

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

кваліфікаційна робота
на правах рукопису

УДК 664.047

БОЙКО Андрій Олегович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СУШИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
ГРИБІВ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доц. Медведський О.В.

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Бойко А. О. Обґрунтування параметрів сушильного обладнання для грибів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз загальних задач інтенсифікації процесу висушування грибів, розкрито проблеми забезпечення ефективності технологічного процесу зі збереженням корисних поживних елементів.

Проведено аналіз існуючих та перспективних технологій виробництва грибів у висушеному вигляді, визначено переваги та недоліки технологій та технічних засобів. Виконали моделювання основних параметрів інтенсифікації процесу висушування, запропонували втілення у конструкцію обладнання комбінований метод підведення теплової енергії до продукту.

За результатами досліджень встановили закономірності впливу параметрів обладнання на режими функціонування розробленого процесу висушування грибів. Виконали оцінку експлуатаційної ефективності розробленої технології та запропонованого обладнання.

Ключові слова: комбінований метод, потужність нагріву, потік повітря, технологічний період

ANNOTATION

Boyko A. O. Justification of the parameters of drying equipment for mushrooms. – Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work analyzed the general tasks of intensification of the drying process of mushrooms, revealed the problems of ensuring the efficiency of the technological process with the preservation of useful nutrients.

An analysis of existing and promising technologies for the production of mushrooms in dried form was carried out, the advantages and disadvantages of technologies and technical means were determined. The basic parameters of the drying process intensification were modeled, and a combined method of supplying thermal energy to the product was proposed for implementation in the design of the equipment.

According to the results of the research, the patterns of the influence of equipment parameters on the operating modes of the developed drying process of mushrooms were established. The operational efficiency of the developed technology and the proposed equipment was assessed.

Key words: combined method, heating power, air flow, technological period

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ	
СУШІННЯ ГРИБІВ	7
1.1 Аналіз технологічного процесу промислового вирощування грибів	7
1.2. Оцінка технічних засобів отримання продукції сушених грибів	10
Висновки до розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО	
ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ГРИБІВ	15
2.1. Встановлення теоретичних передумов математичного моделювання процесу сушіння грибів	15
2.2. Розроблення схеми удосконаленої установки сушіння грибів .	20
Висновки до розділу 2	23
РОЗДІЛ 3. ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА	
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ	
ГРИБІВ	24
3.1. Встановлення впливу інтенсивності сушіння грибів на ефективність процесу	24
3.2 Розроблення технологічного процесу з використанням удосконаленого обладнання	31
Висновки до розділу 3	32
ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

ВСТУП

Актуальність теми. Харчова промисловість в широкому асортименті пропонує продукти переробки грибів як отриманих природним чином так і вирощених у промислових умовах. Це в першу чергу стосується досить популярних страв таких як маринований гриб або консервований гриб. В останній час все більшої популярності серед споживачів набуває використання у харчових цілях сушених грибів які вирощені у промислових умовах. Це можна пояснити високими споживчими якостями та простотою подальшого використання у приготуванні різноманітних страв із грибним наповненням. Окрім цього сушений гриб не вимагає значного простору для зберігання, на відміну від консервованих.

Традиційним способом сушіння грибів є використання конвертинові технології як в домашніх умовах так і у промислових масштабах. Такий спосіб досить ефективний за умови контролю процесу сушіння. В умовах домашнього господарства в багатьох випадках для сушіння грибів використовували природний конвективний рух нагрітого повітря в захищених від опадів приміщеннях, або використовували тепло нагрівальних елементів печей та груб. В останній час навіть для побутового використання промисловість пропонує електричні сушарки для грибів.

Проте до недоліків конвективного методу вченими відносяться такі моменти як підвищене використання електричної енергії [1]. Серійне обладнання для сушіння грибів з таким способом сушіння потребує удосконалення з метою зменшення витрат та здешевлення отриманого продукту. Інший відомий технологічний прийом з використанням інфрачервоного випромінювання також не дає бажаного результату вже стосовно якості отриманого продукту, оскільки важко прослідкувати динаміку процесу сушіння.

Тому, ґрунтовне вивчення технологій сушіння промислово вирощених грибів для пошуку найкращих рішень отримання продукту високої якості із мінімальними витратами енергії є актуальним та своєчасним завданням.

Мета досліджень. Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу висушування грибів шляхом удосконалення технології та технічних засобів зі збереженням високої якості отриманого продукту.

Досягнути поставлену мету можна шляхом вирішення наступних завдань:

- оцінити технологічні процеси виробництва промислових грибів та відомі технології видалення зайвої вологи;
- визначити позитивні та негативні сторони сучасного технологічного обладнання з метою встановлення подальших шляхів модернізації;
- встановити закономірності температурного впливу різних режимів сушіння на показники технологічного процесу;
- дослідити удосконалену установку для висушування грибів, встановити питомі показники роботи;
- встановити експлуатаційну та технологічну ефективність використання удосконаленої установки у технологічній лінії висушування грибів.

Об'єкт дослідження: параметри та режими роботи сушильного обладнання для харчових грибів.

Предмет дослідження: закономірності режимних характеристик сушильного обладнання для грибів захищеного ґрунту.

Методи дослідження: при вирішенні основних завдань на кваліфікаційну роботу використовували основні положення теорії математичного моделювання із застосуванням положень гідродинаміки, теплотехніки та технічної термодинаміки. Теоретичні дослідження проводились з метою отримання аналітичних залежностей, які дозволяють встановити конструкційно-технологічні параметри та режими роботи сушильного обладнання.

Обробка результатів дослідження процесу використовували доступні програми із програмного середовища Excel.

Апробація результатів роботи. Результати отримані під час виконання завдання вказані у кваліфікаційній роботі були апробовані науково-практичними конференціями, викладені у збірниках:

1. Бойко А. О. Оцінка способів сушіння культивованих грибів. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т. 2. С. 8-10.

2. Бойко А. О. Порівняльний аналіз технічних засобів сушіння грибів. *Студентські читання–2025* : матеріали науково-практичної конференції науково педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 11–15.

3. Бойко А. О. Встановлення швидкісних параметрів процесу сушіння. *Біоенергетичні системи* : матеріали IX міжнародної науково практичної конференції. 19-20 листопада 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 5–7.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота у своїй текстовій частині включає вступу, три основні розділи із висновками, висновки по роботі, список використаних джерел. Текст кваліфікаційної роботи викладено державною мовою загальним обсягом 36 сторінки друку машинного, має 4 таблиці та проілюстровано 17 зображеннями та графіками.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СУШІННЯ ГРИБІВ

1.1. Аналіз технологічного процесу промислового вирощування грибів

Основним завданням харчової промисловості в системі виробництва грибів полягають у збереженні у готовому продукті максимальної кількості корисних речовин. При цьому головна увага має приділятися технологіям виробництва без відходів а продукт готовий має мати нові поживні та харчові цінності властивості.

Гриби є важливим продуктом у забезпеченні організму людини таким необхідним компонентом як білок, особливо рослинного походження. Значна частина відомих рослинних білків із безлічі рослинної сировини мають незначну харчову цінність із-за відсутності багатьох корисних для організму людини амінокислоти незамінної. [2]

Використання бобових рослин як заміник для білка тварин широко застосовувався і вважався повноцінною альтернативою оскільки у своєму складі мав достатню концентрацію амінокислот незамінних. Проте останні дослідження вчених вказують на присутність деяких складових які погіршують харчову цінність саме білкових продуктів із бобових рослин.

Гриби, як рослинний продукт містять у собі білки, вуглеводи, жири, вітаміни, харчові волокна та набір мінеральні солі. Весь цей комплекс поживних та мінеральних речовин зберігається у грибах які вирощені у середовищі закритого ґрунту із штучно створеними умовами промислового виробництва. До грибів штучного вирощування належать такі як широко поширенні у використанні глива та печериці. Спрямованість на використання технологій отримання більших врожаїв штучно вирощених у промислових умовах грибів обумовлена зростаючим попитом на цей продукт, про що свідчить динаміка виробництва та споживання грибів (рис. 1.1). [2, 3, 4]

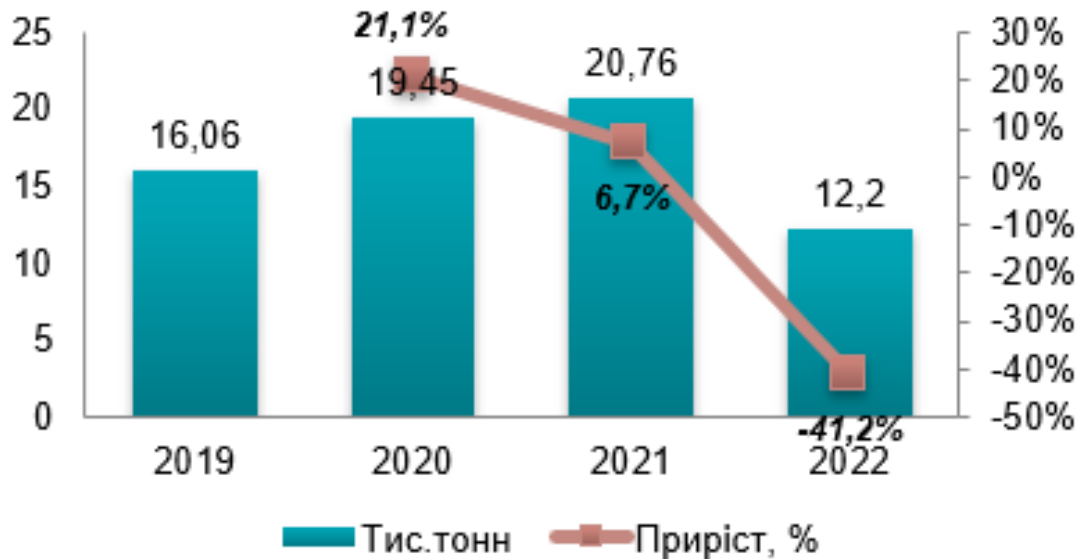


Рис. 1.1. Динаміка промислового вирощування грибів за технологією закритого ґрунту [2]

Відповідно до рис. 1.1 спостерігається приріст промислового виробництва грибів до 2022 року впродовж кожного року з 2019 по 2021 рік. Значне скорочення виробництва промисловим чином у закритому ґрунті грибів викликане початком війни. В подальшому у 2022 по 2025 оцінити динаміку виробництва досить складно із-за об'єктивних причин. По-перше це скорочення виробництва із-за вилучення із статистики промислових грибних ферм які опинились під окупацією.

