

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

БУРЛАКА ТЕТЯНА ВАСИЛІВНА



УДК 664.047 (043.3)

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ
КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ

Спеціальність 05. 18. 12 - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних
та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Дубковецький Ігор Володимирович,
Національний університет харчових технологій,
доцент кафедри процесів і апаратів
харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Паламарчук Ігор Павлович,
професор кафедри процесів і обладнання
переробки продукції АПК
Національного університету
біоресурсів і природокористування України

кандидат технічних наук, доцент
Пазюк Вадим Михайлович,
старший науковий співробітник
Інституту технічної теплофізики НАН України

Захист дисертації відбудеться "25" квітня 2018 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А - 311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий " " березня 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



С. І. Літвинчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. У харчовій промисловості сушіння часто визначає техніко-економічні показники виробництва в цілому, що пов'язано зі значними витратами теплової енергії для проведення даного процесу. Тепер пильна увага до проблеми енергозбереження обумовлюється кризовим станом енергетики країни, марнотратним використанням енергії в окремих тепло-технологічних процесах, що призводить до значної питомої енергоємності.

Серед відомих способів сушіння найчастіше використовують в харчовій промисловості конвективний, кондуктивний та терморадіаційний.

Традиційно використовуваний конвективний спосіб сушіння рослинної сировини має ряд недоліків: висока температура сушильного агента, тривалість процесу і значна енергоємність.

До недоліків терморадіаційного сушіння відносять те, що енергія ІЧ- випромінювання поглинається в основному поверхнею матеріалу, що висушується, і щоб не допустити його розтріскування і деформацію доводиться зменшувати кількість енергії, що підводиться. Погіршує ці ж показники і безперервне підведення енергії ІЧ- випромінювання, що створює градієнт температур, під впливом якого волога переміщується всередину матеріалу.

У зв'язку з цим перспективним і економічно доцільним напрямком отримання зневоднених продуктів вважається спосіб комбінованого сушіння та розробка нових сушильних установок з комбінованими режимами, що забезпечить значне підвищення інтенсивності процесу, економію електроенергії і покращення якості зневоднених продуктів.

Розвиток теорії, техніки і технології тепломасообмінних процесів підготував умови для наукового підходу до розробки нових способів сушіння культивованих грибів і раціональних конструкцій сушильних установок, що забезпечать найменші втрати теплоти і електроенергії.

Створення та впровадження в промислове виробництво апаратів такої конструкції, що дозволяють підвищити ефективність процесу сушіння і знизити питомі витрати теплової енергії на одиницю продукції, є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у рамках плану науково-дослідної роботи кафедри процесів і апаратів харчових виробництв НУХТ «Інтенсифікація технологічних процесів в харчовій і мікробіологічній промисловості з метою розроблення нових технологій та обладнання» (шифр держреєстрації 0112U004674 за кодом тематичної рубрики 65.13.23 від 18.06.12) за напрямом «Розроблення наукових основ технологічних процесів з метою створення вискоєфективних технологій і обладнання», а також держбюджетної тематики фундаментальної науково-дослідної роботи ПНДЛ НУХТ «Розроблення інноваційних процесів сушіння плодово-овочевої сировини та удосконалення на їх основі технологій продукції соціального харчування» (шифр 0100U2090 термін виконання 2015-2016 рр.).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – наукове забезпечення процесу сушіння культивованих грибів при комбінованому конвективно-терморадіаційному енергопідведенню; підвищення ефективності процесу за рахунок розробки нового

способу сушіння і сушильних установок для його реалізації, що забезпечить економію теплоенергетичних ресурсів при необхідній якості готової продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- розробити та виготовити експериментально-промислову сушильну установку, яка б дозволила здійснювати процес сушіння різними способами енергопідведення і їх комбінаціями;
- дослідити вплив температури в залежності від способу енергопідведення на кінетику сушіння культивованих грибів;
- визначити витрати енергії за одиницю часу при сушінні культивованих грибів в залежності від способу енергопідведення;
- дослідити органолептичні властивості, харчову та біологічну цінність сушених культивованих грибів та їх зміни під впливом технологічних параметрів;
- дослідити сорбційно-структурні характеристики культивованих грибів;
- дослідити вплив швидкості теплоносія, питомого навантаження, потужності інфрачервоних генераторів та відстані від інфрачервоних генераторів на кінетику сушіння культивованих грибів;
- визначити тепломасообмінні параметри сушіння культивованих грибів при різних способах енергопідведення та їх залежності від основних факторів;
- розробити математичну модель процесу конвективно-терморадіаційного сушіння та одержати кінетичне рівняння використовуючи основні параметри процесу та теорію подібності;
- провести математико-статистичний аналіз дослідних даних для дослідження ефективності конвективно-терморадіаційного сушіння та визначити оптимальні технологічні параметри;
- обґрунтувати економічну доцільність впровадження запропонованих нових технічних рішень та результатів досліджень у промисловість.

Об'єкт дослідження – процес сушіння культивованих грибів при комбінованих способах енергопідведення.

Предмет дослідження – культивовані гриби глива звичайна.

Методи дослідження – аналітичні, теоретичні, експериментальні.

Для теоретичних досліджень, узагальнення результатів експериментів та перевірки на адекватність отриманих математичних моделей використані методи математичного моделювання технологічних процесів харчових виробництв і математико-статистичного аналізу.

Основні теплообмінні і масообмінні характеристики сушіння одержували теоретичними та експериментальними методами, заснованими на класичних положеннях і законах, використовували метод аналізу розмірностей.

Оброблення експериментальних даних і розрахунки було виконано із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD 15, КОМПАС – 3D V14, AutoCAD 2016, CorelDRAW X4, MatLab R2011b, OriginPro 8.5 та ін.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні на основі виконання досліджень нових наукових даних та вирішення з їх використанням наступних наукових проблем:

- розроблено й виготовлено нову конструкцію сушильної установки, що дозволяє здійснювати процес сушіння різними способами енергопідведення і їх комбінаціями;
- вперше на основі теоретичних та експериментальних досліджень здійснено порівняльний аналіз кінетики процесу сушіння культивованих грибів конвективним, терморадіаційним, кондуктивним, конвективно-терморадіаційним й кондуктивно-терморадіаційним способами енергопідведення та визначено раціональні технологічні параметри сушіння культивованих грибів, які дозволяють скоротити енерговитрати при максимальному збереженні біологічно активних речовин та зменшити тривалість процесу;
- науково обґрунтовано технологічні режими конвективно-терморадіаційного способу сушіння культивованих грибів, що відбуваються в режимі нагрів-охолодження при одночасному конвективному і імпульсному інфрачервоному енергопідведенні з щільністю потоку $0,5 \dots 3,0 \text{ кВт/м}^2$, рециркуляцією повітря з швидкістю $2,5 \dots 5,5 \text{ м/с}$, при температурних режимах $40 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C}$, кінцевій вологості $6 \dots 15 \%$, і питомому навантаженні грибів в сушильній камері $3 \dots 30 \text{ мм}$;
- методом математичного планування експерименту побудовані трьохмірні залежності вмісту БАР у висушених культивованих грибах від температури, швидкості теплоносія, питомого навантаження, питомого опромінення та відстані від матеріалу до інфрачервоних генераторів, що дозволяє проводити процес сушіння в промислових установках;
- науково обґрунтовано та експериментально визначено процеси, які відбуваються при зберіганні культивованих грибів висушених конвективно-терморадіаційним способом і встановлено терміни їх зберігання та вплив виду пакувального матеріалу на його подовження.

Практичне значення отриманих результатів. Виготовлено нові енергоощадні високопродуктивні конструкції сушарок для сушіння культивованих грибів з можливістю здійснювати сушіння в імпульсному режимі нагрів – охолодження.

Розроблено ряд математичних моделей, які дозволяють автоматизувати роботу сушильних установок, призначених для сушіння культивованих грибів при використанні комбінованого енергопідведення – конвекції та інфрачервоного випромінювання.

Результати проведених досліджень дозволили розробити технологічний режим для проведення процесу сушіння культивованих грибів.

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження радіаційно-конвективної сушарки для отримання сушених культивованих грибів складатиме 342 095 грн при терміні окупності 0,45 року.

На основі розроблених технічних та технологічних проектів отримано 2 патенти на винахід України і 4 патенти України на корисну модель.

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі при вивченні дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв».

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, підборі методик, обробці експери-

ментальних даних, узагальненні експериментальних даних, формулюванні відповідних висновків та рекомендацій.

Патентування розроблених нових конструкцій апаратів, публікація статей у фахових виданнях за темою дисертації виконувались у співавторстві з к. т. н., доц. І.В. Дубковецьким та д.т.н., проф. І.Ф. Малежиком. Конкретний особистий внесок здобувача в опублікованих за темою дисертації наукових працях, авторських свідоцтвах та патентах на винаходи наведено у списку праць.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень висвітлювались на наукових конференціях: 79, 80, 81, 82 та 83 Міжнародні наукові конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (Київ, 2013 – 2016 рр.); Международная научно-практическая конференция “Инновационные технологии производства продуктов питания функционального назначения” (Кутаиси, 2015); Международная научно-техническая конференция, (Воронеж, 2015 г); Міжнародна конференція «Сучасні технології в харчовій промисловості» (Кишинів, 2016); Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція (Тернопіль, 2014); 8th Central European Congress on Food 2016 Food Science for Wellbeing (Київ, 2016); Technical University of Moldova International Conference, «Modern Technologies in Food Industry» (Кишинів, 2016); IX міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених ”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ” (Київ, 2016).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 32 наукові праці, у тому числі 5 статей у наукових фахових виданнях, 3 статті в іноземних виданнях, 18 тез доповідей, 2 патенти на винахід України та 4 патенти України на корисну модель.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 231 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 7 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 168 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 38 таблицями, 83 рисунками. Список використаних джерел містить 146 найменувань, з них 141 кирилицею та 5 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** сформульовано актуальність дисертаційної роботи, мету та основні завдання досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами і темами, наведено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, інформацію про апробацію результатів дисертації та їх впровадження у виробництво.

