упаковці з поліетиленової плівки та картонної коробки відповідали вимогам нормативної документації. Введення до складу маршмелу сублимованого порошку з чорної смородини дозволяє виготовляти вироби, для яких інтенсивність кольору наприкінці терміну зберігання становить 65...70% від початкового значення.

Таким чином, рослинні порошки доцільно використовувати у виробництві пастильних виробів для надання виробам приємного забарвлення, смаку та аромату, зменшення витрат структуроутворювача, виключення з рецептури синтетичних барвників та ароматизаторів, підвищення харчової цінності виробів та збільшення термінів їх зберігання.

**М.І. Погожих**, д-р техн. наук (*ДБТУ, Харків*)

**А.О. Пак**, д-р техн. наук (*ДБТУ, Харків*)

## **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ: ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ**

Актуальність енергоефективності стає все більш гострішою та пов'язана з задачами енергозбереження, продуктивності, безпеки, якості продукції, екології.

Мета: обґрунтувати напрямки пошуку рішень проблем енергоефективності тепломасообмінних технологічних процесів, зокрема – сушіння.

Завдання: теоретично та експериментально довести, що ЗТП-сушіння є таким, що може стати прикладом пошуку енергоефективних тепломасообмінних технологічних процесів для науковців та фахівців виробництв.

Аналізом джерел встановлено, що до 80% всіх дефектів, що виявляються в процесі виробництва і використання промислової продукції різного виду, безпосередньо обумовлені недостатньою якістю процесів розробки концепції продукту, технічного обґрунтування і підготовки його виробництва.

Показано, що науковий підхід до знову розроблюваної теорії, технології і техніки сушіння повинен базуватися на відомих фундаментальних результатах з дослідження процесів тепло - і масообміну з різних галузей знань.

Відмічено, що уявлення про енергоефективність є похідним від терміну енерготехнологічні процеси - дії людини, які, через створення штучних умов для здійснення певної послідовності у просторі та часі законів природи, призводять до кінцевого продукту за рахунок використання і (або) перетворення одних видів енергії в інші. Зосереджено увагу на тому, що фундаментальні фізичні принципи та закони, фундаментальні константи, фізичні властивості матеріалів є природними обмеженнями спроб людства зменшити споживання та виробництва енергії при розвиненні суспільства у бік науково-технічного прогресу.

Показано, що процеси сушіння є досить енергоємними та потребують певної кількості баласту теплоти. Надано опис технічної організації процесу ЗТП-сушіння вологої колоїдної капілярно-поруватої сировини у, так званих, двобічних функціональних смостях. Проаналізовано геометричні характеристики конструкції.

На підставі розглянутих положень та моделей теплових явищ з фізики, фізичної хімії, зокрема хімічної кінетики для бімолекулярних оборотних реакцій, біофізики мембран, нерівноважної термодинаміки, гідродинаміки тощо, запропоновано пояснення до механізмів, що спостерігаються при здійсненні умов ЗТП-сушіння.

Зазначено, що при ЗТП-сушінні спостерігається так звана лімітуючої стадія (ЛС), коли відбувається накопичення речовини, а після її активації -концентрації сполук пароповітряної суміші наближається до рівноваги. За наявності ЛС, вся кінетична інформація відноситься тільки до цієї повільної стадії та, при цьому, завжди реалізується стаціонарний режим де й відбувається насичення парою пароповітряної суміші.

Встановлено, що такий процес характеризується як активаційний, а його кінетика має експоненціальний характер. Доведено, що за створення штучних умов активації лімітуючої стадії масообміну при ЗТП-сушінні, теплообмін є похідним від кінетики масообміну, а питомі витрати теплоти наближаються до природної питомої теплоти пароутворення.

Наведено та проаналізовано кінетичні криві маси, температури, середньоінтегральної температури харчової сировини за умов ЗТП-сушіння. Надано порівняльні характеристики ЗТП-сушіння з іншими способами сушіння.

Наведено приклади практичного використання розробленого способу. Особливу увагу приділено інноваційному обладнанні для гідротермічної обробки круп. При цьому, гідротермічну обробку круп розробленим способом можна розділити на два етапи: проварювання при недотриманні необхідних умов для реалізації ЗТП-процесу і сушіння за їх виконанні. Процес виробництва реалізується в одній установці та є безперервним.

Відмічено перспективні шляхи подальших досліджень з метою встановлення енергоефективних способів та режимів сушіння вологої сировини, а саме:

- застосування комбінованих методів зневоднення;
- використання систем автоматичного регулювання режимом;
- створення сушарок з активним гідродинамічним режимом;
- інтенсифікація сушіння шляхом впливу силовими полями;
- використання пристроїв для рециркуляції та підвищення потенціалу сушильного агента;
- розробка екологічно безпечних сушарок;
- розробка портативних сушарок з метою їх експлуатації в безпосередній близькості від сировинної бази.



**В.О. Потапов**, д-р техн. наук, проф. (*ДБТУ, Харків*)

**О.С. Мольський**, асп. (*ДБТУ, Харків*)

## **ВПЛИВ РЕЖИМУ ТЕПЛО-МАСООБМІННОЇ ОБРОБКИ НА ВМІСТ ДОДАНОЇ ВОЛОГИ У КУРЯЧОМУ М'ЯСІ**

Технологія виробництва курячого м'яса передбачає обов'язкову тепло-масообмінну обробку яка полягає у охолодженні або заморожуванні готової продукції або напівфабрикатів. Процес охолодження багато в чому визначає зовнішній вигляд готового продукту, термін його зберігання в торговельній мережі і вихід продукції по масі.

Найефективніший метод – охолодження тушок в традиційному шнековому охолоджувачі протитоком. Цей процес дозволяє охолоджувати тушку до температури 4...6°C і знижує втрати маси. При цьому для поліпшення зовнішнього вигляду і терміну зберігання бажано, щоб кількість поглиненої води була як можна менше і піддавалося регулюванню. На підприємствах, де вже є шнековий охолоджувач з протитоком, в такій ситуації після нього часто встановлюють додаткову лінію повітряного охолодження. Довжина такої лінії залежить від маси охолодженої птиці і необхідної кінцевої температури.

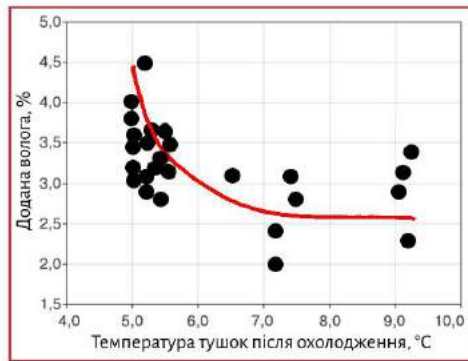
У той же час поєднання противоточного гвинтового охолоджувача з лінією повітряного охолодження має ряд недоліків, в першу чергу, контролювати кількість води, яка поглинається в шнековому охолоджувачі протитечею, можна тільки в обмежених межах. Для подолання цього на лінії передбачають двоступеневу систему охолодження. У першому продукти транспортуються по підвісному транспортеру через багатосекційну водяну баню з охолодженою водою. На другому етапі використовується повітряне охолодження. Для запобігання пересихання виробів в процесі повітряного охолодження існує система камер зволоження, які забезпечують надходження вологи або на внутрішню і зовнішню поверхні виробу, або тільки на зовнішню. Поєднання різних технологій зволоження дозволяє точно регулювати кількість поглиненої води і контролювати зовнішній вигляд і колір кінцевого продукту.

На жаль деякі вітчизняні виробники м'яса птиці користуючись тим що вода, яка використовуються для

оохолодження птиці нічим не відрізняється від води, природно присутньої в м'ясі, використовують цю можливість для фальсифікації м'яса. Тому дуже важливо мати дані про природний рівень вмісту води в м'ясі птиці - всю воду вище цього рівня можна вважати штучно доданою.

Правила і методи контролю встановлені для заморожених цільних тушок курчат-бройлерів в Регламенті Комісії (ЄС) 1538/91 зі змінами, внесеними в 2000 році. При цьому масова частка рідини, що виділяється при розморожуванні, не повинна перевищувати: 1,5% з повітряним охолодженням; 3,3% в аерозольному охолодженні; 5,1% з поглибленим охолодженням.

Тому важливо знати як впливають режими тепло-масообмінної обробки на вміст доданої вологи при переробці тушок курчат. Нами було проаналізовано наявні дані з літературних джерел про вміст доданої вологи при поглибленому охолодженні тушок курчат в залежності від їх кінцевої температури та отримано графік наведений на рисунку.



**Рис. 1. Вміст доданої вологи у тушках птиці після тепло-масообмінної обробки**

Як видно з наведених даних при дотриманні рекомендованих режимів тепло-масообмінної обробки вміст доданої вологи залишається у межах Регламенту Комісії (ЄС) 1538/91. В той же час збільшення кінцевої температури тепло-масообмінної обробки з 5°C до 9°C призводить до зменшення вмісту доданої вологи майже в 1,8 раза. Ці дані дають можливість обирати раціональні режими роботи двоступеневої системи водно-повітряного охолодження при переробці курятини.

**В.О. Скрипник**, д-р техн. наук, проф. (ПДАУ, Полтава)  
**Б.Г. Пономаренко**, асп. (ПДАУ, Полтава)

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ПІД ЧАС КОНДУКТИВНОГО СУШІННЯ М'ЯСА**

Продукти харчування із тривалим терміном зберігання користуються попитом у населення України, особливо в районах бойових дій та тих, які постійно знаходяться під обстрілами. Перебої в постачанні електричної енергії, викликані руйнуванням об'єктів критичної інфраструктури внаслідок ракетних атак з боку РФ, лише сприяють збільшенню такого попиту в масштабах всієї України. Збільшення тривалості зберігання харчових продуктів можливе різними способами. Одним з таких способів є сушіння.