По-друге значні руйнування вплинули на обсяги виробництва, відключення електроенергії впливають на процеси переробки що в свою чергу впливає і на обсяги вирощування. Тому збір статистичної інформації суттєво ускладнений. Незважаючи на це дослідники [5] прогнозували зростання виробництва грибів у 2023 році на 20 %. Стабілізація ринку вирощування і переробки вважається головним критерієм до адекватної оцінки обсягів виробництва та споживання. Це важливо оскільки більшість грибів продається у сирому вигляді для приготування різноманітних страв українськими господарями. Значна частина вирощених промисловим чином грибів підлягає переробці та отримання продуктів на кшталт маринованих грибів.

Висушування грибів із давен-давен використовується у підсобному господарстві населення, зокрема таким чином тривалий час зберігається

поживна цінність лісових грибів. Зважаючи на незначний термін зберігання сирих грибів та нестабільністю із можливими обсягами переробки, одним із способів збереження поживних якостей грибів є їх висушування.

Оцінка збереженості поживних та мінеральних речовин у штучно вирощених грибах наведена на таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Оцінка складників висушених промислових грибів [2, 6]

Показник	Печериця	Глива звичайна	Шиїтаке
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

Відповідно до даних наведених у таблиці 1.1, після висушування у грибів штучно вирощених в середовищі закритого ґрунту зберігається велика кількість білків та вуглеводів, так необхідних для функціонування людського організму. Поживна цінність 100 г висушених грибів прирівнюється до поживної цінності 100 г пшеничного та житнього борошна. Ця особливість спростовує твердження про низьку калорійність грибів. Проте таке твердження може бути справедливим для сирих грибів у яких вміст білка у 100 г становить лише 7-9%.

Таким чином, використання сушеного гриба збільшує концентрацію білків та вуглеводів в одиниці його маси. Окрім цього, вченими [6] доводиться значно більший ступінь засвоєння білків грибів при використанні сухого порошку грибів. Отже виробництво сушених грибів штучно вирощених у середовищі закритого ґрунту є важливим технологічним процесом для збереження їх цінних властивостей для організму людини.

1.2. Оцінка технічних засобів отримання продукції сушених грибів

Технологічні процеси виробництва сушених грибів мають бути спрямовані на максимальне збереження корисних компонентів таких як білок, вуглеводні та різні мінеральні речовини. Окрім цього необхідно приділити увагу на дотримання впливів для збереження структурованості та фізичним особливостям прояву властивостей. Дослідженнями вчених встановлені допустимі температурні навантаження у $65\text{--}70^{\circ}\text{C}$ під час висушування грибів за значення яких не відбувається втрати поживності та користі. [6]

Промисловість пропонує різноманітне обладнання для висушування грибів (рис. 1.2-1.3) [7].

Обладнання промислове модельного ряду СКРР (рис. 1.2) призначається для висушування такої продукції рослинництва як ягоди, фрукти, овочі, пряна зелень, лікарські росли, гриби, риба та м'ясо, передбачена система автоматичного зважування готового продукту. [7, 8]



Рис. 1.2. Промислова сушарка моделі С-4Е (СКРР-250) [6]

В якості сушильного агента використовується повітря яке нагрівають до максимально можливої температури 70°C . Нагріте повітря подається до робочої камери за допомогою вентиляторів, відбувається рівномірне розподіл

повітряного потоку, яким обробляється продукт що знаходиться на піддонах. Особливості технічних, експлуатаційних та технологічних даних даного обладнання наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Технічні та експлуатаційні дані обладнання С-4Е [7, 8]

Параметри	Величина
Загальна площа піддонів, м ²	22
Розміри обладнання, мм	2105×1055×3205
Вага обладнання, кг	625
Параметри дек, мм	505×855×35
Загальна кількість дек, шт.	55
Витрати потужності, кВт/год	29
Мережа електрична	трифазне

Таблиця 1.3

Якісні показники функціонування С-4Е [7, 8]

Параметри	Пряна зелень	Ягоди	Фрукти та овочі	Слива, алича
Кількість продукту у сирому вигляді, кг	100	170	250	370
Висушування за одним циклом, год	3-4	15-17	9-11	18-24

Технологічний процес висушування підлягає регулюванню залежно від стану вихідної сировини. В першу чергу це залежить від базової вологості сирого продукту та кінцевої вологості готового продукту. Так за умови необхідності отримати кінцевий продукт вологістю 8% необхідно збільшувати тривалість технологічного висушування на 25-30%. При цьому необхідно пам'ятати що і вихід продукту готового також знизиться до величини 20-25%.

Основними показниками обладнання для висушування грибів отриманих промисловим чином можна відносити: [7]

- універсальна спрямованість – можливість працювати з різним продуктами: фруктами, овочами, культурними та дикорослими ягодами, лікарськими рослинами, цитрусовими, грибами, рибою, м'ясом і бджолиним пиломком;
- дотримання якісних стандартів – отриманий готовий висушений продукт зберігає до 90-95% вітамінних комплексів;
- низьке споживання електричної енергії – результуючий показник у 1,1 кВт/год з розрахунку отримання 1кг видаленої вологи вважається досить гарним показником у світовому вимірі аналогічного обладнання.

За вологості сирих грибів на рівні 90% під час висушування необхідно видалити вологу із доведенням вологості до 10%. Для висушування окрім класичного конвективного способу висушування використовують технологію інфрачервоного випромінювання (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Сушарка з використанням інфрачервоного випромінювання [7, 9]

В сушках такого типу процес видалення вологи відбувається за рахунок підведення енергії до продукту та поглинання глибинними шарами. В наслідок

цього висушування відбувається досить швидко [10, 11, 12], відповідно до виду сировини та експлуатаційних даних наведених у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Технічні дані сушарки інфрачервоної [7, 9]

Параметри	Величина
Встановлена добова продуктивність, кг	800
Потужність енергоджерела, кВт	20
Одиничні витрати потужності, кВт/год	9
Параметри дек для продукту, мм	700×600
Кількість дек для продукту, шт.	10
Випромінювачі інфрачервоні, шт.	141
Тривалість висушування, год.	1-3
Габаритні розміри, мм	1400×750×1450

Деякі дослідники вважають інфрачервоний спосіб висушування грибів та інших харчових продуктів більш прийнятним по відношенню до традиційного конвективного способу. [13, 14]

Основними перевагами використання інфрачервоного сушильного обладнання порівняно із висушування у конвективного обладнання подається наступні:

- зменшені витрати енергії на видалення вологи (до 1 кВт на 1 літр вологи);
- використання інфрачервоного висушування сприяє пришвидчення процесу у 2-3 рази;
- під час висушування видаляється тільки зайва волога без відділення пиловидних часточок;
- можливе рівномірне нагрівання всієї поверхні продукту незалежно від положення відносно джерела енергії;

- отримується ефект стерилізації оскільки інфрачервоне випромінювання пронизує увесь об'єм продукту що сприяє знищенню різних бактерій та збудників. [9, 14]

Таким чином, переваги та недоліки відомого обладнання є мотивацією до пошуку кращого конструкційного та технологічного рішення енергоефективного обладнання.

Висновки до розділу 1

1. Отримання промислово вирощених грибів потрібної якості вимагає значних витрат трудових ресурсів. Зростаючі потреби у грибах вирощених у середовищі закритого ґрунту викликають вирішення потреби їх вчасної реалізації та подальшої переробки.

2. Машинобудівна промисловість пропонує для харчової промисловості обладнання для висушування грибів, овочів, фруктів та різних трав. При цьому технологічні процеси висушування поділяються на дві групи. До першої групи належить обладнання яке використовує традиційну технологію – конвективне висушування, а до другої – обладнання із використанням інфрачервоного випромінювання. Кожен із представлених типів обладнання має свої переваги та недоліки, тому поєднання в одному пристрої позитивних ознак конвективного та інфрачервоного типу висушування вважається складним інженерним завданням.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ГРИБІВ

2.1. Встановлення теоретичних передумов математичного моделювання процесу сушіння грибів

Висушування будь-яких грибів характеризується процесом виведення зайвої вологи за рахунок чого збільшується вміст сухої речовини та поживність одиниці ваги сухого гриба. При цьому відбуваються масообмінні процеси які можна оцінити шляхом визначення коефіцієнта який характеризує віддачу маси свіжим грибом для отримання висушеного до певного значення готового продукту. [14, 15]

На процес відведення вологи від грибів та втрати ними маси можуть впливати такі фактори як інтенсивність потоку повітря (v), геометричний параметр розміру (∂), інтенсивність поглинання (D), фізико-механічні властивості вологого середовища – об’ємна маса (ρ_w) та вязистість (μ), масова характеристика питомої величини (M_m). До вказаного переліку належить величина яка визначає інтенсивність утворення парового сліду (p) при дії тепла від впливу системи нагріву інфрачервоного ($P_{вп}$). Таким чином, пошукове значення функціоналу залежності можна записати у вигляді:

$$\beta = f(\partial, D, \mu, p, P_{вп}, v, \rho_w, M_m) \quad (2.1)$$

Якщо вказаним у функції (2.1) величинам присвоїти певні ступеневі позитивні значення зі своїми параметричними вимірами отримаємо:

$$\beta = \partial^k \cdot D^l \cdot \mu^m \cdot p^n \cdot P_{вп}^o \cdot v^r \cdot \rho_w^p \cdot M_m^m. \quad (2.2)$$

Оскільки маємо 9 змінних позицій з кількістю розмірностей рівнів 3 відповідно до положення π -теорема отримаємо шість комплексів безрозмірності.