У **першому розділі** дисертації «Аналіз сучасного стану сушіння культивованих грибів та інтенсифікація процесу сушіння» наведено аналітичний огляд вітчизняних і закордонних джерел, що висвітлюють будову, хімічний склад, харчову та біологічну цінність культивованих грибів (*табл. 1*). Відомо, що основну частину вуглеводів всіх грибів складають полісахариди різного ступеня полімеризації. Частина полісахаридів, що входять до складу клітинної стінки культивованих грибів складають біологічно активні протеоглюкани - полісахариди, ковалентно пов'язані з

білком. Вважається, що основними діючими компонентами білково-полісахаридних комплексів є високомолекулярні глюкани, глікани і гетерополісахариди, що володіють здатністю гальмувати ріст пухлин.

Таблиця 1
Хімічний склад культивованих грибів,
в г/100 г сухого продукту

Показник	Печериця	Глива звичайна	Шийтаке
Білки	22,6	24,4	10,0-17,5
Жири	1,7-8,0	1,0-7,2	0,6-8,0
Вуглеводи	51,3-62,5	57,6-81,8	67,5-78,0
Харчові волокна	6,0-10,4	7,5-8,7	6,5-8,5
Зола	7,0-12,0	5,0-9,8	3,7-10,0
Енергетична цінність	175-368	317-367	296-392

новними критеріями є економічність, збереження біологічно активних речовин, а також структурно-механічні і фізичні властивості сировини.

На основі аналізу літературного огляду робіт, які присвячені проблемам сушіння культивованих грибів, обґрунтовано висновок про можливість інтенсифікації процесу сушіння із збереженням високої якості кінцевої продукції за допомогою використання комбінованого енергопідведення.

У другому розділі дисертації «Методики досліджень та експериментальні установки» описані методики визначення та розрахунку параметрів процесу, аналізу якісних показників готової продукції, а також застосована апаратура і дослідні установки.

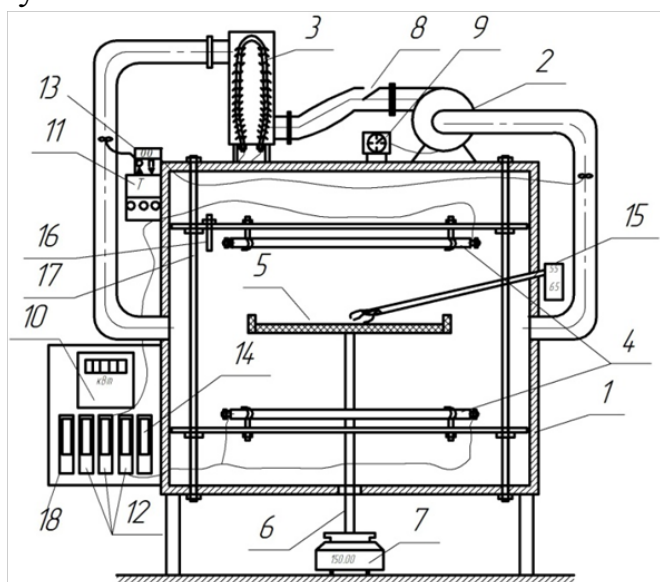


Рис. 1. Схема дослідної радіаційно – конвективної сушильної установки

Для реалізації задач досліджень виготовлено радіаційно – конвективну сушильну установку (рис. 1). Сушильна установка включає в себе: 1 – камера сушіння; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – ІЧ-генератори; 5 – коробчастий сітчастий кошик; 6 – штанга; 7 – аналітичні терези; 8 – шибер рециркуляції повітря; 9 – варіатор швидкостей; 10 – лічильник електроенергії; 11 – контролер температури; 12 – автоматичні вимикачі калорифера, верхніх і нижніх ІЧ генераторів; 13 – регулятор відносної вологості; 14 – автоматичний вимикач вентилятора; 15 – термометр з термопарами; 16 – контактний датчик температури; 17 – регулювальний пристрій положення вузлів ІЧ генераторів; 18 – реле включення і виключення ІЧ-генераторів.

Вміст загального білка визначали методом Кьельдаля. Дослідження сорбційних властивостей грибів виконувалось ваговим методом.

Результати проведених досліджень систематизовано, піддано статистичному та математичному опрацюванню й оформлено у вигляді таблиць і графіків. Для ма-

тематичного опису процесу сушіння культивованих грибів застосовано методику планування експерименту з одержанням рівнянь регресії з метою визначення мінімальних втрат біологічно активних речовин.

У третьому розділі дисертації «Дослідження кінетичних характеристик при сушінні культивованих грибів» наведені результати експериментальних досліджень кінетики процесу сушіння культивованих грибів при різних способах енергопідведення. На основі експериментальних досліджень здійснено порівняльний аналіз кінетики процесу сушіння культивованих грибів конвективним, терморадіаційним та конвективно-терморадіаційним способами енергопідведення (рис.2) та побудовані криві швидкості сушіння (рис. 3).

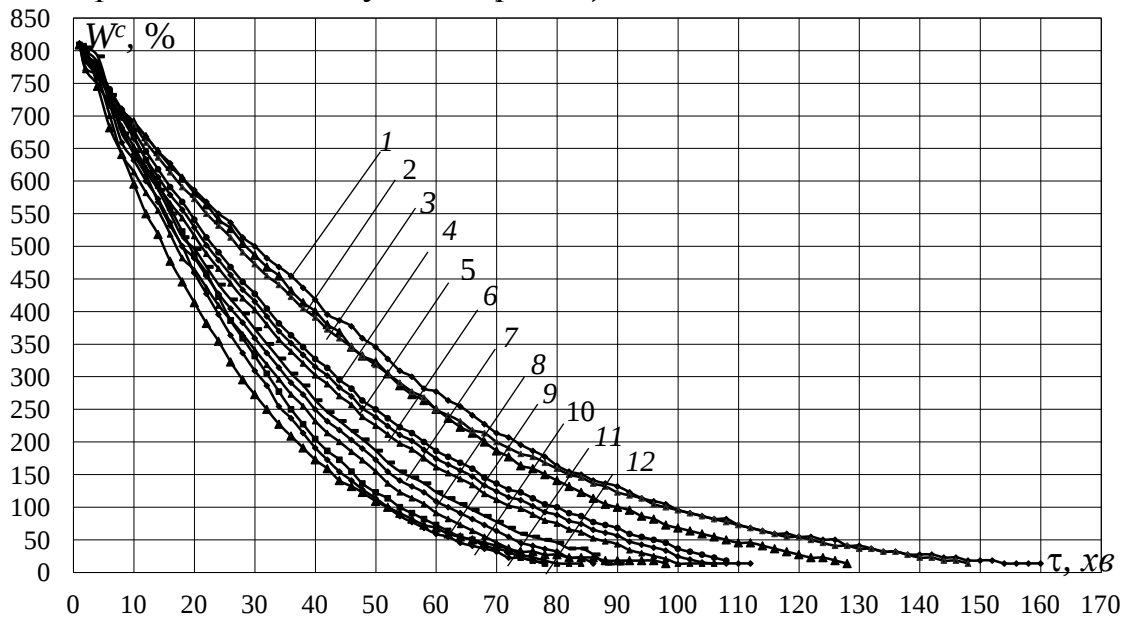


Рис.2. Криві сушіння культивованих грибів глина звичайна різними способами при температурах теплоносія:

40 °C: 1 – конвективно-терморадіаційний; 2 – терморадіаційний; 3 – конвективний;
 50 °C: 4 – конвективно-терморадіаційний; 5 – терморадіаційний; 6 – конвективний;
 60 °C: 7 – конвективно-терморадіаційний; 8 – терморадіаційний; 9 – конвективний;
 70 °C: 11 – конвективно-терморадіаційний; 10 – терморадіаційний; 12 – конвективний

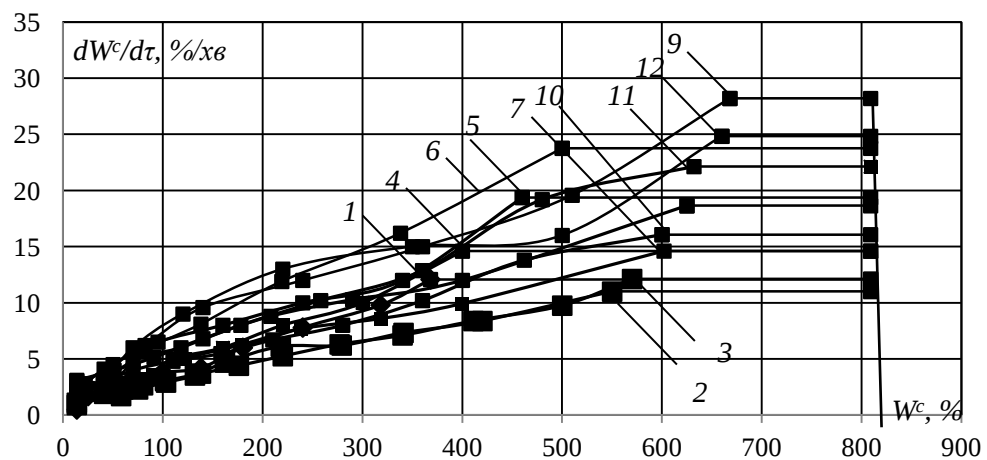


Рис. 3. Криві швидкості сушіння культивованих грибів глина звичайна при температурі

40 °C: 1 – конвективно-терморадіаційний; 2 – конвективний; 3 – терморадіаційний;
 50 °C: 4 – конвективно-терморадіаційний; 10 – терморадіаційний; 7 – конвективний;
 60 °C: 5 – конвективно-терморадіаційний; 11 – терморадіаційний; 8 – конвективний;
 70 °C: 6 – конвективно-терморадіаційний; 12 – терморадіаційний; 9 – конвективний.