Особливо цінними є такі сушені продукти, вживання яких не потребує додаткового відновлення, нагрівання або розігрівання, тобто такі, які готові до вживання одразу. До них відносять картопляні чіпси, сиров'ялені ковбаси, м'ясо та ін. Як правило, такі продукти під час виробництва проходять або теплове оброблення для проведення певних біохімічних перетворень і надання певних смако-ароматичних властивостей, або тривале визрівання чи ферментацію. Виробництво таким продуктів є тривалим у часі і енергоємним.

Розробка процесу сушіння жареного м'яса, а також обладнання для його реалізації, за якого витрати енергії на процес будуть мінімальні, органолептичні показники будуть високими, а термін зберігання буде тривалим, є актуальним науково-технічним завданням.

Нами розглянуті усі відомі способи сушіння такого м'яса в окремій роботі, наслідком якої стали висновки щодо доцільності використання саме кондуктивного сушіння. Застосування такого способу дозволяє поєднати процес жарення м'яса і процес його сушіння. Обмежувальним фактором інтенсифікації такого процесу є невисока температура нагрівальної поверхні. Збільшення температури нагрівальної поверхні під час жарення призводить до утворення в поверхневих шарах м'яса канцерогенних речовин, а подальше сушіння лише прискорює їх утворювання через значний перегрів цих шарів. Висока температура сприяє ще і погіршенню органолептичних показників.

Нами пропонується використання двобічного підведення теплоти під час кондуктивного сушіння м'яса з температурою поверхонь нагрівання не вище 130°C, що значно зменшить утворення

небажаних смако-ароматичних сполук та покращить органолептичні показники висушеного м'яса.

Для досліджень був розроблений експериментальний стенд, в склад якого входив контактний гриль з гладкими поверхнями нагрівання, вкритими антипригарним покриттям. Виготовляли дослідні зразки з карбонату свинини, попередньо зрізавши плівки і жир, з розмірами і масою: зразок 1  $0,07 \times 0,04 \times 0,003$  м і 0,0082 кг; зразок 2  $0,07 \times 0,04 \times 0,005$  м і 0,0137 кг; зразок 3 з габаритами  $0,07 \times 0,04 \times 0,007$  м і 0,0192 кг. В центр і поверхневий шар зразку вводили теропари ХК-0,5, сигнал від яких фіксувався приладом ТРЦ 0,2 з виводом на комп'ютер. Сушіння проводили в контактному грилі без додаткового стиснення за температури нагрівальних поверхонь  $130^{\circ}\text{C}$ , яка підтримувалася постійно за допомогою іншого приладу ТРЦ 0,2, до рівнозначного вологовмісту, момент настання якого фіксувався за температурою в центрі зразків  $101^{\circ}\text{C}$ .

У результаті досліджень отримані значення температури від початку процесу сушіння через кожні 120 с (таблиця 1).

Таблиця 1. Кінетика температури під час кондуктивного сушіння

$\tau, \text{c}$	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	$t_u, \pm 0,05, ^{\circ}\text{C}$	$t_n, \pm 0,05, ^{\circ}\text{C}$	$t_u, \pm 0,05, ^{\circ}\text{C}$	$t_n, \pm 0,05, ^{\circ}\text{C}$	$t_u, \pm 0,05, ^{\circ}\text{C}$	$t_n, \pm 0,05, ^{\circ}\text{C}$
0	8	8	8	8	8	8
120	100	110	96	106	72	104
240	92	114	100	110	96	106
360	101	120	91	112	100	109
480			97	116	100	111
540			101	120	100	112
660					89	114
780					90	116
900					100	118
960					101	120

Характер кінетики температури поверхневих шарів під час сушіння був однаковий у всіх зразках. В центрі спостерігалось падіння температури у зразка 1 до  $92^{\circ}\text{C}$ , у зразка 2 до  $91^{\circ}\text{C}$ , у зразка 3 до  $89^{\circ}\text{C}$ . Падіння температури в центрі дослідних зразків після фази видалення вологи за постійної температури можна пояснити досягненням так званого першого критичного вологовмісту  $W_{\text{кр}1}$ .

Отримана кінетика температури має загальний характер, але стиснута у часі. Витрата електроенергії на випарування 1 кг води складала  $1,15 \dots 1,21$  кВт·год./кг, що свідчить про перспективність подальших досліджень.

## ДО ПИТАННЯ САМОЗІГРІВАННЯ ЗЕРНА ПОРОДЖЕНОГО ПЛАСТОВИМ ОСЕРЕДКОМ

У сучасній зернопереробній галузі суттєвим питанням є зберігання зерна. Зерно повинно зберігатись за певних умов та обов'язково контролювану температуру. Автоматизація та контроль процесу зберігання привело до зростання кількості зернових силосів і їх домінування над класичними приміщеннями для зберігання. Силоси можуть бути виконані як із залізобетону, так і за допомогою сучасних металоконструкцій, що суттєво знижує терміни будівництва.

Але при помилках в проектування та експлуатації виникають умови, що сприяють самонагріванню. Самонагрівання суттєво погіршує умови зберігання рослинної сировини. Особливо небезпечно це явище для олієвмісної сировини, що може повністю її зіпсувати внаслідок прогорання жирів, і, навіть, призвести до пожежі. Так як неможливо розмістити датчики занадто щільно, то питання самозигрівання є актуальним як з точки зору зберігання рослинної продукції, так і з точки зору протипожежної безпеки. З метою недопущення такого явища вводять заходи термоконтролю та газового аналізу, що є підґрунтям для подальших дій в залежності від технологій зберігання, які використовуються на підприємстві.

Питанням розрахунку температурних полів, породжених осередками самонагрівання, присвячено багато наукових публікацій. На їх основі осередки самозигрівання можна поділити на такі види: осередок беруть у вигляді кулі, який називають гніздовим; осередок обмежений двома поперечними перерізами силосу, або так званий пластовий осередок; осередок має один із розмірів значно більший за інші, що нагадує стрижень. Таким чином маємо гніздові, пластові і стрижневі осередки. В даній роботі розглянемо температурне поле, породжене пластовим осередком, який не має чіткої межі. Для цього розподіл термоджерел вважаємо вісесиметричним і підпорядковуємо нормальному закону Гауса.

Розподіл надлишкової температури  $T = T(x, t)$  в сировині по вісі силосу описуємо диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \alpha^2 T - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{q(x)}{\lambda F} H(t), \quad (1)$$

де  $x$  – локальна осьова координата з початком в центрі осередку;  $t$  – час;  $a = \lambda / (\rho c)$  – коефіцієнт температуропровідності сировини;  $\lambda$  – коефіцієнт її теплопровідності;  $\rho, c$  – відповідно питома маса і питома

теплоємність сировини;  $F$  – площа поперечного перерізу;  $H(t)$  – одинична функція Хевісайда;  $\alpha^2 = h\chi(\lambda F)^{-1}$ ,  $h$  – коефіцієнт теплообміну;  $\chi$  – периметр поперечного перерізу силосу.

Погонну щільність термоджерел в осередку самонагрівання  $q(x)$  подаємо виразом:

$$q(x) = q_0 \exp\left(-\frac{x^2}{R^2}\right), \quad (2)$$

в якому  $q_0 = q(0)$  – максимальне значення щільності;  $R > 0$  – характеризує локалізацію термоджерел за координатою  $x$  (по вісі силосу).

Закон розподілу отриманий у спільних роботах з д.ф.-м.н., проф. Ольшанським В.П.:

$$\begin{aligned} T(x, t) = & \frac{q_0 R \sqrt{\pi}}{4 \lambda F \alpha} \left\{ \exp\left(\frac{\alpha^2 R^2}{4}\right) \left[ 2 \operatorname{ch}(\alpha x) - \exp(-\alpha x) \Phi\left(\frac{\alpha R}{2} - \frac{x}{R}\right) - \right. \right. \\ & - \exp(\alpha x) \Phi\left(\frac{\alpha R}{2} + \frac{x}{R}\right) \left. \right] - \exp\left[\alpha^2 \left(\frac{R^2}{4} + at\right)\right] \left[ 2 \operatorname{ch}(\alpha x) - \exp(-\alpha x) \times \right. \\ & \left. \times \Phi\left(\alpha \sqrt{\frac{R^2}{4} + at} - \frac{x}{\sqrt{R^2 + at}}\right) - \exp(\alpha x) \Phi\left(\alpha \sqrt{\frac{R^2}{4} + at} + \frac{x}{\sqrt{R^2 + at}}\right) \right] \left. \right\}. \quad (3) \end{aligned}$$

Для практичної реалізації виведених розрахункових формул, крім теплофізичних характеристик сировини та характеристик силосу, потрібні значення  $q_0$  і  $R$ . Їх доводиться ідентифікувати за результатами вимірювань надлишкової температури на початку самонагрівання.