Провівши математичний аналіз на основі складеної під час аналітичних досліджень матриці встановили значення ступенів. На основі методу розмірностей [15, 16, 17] основними досліджувальними параметрами встановили масову характеристику процесу, тривалість процесу та параметр розміру часток, а саме довжина.

Провівши ряд математичних перетворень прийшли до вигляду рівняння критеріального встановлення параметра віддавання маси:

$$\frac{\beta \partial \rho}{\mu} = \left(\frac{\mu^2}{\partial^2 \rho^2 p} \right)^{-n} \cdot \left(\frac{\partial P_{en} \rho^2}{\mu^3} \right)^o \cdot \left(\frac{\partial^2 \rho v}{\mu} \right)^r \cdot \left(\frac{\mu}{D \rho} \right)^{-l} \cdot \left(\frac{M_m}{\partial \rho} \right)^m. \quad (2.3)$$

Відповідно до рівняння (2.3) інтенсивність процесу масової втрати вологи залежить від впливу оточуючого середовища та умов технологічного процесу. В першу чергу це параметри розмірів часток грибів з певним вологовмістом, інтенсивність потоку повітря та його температура (рис. 2.1-2.2).

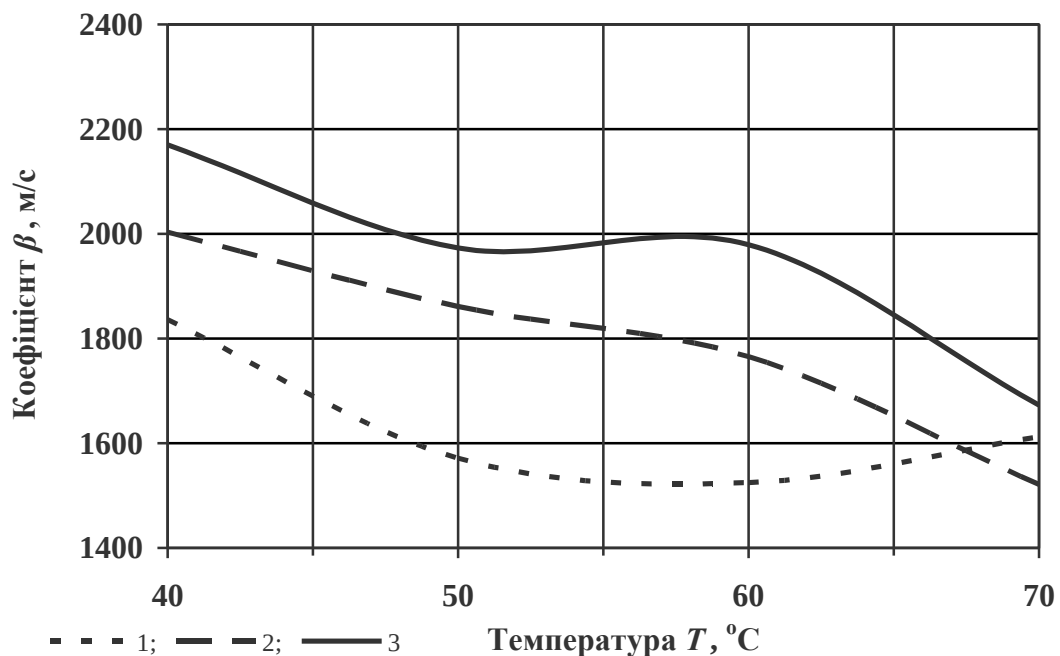


Рис. 2.1. Вплив температури повітряного середовища на пармтер коефіцієнта віддачі маси (β) за різних технологіях реалізації технологічного процесу: 1 – метод конвекції; 2 – метод випромінювання тепла; 3 – метод використання комбінації двох методів.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 2.1. зі зростанням температури повітря яке виконує функцію теплоносія зменшується значення величини коефіцієнта віддачі маси незалежно від методу висушування. Проте, максимальну ефективність має метод що поєднує комбінацію конвективного та випромінювальних методів.

Тому подальші теоретичні дослідження зосереджені на найбільш ефективному способі відведення зайвої вологи від продукту (рис. 2.2).

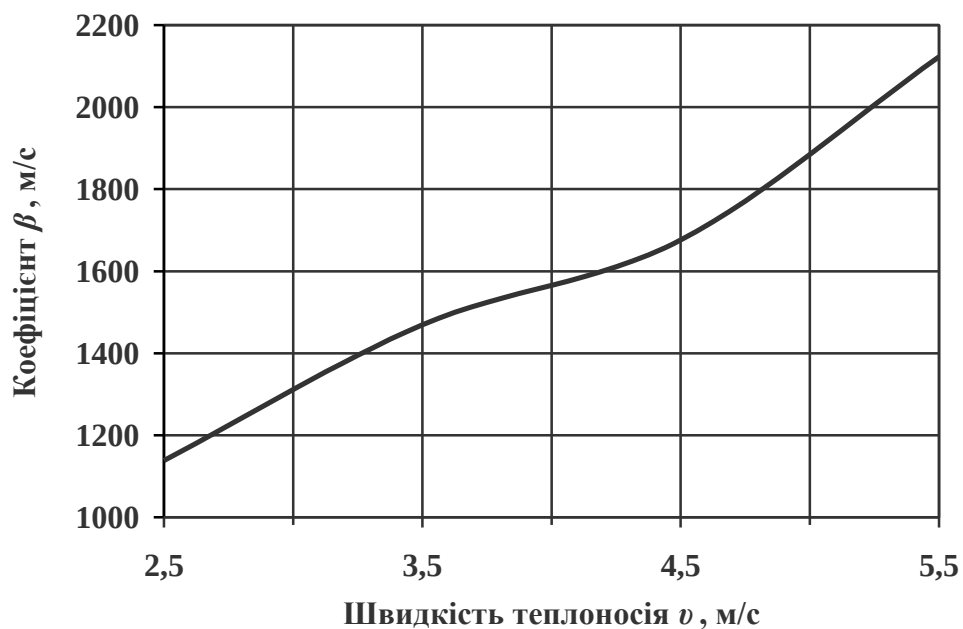


Рис. 2.2. Вплив інтенсивності потоку нагрітого повітряного середовища на параметр коефіцієнта віддачі маси (β) за використання комбінації двох методів висушування.

Відповідно до графіку на рис. 2.2 зі збільшенням інтенсивності потоку повітря у робочій камері обладнання для висушування параметр коефіцієнта віддачі маси збільшується. Так, при збільшенні інтенсивності потоку повітря від 2,5 м/с до 5,5 м/с коефіцієнт віддачі маси зростає майже вдвічі. Дані отримані при температурі потоку повітря на рівні 60°C.

Такий же результат спостерігається і при використанні інших методів створення теплового середовища.

Інтенсивність процесу прогрівання та відведення тепла під час висушування грибів залежить від тепловіддавального коефіцієнта. Основні фактори які визначають вплив на даний коефіцієнт аналогічні до попередніх параметрів при визначенні коефіцієнта віддачі маси. Проте має місце додаткова складова яка визначає теплофізичні показники будь-якого матеріалу – це коефіцієнт теплопровідності.

В загальному функціональне рівняння опису тепловіддавального коефіцієнта можна записати у вигляді:

$$\alpha = f(\partial, c, \mu, p, P_{\text{вп}}, \nu, \rho, M_m, a, \lambda) \quad (2.4)$$

Якщо вказаним у функції (2.1) величинам присвоїти певні ступеневі позитивні значення зі своїми параметричними вимірами отримаємо:

$$\alpha = \partial^e \cdot a^o \cdot c^e \cdot \lambda^d \cdot \mu^k \cdot p^l \cdot P_{\text{вп}}^m \cdot \nu^a \cdot \rho^c \cdot M_m^n. \quad (2.5)$$

Провівши математичний аналіз на основі складеної за допомогою аналітичних досліджень матриці встановили величини значення ступенів. На основі методу розмірностей основними досліджувальними параметрами встановили масову характеристику процесу, тривалість процесу та параметр довжини розміру часток, а також температурний.

Провівши деякі відповідно до методики математичні перетворення прийшли до вигляду рівняння критеріального встановлення параметра тепловіддавального коефіцієнта:

$$\frac{\alpha \partial}{\lambda} = \left(\frac{\nu \partial \rho c}{\lambda} \right)^e \cdot \left(\frac{\nu \partial \rho}{\mu} \right)^{-k} \cdot \left(\frac{p}{\nu^2} \right)^l \cdot \left(\frac{\nu \partial}{a} \right)^o \cdot \left(\frac{P_{\text{вп}}}{\nu^3 \partial^3 \rho} \right)^m \cdot \left(\frac{M_m}{\partial \rho} \right)^n. \quad (2.6)$$

Провівши аналітичні дослідження відповідно до залежності (2.6) отримали відповідні графічні інтерпретації (рис. 2.3-2.4) за використання різних методів підведення тепла до продукту.