Встановлено, що тривалість сушіння при температурі 70 °С зменшується на 52 % при конвективному, на 53 % при терморадіаційному та на 60 % при конвективно-терморадіаційному способі сушіння в порівнянні з тривалістю процесу при температурі 40 °С.

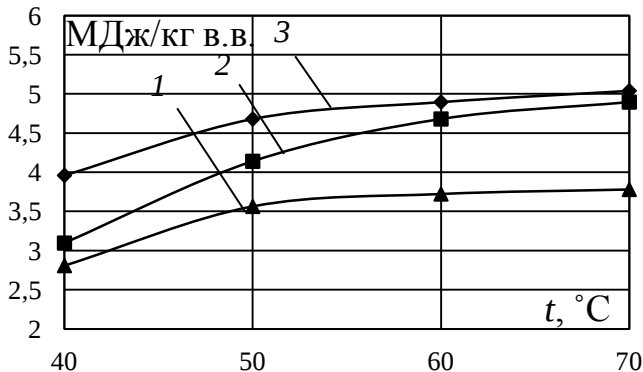


Рис. 4. Питомі витрати теплоти залежно від температури теплоносія при способах сушіння: 1 – конвективно-терморадіаційний; 2 – терморадіаційний; 3 – конвективний.

ність сушіння радіаційно-конвективним способом.

В оцінюванні того чи іншого способу теплової обробки при сушінні вирішальне значення мають якісні показники готового продукту.

Основними показниками, що визначають якість культивованих грибів, є вміст загального білка і відновлювальна здатність.

Результати досліджень показали, що при конвективному енергопідведенні із зростанням температури сушильного агента зменшується вміст білка.

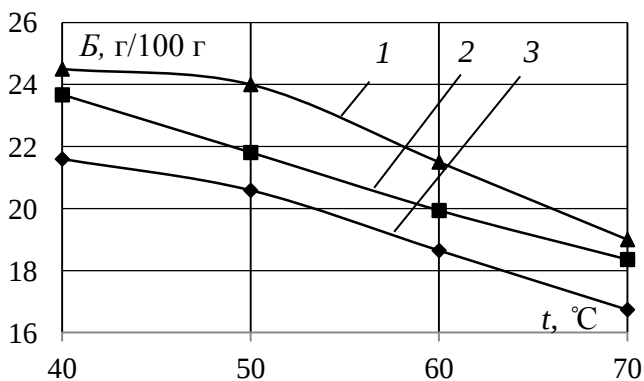


Рис. 5. Кількісний вміст загального білка залежно від температури теплоносія при способах сушіння: 1 – конвективно-терморадіаційний; 2 – терморадіаційний; 3 – конвективний.

За експериментальними даними визначались повні енерговитрати на процес сушіння культивованих грибів глива конвективно-терморадіаційним, конвективним і терморадіаційним способами (рис. 4).

Ефективність радіаційно-конвективної сушильної установки визначалась кількістю енергії, витраченої на процес сушіння для досягнення необхідного технологічного ефекту. Таким чином проведені експерименти дозволяють зробити висновок про енергетичну ефективність сушіння радіаційно-конвективним способом.

При сушінні ж конвективно-терморадіаційним способом спостерігається дещо інша картина. Як і при конвективному енергопідводі, вміст білка, в основному, знижується з ростом температури сушильного агента, але при цьому кількість білка залишається в середньому більшим на 12 % (рис. 5).

Отже, слід припустити, що застосування конвективно-терморадіаційного способу сушіння харчового продукту, багатого білком, сприяє кращому зберіганні його в кінцевому продукті.

Оскільки від способу сушіння залежить здатність висушеного продукту відновлювати свої природні властивості, що безпосередньо пов'язано зі зміною капілярно-пористої структури, проведено дослідження сорбційних властивостей культивованих грибів (табл. 2). Встановлено, що на сорбційно-структурні властивості культивованих грибів суттєво впливає спосіб сушіння. Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить, що при конвективному та терморадіаційному способах зразки ідентичні за пористою структурою,

тоді як при конвективно-терморадіаційному способі сушені культивовані гриби мають на 32 % більший об'єм пор.

Таблиця 2

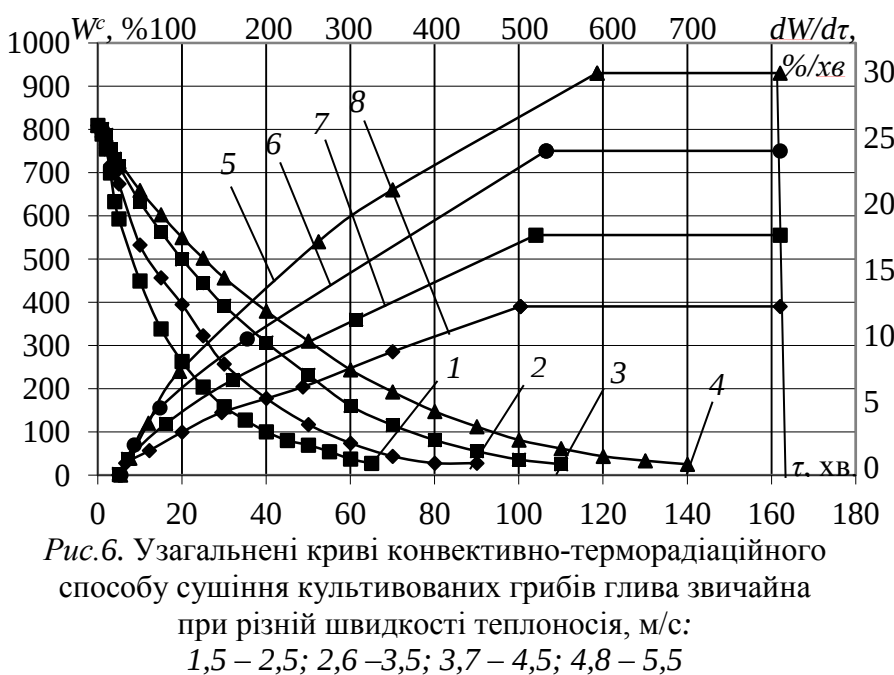
Структурні характеристики зразків, які були зняті у парах води

№ п/п	Спосіб сушіння	$t, ^\circ\text{C}$	$S, \text{м}^2/\text{г}$	R^2	$V_s, \text{см}^3/\text{г}$	$D, \text{А}$
1.	Конвективно-терморадіаційний	40	142	0,8307	1,51	425
		70	120	0,8885	1,49	497
2.	Конвективний	40	133	0,6137	0,48	144
		70	126	0,9496	0,47	149
3.	Терморадіаційний	40	138	0,7122	0,46	133
		70	128	0,3499	0,48	150

У табл. 1: $S, \text{м}^2/\text{г}$ – питома адсорбційна поверхня зразків (моншар, верхній шар); $V_s, \text{см}^3/\text{г}$ – сорбційний об'єм пор зразків (найбільша кількість води, яку може увібрати зразок при $20 ^\circ\text{C}$ з тиском 17,54 мм р.с); R^2 – квадрат похибки розрахунку питомої адсорбційної поверхні; $D, \text{А}$ – діаметр пор у ангстремах.

Спостерігається, що в висушених культивованих грибах конвективно-терморадіаційним способом при температурі $40 ^\circ\text{C}$ більша кількість пор в порівнянні з конвективно-терморадіаційним способом при температурі $70 ^\circ\text{C}$. Це означає, що формується більш мікропориста структура висушеного продукту, тобто більша вологоутримуюча здатність, а також більш ніжну консистенцію відновленого продукту.

Встановлено, що основними факторами, які впливають на перебіг процесу сушіння культивованих грибів, є: швидкість теплоносія, потужність інфрачервоних ТЕНів, питома навантаження та відстань від ТЕНів до матеріалу. Проведені дослідження процесу сушіння гливи звичайної за різних значень параметрів, що мають практичне значення для розробки оптимальних режимів сушіння.



Визначення впливу швидкості теплоносія на кінетику конвективно-терморадіаційного способу сушіння культивованих грибів досліджували в діапазоні 2,2...5,5 м/с.

