

Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О.,
Самойленко К.М., Слободянюк К.С.

**ТЕПЛОМАСООБМІННІ
ПРОЦЕСИ ОТРИМАННЯ
КОМБІНОВАНИХ
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
ПОРОШКІВ**

2022

Національна академія наук України
Інститут технічної теплофізики

Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Самойленко К.М., Слободянюк К.С.

**ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ
ОТРИМАННЯ КОМБІНОВАНИХ
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
ПОРОШКІВ**

Монографія

2022 р.

УДК 664.8.047

Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Самойленко К.М., Слободянюк К.С. Тепло-масообмінні процеси отримання комбінованих функціональних порошків: [Монографія] – Рукопис.

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України від 30 листопада 2021 р. (протокол № 12).

Рецензент: доктор сільськогосподарських наук, ст.наук.спіrv., заст. зав. відділом технології цукру, цукропродуктів та інгредієнтів Інституту продовольчих ресурсів НААН України І.В. Кузнецова

Монографія присвячена вирішенню наукової проблеми енергозбереження та розробки ресурсозберігаючих теплотехнологій переробки антиоксидантної сировини на основі столового буряку та фітоестрогенної сировини на основі сої на функціональні харчові порошки. В роботі розглянуто сучасні дослідження та способи переробки, а також запропоновано енергоефективну попередню підготовку рослинних матеріалів до сушіння, що дає можливість знизити енерговитрати на цьому етапі на 25-85 % у порівнянні з попередніми. Представлено дослідження тепломасообмінних процесів під час конвективного сушіння: антиоксидантної сировини, при якому відбувається інтенсифікація процесу зневоднення на 50 % при максимальному збереженні бетаніну 95 %, а також інтенсифікація процесу зневоднення фітоестрогенної сировини на 21 % без критичних змін величини кислотного числа; сформульовано основні положення фізичної та математичної чисельної моделі тепломасообмінних процесів під час сушіння функціональної сировини. Вперше дериватографічними дослідженнями доведено, що термічна стійкість створеної антиоксидантної композиції вища за термічну стійкість складових компонентів. Середня питома теплота зневоднення суміші на 13,5 % нижча за теплоту зневоднення столового буряку і майже на 9 % менша теплоти зневоднення ревеню. Вперше, в результаті калориметричних досліджень встановлено, що теплота випаровування води в антиоксидантній сировині менша, ніж вихідних компонентів. Вперше встановлено питому теплоту випаровування води з фітоестрогенної суміші. В результаті створення комбінованого продукту під час сушіння зареєстровано інтегральний тепловий ефект в процесі випаровування – реакція жирів з жиророзчинними каротиноїдами, яка впливає на питому теплоту випаровування води із матеріалу.

Видання призначено для працівників підприємств харчової промисловості, студентів закладів вищої освіти, магістрів та аспірантів інженерно-технічних спеціальностей.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	7
1.1. Теорія тепломасообміну	7
1.2. Антиоксидантна сировина рослинного походження як об'єкт сушіння	18
1.3. Фітоестрогенна сировина рослинного походження як об'єкт сушіння	25
1.4. Види сушильного обладнання для сушіння комбінованих функціональних матеріалів	27
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ АНТИОКСИДАНТНОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ СТОЛОВОГО БУРЯКУ	38
2.1. Попередня підготовка рослинної сировини та її вплив на фізико-хімічні властивості досліджуваного матеріалу	38
2.2. Вплив рН середовища на збереження бетаніну антиоксидантної сировини після сушіння	41
2.3. Дослідження кінетики сушіння антиоксидантної рослинної сировини	49
2.4. Розробка енергоефективного ступеневого режиму сушіння антиоксидантної рослинної сировини	54
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ ФІТОЕСТРОГЕННОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ СОЇ	57
3.1. Попередня гідротермічна обробка фітоестрогенної рослинної сировини	57
3.2. Дослідження кінетики процесу сушіння фітоестрогенної рослинної сировини	63
3.3. Дослідження зміни кислотного числа фітоестрогенної сировини під дією температури теплоносія	70