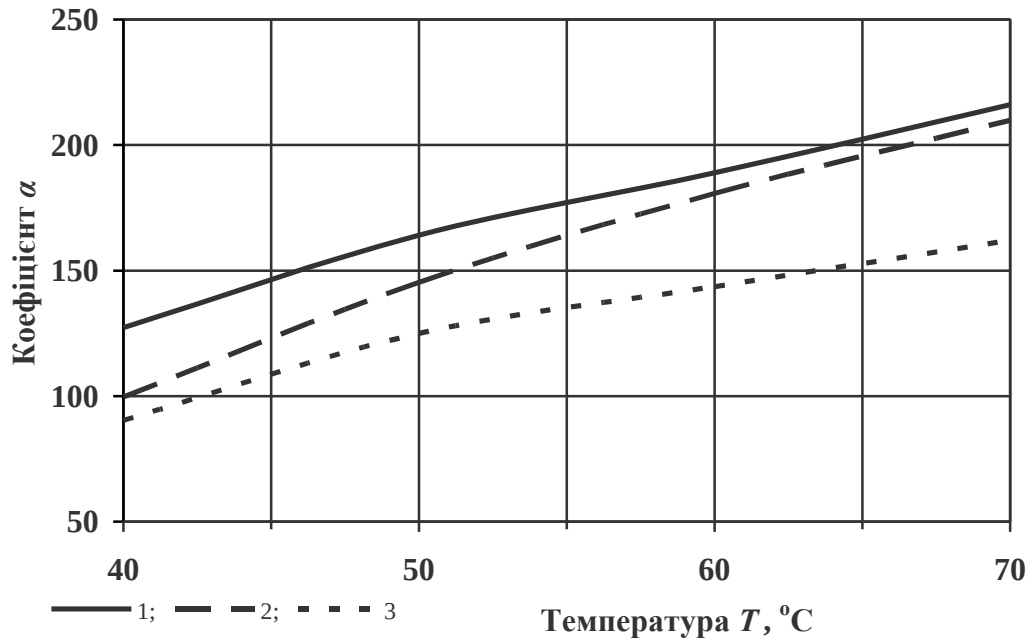


Рис. 2.3. Вплив температури повітряного середовища на параметр тепловіддавального коефіцієнта (α) за різних технологіях реалізації технологічного процесу: 1 – метод конвекції; 2 – метод випромінювання тепла; 3 – метод використання комбінації двох методів.

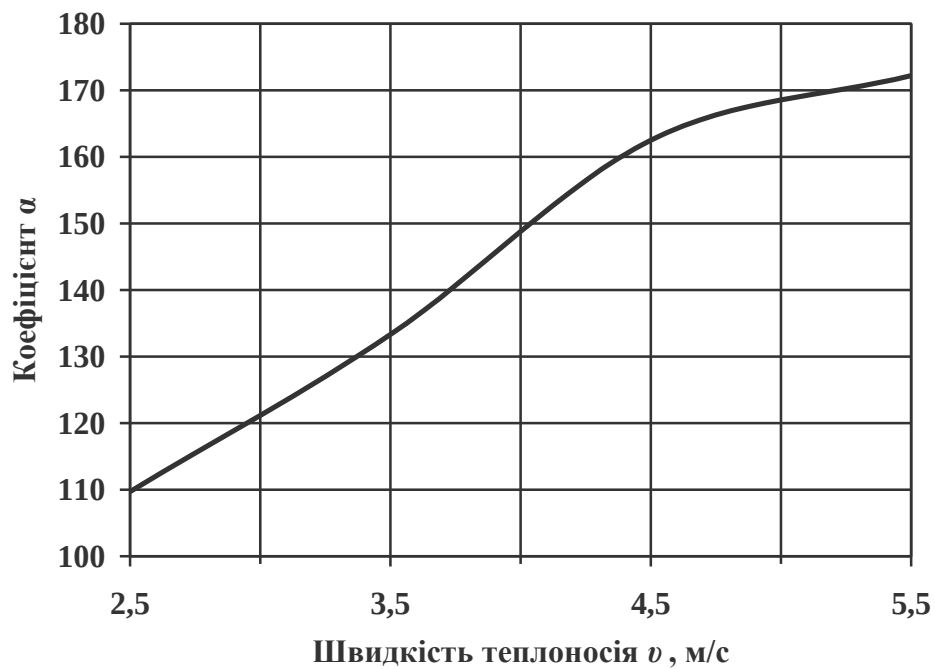


Рис. 2.4. Вплив інтенсивності потоку нагрітого повітряного середовища на параметр тепловіддавального коефіцієнта (α) за використання комбінації двох методів висушування.

Оцінка графічних залежностей на рис. 2.3 вказує на зростання тепловіддавального коефіцієнта зі збільшенням температури середовища у сушильній камері незалежно від методу та способу підведення тепла. Проте при використанні методу конвекції показник тепловіддавального коефіцієнта дещо вищий порівняно із іншими двома методами.

Дослідження аналітичні впливу інтенсивності потоку середовища у робочій камері сушильного обладнання проводили для методу, який показав кращі результати – сукупність конвекційного та випромінювання інфрачервоного. Відповідно до рис. 2.4 зростання інтенсивності потоку середовища від 2,5 м/с до 5,5 м/с призводить до збільшення параметра тепловіддавального коефіцієнта від 110 до 173 Вт/м²×К.

Таким чином, при удосконаленні обладнання для висушування грибів вирощених у середовищі захищеного ґрунту доцільно використовувати поєднання двох методів підведення тепла до продукту.

2.2. Розроблення схеми удосконаленої установки сушіння грибів

На основі проведених теоретичних досліджень прийшли до висновку про доцільність використання комбінованого методу підведення теплової енергії до продукту який знаходиться у робочій камері для висушування. В розробленій сушарці нагрівання продукту буде відбуватись за допомогою конвекції потоків гріючого середовища, а також буде відбуватись нагрів під дією інфрачервоного випромінювання. Поєднання цих двох способів дозволить отримати продукт сушіння належної якості при меншій тривалості технологічного процесу. Це пояснюється тим, що інфрачервоне випромінювання буде сприяти виведенню вологи із глибших шарів продукту а конвективні потоки значно ефективніше працюють при взаємодії із поверхнею продукту. Для дослідження вказаних передумов спроектували лабораторну установку (рис. 2.5-2.6) яку будемо використовувати для проведення лабораторних досліджень.

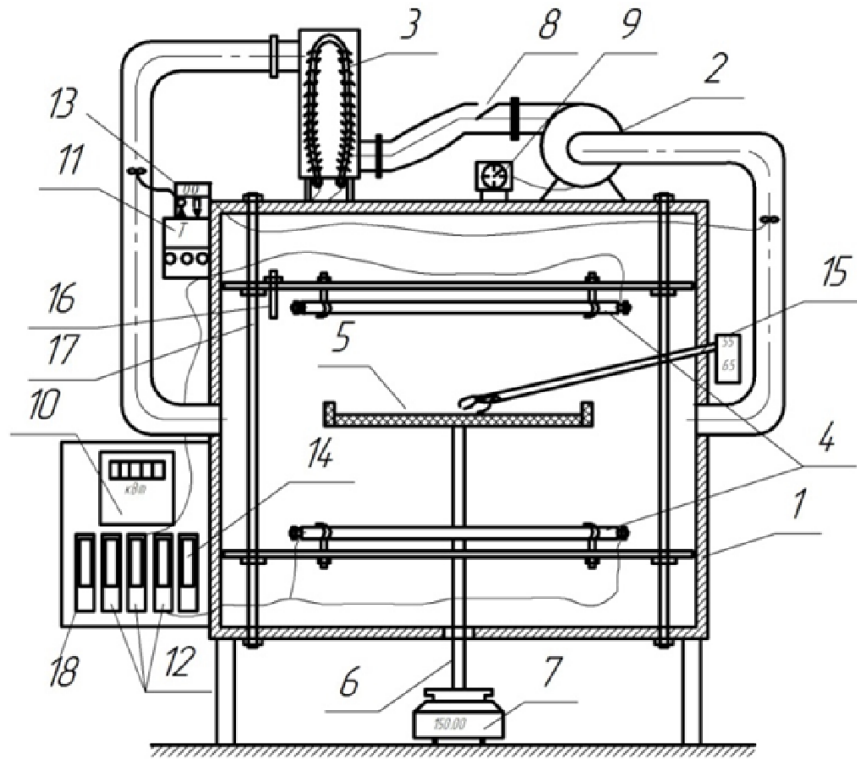


Рис. 2.5. Розроблена сушарка із комбіновани способом висушування: 1 – робочий простір; 2 – фен; 3 – нагрівач опору; 4 – інфрачервоний нагрівач; 5 – робоча поверхня; 6 – штанга; 7 – ваговий пристрій; 8 – регулятор потоку; 9 – реля тор інверторний; 10 – витратомір електричної енергії; 11 – вимірювач потоку тепла; 12 – автоматика нагрівача опору; 13 – вимірювач вологи; 14 – керування феном; 15 – вимірювач температури з перетворювачем; 16 – давач для тепла; 17 – механізм просторової зміни інфрачервоного нагріву; 18 – керування інфрачервоним нагрівом.

Запропонована розроблене обладнання для висушування грибів може використовувати як комбінований процес так і поокремо кожен вид підведення енергії теплової. При цьому використовують засоби які дозволяють регулювати процес висушування у таких межах:

- величина температури потоку повітряного – від 40 до 70°C;
- кількість продукту – до 4,4 кг/м²;
- потужність випромінення інфрачервоного – до 8 кВт/м²;
- змінні параметри випромінення по довжині хвиль – від 2,0 до 4,0 мкм;
- потік теплого повітря – до 5,5 м/с;

- потужність нагрівача опору – до 1 кВт.

Процес висушування відбувається за рахунок видалення зайвої вологи із робочої камери за допомогою вентиляторів. Волога від внутрішніх шарів продукту піднімається над продуктом і при взаємодії із потоком повітря виводиться за межі робочої камери створюючи передумови для подальшого виходу валог із продукту до досягнення стану рівноваги.



Рис. 2.6. Робоча камера із продуктом

При проведенні експериментів були виділені основні фактори впливу, а саме: температура повітряного гріючого середовища та період часу необхідний для процесу висушування.

Межами варіювання приймалися наступні:

- за основну температуру бралось 50°C зі змінами вгору та вниз на 10°C ;
- за основний період тривалості висушування приймався час впродовж 120 хв, з варіюванням верхнього та нижнього значення 40 хв.

Дослідження проводились відповідно до складеної програми вписаної у матрицю із трикратним повторюванням. Результати випробовувань оброблялись із використанням програмного продукту, визначались коефіцієнти рівнянь регресії та їх достовірність.

Одним із додаткових факторів які можуть впливати на тривалість процесу висушування прийнято інтенсивність повітряного потоку який змінювався за допомогою зміни частоти обертання вентилятора.