Виявлено, що при швидкості теплоносія 2,5 – 4,5 м/с спостерігається підвищення температури в центрі плодового тіла до $71 ^\circ\text{C}$, що негативно впливає на хімічний склад. Зі збільшенням швидкості теплоносія температура зменшується. Так, для швидкості теплоносія 5,5 м/с температура в центрі плодового тіла не перевищує $48 ^\circ\text{C}$.

Встановлено, що швидкість теплоносія суттєво впливає на процес сушіння культивованих грибів (рис.6). Зі збільшенням швидкості теплоносія від 2,5 до 4,5 м/с інтенсивність процесу зневоднення зростає на 30 %, до 5,5 м/с – на 40 %. По мірі видалення вологи з матеріалу вплив швидкості руху теплоносія на процес зневоднення зменшується.

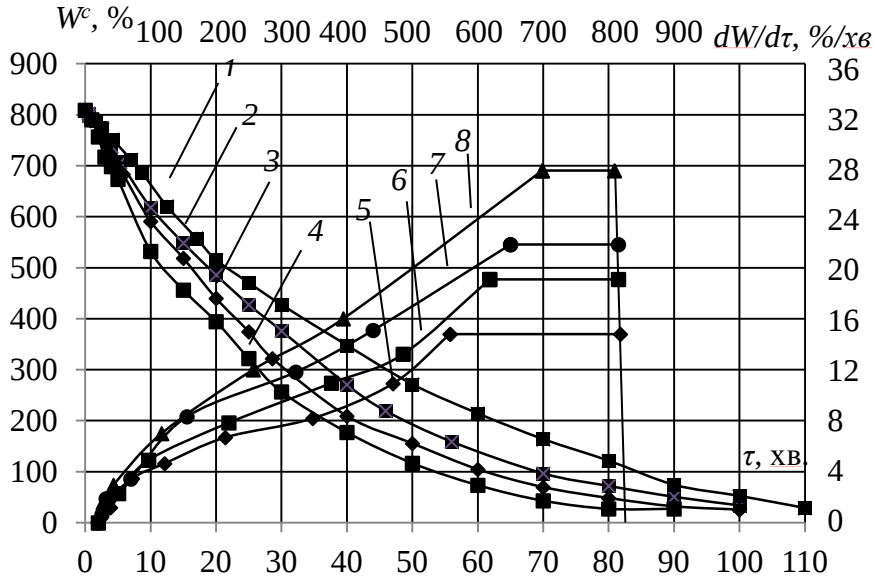


Рис.7. Узагальнені криві конвективно-терморадіаційного способу сушіння культивованих грибів глива звичайна при різному питомому навантаженні, кг/м²:
1,5 – 2,2; 2,6 – 4,4; 3,7 – 6,6; 4,8 – 8,8

Визначення впливу питомого навантаження культивованих грибів на процес сушіння здійснено в діапазоні від 2,2 до 8,8 кг/м². Збільшення питомого навантаження призводить до зниження величини $W_{кр1}^c$ і збільшення тривалості процесу сушіння в два рази (рис.7).

Визначено, що питоме навантаження менше 2,2 кг/м² для конкретної установки нераціональне, оскільки основна частина сушильного агента втрачалась. Також було визначено, що питоме навантаження

8,8 кг/м² і більше для розробленої сушильної установки ускладнює процес сушіння.

Встановлено, що швидкість сушіння істотно залежить від питомого навантаження тільки в період постійної швидкості, а в період спадної швидкості ця залежність незначна. Тому питоме навантаження слід вибирати при мінімальних питомих енерговитратах на процес сушіння.

Досліджено взаємодію комбінованого підведення енергії за допомогою конвекції та зі світлими і темними променями ІЧ-випромінювачів різної потужності на процес сушіння культивованих грибів глива звичайна. Потужність ІЧ-випромінювачів змінювалась: для світлих променів – 4,0 кВт/м², 8,0 кВт/м², 12,0 кВт/м²; для темних променів – 2,0 кВт/м², 6,0 кВт/м², 10,0 кВт/м².

Визначено, що тривалість сушіння грибів зі збільшенням потужності ІЧ-випромінювачів зменшується з 90 до 60 хвилин для світлих променів і з 110 до 80 хвилин для темних променів.

За результатами даних досліджень було встановлено, що сушіння з використанням ІЧ-випромінювача з потужності до 2 кВт/м² призводить до поступового та найповнішого випаровування вологи, але при цьому збільшується тривалість; на противагу цьому збільшення потужності понад 12 кВт/м² призводить до пришвидшення вилучення вологи, але при цьому продукт швидше підігрівається до критичної межі, що може значно погіршити властивості кінцевого продукту.

Досліджено вплив відстані від матеріалу до випромінювачів на процес сушіння.

ня культивованих грибів (рис.8).

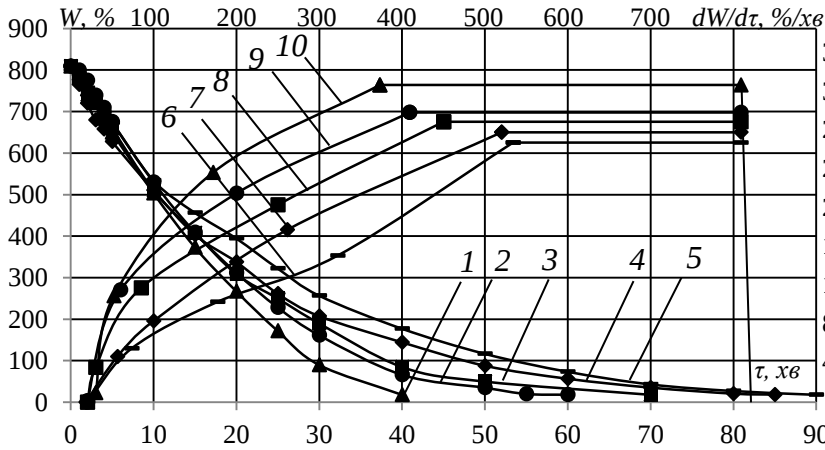


Рис.8. Узагальнені криві конвективно-терморадіаційного способу сушіння при різній відстані від інфрачервоних генераторів, см: 1,10 – 1,0; 2,9 – 3,0; 3,8 – 6,0; 4,7 – 9,00;

рачервоними випромінювачами та матеріалом від 12 до 1 см, тривалість процесу сушіння скорочується з 90 до 40 хвилин.

Процес сушіння належить до найбільш енергоємних промислових технологічних процесів. Витрати енергії на видалення вологи досягають 3000 – 5000 кДж/кг і більше, тому вирішення питання зменшення енергоспоживання при сушінні є актуальним науково – технічним завданням.

Визначені загальні енерговитрати на процес сушіння культивованих грибів конвективно-терморадіаційним способом при різних значеннях швидкості теплоносія, питомого навантаження, потужності опромінення ТЕНів та відстані від інфрачервоних генераторів.

Встановлено, що при конвективно-терморадіаційному сушінні із збільшенням: швидкості теплоносія від 2,5 до 5,5 м/с енерговитрати на кг випареної вологи культивованих грибів зростають на 64 %; питомого навантаження культивованих грибів від 2,2 кг/м² до 8,8 кг/м² витрати енергії на кг випареної вологи збільшуються у два рази; відстані від інфрачервоних генераторів від 1 см до 12 см витрати енергії збільшуються на 56 %. Простежується тенденція до збільшення витрат енергії на процес сушіння культивованих грибів зі зменшенням потужності опромінення інфрачервоними генераторами. Очевидно, що при підведенні більше 12 кВт/м² енергії вона використовується менш ефективно.

У четвертому розділі дисертації «Моделювання процесу сушіння культивованих грибів конвективно – терморадіаційним способом» встановлені залежності основних тепломасообмінних характеристик конвективно - терморадіаційного сушіння культивованих грибів глива звичайна від параметрів сушіння, представлено аналіз процесу масообміну і теплообміну при конвективно-терморадіаційному сушінні, що дозволило обґрунтувати робочі режими розробленого обладнання та встановлена залежність вмісту загальної кількості білка від основних режимних параметрів процесу сушіння. Результати експериментальних досліджень при визначенні основних тепломасообмінних характеристик конвективно – терморадіаційного сушіння представлені на рис.9.

Виявлено, що при температурі 60 °С і відстані меншій ніж 3 см від випромінювача, температура в середині висувувального матеріалу сягала близько 120 °С, що призводило до згорання культивованих грибів. В той час при тій самій температурі і відстані більше ніж 9 см тривалість процесу збільшувалась.