Невідоме  $\alpha R$ , можна знаходити чисельними методами за допомогою рівнянь (4) та (5).

$$T(0, t) \approx \frac{q_0 R \sqrt{\pi}}{2 \lambda F \alpha} \left[ a_1 (\beta - \zeta) + a_2 (\beta^2 - \zeta^2) + a_3 (\beta^3 - \zeta^3) \right]. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Тут } \beta = & \frac{2}{2 + 0,47047(\alpha R)}; \quad \zeta = \frac{2}{2 + 0,47047\left(\alpha \sqrt{R^2 + 4at}\right)}. \\ \eta = \frac{T_2}{T_1} = & \frac{a_1 (\beta - \zeta_2) + a_2 (\beta^2 - \zeta_2^2) + a_3 (\beta^3 - \zeta_2^3)}{a_1 (\beta - \zeta_1) + a_2 (\beta^2 - \zeta_1^2) + a_3 (\beta^3 - \zeta_1^3)}. \quad (5) \end{aligned}$$

**К.С. Слободянюк**, канд. техн. наук (*ІТТФ НАНУ, Київ*)

**Ж.О. Петрова**, д-р техн. наук, с.н.с. (*ІТТФ НАНУ, Київ*)

## **КОМБІНОВАНЕ СУШІННЯ АНТИОКСИДАНТНОЇ СИРОВИНИ**

Відомо, що червонокочанна капуста містить червоні та сині антоціани, які надають капусті фіолетового забарвлення. Червоні антоціани домінують за кількістю. Сині пігменти рідко зустрічаються в природних матеріалах, тому виробництво більшості продуктів синього кольору (солодощі, ліки, напої, косметичні засоби, предмети одягу, тощо) виробляють із застосуванням синтетичних синіх барвників, що виділяють з продуктів переробки нафти і тому можуть негативно впливати на навколишнє середовище та організм людини.

Під час термічної обробки червонокочанна капуста зазвичай набуває синього кольору. З метою збереження яскравого кольору традиційно до неї додають оцет, кислі фрукти або овочі. При високій врожайності червонокочанну капусту не встигають реалізувати, тому залишки доцільно переробляти за допомогою сушіння до низької кінцевої вологості з метою отримання якісного натурального барвника для харчової промисловості.

Переважно барвники отримують за допомогою екстрагування великою кількістю хімічних реагентів з дуже низьким вмістом сухих речовин, які потребують додаткового упарювання. За допомогою такого способу неможливо отримати велику кількість барвника, що значно підвищує його собівартість і погіршує якість через велику кількість додаткових операцій. Етап сушіння в духовій шафі за рахунок довшої тривалості процесу додатково погіршує якість і не уможливорює отримання великих об'ємів барвника. Загальним недоліком способу є складність технологічних етапів для реалізації одержання барвника в промислових умовах.

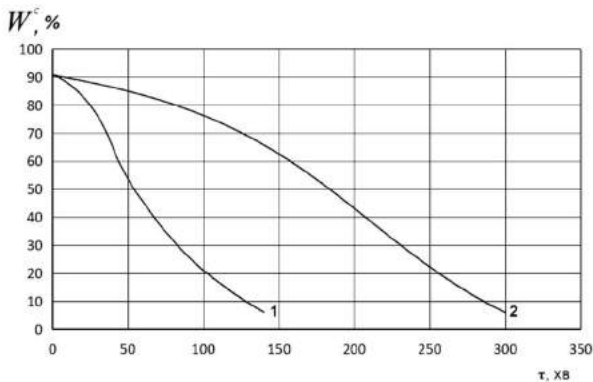
Нами була поставлена задача вдосконалити спосіб одержання антиоксидантного барвника з червонокочанної капусти шляхом проведення комбінованого сушіння сировини з одночасною її обробкою інфрачервоним випромінюванням, що може прискорити процес сушіння та дозволить заощадити енергетичні ресурси на проведення усього процесу одержання барвника.

З попередніх досліджень відомо, що застосування сушіння інфрачервоним випромінюванням білокачанної капусти призвело до погіршення органолептичних властивостей та якісних характеристик висушеного матеріалу. Проте, якщо інфрачервоне випромінювання використовувати на початку зневоднення з одночасним конвективним сушінням, то можна досягти скорочення загальної тривалості процесу.

В останньому випадку інфрачервоне випромінювання може інтенсифікувати процес і мінімізувати негативний деструктивний вплив на матеріал.

На етапі підготовки червонокочанна капуста проходить етапи інспектування, миття, шаткування. Далі підготовлений зразок висушували при режимних параметрах теплоносія:  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $v = 2\text{ м/с}$ ,  $d = 10\text{ г/кг с.п.}$  на експериментальному конвективному стенді ІТТФ НАНУ, який додатково забезпечено лампами інфрачервоного випромінювання. Одночасно з процесом сушіння упродовж перших 30 хв також здійснювали обробку сировини інфрачервоним випромінюванням тепловим потоком  $2000\text{ Вт/м}^2$ , після чого випромінювачі вимикали і досушували за температури теплоносія  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до залишкової вологості зразка  $W^{\circ} = 6\%$ . Потім висушений охолоджений матеріал подрібнювали у мікро-млині до одержання порошку.

На рисунку 1 представлено криві кінетики сушіння червонокочанної капусти в залежності від способу сушіння.



**Рис. 1. Кінетика сушіння червонокочанної капусти**  
Режимні параметри теплоносія:  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $v = 2\text{ м/с}$ ,  $d = 10\text{ г/кг с.п.}$   
с.п. 1 – конвективне сушіння з одночасною обробкою інфрачервоним випромінюванням, 2 – конвективне сушіння

Результати дослідження кінетики сушіння червонокочанної капусти в залежності від способу сушіння показали, що обробка сировини інфрачервоним випромінюванням упродовж перших 30 хв одночасно з конвективним зневодненням інтенсифікує процес більш ніж у 2 рази. А також дозволяє зберегти колір нативної сировини.



**N.V. Smetankina**, DSc (*Anatolii Pidgorny Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv*)

## **MODELING OF THERMAL STRESSED FIELDS IN MULTILAYER PLATES**

Physical-mathematical modeling of the processes of heat and mass exchange between the heat agent and the object is one of the important factors of the drying process. Based on the analysis of the works, it can be concluded that the proposed mathematical models, due to many assumptions, do not accurately describe the processes of heat and mass transfer of drying processes. Therefore, to create an adequate mathematical model of drying, it is necessary to conduct theoretical and experimental studies that are as close as possible to industrial conditions with a minimum number of approximations and assumptions.

The properties of solid material are sensitive to change in temperature. The solid body can compress and expand on account of variation in temperature. The adjustment in temperature measurement is found to rely upon temperature change legitimately. A rejoinder of material to internal heat source produces the stresses on the material. This reaction of material reveals the most important characteristic of solid called as thermoelasticity.

Some elements of drying equipment can be considered as multilayer plates. For multilayer elements in constructions, heat conduction problems are solved by involving different kinds of hypotheses on temperature distribution over the thickness of the pack of layers. In so doing, if the structure has a non-canonical form in plan, the majority of papers use the following numerical computation methods: the finite difference method, the boundary elements method and finite elements method.

Some authors used the Laplace transform and the finite difference method for solving dynamic and static thermal elasticity problems for multilayer conical shells. Using the FEM, the nonlinear response of a laminated symmetrical orthogonally reinforced cylindrical panel to sudden application of a heat flux is studied. The panel is cantilevered to a hub with limited rotation around the central axis of rotation. The temperature field thickness is constant and changes exponentially with time. The system of nonlinear equations is solved with the Newton-Raphson method jointly with the Newmark integration method.

Analytical methods are mathematically very involved when describing the geometrical parameters of multilayer bodies with a non-

canonical configuration; the conditions of layer conjugation with account of inner heat sources, and with presence of layers with significantly differing properties. Therefore, plates and shells of canonical form are considered most often.

Some authors studied the problem of flexure of rectangular laminated plates with a symmetrical structure over the thickness under the simultaneous effect of a transverse load and temperature fields in the geometrically nonlinear statement. The problem solution, satisfying the boundary conditions in the form of free restraining, is built by representing the sought for values in the form of double Fourier series. As an example, the author considers a rectangular laminated composite plate subjected to a uniformly distributed compressing pressure and temperature. The upper face is subjected to a sinusoidal distributed temperature field, whereas the bottom face and the sides of the plate are thermally isolated.

Based on the state space concept and Levy's method, exact solutions for rectangular laminated simply supported plates and approximate solutions for plates with other boundary conditions was obtained. The plates are subjected to a temperature distributed piecewise-linear over the pack thickness. The thermal elasticity equations were derived within the framework of the theory of first-order plates with account of shear strain.

Some authors investigated stresses in multilayer composite rectangular simply supported plates under uniform heating of the plates' outer surfaces. A polynomial and exponential temperature distribution was specified over the thickness of the pack of layers. The thermal elasticity equations were solved with the Navier method. Ootao and Tanigawa [2002] used a similar approach for calculating temperature stresses in the layers of a two-layer cylindrical composite simply supported panel.

The formalism of Eshelby-Stroh is applied the formalism of Eshelby-Stroh to study the generalized plane strain in multilayer plates where the layers are made of piezoelectric material. The plates are subjected to stationary temperature and electric fields. The solution of equations of quasistatic linear thermal piezoelectricity has been obtained as a Fourier series. The series expansion coefficients are found from the conditions of continuity on the layers' interfaces and boundary conditions. The researchers investigated the distribution of stresses over the thickness of plates with clamped, free and simply supported edges.

In this work, the embedding method was used to develop a method for solving the problem of thermal elasticity in non-canonical shaped multilayer plates subjected to temperature fields obtained by solving the heat conduction problem.

Consider a multilayer plate made up of  $I$  layers with constant thickness. The plate is referred to Cartesian coordinates linked to the outer surface of the first layer and occupies domain  $\Omega^*$  limited by contour  $L$  in the coordinate plane  $x_L = x(s)$ ,  $y_L = y(s)$ , where  $s$  is the current arc length. Convective heat transfer occurs on the upper, bottom and side surfaces of the plate. The plate is subjected to interlayer heat sources.

The nonstationary heat conduction equation and the boundary conditions for a multilayer plate are derived from the heat balance variational equation.

The temperature distribution in the layers and on the side surface, as well as the density of inner heat surfaces we represent as a series expansion in Legendre polynomials.