Висновки до розділу 2

1. Досліджено основні параметри та характеристики технологічного процесу висушування грибів отриманих в середовищі захищеного ґрунту. Отримано аналітичні критеріальні рівняння визначення коефіцієнта втрати вологи та коефіцієнта температуровіддачі при використанні конвекційного, інфрачервоного та комбінованого способу підведення теплової енергії.

2. За результатами проведених аналітичних досліджень встановлено, що величина коефіцієнта віддачі маси має найкраще значення у технологічному процесі який поєднує комбінацію конвективного та випромінювальних методів підведення тепла. Доведено, що зі збільшенням інтенсивності потоку нагрітого повітряного середовища до 5,5 м/с на параметр коефіцієнта віддачі маси збільшується удвічі при температурі потоку повітря 60°C. Встановлено, що тепловіддавальний коефіцієнт зростає зі збільшенням температури середовища у сушильній камері значно більше при комбінованому методу підведення тепла. Так при зміні температурного впливу від 40°C до 70°C показник тепловіддавального коефіцієнта за комбінованого методу на 40-60 Вт/м²×К вищий порівняно із конвекційним методами. При дослідженні впливу потоку повітря встановлено, що зростання інтенсивності потоку середовища від 2,5 м/с до 5,5 м/с призводить до збільшення параметра тепловіддавального коефіцієнта від 110 до 173 Вт/м²×К. Це вказує на доцільність застосування саме комбінованого способу підведення тепла.

3. Удосконалена висушувальна установка, яка поєднала у собі позитивні способи конвекційного способу та нагрівання продукту за допомогою інфрачервоного випромінювання. Запропонована конструкція наділена можливістю змінювати інтенсивність процесу за рахунок регульованих впливів на температурний режим та інтенсивність потоку гріючого середовища.

РОЗДІЛ 3

ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ГРИБІВ

3.1. Встановлення впливу інтенсивності сушіння грибів на ефективність процесу

Провідне значення в інтенсифікації технологічного процесу висушування грибів, як визначалось аналітичними дослідженнями, належить інтенсивності повітряного потоку. За результатами проведених експериментальних досліджень отримали рівняння регресії яке поєднує взаємозв'язок між інтенсивністю потоку нагрітого повітря (v) та тривалості процесу (t) висушування на інтенсивність втрати продуктом вологи (W_e). Рівняння зміни рівня вологи у продукті під дією зазначених факторів має вигляд: [18, 19]

$$W_e = 1048,8 - 82,2 \cdot t - 15,54 \cdot v + 1,094 \cdot t^2 + 0,43 \cdot t \cdot v + 0,064 \cdot v^2. \quad (3.1)$$

Залежності зміни вмісту вологи у продукті який піддається висушуванню із використанням комбінованого способу під впливом змінної швидкості потоку повітряного середовища та тривалості впливу на продукт теплової енергії подано на рис. 3.1-3.3.

Аналізуючи графічні залежності на рис 3.1, можна чітко бачити що зі збільшенням тривалості теплового впливу на продукт вміст вологи знижується. Причому суттєвий вплив спостерігається саме інтенсивності потоку середовища у робочій камері. Так, при зростанні інтенсивного переміщення повітря від 2,5 до 4,5 м/с процес втрати вологи продуктом пришвидшується на 30 %, при наступному зростанні до 5,5 м/с – швидкість втрати вологи зростає на 40 %. За умови бажаного вмісту вологи $W_e = 13,63$ % тривалість висушування коливається від 80 до 140 хв., менше значення при швидкості потоку 5,5 м/с. проте процес впливу теплового середовища можна припиняти на 10 хв. раніше, що зменшить витрати енергії на нагрів.

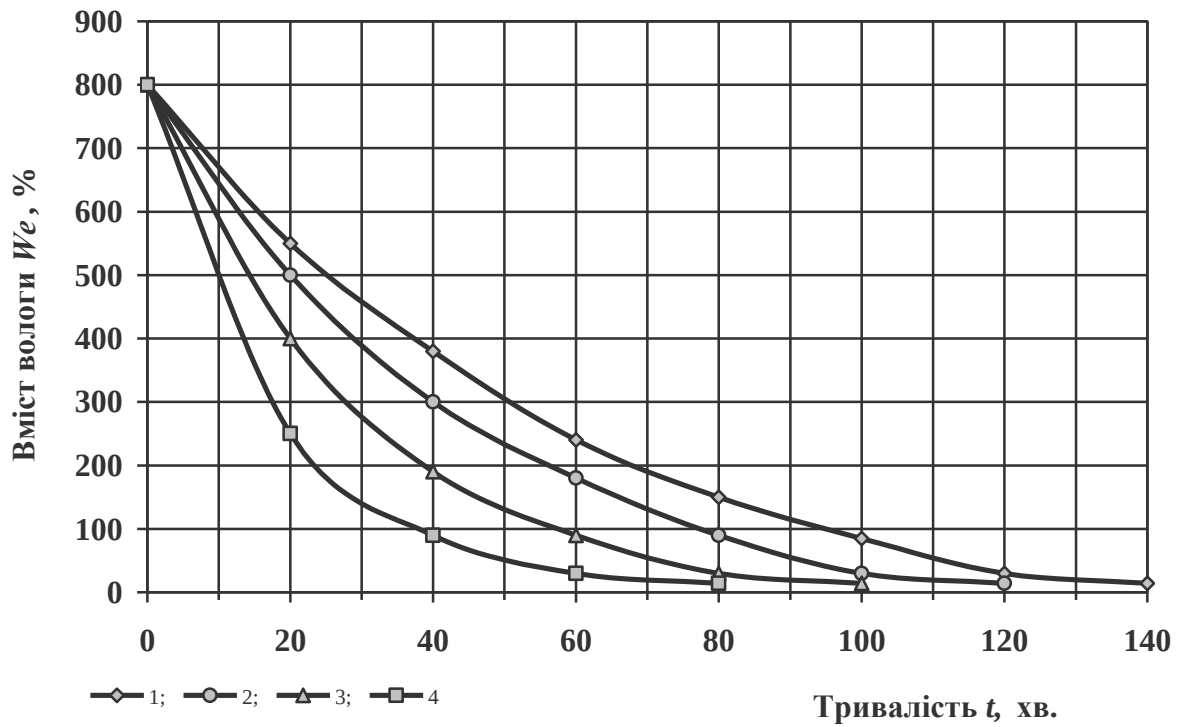


Рис. 3.1. Вплив тривалості періоду (t) висушування на зміну вмісту води у продукті (W_e) за різної інтенсивності потоку (v) повітря: 1 – 2,5 м/с; 2 – 3,5 м/с; 3 – 4,5 м/с; 4 – 5,5 м/с.

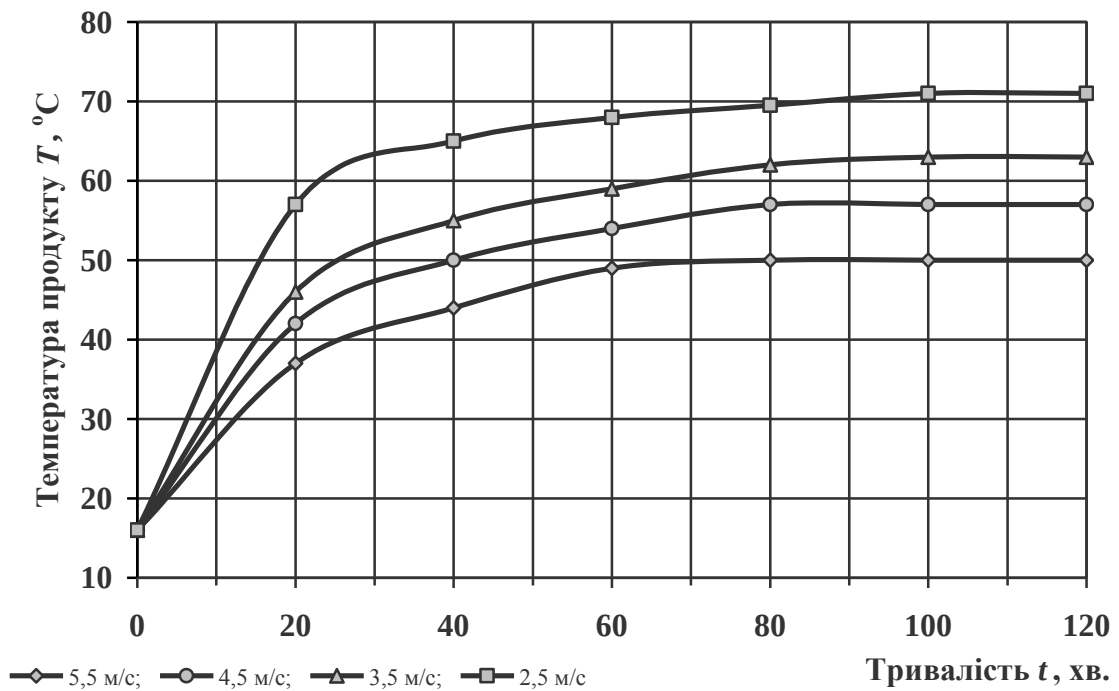


Рис. 3.2. Вплив тривалості періоду (t) висушування на зміну температури нагріву (T) продукту різної інтенсивності (v) потоку повітря при температурі гріючого середовища 60°C.

Рівняння регресії яке описує взаємозв'язок зміни температури продукту (T) із такими факторами як інтенсивність потоку повітря (v) та тривалість процесу (t) має вигляд:

$$T = 15,85 + 0,84 \cdot t - 1,36 \cdot v - 0,006 \cdot t^2 + 0,04 \cdot t \cdot v + 0,64 \cdot v^2. \quad (3.2)$$

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.2., можна констатувати що при незначній інтенсивності потоку повітря 2,5 та 3,5 м/с відбувається перегрів продукту до температури 63-71°C, що неприпустимо оскільки втрачається цінний білок та інші мінеральні речовини. За умови максимальної інтенсивності потоку повітря 5,5 м/с внутрішня температура продукту буде знаходитись у межах 48-50°C, що не зашкодить корисним речовинам. Таким чином при однаковій силі температурного впливу на продукт джерелами випромінювання тепла більш прийнятною вважається вища швидкість повітряного потоку 4,5–5,5 м/с. при цьому, тривалість висушування порції знижується із 140 до 85 хв., що підтверджує дієвість комбінованого методу.