Визначено, що із зменшенням відстані між інф-

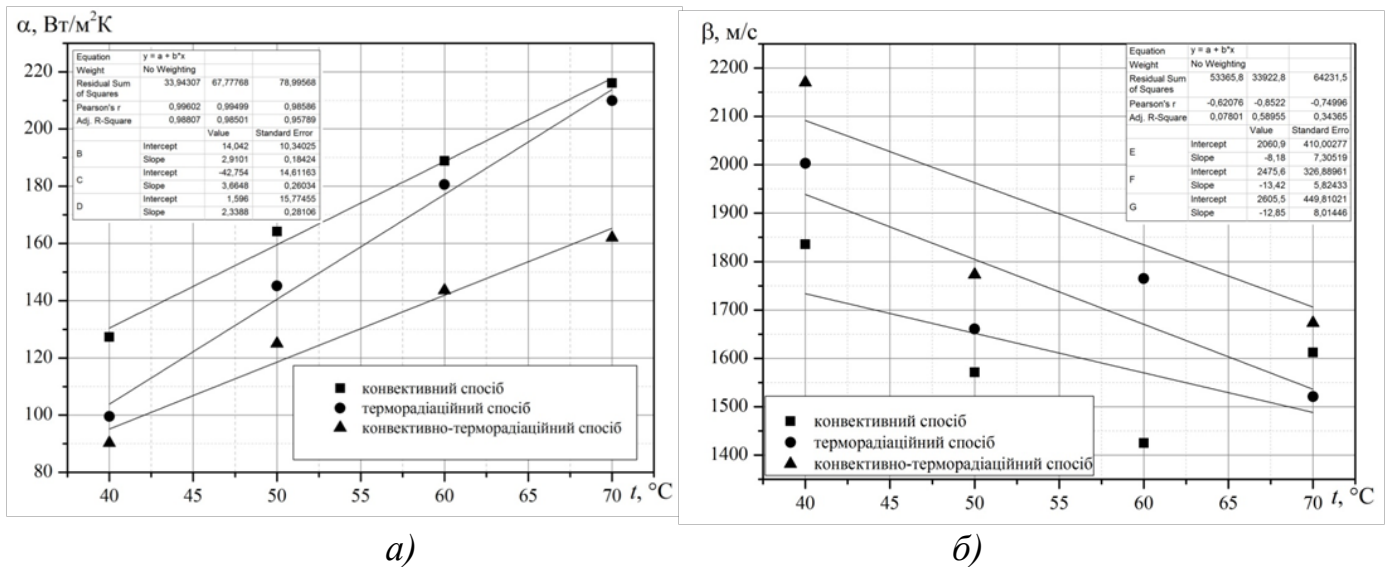


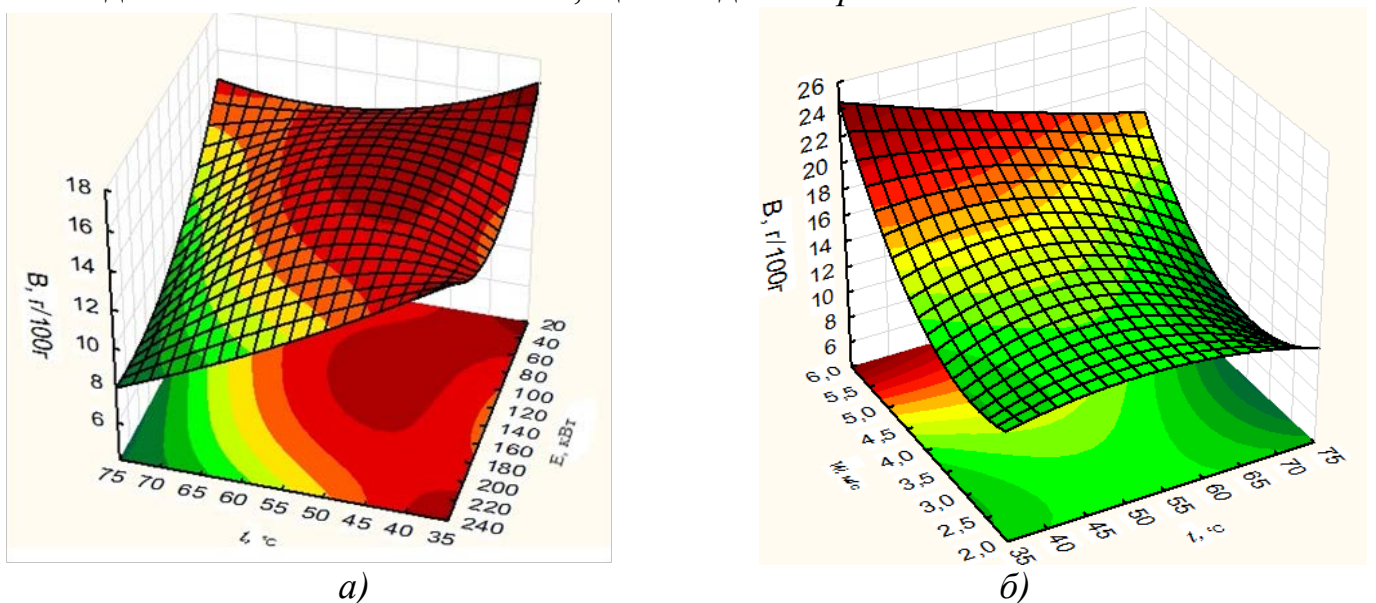
Рис. 9. Залежність коефіцієнтів тепловіддачі (а) і масовіддачі (б) від температури теплоносія при сушінні культивованих грибів при різних методах енергопідведення.

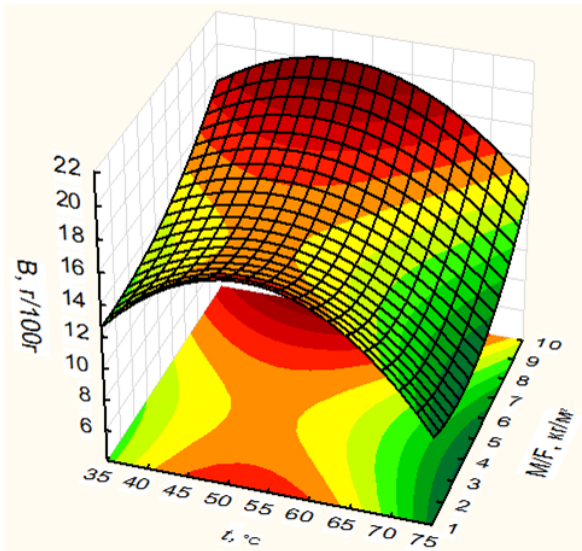
При використанні методу аналізу розмірностей та другої теореми Федермана – Бекінгема, на основі проведених експериментальних досліджень та аналізу факторного простору складено рівняння масообміну та теплообміну досліджуваного конвективно-терморадіаційного сушіння культивованих грибів у критеріальному вигляді:

$$\text{рівняння масообміну} \quad \text{Sh} = A \cdot \text{Re}^{0,75} \cdot \text{Sc}^{0,33} \cdot \text{Bu}^{-0,65}$$

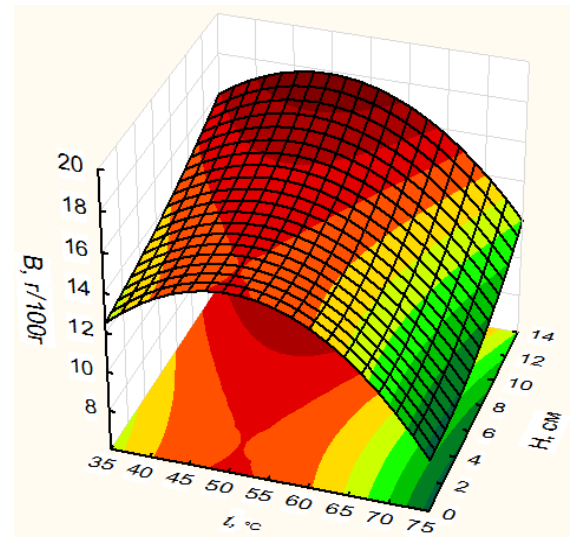
$$\text{рівняння теплообміну} \quad \text{Nu} = A \cdot \text{Re}^{0,99} \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot \text{Bu}^{0,73}$$

Для встановлення оптимального технологічного режиму процесу сушіння розроблено математичну модель процесу з використанням результатів, отриманих під час повного факторного експерименту. Внаслідок попередньо отриманих результатів визначені вхідні параметри, які найбільше впливають на масову частку загального білка: температура теплоносія, $^\circ\text{C}$; питомий потік опромінення, кВт ; швидкість теплоносія, м/с ; питоме навантаження, кг/м^2 ; відстань від інфрачервоних генераторів, см . За одержаними дослідними даними побудовані поверхні відгуку математичної моделі загальної кількості білка, що наведені на рис.10.

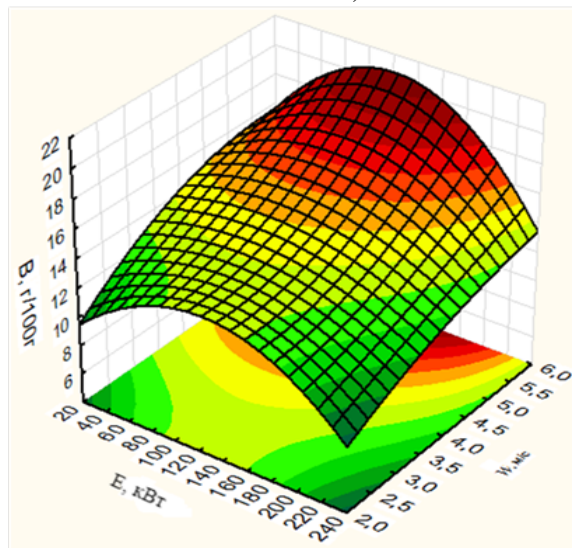




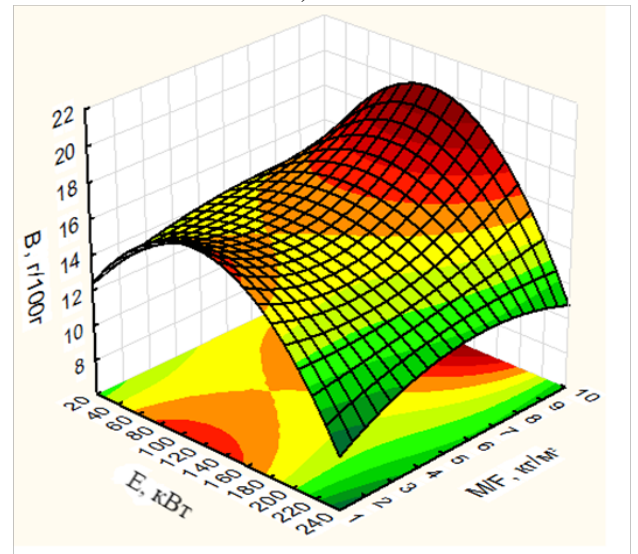
а)