Heat conduction equation and the boundary condition on the side surface of the  $i$ -th layer, yield a system of differential equations solved with the embedding method to present the problem solution in analytical form. The original multilayer plate with an arbitrary shape in plan is embedded within an auxiliary enveloping multilayer plate with the same composition of layers. The form of the enveloping plate is selected such that a simple analytical solution can be obtained. This is a rectangular plate with zero conditions on the side surface.

The conditions of convective heat exchange on the upper and bottom surfaces of the auxiliary plate coincide with the heat exchange conditions on the surfaces of the original plate. To satisfy the real boundary conditions on the side surface of the original plate, compensating sources are added to the auxiliary plate over the trace of side surface. The functions of compensating sources are presented as trigonometrical series.

The boundary conditions on the side surface, which should be satisfied by the analytical solution, yield a system of integral equations for determining the intensities of compensating sources. Further, functions of temperature and heat sources are expanded into trigonometric series in functions that satisfy the boundary conditions of the enveloping rectangular plate. The solution of the system of integral equations at each time step is reduced to solving a system of linear algebraic equations for the coefficients of the series expansion of compensating sources functions.

After the intensities of compensating sources have been computed, the temperatures in the layers of plate are defined. The temperature fields obtained during the solution of the heat conduction problem are used for solving the thermal elasticity problem.

The plate's behavior is described within the framework of the refined first-order theory, which accounts for transverse shear strain in each plate layer. The interlayer contact is assumed to exclude their lamination and

mutual slippage, the displacement of a point in the  $i$ -th layer being defined by expressions

The strain in the layers is defined by Cauchy formulas, and Hooke's law. Based on Lagrange's variational principle, we derive the equilibrium equations for a multilayer plate.

According to the embedding method, the original plate is embedded within the auxiliary enveloping plate with the same layer composition. The enveloping plate is loaded within domain  $\Omega^*$  just as the specified plate is. The shape of the enveloping plate contour and the boundary conditions are selected so that a simple analytical solution can be obtained. In this study, a rectangular simply supported plate is used. In this case, the problem solution can be derived as a trigonometric series. To satisfy real boundary conditions, additional compensating forces and moments are applied to the auxiliary plate along the trace of the initial plate boundary.

The unknown values of compensating loads are determined by satisfying the boundary conditions for the specified plate over the trace of contour of the initial plate boundary.

The method of solving the thermal elasticity problem for multilayer plates with noncanonical form is based on the embedding method. The original multilayer plate is embedded within an auxiliary rectangular simply supported multilayer plate. This makes it possible to present the problem solution as expansions into trigonometric series.

The method operability has been validated for five-layer plates. The stresses in plate layers are determined under the action of heat fields obtained by solving the nonstationary heat conduction problem. The methods of solving the heat conduction and thermal elasticity problems are consistent, allowing to account for the influence of temperature loads without introducing additional hypotheses on temperature distribution.

## ТЕПЛОВІ НАСОСИ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ

Процеси конвективної сушки належать до найбільш енергоємних промислових технологічних процесів. Згідно проведенням оцінкам на проведення процесів термічного зневоднення в Україні витрачається приблизно 10 % національного споживання енергії. При цьому на процеси зневоднення тільки в промисловості доводиться біля 28 % загальних витрат енергії. Традиційні конвективні сушильні установки, разом з безперечними якостями, що виражаються в простоті конструкції та експлуатації, мають ряд істотних недоліків, основними з яких є низька інтенсивність процесу, значні витрати теплоти з вихідним повітрям, залежність ефективності роботи сушарки від вологовмісту атмосферного повітря. Витрати енергії на видалення вологи при конвективній сушці, з урахуванням втрат теплоти з відпрацьованим теплоносієм і відхідним висушеним матеріалом, досягають 6000 кДж/кг, тому рішення питань зниження енергоспоживання та інтенсифікації процесу теплообміну при сушінні є актуальним науково-технічним завданням.

Одним з перспективних напрямків при вирішенні даної задачі є застосування теплових насосів (ТН). Застосування ТН в процесах сушіння дозволяє значно на 20-25 % знизити питоме споживання первинної енергії на вилучення вологи з матеріалу в порівнянні з традиційними конвективними сушарками. При використанні теплонасосного обладнання для сушіння різноманітних матеріалів волога, що вилучається з матеріалу, не виноситься сушильним агентом в оточуюче середовище, як це має місце в конвективних сушарках, а конденсується на холодній поверхні випарника ТН і вилучається в скрапленому вигляді. Таким чином з'являється можливість утилізувати теплоту конденсації і повернути її в процес сушіння на більш високому температурному рівні, що суттєво впливає на енергоспоживання сушарки.

Здатність ТН знижувати вологовміст сушильного агента робить їх незамінними при вирішенні питання інтенсифікації вологовидалення, особливо при низькотемпературній сушці термолабільних матеріалів, до яких в більшості відносяться харчові продукти.

У харчовій промисловості існує певна потреба в натуральних харчових добавках у вигляді порошків. У більшості випадків при одержанні харчових порошків необхідно сушити вихідну сировину до низької кінцевої вологості ( $W \leq 6$  %). Проте при високому

вологовмісті атмосферного повітря ( $d$  до 30 г/кг с.п.) висушити до низької кінцевої вологості цукороутримуючі продукти дуже важко, а в деяких випадках (при  $d > 30$  г/кг с.п.) в принципі неможливо, тому що матеріал, який висушується, приходить у стан рівноваги з теплоносієм, і процес сушіння припиняється.

Основним недоліком теплонасосних сушарок для зневоднення рослинної сировини є те, що під час сушіння тепловологісні характеристики матеріалу змінюються, а температура охолодження сушильного агента і, відповідно, ступінь його зневоднення, впродовж усього періоду сушіння матеріалу підтримуються незмінними. При такому режимі сушіння не забезпечується оптимальна швидкість процесу і мінімальні енерговитрати впродовж усього періоду сушіння, тому що спочатку, коли матеріал має найбільшу вологість, і з нього легко вилучається вільна волога, не потрібно підтримувати високий ступінь осушення агента, а в кінці процесу, коли в матеріалі залишається лише зв'язана волога, необхідно проводити більш глибоке осушення агента, тому що при невеликому ступені зневоднення агента тривалість останнього періоду сушіння значно збільшується. Це призводить до зайвих енерговитрат.

На основі кривих сушіння й ізотерм десорбції рослинних матеріалів розроблено технологію теплонасосного конвективного сушіння, що забезпечує оптимальний, з точки зору енерговитрат, режим роботи на всіх стадіях процесу сушіння.

В інституті створено декілька сушарок з ТН. Для кліматичних умов тропіків розроблена багатозонна конвективна сушильна установка з теплонасосною системою осушки повітря, яка впроваджена на півдні В'єтнаму (середньорічна температура повітря 32 °С, вологість – 95 %). Сушарка тунельного типу має чотири робочі зони, в кожній зоні підтримуються свої тепловологісні параметри сушильного агента. Перші три зони працюють за традиційною схемою з викидом вологого повітря та підживленням свіжого з атмосфери, яке нагрівається в теплових генераторах. Четверта зона має замкнутий контур циркуляції з теплонасосною системою осушки повітря. Установка призначена для сушіння 450 кг в годину тропічних фруктів до вологості 6 % з метою одержання з висушеного матеріалу харчових порошоків. Сушарка витрачає на 1 кг випареної вологи 3400 – 4200 кДж/кг.

На промислових підприємствах існує велика різноманітність процесів, що протікають за умов, які сприяють використанню ТН, тому введення їх в процес в більшості випадків не представляє практичних труднощів.

Г.М. Станкевич, д-р техн. наук, проф. (ОНТУ, Одеса)

А.К. Кац, канд. техн. наук, доц. (ОНТУ, Одеса)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПІД ЧАС СУШІННЯ ЗЕРНА СПЕЛЬТИ

Наразі недостатньо вивчені процеси тепло-масообміну при сушінні такої мало вивченої зернової культури як плівчаста пшениця – спельта. Відомо, що для сушіння колосових культур застосовують конвективні прямотечійні зерносушарки різних типів та виробників. Для обґрунтування раціональних температурних режимів сушіння спельти, визначення продуктивності зерносушарок при її сушінні, а також витрат теплоти і, відповідно, палива на сушіння, необхідно знати, крім основних властивостей зерна, закономірності кінетики її сушіння та нагрівання.

Дослідження процесу сушіння зерна плівчастої спельти у щільному нерухомому шарі проведені на експериментальній сушильній установці. Товщина шару зерна була прийнята 50 мм, швидкість сушильного агента (гарячого повітря), яку контролювали термоанемометром, складала 1,9...2,0 м/с. Для проведення дослідів були підготовлені зразки необрушеної спельти 2020 року врожаю, які штучно зволожували до різної вологості – 15,5 %, 18,7 % та 23,0 %, що у перерахунку на суху масу (вологовіст) складало відповідно 17,65 %, 23,46 % та 29,87 %.

Усі зразки спельти сушили у двох посторностях до кінцевої вологості 14 % (16,28 % на суху масу) при двох значеннях температури сушильного агента – 70 °С та 90 °С. Вологість зерна та температура сушильного агента були обрані близькими до реальних умов сушіння спельти та пшениці.

У процесі сушіння через певні проміжки часу фіксували масу зерна в касеті та його температуру нагрівання, яку вимірювали електронним термометром з термопарою. За зміною маси зерна в касеті розраховували поточний вологовміст спельти у процесі сушіння та надалі будували криві сушіння і нагрівання зерна спельти.

Для згладжування отриманих експериментальних даних зі зміни вологовмісту та температури зерна впродовж процесу сушіння були використані відомі форми кінетичних рівнянь:

– для кінетики сушіння зерна рівняння

$$w = w_0 \exp(-K\tau^n); \quad (1)$$

– для кінетики нагрівання зерна рівняння

$$\theta = \theta_0 + \tau / (A + B\tau). \quad (2)$$

Емпіричні кінетичні коефіцієнти  $K$ ,  $n$ ,  $A$  та  $B$ , що входять у наведені рівняння кінетики сушіння і нагрівання зерна, визначали методом найменших квадратів за експериментальними даними, обробку яких проводили у середовищі MS Excel.