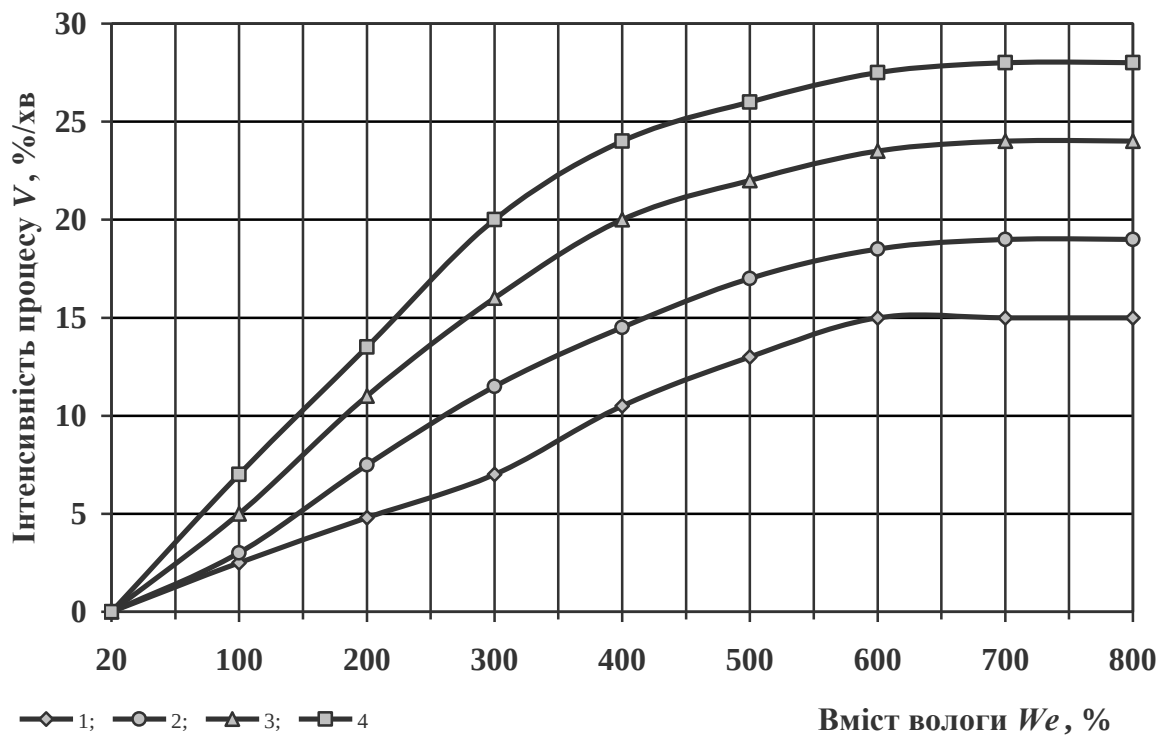


Рис. 3.3. Вплив вмісту води у продукті (W_e) на інтенсивність процесу (V) висушування за різної інтенсивності (v) потоку повітря: 1 – 2,5 м/с; 2 – 3,5 м/с; 3 – 4,5 м/с; 4 – 5,5 м/с.

За дослідними даними після апроксимації отримали рівняння регресії інтенсивності технологічного процесу сушки:

$$V = -7,1 + 0,044 \cdot W_e + 1,46 \cdot \nu - 0,0007 \cdot W_e^2 + 0,005 \cdot W_e \cdot \nu - 0,006 \cdot \nu^2. \quad (3.3)$$

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.3, спостерігається значно швидша інтенсивність відведення від продукту зайвої вологи при більшому значенні інтенсивності потоку повітря.

Досліджуючи вплив маси продукту (M) для разового сушіння у робочій камері на інтенсивність втрати вологи (W_e) отримали рівняння регресії (3.4) та графічні залежності (рис. 3.4).

$$W_e = 702,6 - 14,9 \cdot t + 7,84 \cdot M + 0,076 \cdot t^2 - 0,052 \cdot t \cdot M + 0,62 \cdot M^2. \quad (3.4)$$

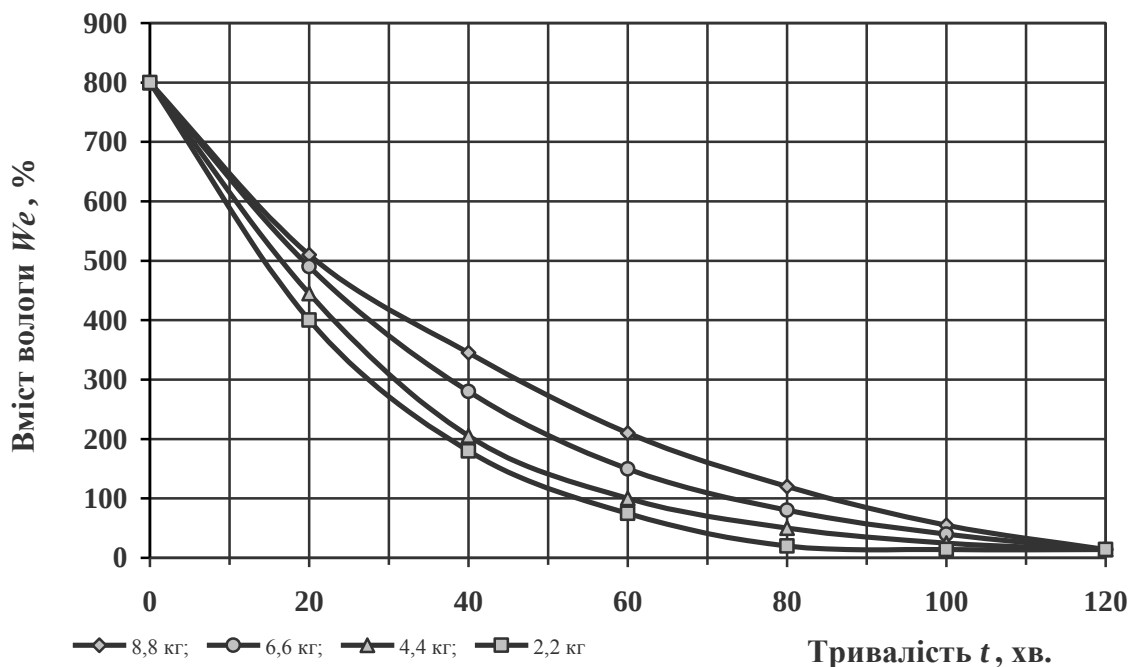


Рис. 3.4. Вплив тривалості періоду (t) висушування на зміну вмісту вологи у продукті (W_e) за різної кількості продукту (M) кг на 1 м² деки.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.4, при збільшенні кількості продукту на одиницю площі деки робочої камери необхідно витратити більше часу ніж при мінімальному ступені навантаження. Так, для

досягнення потрібної вологості продукту 13,63 % тривалість висушування становить 80 хв. за умови показника маси $2,2 \text{ кг/м}^2$, для показника маси $8,8 \text{ кг/м}^2$ тривалість висушування зростає до 120 хв. Досліди проводились із використанням часток продукту не більшими за 2 см у довжину.

Одним із керованих факторів, відповідно до конструкції удосконаленого обладнання, є можливість регулювати відстань від інфрачервоного випромінювача до деки із продуктом. За отриманими дослідними даними отримали рівняння регресії та графічні залежності (рис. 3.5) яке пов'язує інтенсивність втрати води (W_e) та відстань від випромінювача (H) до продукту при відповідній тривалості процесу (t):

$$W_e = 712,19 - 21,25 \cdot t + 1,54 \cdot H + 0,15 \cdot t^2 - 0,033 \cdot t \cdot H + 0,34 \cdot H^2. \quad (3.5)$$

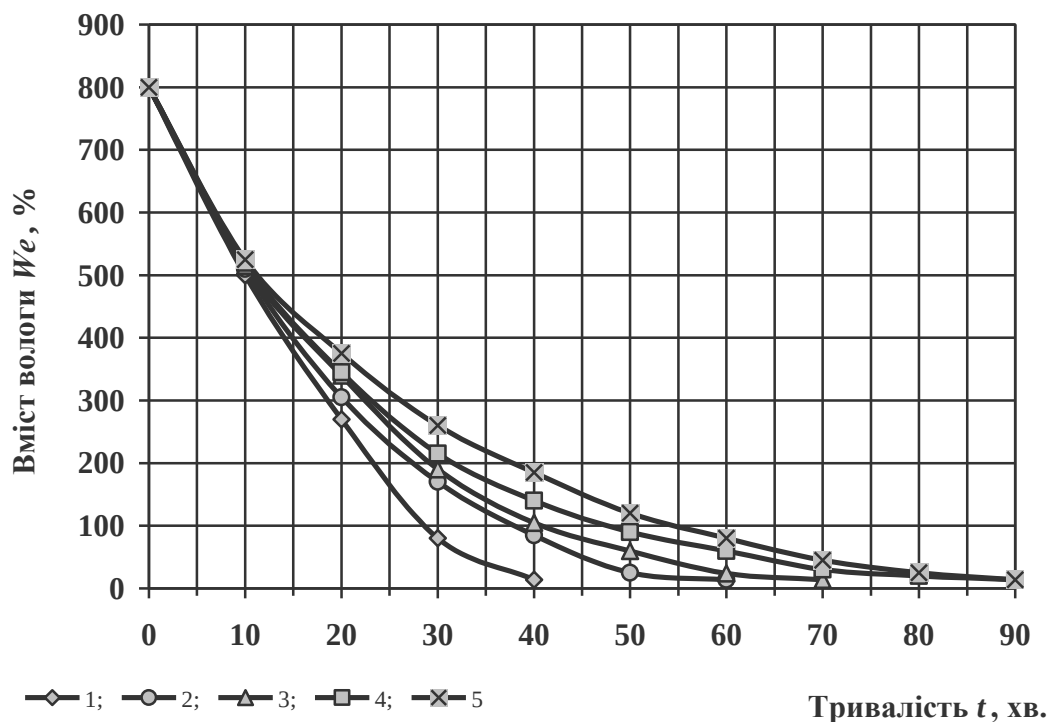


Рис. 3.5. Вплив тривалості періоду (t) висушування на зміну вмісту води у продукті (W_e) при температурі повітряного середовища 60°C при зміні відстані (H) до продукту інфрачервоного нагрівального випромінювача: 1 – 1 см; 2 – 3 см; 3 – 6 см; 4 – 9 см; 5 – 12 см.