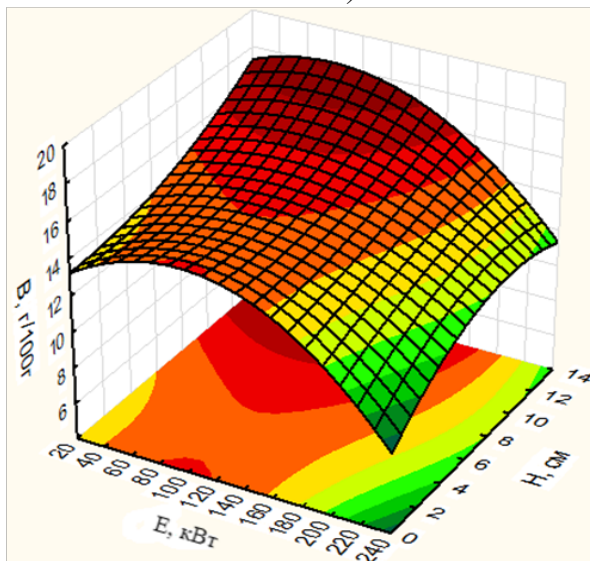
б)



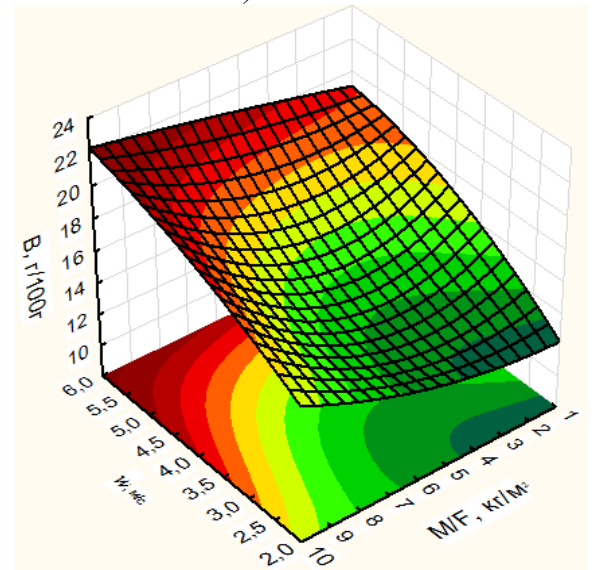
в)



г)



д)



е)

Рис.10. Поверхні відгуку математичної моделі загальної кількості білка від температури, питомого потоку випромінювання, швидкості теплоносія, питомого навантаження та відстані від ІЧ-генераторів при фіксованому значенні на 0-рівні: а) швидкості теплоносія, питомого навантаження, відстані від ІЧ-генераторів; б) питомого потоку опромінення, питомого навантаження, від-

стані від ІЧ-генераторів; в) питомого потоку опромінення, швидкості теплоносія, відстані від ІЧ-генераторів; з) питомого потоку опромінення, швидкості теплоносія, питомого навантаження; д) температури, питомого навантаження, відстані від ІЧ-генераторів; ж) температури, швидкості теплоносія, відстані від ІЧ-генераторів; е) температури, швидкості теплоносія, питомого навантаження; з) температури, питомого потоку опромінювання, відстані від ІЧ-генераторів.

Результатом роботи є отримана математична модель залежності загальної кількості білка від основних режимних параметрів процесу сушіння:

$$B = 43,64 - 2,5 \cdot t - 0,32 \cdot E_{\text{оп}} - 24,6 \cdot w + 15,27 \cdot M/F - 1,16 \cdot H + 0,0012 \cdot E_{\text{оп}}^2 + 3,87 \cdot w^2 - 1,26 \cdot M/F^2 + 0,0282 \cdot t \cdot E_{\text{оп}} + 95 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot E_{\text{оп}}^2 + 1,4649 \cdot t \cdot w - 19 \cdot 10^{-6} \cdot E_{\text{оп}}^2 \cdot M/F^2$$

яка може бути використана для оцінки впливу режимних параметрів в раніше наведених інтервалах їх варіювання при конвективно-терморадіаційному способі сушіння культивованих грибів глива звичайна.

В результаті математико-статистичної обробки дослідних даних отримано оптимальні параметри процесу сушіння культивованих грибів глива звичайна, при яких зберігається максимальна кількість загального білка: температура теплоносія – 40 °С; питомий потік опромінення – 76,25 кВт; швидкість теплоносія – 5,5 м/с; питоме навантаження – 5,5 кг/м²; відстань від інфрачервоних генераторів – 12 см.

У п'ятому розділі дисертації «Техніко-економічна ефективність розроблених процесів та обладнання» розроблена апаратурно-технологічна схема виробництва порошкоподібного напівфабрикату з культивованих грибів глива звичайна (рис.11) та виконаний розрахунок основних техніко-економічних характеристик розробленої радіаційно-конвективної сушильної установки при її виробничій експлуатації (табл.3).

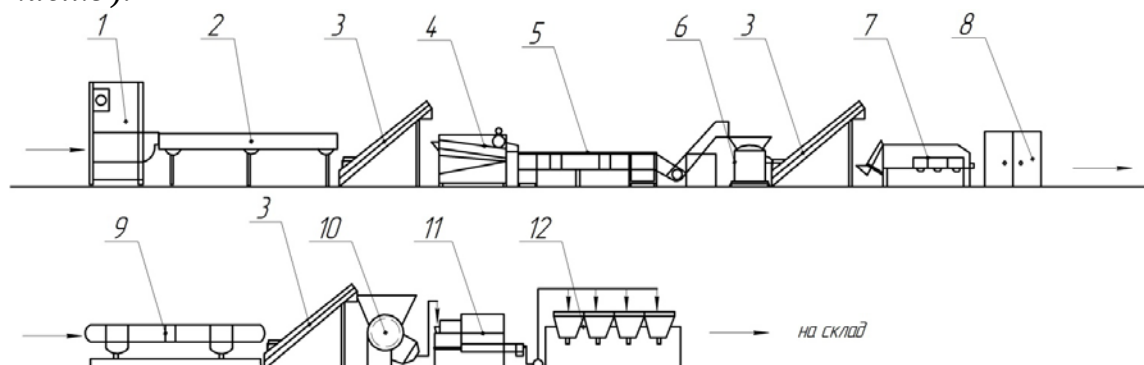


Рис.11. Технологічна схема виробництва порошкоподібного напівфабрикату з культивованих грибів глива звичайна: 1 – контейнероперекидач; 2 - інспекційний транспортер; 3 – похилий транспортер; 4 - вібраційна мийна машина; 5 – транспортер; 6 – овочерізка; 7 - калібрувач; 8 - радіаційно-конвективна сушильна установка; 9 - сортувальний стрічковий конвеєр; 10 - подрібнювач; 11 – просіювач; 12 - фасувально-пакувальний автомат.

В результаті розрахунків встановлено, що загальний економічний ефект від використання радіаційно-конвективної сушарки становить 342 095 грн. при терміні окупності 0,45 року.

Таблиця 3

Техніко-економічні показники проекту

№	Показник	Одиниці виміру	Проект
1	Виробнича потужність	кг/год	85,71
2	Виробнича програма у натуральному виразі вартісному виразі	т/рік грн / рік	8411,2 4 525 249

Таблиця 3

3	Чисельність робітників основного виробництва $\text{Ч}_{\text{пп}}$	чол	1
4	Приріст продуктивності праці	кг/чол	8411,2
5	Додаткові капітальні витрати	грн	92 568
6	Загальний прибуток	грн	422 339,482
7	Чистий прибуток	грн	342 095
8	Дисконтований термін окупності	роки	0,45
9	Індекс прибутковості	-	10,08
10	Індекс доходності	-	3,7
11	Індекс рентабельності		11,08
12	Період повернення інвестицій (звичайний)	роки	0,26
13	Чистий приведений дохід (або чиста теперішня вартість)	грн	932910

Після проведення розрахунків (табл.3) можна зробити висновок, що даний проект слід впроваджувати, він є економічно-ефективним. Про це свідчать такі показники, як:

- індекс доходності $\text{ІД} = 11,08, 11,08 > 1$
- індекс прибутковості $\text{ІП} = 10,08, 10,08 > 0$
- гарантовано проект окупається за 5,4 місяців.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ

1. На основі огляду літератури, теоретичного аналізу та експериментальних досліджень обґрунтовано та розроблено експериментально-промислову сушарку, яка забезпечує значне підвищення продуктивності праці, безвідходну переробку культивованих грибів і покращення їх кінцевої якості, про новизну яких свідчать два патенти на корисну модель і один патент на винахід України.