3.4. Розробка ступеневих енергоефективних режимів сушіння фітоестрогенних рослинних сумішей	72
3.5. Дослідження водоутримуючої здатності фітоестрогенної сировини	76
3.6. Дослідження відновлення білкововмісних фітоестрогенних порошків	78
РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПРИ СУШІННІ КОМБІНОВАНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	80
4.1. Розрахунок тривалості та швидкості процесів сушіння антиоксидантної сировини	80
4.2. Розрахунок тривалості та швидкості процесів сушіння фітоестрогенної сировини	82
4.3. Чисельне моделювання процесу тепломасопереносу в процесі сушіння комбінованих функціональних матеріалів	89
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМБІНОВАНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	103
5.1. Калориметричні дослідження комбінованих функціональних матеріалів	103
5.2. Гравіметричні властивості комбінованих функціональних матеріалів	107
РОЗДІЛ 6. ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗВІДХОДНОЇ ПЕРЕРОБКИ КОМБІНОВАНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	117
6.1. Енергоефективна теплотехнологія отримання антиоксидантного порошку на основі столового буряка	118
6.2. Енергоефективна теплотехнологія отримання фітоестрогенного порошку на основі сої та шпинату	124
6.3. Сфера застосування антиоксидантних та фітоестрогенних рослинних порошків	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138

ПЕРЕДМОВА

Україні, яка відноситься до країн з обмеженими власними енергоресурсами та імпортує близько 90 % рідких і газоподібних енергоносіїв, притаманна надмірна енергоємність основних галузей промисловості (металургії, хімії, машинобудування, переробного та агропромислового комплексу, буд-індустрії та комунального господарства).

На процеси сушіння в світі витрачається 10 - 12 % всієї енергії. В Україні, за нашими підрахунками, на ці процеси витрачається 25 % всієї енергії, а в самому лише агропромисловому комплексі – 15 %. При цьому випаровується до 17 млн. т вологи, яка відноситься до парникових газів, в оточуюче середовище.

На сучасному етапі розвитку процесів сушіння в Україні та світі постала нагальна потреба в створенні та розробці високоефективних теплотехнологій, які б забезпечували мінімальні витрати енергії та високу якість матеріалу.

В Україні основними галузями промисловості, які широко використовують процеси сушіння, є будівельних матеріалів, агропромисловий комплекс, паливні та дерево-переробні сектори.

В процесах сушіння визначальними є процеси тепломасообміну. Від їхньої інтенсивності залежать ефективність сушіння та економічність використання матеріальних і енергетичних ресурсів. Тепломасообмін – дисципліна, яка вивчає закономірності процесів теплообміну, що супроводжуються переносом речовини, тобто масообміном. До технологій, в основі яких лежать тепломасообмінні процеси, відносяться процеси сушіння.

Виконаний аналіз стану і шляхів підвищення ефективності процесу конвективного сушіння показав, що в тепловому балансі процесу сушіння 40% енергії втрачається на випаровування вологи, що є показником неефективності сушарок. Основними проблемами при використанні методу конвективного сушіння є: значні втрати теплоти з відпрацьованим сушильним агентом; низька інтенсивність процесу волого-видалення при використанні невисоких температур сушіння; залежність ефективності роботи сушарки від вологості атмосферного повітря. Вирішення

цих проблем пропонуються через: утилізацію теплоти, яка йде з відпрацьованим сушильним агентом; примусова осушка сушильного агента з метою інтенсифікації масообміну; керовані умови процесу зневоднення.

Сучасне суспільство зіткнулось із такими проблемами 21 століття як пандемія, екологічна криза, викиди парникових газів, нестача енергоносіїв тощо. Тому, стає надзвичайно важливим функціональне харчування людей, яке неможливе без правильної технологічної переробки. Враховуючи загальну тенденцію енергоспоживання, яка веде до збільшення кількості спожитої енергії в усьому світі, вартість цієї енергії безперервно підвищується та зростає її дефіцит. Тому гостро стоять проблеми створення та широкомасштабного впровадження сучасних енергоефективних теплотехнологій, які забезпечують скорочення витрат енергоносіїв та максимальне збереження основних інгредієнтів сировини. Особливо це актуально для забезпечення населення продуктами харчування, оскільки додаткова складність в тому, що виробництво та переробка сільськогосподарської сировини відбувається в умовах підвищеного споживання газу та інших енергоносіїв з низьким ККД і великими втратами сировини при переробці. Підвищення енергоефективності процесу сушіння комбінованої функціональної сировини (функціональна рослинна сировина відноситься до термолабільних колоїдних капілярно-пористих матеріалів) в комплексі може позитивно вплинути на економіку. Функціональні продукти, отримані методом сушіння, підсилять суспільний імунітет.

Видавництво «Тропеа».

Формат 70x100 1/16.

Друк цифровий. Папір офсет.

Замовлення № 249/22.

Віддруковано згідно з наданим оригінал-макетом

ТОВ «Про формат».

Україна, 04080, м. Київ, вул. Кирилівська, 45.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру ДК № 5942 від 11 січня 2018 р.

Тир. 50