Аналіз графічних залежностей на рис. 3.5 вказує на те, що вміст води у продукті знижується при зменшенні відстані до деки випромінювача. При цьому спостерігається найменша тривалість процесу висушування 40 хв. при

відстані до продукту 1 см, що на 50 хв. швидше ніж при відстані продукту на рівні 12 см. проте важливим є температура в середині часточки продукту яка не повинна перевищувати граничної межі. Встановлено що при віддалі до продукту менше ніж 3 см спостерігається значний перегрів що негативно впливає на кінцеву якість продукту, а при відстані більшій за 9 см суттєво зростає час висушування. Таким чином оптимальним вважається процес висушування при температурі потоку повітря 60°C, а відстань до джерела випромінювання до продукту має становити 3-9 см.

Досліджуючи потужність яка витрачається на проведення технологічного процесу за дослідними даними отримали рівняння регресії та графічні залежності (рис. 3.6-3.7) впливу температурного режиму на витрати потужності:

$$N = 2,587 \ln T_p - 5,478. \quad (3.6)$$

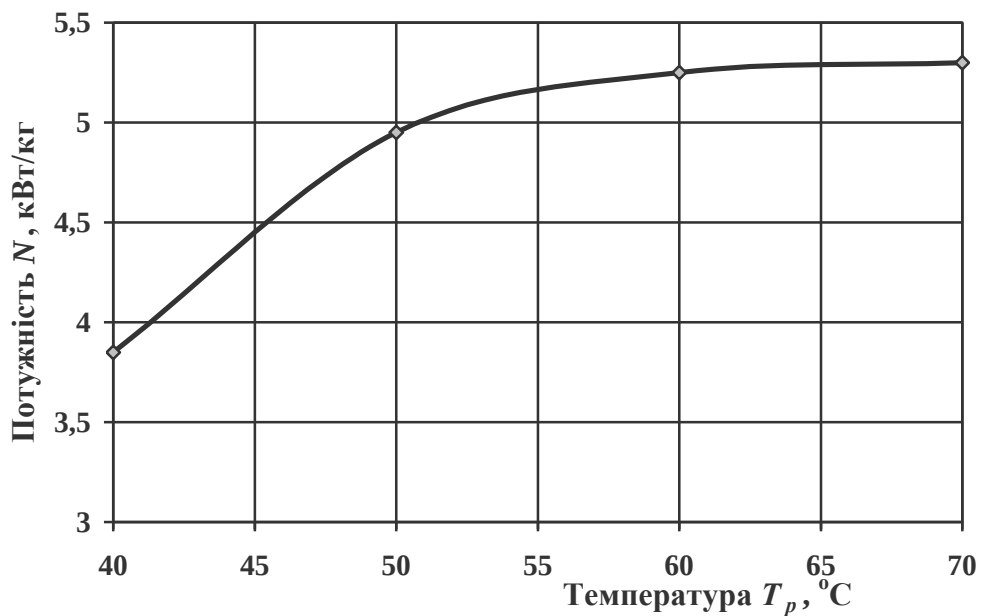


Рис. 3.6. Вплив температури потоку повітря (T_p) на витрати потужності питомі на нагрівання при комбінованому теплопідведенні до продукту.

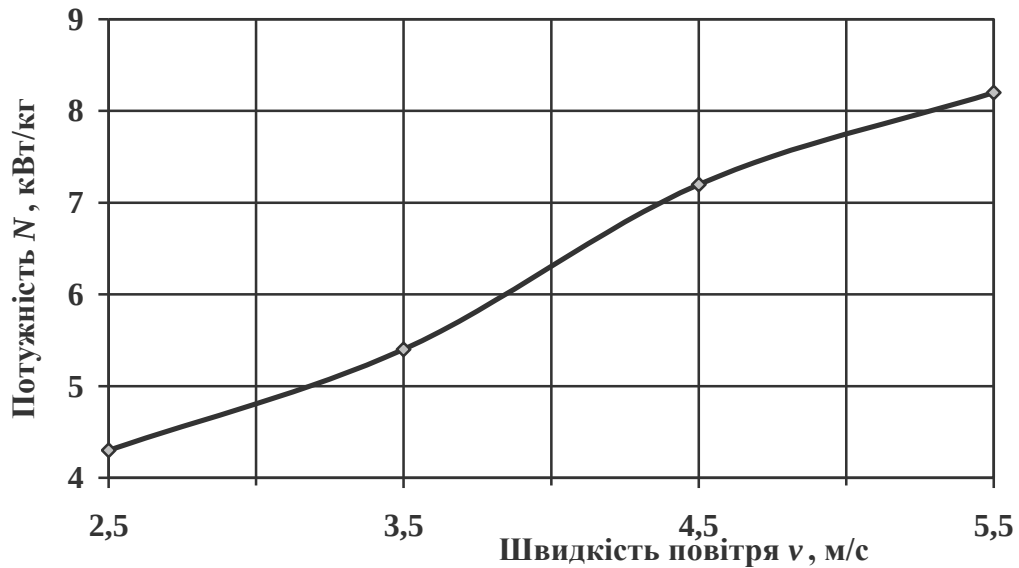


Рис. 3.7. Вплив інтенсивності (v) потоку повітря на витрати потужності питомі на нагрівання при комбінованому теплопідведенні до продукту.

При збільшенні температури гріючого середовища зростають витрати енергії на одиницю приготованого продукту (рис. 3.6). Так, при збільшенні температури від 40 до 60°C витрати енергії збільшуються на 1,4 кВт/кг приготування продукту із необхідною вологістю. Подальше збільшення температури не потребує додаткових витрат енергії.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.7., збільшення інтенсивності потоку повітря сприяє більшим витратам енергії. Так, зростання швидкого потоку від 2,5 до 5,5 м/с призводить до збільшення витрат енергії на 47%, при цьому екстремуму не спостерігається. Тому інтенсивність повітряного процесу відповідно до попередніх досліджень обирається на максимальних значеннях.

Отже, базовими позиціями які визначають ефективність технологічного процесу з використанням розробленого обладнання є наступні параметри. Це в першу чергу температура повітряного середовища; потужність енергетичного впливу системи випромінєні інфрачервоного, кількість продукту який перебуває на одиниці площі деки,. Додатковим фактором є відстань від продукту до джерела випромінєння енергії.

3.2 Розроблення технологічного процесу з використанням удосконаленого обладнання

Технологічний процес виробництва висушування грибів вирощених у середовищі захищеного ґрунту поєднує в собі декілька технологічних операцій які виконує цілий набір машин та обладнання (рис. 3.8).

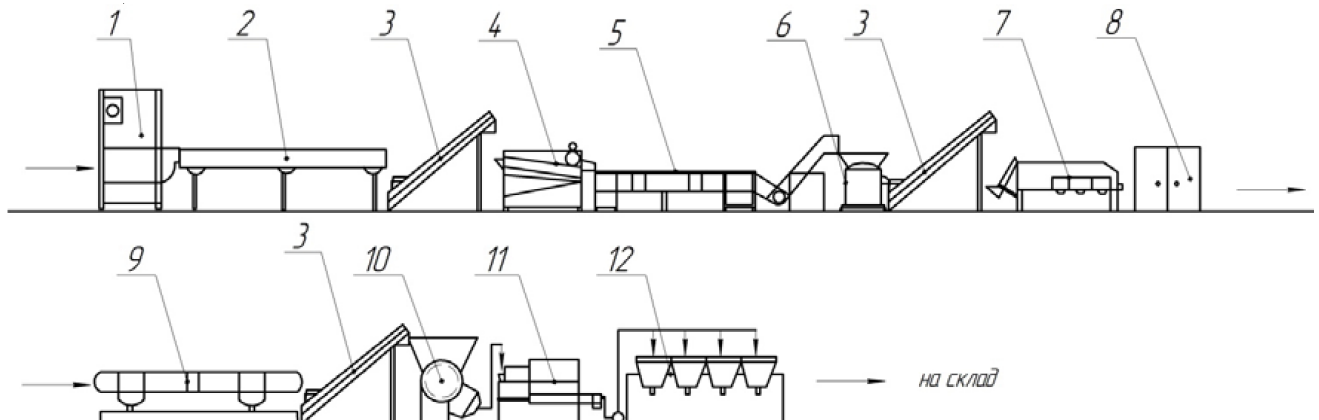


Рис. 3.8. Структурна схема технологічного процесу виробництва висушених грибів у формі порошку: 1 – приймальна місткість; 2 – стіл для оцінки якості; 3 – транспортерний подавач; 4 – очищення від домішок; 5 – подавач стрічковий; 6 – здрібнювач сировини; 7 – сортувальне обладнання; 8 – розроблена сушарка; 9 – транспортер; 10 – здрібнювач сухого продукту; 11 – сортувальне обладнання; 12 – система фасування.