2. Встановлено, що тривалість сушіння при температурі 70 °С зменшується на 52 % при конвективному, на 53 % при терморадіаційному та на 60 % при конвективно-терморадіаційному способі в порівнянні з тривалістю процесу при температурі 40 °С;

3. Визначено, що витрати енергії за одиницю часу зменшуються при використанні конвективно-терморадіаційного способу сушіння на 25-30 % в порівнянні з конвективним та на 10-20 % в порівнянні з терморадіаційним способом залежно від температури.

4. Встановлено, що при температурі теплоносія в діапазоні 40 - 70 °С найбільша кількість білка зберігається при конвективно - терморадіаційному способі сушіння, у той час як при конвективному кількість білка в середньому менша на 12 %.

5. Встановлено, що на сорбційно-структурні характеристики культивованих грибів суттєво впливає спосіб сушіння. Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить, що при конвективному та терморадіаційному способах зразки ідентичні за пористою структурою, тоді як при конвективно-терморадіаційному способі сушені культивовані гриби мають на 32 % більший об'єм пор. Спостерігається, що в висушених культивованих грибах конвективно-терморадіаційним способом при температурі 40 °С на 7 % більша кількість пор в порівнянні з конвективно-терморадіаційним способом при температурі 70 °С.

6. Експериментально встановлено, що: із збільшенням швидкості теплоносія від 2,5 до 4,5 м/с інтенсивність процесу зневоднювання зростає на 30 %, до 5,5 м/с – на 40 %; тривалість сушіння культивованих грибів при питомому навантаженні 8,8 кг/м² збільшується на 46 % в порівнянні з 2,2 кг/м²; при відстані від випромінювача < 3 см, температура в середині висушуваного матеріалу досягала 120 °С, що призводило до згорання культивованих грибів. При тій самій температурі і відстані більше ніж 9 см тривалість сушіння збільшувалась на 12 %.

7. Встановлено, що при конвективно-терморадіаційному способі сушіння культивованих грибів значення коефіцієнта масовіддачі збільшується на 28 % в порівнянні з конвективним способом сушіння, а визначальний вплив на значення коефіцієнта масовіддачі і тепловіддачі має потужність інфрачервоних ТЕНів.

8. Одержані критеріальні рівняння процесу тепломасообміну при конвективно-терморадіаційному сушінні культивованих грибів, що дозволило сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму. Критеріальні рівняння, отримані на основі цих чисел дозволяють розрахувати коефіцієнт масовіддачі β з похибкою не більше 18 % та коефіцієнт тепловіддачі α з похибкою не більше 10 %.

9. В результаті математико-статистичної обробки дослідних даних встановлені оптимальні технологічні параметри сушіння культивованих грибів конвективно-терморадіаційним способом: температура теплоносія – 40 °С; питомий потік опромінення – 76,25 кВт; швидкість теплоносія – 5,5 м/с; питома навантаження – 5,5 кг/м²; відстань від інфрачервоних генераторів – 12 см.

10. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження радіаційно-терморадіаційної сушарки в умовах виробництва складає – 342 095 грн при терміні окупності 0,45 року.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові фахові видання

1. Бурлака Т. В. Аналіз процесу сушіння грибів конвективним способом / Т. В. Бурлака І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // ОНАХТ, Наукові праці, — 2013. — № 43. — Т.2. — С. 53-55 (*стаття у фаховому виданні України*).

Особистий внесок: проведення огляду науково-технічних джерел літератури та систематизації літературних даних про використання грибної сировини при виробництві харчових продуктів, підготовка матеріалів до друку.

2. Малежик І. Ф. Дослідження кінетики комбінованого методу сушіння грибів глива / І. Ф. Малежик, І. В. Дубковецький, Т. В. Бурлака, Л. В. Стрельченко // ОНАХТ, Наукові праці, — 2014. — № 45. — Т.2. — С. 46-50 (*стаття у фаховому виданні України*).

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

3. Malezhik I. By different types of energy / Malezhik I., Dubkovetskyu I., Burlaka T., Strelchenko L. // Modern technologies, in the food industry — 2014. 16-18 October. Technical university of Moldova. — Р. 36-39 (*стаття у закордонному виданні*).

Особистий внесок: формування висновків та результатів.

4. Бурлака Т. В. Дослідження впливу зміни швидкості теплоносія комбіновано-

го сушіння культивованих грибів / Т. В. Бурлака І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Зб. наук. пр. ВНАУ - "Технічні науки". — 2015. — Вип. 1 (89). — Том 1. — С. 76—82 (*стаття у фаховому виданні України*).

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

5. Бурлака Т. Определения удельной нагрузки по сырью на продолжительность сушки культивируемых грибов вешенка / Т. Бурлака, И. Дубковецкий, И. Малежик, Я. Жукова // Инновационные технологии производства продуктов питания функционального назначения: Международная научно-практическая конференция, Апрель, 2015г. - Кутаиси, Грузия, — 2015. — С. 460—465. (*стаття у закордонному виданні*).

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

6. Бурлака Т. В. Исследование биологически активных веществ при сушке культивированных грибов вешенка / Т. В. Бурлака, И. В. Дубковецкий, И. Ф. Малежик, Я. Ф. Жукова // Научни трудове Университета по хранителни технологии. — Пловдив: 2015. — Том LXII. — С. 331—336. (*стаття у закордонному виданні*).

Особистий внесок: проведення досліджень хімічного складу сушених культивованих грибів, обробка, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

7. Дубковецький І. В. Вплив швидкості теплоносія на основні тепломасообмінні параметри конвективно-терморадіаційного сушіння культивованих грибів / І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Т. В. Бурлака // Наукові праці НУХТ. — 2016. — Том 22. — № 4. — С. 141—148. (*стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних науково метричних баз Index Copernicus, EBSCOhost, CABI full text, Universal Impact Factor, Google Scholar*)

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

8. Малежик І. Ф. Застосування теорії подібності в моделюванні процесу конвективно-терморадіаційного сушіння культивованих грибів / І. Ф. Малежик, Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, В.Є. Деканський // ОНАХТ, Наукові праці, — 2017. — Т.81.— № 1. — С. 141-147 (*стаття у фаховому виданні України*).

Особистий внесок: розробка моделі процесу, проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

Тези доповідей на наукових конференціях

1. Бурлака Т. В. Гриби, як перспективний об'єкт для розробки нових технологій та створення із них добавок — БАД та функціональних продуктів з рекордним вмістом БАР / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Тези доповідей 79 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті». Частина 2, (15–16 квітня 2013 р.). — Київ, 2013. — С. 181 — 182.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

2. Бурлака Т. В. Аналіз процесу сушіння різних сортів грибів / Т. В. Бурлака, Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Тези доповідей 79 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті». — Частина 2, (15–16 квітня 2013 р.). — Київ, 2013. — С. 214 — 215.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

3. Бурлака Т. В. Дослідження кінетики конвективного сушіння грибів Гливи / Т. В. Бурлака, Л. В. Лановенко, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Тези доповідей 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті». — Частина 2, (10–11 квітня 2014 р.). — Київ, 2014. — С. 262 — 263.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

4. Бурлака Т. В. Розроблення способу сушіння з комбінованим енергопідведенням / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Л. В. Стрельченко // Нові ідеї в харчовій науці — нові продукти харчовій промисловості: міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій, 13-17 жовтня 2014 р. — К. : НУХТ, 2014. — С. 121.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

5. Бурлака Т. В. Дослідження сушіння культивованих грибів глива при різній відстані іч-випромінювачів / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції 4-5 грудня 2014 року Україна, м. Тернопіль. — С. 89-91.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

6. Бурлака Т. В. Исследование процесса сушки грибов комбинированным конвективно-терморadiационным методом / Т. В. Бурлака, И. В. Дубковецкий, И. Ф. Малежик // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воз-зрений : матер. V Междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. — Воронеж: ВГУИТ, 2015. — С. 496–499.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

7. Дубковецький І. В. Обґрунтування процесу зневоднення конвективно-терморadiаційним енергопідведенням / І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Л. В. Стрельченко, Т. В. Бурлака, В. Р. Кулінченко // Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (24-26 листопада 2015 р.). — К.: НТУУ «КПІ», 2015. — С. 106-107.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

8. Бурлака Т. В. Перспективи використання радіаційно-конвективної сушильної установки як джерела збереження енергії / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспі-

рантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015 р. – Ч.2. — С. 168.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

9. Бурлака Т. В. Аналіз зміни швидкості теплоносія при комбінованому способі сушіння / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015 р. – Ч.2. — С. 174-175.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

10. Стрельченко Л. В. Удосконалення процесу сушіння глоду конвективно-інфрачервоним енергопідведенням / Л. В. Стрельченко, Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Я. В. Євчук // Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015 р. – Ч.2. — С. 177-178.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

11. Стрельченко Л. В. Інноваційний метод сушіння плодово-овочевої сировини / Л. В. Стрельченко, Т. В. Бурлака, М. Г. Писарев, І. В. Дубковецький, Г. М. Бандуренко, І. Ф. Малежик // Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015 р. – Ч.2. — С. 178-179.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

12. Бурлака Т. В. Дослідження форм зв'язку вологи в культивованих грибах методом диференційно-термічного аналізу / Т. В. Бурлака, І. Ф. Малежик // Матеріали 82 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 13–14 квітня 2016 р. – К.: НУХТ, 2016 р. – Ч.2. — С. 159.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

13. Бурлака Т. В. Дослідження сорбційних властивостей культивованих грибів / Т. В. Бурлака, В. Є. Деканський // Матеріали 82 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 13–14 квітня 2016 р. – К.: НУХТ, 2016 р. – Ч.2. — С. 166.