Отримані значення вказаних кінетичних коефіцієнтів в залежності від температурних режимів сушіння і початкових значень вологовмісту та температури зерна зведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Значення емпіричних кінетичних коефіцієнтів  $K$ ,  $n$ ,  $A$ ,  $B$   
в залежності від умов сушіння зерна спельти**

Умови дослідів		Кінетичні коефіцієнти			
$w_0$ , %	$t$ , °C	$K$	$n$	$A$	$B$
17,65	70	0,039767	1,020811	0,171429	0,114286
23,46	70	0,058986	0,669395	0,174196	0,027406
29,87	70	0,041238	0,872603	0,092151	0,030048
17,65	90	0,023726	1,765906	0,363636	-0,03030
23,46	90	0,038764	1,002309	0,17375	0,018404
29,87	90	0,048856	0,937482	0,102413	0,026027

Використовуючи отримані кінетичні коефіцієнти (табл. 1) за рівняннями 1 та 2 для кожної експериментальної точки були визначені розрахункові значення поточного вологовмісту та температури нагрівання зерна спельти. Співставлення експериментальних і розрахункових даних показало їх задовільну збіжність. Відносні похибки апроксимації вологовмісту не перевищували 4,49 %, а температури нагрівання зерна 8,73 %.

Проведені дослідження показали, що при сушінні спельти з вологістю 23,0 % за температур сушильного агента 90 °C, температура зерна при досягненні кінцевої вологості 14 % дорівнювала 48,2 °C, яка є близькою до припустимої температури зерна м'якої пшениці, що забезпечує її належну якість.

На основі досліджених кінетичних закономірностей можна розв'язувати ряд практичних задач:

– прогнозувати тривалість сушіння спельти від початкового  $w_0$  до необхідного кондиційного вологовмісту  $w_k$  та кінцеву температуру нагрівання  $\theta_k$  зерна спельти при заданих температурах сушильного агента  $t$ ;

– розробляти комбіновані режими сушіння спельти, які дозволять зменшити витрати теплоти та палива і забезпечити належну якість просушеного зерна спельти, дотримуючись гранично припустимих температур нагрівання зерна.



**І.П. Стороженко**, д.ф.-м.н, професор (ДБТУ, Харків)

**П.О. Сіренко**, канд.наук фіз.вих. та сп. (Латвійська академія спортивної освіти, Ріга)

## **ТЕРАГЕРЦОВА СПЕКТРОСКОПІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

Зростання рівнів стандартів якості харчових продуктів вимагають швидких методів вимірювання їх складу. Одним з можливих методів швидкого аналізу є терагерцова спектроскопія (ТГц-спектроскопія). Протягом останніх двох десятиліть було представлено низку вражаючих досягнень в області хвиль терагерцового діапазону (ТГц-хвиль), які підштовхнули вперед терагерцеву технологію та науку. Основними сферами застосування ТГц-хвиль виявились бездротовий зв'язок та ТГц-спектроскопія. Було б дивним відсутність спроб застосування ТГц-хвиль у харчовій промисловості. Ми провели аналіз існуючих світових досягнень та можливих шляхів застосування ТГц-хвиль у харчовій промисловості. Традиційні методи вимірювання, засновані на спектроскопії ближнього та середнього інфрачервоному діапазону, надають внутрішню молекулярну інформацію, таку як наявність різних характерних зв'язків, що вказують на наявність певних молекул або груп молекул у зразку. Однак в інфрачервоному діапазоні надається обмежена міжмолекулярна інформація (орієнтація молекул, рівень водневого зв'язку з навколишніми молекулами, аморфність або кристалічна структура). Навпаки, ТГц-діапазон може надати кращу міжмолекулярну інформацію. Використання хімікатів та гормонів у виробництві продуктів харчування викликає низку питань, пов'язаних з безпекою харчових продуктів, та їх моніторинг стає критично важливим питанням для харчової промисловості, регулюючих органів та споживачів. Методи моніторингу мають бути швидкими, економічними та неруйнівними. Наприклад, сучасні методи виявлення залишків пестицидів (газова та рідинна хроматографія) вимагають великих витрат часу та коштів. ТГц-спектроскопія може бути більш ефективним рішенням для виявлення залишків пестицидів, оскільки багато хімічних речовин демонструють чіткі спектральні характеристики в ТГц-діапазоні. Наприклад, Судзукі та інші (2011) для виявлення залишків пестицидів у помідорах, шпинаті, капусті та полуниці застосовували ТГц-спектроскопію. Пестициди, що використовуються при вирощуванні цих культур, мали унікальне поглинання від 20 до 400  $\text{см}^{-1}$ . Їхні концентрації сильно корелювали з другою похідною спектрів. Спектри поглинання чистого продукту та суміші з пестицидами розрізнялися.

В іншому дослідженні Хуа та Чжан (2010) використовували ТГц-спектроскопію для виявлення пестицидів в харчових порошках. Їхні результати показали чіткі піки абсорбції для чотирьох пестицидів (імідаклопрід, карбендазим, трицилазол та бупрофезин), тоді як харчові порошки (липкий рис, солодка картопля та корінь лотоса) не показали жодних піків абсорбції. Показники заломлення пестицидів та харчових порошків мали аналогічну картину. Так само важливо виявлення харчових добавок або дефектів та їх кількісна оцінка. Чжао та Лі (2011) повідомили, що суміші борошна та тальку мають різні піки поглинання та показники заломлення, і можна визначити різні пропорції суміші. Спостерігалися три піки поглинання на частотах 0,95, 1,36 та 1,57 ТГц. Поглинання збільшувалося із збільшенням частоти. Споживачі також стурбовані збільшенням використання хімікатів у тваринництві. Систематичне використання ветеринарних препаратів є викликом для здоров'я споживачів і забруднення навколишнього середовища. В Європейському Союзі впроваджуються максимально допустимі рівні залишків і плани моніторингу для вимірювання залишкових рівнів ветеринарних препаратів у харчових продуктах. Редо-Санчес та інші (2011) досліджували ТГц-спектральні характеристики антибіотиків, використовуваних у тваринництві. Вісім із одинадцяти широко використовуваних антибіотиків показали специфічні характеристики в діапазоні частот від 0,1 до 2 ТГц. Зіставлення спектрів зразків чистого корма, молока та яєчного порошку зі спектрами антибіотиків, змішаних з кормом, молоком та яєчним порошком, показало, що можна виявити спектральні характеристики двох антибіотиків. Поглинання чистого молока на частоті 1,37 ТГц зменшилося приблизно з  $3,75 \text{ дБ} \cdot \text{мг}^{-1}$  до  $2,75 \text{ дБ} \cdot \text{мг}^{-1}$  при змішуванні з антибіотиком доксицикліном. Попередні результати вказують на можливість перевірки в режимі реального часу за допомогою ТГц-спектроскопії для виявлення залишків антибіотиків.

Таким чином, огляд вказує на великий потенціал ТГц технології. В ТГц-діапазоні можна більш ефективно виявляти міжмолекулярні характеристики матеріалів, роблячи їх доповненням до існуючих неруйнівних методів. Дослідження в харчовому та сільськогосподарському секторах свідчать про те, що методи ТГц-діапазону можуть відігравати вирішальну роль у багатьох активних областях досліджень, включаючи інспекцію харчових продуктів, інспекцію врожаю, характеристику матеріалу та інші. Існує необхідність об'єднання зусиль дослідників сільського господарства, переробки сільськогосподарської продукції та ТГц-хвиль для створення новітніх методів та приладів.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СПІНЮВАННЯ ТА СУШІННЯ РИБНОЇ СИРОВИНИ

Одним з перспективних напрямків переробки рибної сировини є отримання спінених сумішей як продуктів харчування (снекі, напівфабрикати). Актуальною є визначення раціональних параметрів процесу переробки рибної сировини на спінені суміші при температурі не більше 55 °С, що дозволить зберігати термолабільні вітаміни вихідної сировини. Експериментальні дослідження процесу переробки рибної сировини на спінені суміші здійснювали на експериментальній установці для спінювання та сушіння рибної сировини при температурі до 55°C і тиску від 10 кПа до атмосферного (101 кПа).

Досліджувана рибна сировина є колоїдним капілярно-пористим тілом, для якого визначені наступні періоди сушіння: період прогріву матеріалу; період постійної швидкості сушіння; період падаючої швидкості сушіння. Для процесу отримання спінених сумішей характерним додатково є період спінювання після прогріву матеріалу.

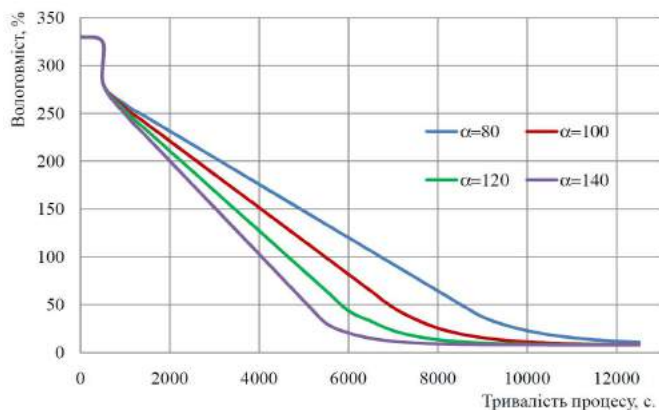
Зважаючи на те, що зміна вологовмісту в кожному з періодів процесу спінювання і сушіння рибної сировини підпорядковується різним законам, залежність вологовмісту від часу для кожного з періодів процесу розглянули окремо.