Пропонована технологія виробництва висушених грибів у вигляді концентрованого порошку дозволяє зберегти наявні поживні речовини та корисні мінерали. Основними серед яких є білок [20], збереження якого вимагає використання контрольованих температурних режимів. Запропоноване у роботі обладнання дозволяє поєднати два основних методи підведення теплової енергії до продукту у робочій камері. Поєднання процесу нагріву нагрівальним інфрачервоним випромінювачем з подачею нагрітого повітряного потоку забезпечує ощадний вплив на продукт, що забезпечує збереження корисних речовин. Ощадність полягає у зниженні температури гріючого

середовища до 50-60°C, що сприяє, також, економії електричної енергії порівняно із іншими способами підведення теплової енергії.

Проведені економічні розрахунки вказали на отримання значного економічного ефекту при використанні розробленої технології на рівні 34100 грн на рік, додаткові вкладення окупляться за 0,45 років при продуктивності обладнання 86 кг/год.

Висновки до розділу 3

1. За результатами досліджень встановлено вплив інтенсивності потоку повітря у робочій камері із продуктом на інтенсивність видалення вологи. Так, при зростанні швидкісного потоку від 2,5 до 4,5 м/с інтенсивність виведення вологи зростає на 30%, а при зростанні від 4,5 до 5,5 м/с отримуємо додатковий приріст інтенсивності на 40 %. Раціональним вважається підтримання постійної швидкості потоку повітря на рівні 5,5 м/с.

2. Використання комбінованого способу підведення теплової енергії до продукту дозволить зменшити витрати енергії на 25-30%, порівняно із використанням роздільних способів.

3. Встановлено, що при збільшенні кількості продукту на одиницю площі деки робочої камери для досягнення потрібної вологості продукту 13,63 % тривалість висушування становить 80 хв. за умови показника маси 2,2 кг/м², для показника маси 8,8 кг/м² тривалість висушування зростає до 120 хв. Досліди проводились із використанням часток продукту не більшими за 2 см у довжину.

4. Встановлено, що при збільшенні температури повітря від 40 до 60°C витрати енергії збільшуються на 1,4 кВт/кг приготування продукту. Визначено, що зростання швидкості потоку від 2,5 до 5,5 м/с призводить до збільшення витрат енергії на 47%, оптимальною є віддаль 9-12 см від джерела випромінювання до продукту.

ВИСНОВКИ

1. Виробництво промислово вирощених грибів потрібної якості вимагає значних витрат трудових ресурсів. Зростаючі потреби у грибах вирощених у середовищі закритого ґрунту вимагають вирішити питання продовження терміну використання шляхом переробки. Машинобудівна промисловість пропонує для харчової промисловості обладнання для висушування грибів, овочів, фруктів та різних трав. Кожен із представлених типів обладнання має свої переваги та недоліки, тому поєднання в одному пристрої позитивних ознак конвективного та інфрачервоного типу висушування вважається дозволить підвищити ефективність технологічного процесу та якість кінцевого продукту.

2. Досліджено основні параметри та характеристики технологічного процесу висушування грибів, отримано аналітичні критеріальні рівняння визначення коефіцієнта втрати вологи та коефіцієнта температуровіддачі при використанні конвекційного, інфрачервоного та комбінованого способу підведення теплової енергії. За результатами проведених аналітичних досліджень встановлено, що величина коефіцієнта віддачі маси та коефіцієнта температуровіддачі має найкраще значення у технологічному процесі з комбінацією конвективного та випромінювальних методів підведення тепла. Аналітично встановлено, що збільшення інтенсивності потоку нагрітого повітря до 5,5 м/с призводить до збільшення удвічі параметра коефіцієнта віддачі маси. При підвищенні температури повітря від 40°C до 70°C показник коефіцієнта тепловіддачі на 40-60 Вт/м²×К вищий порівняно із конвекційним методами. Теоретичним чином встановлено, що зростання інтенсивності потоку середовища від 2,5 м/с до 5,5 м/с призводить до збільшення параметра коефіцієнта тепловіддачі від 110 до 173 Вт/м²×К. Це вказує на доцільність застосування саме комбінованого способу підведення тепла.

3. Запропоновано удосконалену сушильну установку, яка поєднала у собі позитивні способи конвекційного способу та нагрівання продукту за допомогою інфрачервоного випромінювання. Запропонована конструкція наділена можливістю змінювати інтенсивність процесу за рахунок регульовальних

впливів на температурний режим та інтенсивність потоку нагрівального середовища.

4. За результатами досліджень встановлено, що при зростанні швидкісного потоку від 2,5 до 4,5 м/с інтенсивність виведення вологи зростає на 30%, а при зростанні від 4,5 до 5,5 м/с отримуємо додатковий приріст інтенсивності на 40 %. Раціональним вважається підтримання постійної швидкості потоку повітря на рівні 5,5 м/с. Доведено, що використання комбінованого способу підведення теплової енергії до продукту дозволить зменшити витрати енергії на 25-30%, порівняно із використанням роздільних способів.

5. Встановлено, що при збільшенні кількості продукту на одиницю площі деки робочої камери для досягнення потрібної вологості продукту 13,63 % тривалість висушування становить 80 хв. за умови питомої навантаженості деки $2,2 \text{ кг/м}^2$, для величини питомого навантаження $8,8 \text{ кг/м}^2$ тривалість висушування зростає до 120 хв. Встановлено, що при збільшенні температури повітря від 40 до 60°C витрати енергії збільшуються на 1,4 кВт/кг приготування продукту. Визначено, що зростання швидкості потоку від 2,5 до 5,5 м/с призводить до збільшення витрат енергії на 47%.

6. За результатами проведених аналітичних та лабораторних досліджень розробленої установки визначено оптимальні режими роботи: температура потоку повітря – 40-60°C; інтенсивність випромінювача інфрачервоного – 125 Вт; швидкість потоку повітря – 5,5 м/с; масове навантаження на деку – $5,5 \text{ кг/м}^2$; висота інфрачервоного випромінювача над продуктом – 9-12 см.

7. Проведені економічні розрахунки вказали на отримання значного економічного ефекту при використанні розробленої технології сушіння грибів вирощених у середовищі закритого ґрунту на рівні 341000 грн/рік, додаткові вкладення окупляться протягом 0,45 років при продуктивності розробленої технологічної лінії 86 кг/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко А. О. Оцінка способів сушіння культиваційних грибів. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т. 2. С. 8-10.
2. Аналіз ринку вирощування грибів в Україні : веб-сайт. URL : <https://inventure.com.ua/uk/analytics/investments/analiz-rinku-viroshuvannya-gribiv-v-ukrayini>
3. Ринок грибів в Україні: огляд та прогноз : веб-сайт. URL : <https://proconsulting.ua/ua/pressroom/rynok-gribov-v-ukraine-obzor-i-prognoz>
4. Виробництво грибів в Україні зростає на 20% : веб-сайт. URL : <https://agravery.com/uk/posts/show/virobnictvo-gribiv-v-ukraini-zroste-na-20>
5. Нестеренко Н. Виробництво і споживання культивованих грибів в Україні. *Товари і ринки*. 2011. №2. С. 61-68.
6. Поживна цінність грибів: наукове обґрунтування заміни м'яса : веб-сайт. URL : <https://organica.com.ua/useful/pozhivna-cinnist-gribiv-naukove-obgruntuvannya-zamini-myasa>
7. Бойко А. О. Порівняльний аналіз технічних засобів сушіння грибів. *Студентські читання–2025* : матеріали науково-практичної конференції науково педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 11–15.
8. Промислова сушка : веб-сайт. URL : <https://osushiteli.ua/uk/sushylna-kamera>.
9. Обладнання для сушки грибів та фруктів : веб-сайт. URL : <https://www.ik-agrosushka.com/promyishlennaya-sushilka-dlya-fruktoiv/>
10. Петрова Ж. О., Кузнєцова І. В., Самойленко К. М. (2024). Зниження енергоємності процесу сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів шляхом застосування комбінованих методів сушіння на прикладі *pleurotus*

- eryngii. *Продовольчі ресурси*. 2024. 11(21). 141–148.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-14>.
11. Avdieieva, L., Dekusha, H., Turchyna, T., & Makarenko, A. (2023). Application of different drying methods in dry mushroom concentrate technologies. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 45(3), 37-48.
<https://doi.org/https://doi.org/10.31472/tpe.3.2023.5>
12. Кублінська І.А., Кравченк М.Ф. Обґрунтування параметрів ступеневого сушіння культивованих грибів. *Вісник ХНТУ*. 2019. 1(68). 118-123.
13. Кублінська І. Обґрунтування технології осцилювально-конвекційного сушіння печериць (*agaricus bisporus*). *Grail of Science*. 2024. 37. С. 161–163.
<https://doi.org/10.36074/grail-of-science.15.03.2024.024>
14. Петрова Ж. О., Пазюк В. М., Вішнєвський В. М., Граков Д. П. Напрями підвищення ефективності процесу сушіння в тунельних та комбінованих сушарках. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1(33). С. 109-130.
15. Технології сушіння : навчальний посібник /В. В. Шутюк та ін. Київ : НУХТ АртЕк, 2024. 355с.
16. Процеси і апарати харчових виробництв. Теплообмінні процеси : підручник / В. С. Бойко, К. О.Самойчук, В. Г. Тарасенко, О. П. Ломейко. Мелітополь, 2020. 300 с.
17. Процеси і апарати харчових виробництв : приклади і задачі : навч. посібник / І. Ф. Малежик та ін. Київ : НУХТ, 2015. 386 с.
18. Бойко А. О. Встановлення швидкісних параметрів процесу сушіння. *Біоенергетичні системи* : матеріали ІХ міжнародної науково практичної конференції. 19-20 листопада 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 5–7.
19. Костенко О. М., Тихтило Б. В. Методика вимірювання швидкісних характеристик повітряних потоків у сушильних камерах. Полтава : ПДАУ, 2023. С. 104-106.
20. Аністратенко Т. І., Білко Т. М., Благодарова О. В. Гігієна харчування з основи нутриціологі : підручник. К. : Медицина, 2016. 432 с.