Особистий внесок: проведення досліджень структурно-механічних властивостей культивованих грибів, обробка, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

14. Бадаєв Р. В. Дослідження структурної характеристики культивованих грибів зневоднених конвективно-терморадіаційним енергопідведенням / Р. В. Бадаєв, І. В. Дубковецький, Т. В. Бурлака, І. Ф. Малежик, А. В. Копиленко // Збірник тез допо-

відей IX міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (18-19 квітня 2016 р.). — К.: НТУУ «КПІ», 2016. — С. 112-113.

Особистий внесок: проведення досліджень структурно-механічних властивостей культивованих грибів, обробка, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

15. Макаров М. М. Розрахунок швидкості випаровування вологи при конвективно-терморадіаційному сушінні / М. М. Макаров, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Т. В. Бурлака // Збірник тез доповідей IX міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (18-19 квітня 2016 р.). — К.: НТУУ «КПІ», 2016. — С. 116-117.

Особистий внесок: виконання обчислювального експерименту, формулювання висновків.

16. Burlaka T. Kinetics of the drying process of cultivated mushrooms / T. Burlaka, I. Dubkovetskyi, I. Malezhyk // 8th Central European Congress on Food 2016 — Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts. — 23-26 May 2016. — К.: NUFT, 2016. — P. 250.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

17. Бурлака Т. В. Моделювання процесу сушіння культивованих грибів глива звичайна / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 5–6 квітня 2017 р. – К.: НУХТ, 2017 р. – Ч.2. – С. 170.

Особистий внесок: виконання обчислювального експерименту, розроблення математичної моделі, формулювання висновків.

18. Бурлака Т. В. Вплив потужності інфрачервоних генераторів на основні тепломасообмінні параметри конвективно - терморадіаційного сушіння культивованих грибів / Т. В. Бурлака, А. Петрусенко, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик // Матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 5–6 квітня 2017 р. – К.: НУХТ, 2017 р. – Ч.2. – С. 172.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення підготовка матеріалів до публікації.

Патенти України

1. Пат. 111659 України, МПК А 23 В 7/02 (2006.01). Спосіб сушіння культивованих грибів комбінованим енергопідведенням / І. Ф. Малежик, І. В. Дубковецький, Т. В. Бурлака — № U 2014 11439, заявл. 20.10.14; опубл. 25.05.16, Бюл. №10.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, складання опису та заявки на патент України.

2. Пат. 112348 України, МПК А 23 В 7/02 (2006.01). Радіаційно-конвективна сушильна установка / І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик Т. В. Бурлака, Л. В. Стрельченко — № U 2014 11435, заявл. 20.10.14; опубл. 25.08.16, Бюл. №16.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, складання опису та заявки на патент України.

Патенти України на корисну модель

1. Пат. 97903 України на корисну модель, МПК А 23 В 7/02 (2006.01). Радіаційно-конвективна сушильна установка / І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Т. В. Бурлака, Л. В. Стрельченко — № U 2014 11436, заявл. 20.10.14; опубл. 10.04.15, Бюл. №7.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, складання опису, формули корисної моделі та заявки на патент України.

2. Пат. 97904 України на корисну модель, МПК А 23 В 7/02 (2006.01). Спосіб сушіння культивованих грибів комбінованим енергопідведенням / І. Ф. Малежик, І. В. Дубковецький, Т. В. Бурлака — № U 2014 11440, заявл. 20.10.14; опубл. 10.04.15, Бюл. №7.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, складання опису, формули корисної моделі та заявки на патент України.

3. Пат. 101353 України на корисну модель, МПК А 23 В 7/02 (2006.01). Спосіб сушіння високовологих матеріалів / Т. В. Бурлака, І. В. Дубковецький, І. Ф. Малежик, Л. В. Стрельченко — № U 2015 01910, заявл. 04.03.15; опубл. 10.09.15, Бюл. №17.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, складання опису, формули корисної моделі та заявки на патент України.

4. Пат. 105278 України на корисну модель, МПК А 23 В 7/02 (2006.01). Радіаційно-кондуктивна сушильна установка / І. В. Дубковецький, Т. В. Бурлака, І. Ф. Малежик — № U 2015 09129, заявл. 22.09.15; опубл. 10.03.16, Бюл. №5.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, складання опису, формули корисної моделі та заявки на патент України.

АНОТАЦІЯ

Бурлака Т.В. Інтенсифікація процесу сушіння культивованих грибів. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05. 18. 12 - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2017.

У дисертаційній роботі висвітленні результати досліджень процесу сушіння культивованих грибів конвективним, терморадіаційним, кондуктивним, конвективно-терморадіаційним та кондуктивно-терморадіаційними способами.

Встановлено, що основними факторами, які впливають на перебіг процесу сушіння грибів, є: температура теплоносія, швидкість теплоносія, потужність інфрачервоних ТЕНів, питома навантаження та відстань від ТЕНів до матеріалу.

В дисертації проведено порівняльний аналіз енергетичних показників конвективно – терморадіаційного, конвективного та терморадіаційного способів сушіння культивованих грибів за різними параметрами.

Представлено результати дослідження сорбційних властивостей культивованих грибів висушених різними способами при різних температурних діапазонах, а також визначено раціональний режим сушіння культивованих грибів глива звичайна з подальшим відновленням.

Науково обґрунтовано поєднання конвективного та терморадіаційного способу, що дозволило за необхідної якості обробки та продуктивності обладнання значно зменшити енерговитрати порівняно з традиційним обладнанням.

Виконана статистичній обробка даних та отримане рівняння регресії, що адекватне досліджуваному процесу сушіння культивованих грибів. Нормалізація рівняння дозволила отримати математичну модель, яка дає змогу розрахувати вміст загального білка в висушених грибах.

Результати дисертаційного дослідження було впроваджено в навчальному процесі при підготовці фахівців напряму «Харчова технологія та інженерія» при вивченні дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв».

Ключові слова: сушіння, конвекція, терморадіація, швидкість теплоносія, потужність, питоме навантаження, енерговитрати, масовіддача, тепловіддача, культивовані гриби, білок.

SUMMARY

Burlaka T.V. Intensification of drying process of cultivated mushrooms. – Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Candidate-degree thesis (technical sciences) in specialty 05. 18. 12 – Processes and Equipment of Food, Microbiological, and Pharmaceutical Productions. – National University of Food Technologies, Kyiv, 2017.

The thesis provides comparative analysis for the process of drying cultivated mushrooms using convective, thermoradiation, conductive, convective-thermoradiation, and conductive-thermoradiation energy supply methods based on theoretical and experimental research. Rational technological parameters of drying cultivated mushrooms are defined, which allow for power consumption reduction with maximum preservation of biologically active substances and process duration reduction.

Scientifically justified the combination of convective and thermoradiation methods, which, providing the required quality of treatment and efficiency of equipment, made it possible to substantially reduce power consumption as compared to traditional equipment usage.

An experimental drying facility, which allowed the drying process to be carried out using different methods of power supply and their combinations was developed and manufactured.

It was established that the main factors that influence the behavior of the heating process of mushrooms are temperature of the heat-transfer agent, velocity of the heat-transfer agent, power of infrared tubular electric heating elements, specific load, and distance from tubular electric heating elements to the material.

In the thesis, a comparative analysis of energy parameters of convective-thermoradiation, convective, and thermoradiation methods of drying mushrooms in terms of different parameters was performed.

Results of research of sorption properties of cultivated mushrooms dried by different methods in different temperature ranges are presented. An analysis of the results of experimental studies shows that in convective and thermo-radiation methods the samples are identical to the porous structure, whereas in the convective thermo-radiation method dried cultivated mushrooms have a larger pore volume.

Processes that occur during storage of dried cultivated mushrooms by the convective thermoradiation method are substantiated and experimentally determined. Terms of their storage and influence of packaging material type on their prolongation are established.

It is established that in convective thermo-radiation method of drying cultivated mushrooms mass transfer coefficient increases in comparison with the convective drying method, and that power of infrared TENs has a determining influence on mass transfer and heat transfer coefficients.

On the basis of a full factor experiment method, a plan with the corresponding matrices of experimental planning is compiled and the number of experiments and boundaries of factor changes are indicated. Due to statistical processing of data, regression equation is obtained, which is adequate to the studied process of drying cultured fungi. The normalization of equation allowed us to obtain a mathematical model that allows us to calculate the total protein content with an error $\Delta = 0.017\%$.

Obtained constructive, technological and techno-economic parameters of the developed processes and equipment resulted in efficiency of their use in food industry. Evaluation of techno-economic indicators of the developed convective thermo-radiation dryer has revealed two main effects in comparison with the base infrared dryer: energy saving and decrease in number of infrared TENs, determining the annual economic effect of introduction of one machine.

Thesis research results were introduced in the educational process of training specialists in “Food Technology and Engineering” field and during the study of “Processes and Apparatuses of Food Productions” discipline.

Keywords: drying, convection, thermal radiation, velocity of the heat-transfer agent, power, specific load, power consumptions, mass transfer, cultivated mushrooms, protein.