На підставі одержаних теоретичних і експериментальних даних процесу спінювання і сушіння рибної сировини ми отримали систему рівнянь (1) зміни вологовмісту, вирішення якої дозволило побудувати сімейства аналітичних кривих зміни вологовмісту в часі для рибних снеків (Рис. 1):

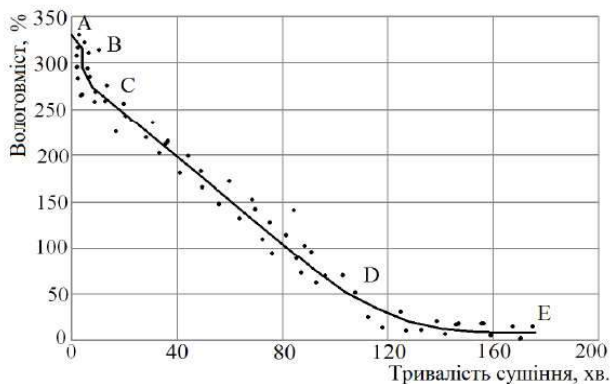
$$\left\{ \begin{array}{l} U = f(U_0), \text{ при } 0 \leq \tau \leq \tau_1; U_0 \leq U \leq U_1 \\ U = f(U_0), \text{ при } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2; U_1 \leq U \leq U_2 \\ U = U_2 - \frac{\alpha \cdot F}{\rho_T \cdot V} \cdot \frac{t - t_M}{r_c} \cdot (\tau - \tau_2), \text{ при } \tau_2 \leq \tau \leq \tau_3; U_2 \leq U \leq U_3 \\ U = e^{-A \cdot (\tau - \tau_3)} \cdot (U_3 - U_4) + U_4, \text{ при } \tau_3 \leq \tau \leq \tau_4; U_3 \leq U \leq U_4 \end{array} \right. \quad (1)$$

Для вирішення задачі пошуку раціональних параметрів процесу переробки рибної сировини на спінені суміші, які забезпечують мінімальну тривалість процесу, провели багатофакторний експеримент типу 2<sup>3</sup>. Для знайдених параметрів побудовані експериментальні криві спінювання і сушіння та швидкості спінювання і сушіння (рис. 2). Форма кривих відповідає побудованим теоретичним кривим (рис. 1). Ділянка АВ – період прогріву, ВС – період спінювання, CD – період

постійної швидкості сушіння, DE – період падаючої швидкості сушіння.



**Рис. 1.** Сімейство теоретичних кривих зміни вологовмісту матеріалу у часі для процесу спінування і сушіння при раціональних параметрах процесу



**Рис. 2.** Криві зміни вологовмісту спінування і сушіння при параметрах процесу  $P=10$  кПа,  $t=55$  °С,  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup>

Розроблено математичну модель процесу спінування і сушіння рибної сировини при температурі до 55 °С. Для врахування впливу величини робочого тиску при спінуванні, у критеріальне рівняння теплообміну для вільного руху теплоносія, введено поправочний коефіцієнт.

## ЕНТРОПІЯ В ПРОЦЕСІ СУШІННЯ

Процеси сушіння широко використовуються в харчових технологіях, як для отримання кінцевого продукту, так і проміжного на деякій стадії харчового виробництва. До основних процесів сушіння відносяться конвективна, радіаційна, контактна, мікрохвильова та сублимаційна сушки. Всі вони мають свої переваги та недоліки але кожний вид сушіння потребує великих енерговитрат та часу. Але є підстави вважати що є такі умови за якими в системі, яка використовується для сушіння, ці витрати можна суттєво зменшити.

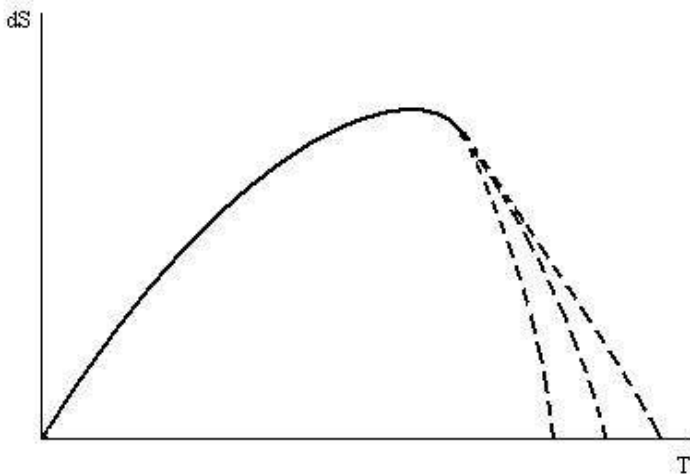
Розглянемо систему, яка представляє собою суміш рідини, газу та деякого твердого тіла в довільній пропорції та знаходиться у термостаті. З оточуючим середовищем вона може сполучатися через невелику частину цієї системи, яка має значно менші лінійні розміри в порівнянні з цією системою. Тобто цю систему можна вважати квазізамкненою. За означенням, ентропія системи дорівнює інтегралу для довільного квазістатичного процесу

$$S = \int \frac{\delta Q}{T}$$

і є функцією стану системи, що визначається з точністю до довільної сталої. Повний диференціал ентропії, таким чином, визначається формулою

$$dS = \frac{\delta Q}{T},$$

де  $\delta Q$  - елементарна кількість тепла отриманого системою,  $T$  - температура за абсолютною термодинамічною шкалою. Повний диференціал прямує до нуля при прямуванні до нуля абсолютної температури. Але він також буде прямувати до нуля при прямуванні температури до нескінченості і скінченому приросту внутрішньої енергії або скінченій температурі та нульовому приросту внутрішньої енергії, як це відбувається в адиабатичному процесі. Тоді повний диференціал ентропії системи має максимум, можливий вигляд якого показано на рис. 1, причому температура за якою диференціал ентропії перетворюється на нуль може бути якою завгодно.



**Рис.1. Зміна повного диференціалу ентропії з ростом температури**

Тобто за визначених умов існує така температура за якою диференціал ентропії системи дорівнює нулю, тоді

$$S = const .$$

Також можна припустити, що існують такі умови за якими ця стала буде дорівнювати нулю.

Ентропія за Больцманом визначається як однозначна функція ймовірності перебування системи в деякому термодинамічному стані

$$S = k \ln W ,$$

де  $k$  - стала Больцмана,  $W$  - термодинамічна ймовірність. Тоді рівність ентропії нулю означає, що в системі буде реалізовано тільки один термодинамічний стан і властивості цього стану будуть визначатись флуктуацією, що привела систему в цей стан.

Таким чином, в квазізамкненій системі при прямуванні абсолютної температури до нескінченості за деякою скінченною температурою може з'явитись термодинамічний стан з ентропією рівною нулю і подальший розвиток цієї системи буде визначатись зовнішньою або внутрішньою флуктуацією.

**О.І. Черевко**, д-р техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

**А.М. Загорулько**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

**О.І. Постаджисв**, асп. (ДБТУ, Харків)

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМ-ВИПАРНОГО АПАРАТА**

Забезпечення якості сировини, що переробляється в харчову продукцію потребує постійного вдосконалення відповідних технологій, що дозволять значною мірою зменшити тривалість обробки.

Використання нового енергоощадного обладнання забезпечить збереження початкових властивостей сировини та надасть конкурентоспроможні здібності отримуваним виробам. Значний вплив на якість отримуваних органічних концентрованих напівфабрикатів чинить безпосередньо конструктивно-технологічна складова. Під час виробництва якісних природних концентрованих напівфабрикатів значну увагу слід приділяти тепломасообмінним процесам, які здебільшого реалізуються у високопродуктивному та металоємному обладнанні.

У багатьох випадках конструктивна реалізація не забезпечує повною мірою належної якості отримуваної продукції через складні інженерно-технічні комунікації та ресурсозатратність. Це обумовлює необхідність пошуку інноваційних рішень з вдосконалення процесів концентрування, зокрема внаслідок збільшення площі поверхонь теплообміну.

Тому актуальним є завдання забезпечити конкурентоспроможність виготовляємих плодовоовочевих паст високої якості та зменшення втрат сировини і зниження ресурсовитрат на виробництво. Це обумовлює потребу в розширенні асортименту продукції рослинного походження за рахунок використання плодів, ягід, овочевої сировини та вдосконалення відповідного обладнання.

Впроваджений конструктивно-технологічний підхід під час вдосконалення вакуум-випарного апарата на базі МЗС-320 характеризується простотою та безпекою використання, зменшеною енерго- та металоємністю, за рахунок використання сучасного плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕНВТ) та ліквідації нагрівальної парової оболонки. Таке рішення є перспективним, оскільки дозволяє знизити інерційність та металоємність базових конструкцій схожих апаратів з забезпеченням рівномірної теплопередаючої поверхні.

Відповідно до конструктивно-технологічного рішення у вакуум-випарному апараті замість парової оболонки обігрівання пропонується здійснювати теплоізолюваним ГПРЕНВТ, який також розташовується у порожнистому просторі вала мішалки та лопатей. Таким чином забезпечується збільшення поверхні теплообміну від  $3,7 \text{ м}^3$  до  $4,15 \text{ м}^3$ , тобто на 12 %.

У ході апробації модельного зразка удосконаленого апарата під час концентрування ( $50 \dots 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) встановлено, що швидкість зсуву становила  $0,5 \dots 2,5 \text{ с}^{-1}$ , а ефективна в'язкість в межах  $2,0 \dots 4,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Доведено ефективність запропонованого конструктивного рішення зі збільшення поверхні теплообміну та підвищення ресурсоефективності в цілому. Це підтверджується зменшенням ваги апарата на 35 %, питомої металоемності апарата на 42 %, тривалості обробки на 12 %. За іншими конструктивно-технічними показниками вдосконалений вакуум-випарний апарат зі збільшеною поверхнею теплообміну також має істотні переваги в технічному обслуговуванні та експлуатації. Він забезпечує вирішення головної проблеми вакуум-випарних апаратів зі стабілізації теплопідведення по всій поверхні теплообміну.

Отримані конструктивно-технологічні параметри під час вдосконалення системи обігріву та збільшення поверхні теплообміну в цілому, забезпечать зменшення тривалості та рівномірність температурного впливу. А отже щадний підхід до органічної природної сировини та максимальне збереження її початкових властивостей.



**В. А. Шейко**, студ. (ДБТУ, Харків)  
**С.П. Щит**, студ. (ДБТУ, Харків)

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Сушіння – це процес видалення вологи із матеріалів, що забезпечує її випарювання та відведення парів які утворилися. Під час описаного процесу може відбутись псування матеріалу. Однією з причин псування харчових продуктів є діяльність мікроорганізмів. З метою встановлення впливу мікроорганізмів на процеси сушіння проводять дослідження щодо визначення їхньої активності та розробки протидії означеній діяльності за допомогою певних активних речовин та їх композицій. Для вирішення означених завдань, прорахунку затримки росту мікроорганізмів або взагалі їхнього пригнічення широко застосовуються методи математичного моделювання, які дозволяють значно скоротити кількість дослідів і отримати більше інформації про процес, що вивчається.

На протікання процесу сушіння впливає велика кількість різноманітних факторів, тому застосування математичних методів має враховувати декілька типів завдань: відсіювання малозначущих факторів; зміна значень і заміна факторів; оптимізація умов процесу; складання математичної моделі процесу; за необхідності – статистична оцінка експерименту. Отже, створення моделі як, наприклад, функції відгуку, має дозволити: отримати якісну і кількісну інформацію про вплив кожного фактору на функцію відгуку; розрахувати значення функції відгуку при заданих параметрах процесу.

Математичною мовою задача пошуку оптимальної кількості допоміжних активних речовин та їх композицій сформулюється наступним чином: потрібно отримати деяке уявлення функції відгуку  $Y$  у вигляді:

$$Y = f(x_1; x_2; x_3; \dots x_k),$$

де  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  – незалежні фактори, які можуть впливати на відгуки  $Y$ .

При проведенні вибору діючих речовин в описаному процесі вони можуть братись у певній кількості, а в якості функції відгуку  $Y$ , наприклад, можна розглядати діаметр затримки росту бактерій. Проведення багатфакторного експерименту передбачає опис функції відгуку від незалежних факторів проводити за аналітичним виразом у вигляді:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} x_i x_j,$$

де  $b_0, b_i, b_{ij}$  – теоретичні коефіцієнти регресії.

У результаті математичної обробки проведених експериментів можемо отримати певне рівняння, що дає уявлення про кількісний вплив кожного фактору на діаметр затримки росту бактерій.

Також для прорахунку затримки росту мікроорганізмів можна скористатись, наприклад, найпростішою моделлю розвитку популяції, розробленою Томасом Робертом Мальтусом, яка описує залежність кількості біомаси в певний момент часу від початкової кількості як лінійну:

$$\Delta N = \mu N_1 \Delta t \quad \text{або} \quad N = N_1 e^{\mu t},$$

де  $N_1$  – початкова кількість мікроорганізмів в популяції;  $t$  – тривалість росту;  $\mu$  – питома швидкість росту мікроорганізмів. Згідно з моделлю Мальтуса ріст мікроорганізмів залежить від питомої швидкості росту за умови сталості концентрацій поживних речовин і біомаси, вплив на які також може привести до бажаних результатів дослідження.

Отже, традиційна теорія використовує математичні моделі у вигляді алгебраїчних або диференціальних рівнянь. Такі моделі дають змогу адекватно описати процеси чи закономірності поведінки тих чи інших культур або популяцій мікроорганізмів. Проте, як зазначається у науковій літературі, для опису більшості конкретних експериментів отримання прийнятного для побудови чіткої моделі рівняння є доволі складною, трудомісткою, високо вартісною або зовсім неможливою задачею. Тобто для деяких процесів чіткі математичні моделі отримати неможливо або вони є надто складними для практичного використання. До таких моделей якраз і відносяться деякі задачі хімічної та харчової індустрії, сфери біотехнології, екології, які безпосередньо розглядаються при дослідженні процесів сушіння. Значна частина інформації про ці процеси є доступною у вигляді експертних даних чи в евристичному описові процесів функціонування. Така інформація може бути нечіткою та невизначеною для того, щоб бути вираженою математичними залежностями.

Узагальнюючи, зазначимо, що під час опрацювання літератури за темою, ми познайомились з основними математичними підходами і моделями, що описують процеси сушіння, а саме: вплив діяльності мікроорганізмів на псування продукції та їх пригнічення. Розглянуті математичні моделі за певних умов можуть дозволити, не проводячи додаткових експериментів, шляхом розрахунку, визначити кількість діючих речовин або їхніх композицій для ефективності процесу сушіння. Ця обставина є важливою перевагою застосування математичних моделей при розробці та дослідженні зазначеного процесу, але, як виявляється, не завжди наразі можливою.

**Є.М. Якушенко**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)  
**Д.П. Семенюк**, канд. техн. наук, доц. (ДБТУ, Харків)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ЯК ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

У післяжнивний період важливим є зберігання сільськогосподарської продукції, особливо з урахуванням вологості. Зерно, що надходить на хлібоприймальні пункти, має підвищену вологість, що іноді досягає 25...30%, у зв'язку з чим воно непридатне для тривалого зберігання. З цієї ж причини знижується вартість зерна, що приймається на елеватор. Недостатнє просушування призводить до інтенсивного протікання біохімічних процесів у вологому зерні, де мікроорганізми, що швидко розмножуються, і хлібні шкідники, відбувається самозігрівання і псування продукції. Для збереження врожаю вологе зерно сушать до кондиційної вологості (14...16 %). За багаторічними статистичними даними, з розрахунку зниження вологості на 6% (з 20 до 14%) щорічно підлягає сушінню близько 45% валового збору. Сушіння є не тільки теплотехнічним, а й технологічним процесом, що впливає на властивості матеріалу, що прискорює процес дозрівання свіжоприбраного зерна, зберігає, а також збільшує схожість та енергію проростання насіння. Крім того, якщо зерно підсушене, продуктивність та якість продукції підприємств борошномельно-круп'яної промисловості підвищуються при зменшенні витрати електроенергії та зниженні зносу основного обладнання. У процесі сушіння вода видалається за рахунок використаного тепла витраченої енергії. Сушіння є складним процесом, за участю комбінованого виробництва тепла та масопереносу. Сушіння – процес енергоємний, внаслідок необхідності подачі теплоти в матеріал. До того ж на підприємствах найчастіше працюють морально та фізично застарілі конструкції сушильних установок, які споживають велику кількість енергії (табл. 1).

Наведені дані вказують на необхідність енергозбереження у процесах сушіння. Сушіння може бути здійснене декількома способами:

- механічний – видалення вільної вологи з матеріалу шляхом фільтропресування або центрифугування;
- сорбційний – змішування на певний час вологого матеріалу з вологопоглиначем. Механічне та сорбційне зневоднення не супроводжуються зміною агрегатного стану вологи, що видалається;

– тепловий – основний спосіб зниження вологості більшості матеріалів.

Таблиця 1

**Витрата теплоти при сушінні зерна пшениці**

Початкова волога, $w_0$ , %	Кінцева волога, $w_1$ , %	Кількість вологи, яка випаровується, $W$ , кг/год	Сумарні питомі затрати теплоти на випаровування 1 кг вологи при сушінні зерна пшениці, $\Sigma q$ , кДж/кг
16	11,81	1520,3	7531,7
18	12,82	1901,4	6022,1
20	14,0	2232,6	5128,7
22	15,36	2510,4	4561,2
24	16,92	2727,0	4198,9
26	18,69	2876,8	3980,3
28	20,63	2971,5	3853,4
30	22,84	2969,3	3856,3
32	24,8	3063,7	3737,4
34	26,8	3147,5	3637,9
36	28,8	3235,8	3538,7

Теплове сушіння може бути природним та штучним. У першому випадку використовується тепла енергія сонця, у другому – тепло, яке отримується за допомогою різноманітних технічних засобів. Тепло матеріалу, який сушать може бути передано різними способами: конвективним, кондуктивним (контактним), радіаційним. Можливе сушіння струмами високої частоти. Застосовуються також різні комбіновані способи: конвективний з кондуктивним, радіаційний з високочастотним та ін. Одним із способів, що дозволяють суттєво знизити експлуатаційні витрати процесу сушіння та отримати високоякісний продукт, є технологія сушіння з тепловим насосом. Поряд із сушінням використання теплового насоса виконує комплекс завдань, таких як зберігання, заморожування та кондиціювання повітря. Даний спосіб відомий понад двадцять років, проте не набув широкого поширення в промислових масштабах. Переваги сушіння з використанням теплового насоса: підвищення ефективності процесу сушіння; точний контроль температури, вологості та повітряного потоку; широкий діапазон умов сушіння; підвищення якості продукції. Для використання теплонасосної установки необхідно визначити її основні параметри, і вибрати джерело низькопотенційного тепла. Використанням теплового насоса на основі замкнутого циклу слугуватиме підвищенню ефективності процесу сушіння.

**Є.М. Якушенко**, к-т техн. наук, доцент (ДБТУ, Харків)

**Д.П. Семенюк**, к-т техн. наук, проф. (ДБТУ, Харків)

## **ЛІОФІЛЬНЕ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ**

Ліофільна (сублімаційна) сушка відноситься до одного із способів підготовки харчових продуктів до тривалого зберігання. Сутність процесу полягає у заморожуванні продукції нарізаною шматочками до дуже низьких температур. При цьому продукт харчування повністю піддають зневоднення методом сублімації рідини зі стану льоду безпосередньо в пару. Фазу переходу в рідкий стан виключено. Такий процес можна забезпечити лише у вакуумному середовищі.

Сублімаційне сушіння відбувається в три етапи, причому першим і найважливішим є етап заморожування. При правильному виморожуванні може скоротити час сушіння на 30%.

Фаза заморожування. Існують різні способи заморожування продукту. Заморожування може бути здійснене в морозильній камері або на полиці безпосередньо в ліофільній сушарці. Заморожування забезпечує сублімацію, а не плавлення. Це дозволяє зберегти продукт свою фізичну форму.

Сублімаційне сушіння найлегше здійснити з використанням великих кристалів льоду, які можна отримати шляхом повільного заморожування або відпалу. Однак з біологічними матеріалами, коли кристали надто великі, можуть руйнуватися їх клітинні стінки, що призводить до неідеальних результатів сушіння сублімації. Щоб запобігти цьому, заморожування слід проводити швидко. Для продуктів, у яких рідина має тенденцію випадати в осад, можна використовувати відпал. Цей процес включає швидке заморожування, а потім підвищення температури продукту, щоб дозволити кристалам зростати.

Друга фаза сублімаційного сушіння – це первинна сушіння (сублімація), при якій тиск знижується і до матеріалу додається тепло для сублімації рідини. Вакуум прискорює сублімацію. Холодний конденсатор забезпечує поверхню для прилипання та затвердіння водяної пари. Конденсатор також захищає вакуумний насос від водяної пари. Близько 95% води у продукті видаляється на цій стадії. Первинне сушіння може бути повільним процесом. Надмірно висока температура може змінити структуру тканин продукту.

Завершальною фазою сублимаційного сушіння є вторинна сушіння (адсорбція), під час якої видаляються молекули води з іонним зв'язком. Підвищуючи температуру вище, ніж у фазі первинного сушіння, зв'язки між продуктом та молекулами води розриваються. Ліофілізовані продукти зберігають пористу структуру. Після завершення процесу сушіння сублимації вакуум може бути порушений інертним газом до того, як продукт буде герметизований. Більшість матеріалів можна висушити до 1-5% залишкової вологи.

Проведення ліофільної сушіння вимагає наявності складного обладнання та дотримання точної послідовності кількох умов. Насамперед необхідно точно підібрати рівень вакууму, на якість сублимації впливатиме ще й розмір і форма продукту. Від цього залежить тривалість процесу сушіння.

Розглянемо етапи включення у роботу всіх елементів сублиматора.

Попередньо заморожений продукт поміщаємо на панелі візка та встановлюємо його у сублиматор. З'єднуємо панель з подачею теплового носія, температура якого має становити 30 градусів за Цельсієм. Сублимаційну шафу закриваємо. Потім включаємо в роботу вакуумний насос та компресорну холодильну установку. До конденсатора підводимо воду, після чого в роботу повинен бути включений насос та компресор. На даному етапі у сублиматорі спостерігається виділення великої кількості пари через взаємодію замороженого продукту та теплового носія, який всю свою теплову енергію віддає панелям з продуктами харчування. Пар, що утворився, переходить у десублиматор, в якому відбувається намерозування води на змійовик. Газ, що утворився, видаляється за рахунок вакуумного насоса.

Харчові продукти, заморожені до -50 градусів Цельсія, в процесі сушіння повинні зазнавати тиску в 0,03 мм.рт.ст.

Продукти, які піддали ліофільному сушінню, зберігають свої смакові, ароматичні та корисні властивості, дуже мало важать і можуть довго зберігатися. Вони не втрачають енергетичної цінності, вітамінів, білків.

Ліофілізовані продукти надзвичайно гігроскопічні і щоб запобігти регідратації від атмосферного впливу після сублимаційного сушіння, їх необхідно герметично закривати у контейнерах або спеціальних пакетах. Сублимаційні сушарки можуть бути налаштовані з можливістю «зупинки» для проведення герметизації продукту, поки він знаходиться під частковим вакуумом всередині пристрою.

## ЗМІСТ

<b>Афанасьєва О.П., Упатова О.І.</b> Дослідження процесу сушіння напівфабрикатів м'ясних снєків	3
<b>Бакум М.В., Завгородній О.І., Сіняєва О.В., Крекот М.М.</b> Вплив процесу сепарації на зниження вологості зернового матеріалу	5
<b>Богомолєв О.В., Ірклєнко В.І., Богомолєв О.О., Михайлов Б.В., Ромашко А.М., Солдатенко Ю.І.</b> До питання первинної обробки зернових сумішей	7
<b>Большакова В.А., Дроменко О.Б., Онищенко В.М.</b> Обґрунтування раціональних параметрів виробництва сушених виробів з м'яса птиці	9
<b>Дмитренко Н.В., Гусарова О.В.</b> Вплив мікрохвильової обробки на процес конвективного сушіння та якість чипсів із яблук	11
<b>Євлаш В.В., Аксьєнова О.Ф., Губський С.М., Мурикіна Н.В.</b> Перспективи використання дієтичної добавки на основі SALICORNIA EUROPAEA L. в технологіях харчових продуктів	13
<b>Євлаш В.В., Газзаві-Рогозіна Л.В., Головка М.П.</b> Вивчення мікробіологічних показників зразків сушених вичавок з овочевої сировини	15
<b>Загорулько А.М., Загорулько О.Є., Титаренко Н.В.</b> Шнекова терморадіаційна сушарка для сушіння вичавок рослинного походження	17
<b>Загорулько А.М., Титаренко Н.В.</b> Апарат для низькотемпературної обробки м'ясних виробів ГЧ-випромінюванням	19
<b>Загорулько А.М., Титаренко Н.В., Ібаєв Е.Б.</b> Інтенсифікація процесів концентрування та ГЧ-сушіння рослинної сировини	21
<b>Загорулько О.Є., Загорулько А.М., Лаврук В.В.</b> Удосконалення обладнання для виробництва плодовоовочевих паст	23
<b>Михайлов В.М., Загорулько А.М., Загорулько А.М.</b> Терморадіаційна однобарабанна вальцьова сушарка	25

<b>Михайлов В.М., Прасол С.В., Шевченко А.О.</b> Вплив режимів мікрохвильової обробки на фізико-хімічні властивості продукції на основі рослинної сировини	27
<b>Онищенко В.М., Пак А.О., Онищенко А.В., Інжиянц С.Т.</b> Розробка апарата для сушіння плівки багатофункціонального призначення із кишкової сировини	29
<b>Онищенко В.М., Янчева М.О., Пак А.О., Онищенко А.В.</b> Дослідження процесу кондуктивного сушіння плівки багатофункціонального призначення із кишкової сировини	31
<b>Пак А.В., Мандражи О.А., Пак А.О.</b> Візуалізація розв'язку задачі про розподіл температури у внутрішньому об'ємі термостата паралелепіпедної форми	33
<b>Петренко О.В., Потапов В.О.</b> Дослідження кінетики сушіння продуктів переробки томатів	35
<b>Пілюгіна І.С.</b> Сучасний стан і перспективи використання рослинних порошків у технології пастильних виробів	37
<b>Погожих М.І., Пак А.О.</b> Енергоефективність процесів сушіння: шляхи вирішення	39
<b>Потапов В.О., Мольський О.С.</b> Вплив режиму тепло-масообмінної обробки на вміст доданої вологи у курячому м'ясі	41
<b>Скрипник В.О., Пономаренко Б.Г.</b> Результати дослідження кінетики температури під час кондуктивного сушіння м'яса	43
<b>Сліпченко М.В.</b> До питання самозігрівання зерна породженого пластивим осередком	45
<b>Слободянюк К.С., Петрова Ж.О.</b> Комбіноване сушіння антиоксидантної сировини	47
<b>Smetankina N.V.</b> Modeling of thermal stressed fields in multilayer plates	49
<b>Снежкін Ю.Ф.</b> Теплові насоси в процесах сушіння	53
<b>Станкевич Г.М., Кац А.К.</b> Дослідження процесу тепло-масообміну при сушінні зерна спельти	55



<b>Стороженко І.П., Сіренко П.О.</b> Терагерцова спектроскопія харчових продуктів	57
<b>Сукманов В.О.</b> Дослідження процесів спінювання та сушіння рибної сировини	59
<b>Торяник Д.О.</b> Ентропія в процесі сушіння	61
<b>Черевко О.І., Загорулько А.М., Постаджієв О.І.</b> Удосконалення вакуум-випарного апарата	63
<b>Шейко В.А., Щит Є.П.</b> Математичні моделі процесу сушіння	65
<b>Якушенко Є.М., Семенюк Д.П.</b> Застосування теплого насоса як перспективного обладнання для зниження енерговитрат при сушінні зернової продукції	67
<b>Якушенко Є.М., Семенюк Д.П.</b> Ліофільна сушка харчових продуктів тривалого зберігання	69

Наукове видання

***ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ТА ЯКОСТІ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ  
ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ***

***Тези доповідей  
Всеукраїнської науково-практичної конференції  
8 червня 2023 р.***

Відповідальні за випуск: А.О. Пак  
Техн. редактор О.М. Жданович  
Комп'ютерна верстка: кафедра фізики та  
математики ДБТУ

Підп. до друку 02.05.2023 р. Один електрон. оптичний диск (CD-ROM);  
супровідна документація. Об'єм даних 2,3 Мб.

---

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44