

**ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ  
УДК 664.854 ВИРОБНИЦТВ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ НА  
ПРОЦЕС КОМБІНОВАНОГО СУШІННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ**

*Бурлака Тетяна Василівна аспірантка  
Дубковецький Ігор Володимирович к.т.н., доцент  
Малежик Іван Федорович д.т.н., професор  
Національний університет харчових технологій  
Burlaka T.  
Dubkovetskyu I.  
Malezhik I.  
National University of Food Technologies*

***Анотація:** найбільші обсяги витрат теплової енергії потребує сушіння харчової продукції. Дотримання технологічних вимог має забезпечити одержання якісного напівфабрикату, проте процес сушіння супроводжується збільшенням витрат енергії. Представляється доцільним вивчити і реалізувати на практиці можливість використання економічного з енергетичної точки зору суміщення двох фізичних механізмів сушки (конвекційного і інфрачервоного) і досягнення на цій основі подальшого істотного зниження енергоємності процесу зневоднення.*

***Ключові слова:** радіаційно-конвективне сушіння, культивовані гриби глива звичайна, опромінення, енергозатрати, швидкість теплоносія.*

Важливе місце в харчуванні людини займають овочі, фрукти, пряносмакові рослини. Але, на жаль, рослинна сировина дозріває за короткий період, і, протягом решти часу, постачання нею споживачів забезпечується тільки за рахунок зберігання та переробки врожаю на пасти, пюре, соки, сушені продукти. Останні мають високу біологічну і харчову цінність, не потребують великих витрат на транспортування та зберігання.

В основі переробки плодоовочевої сировини на сушені продукти лежить процес сушіння. Сушіння як один із методів консервування фруктів і овочів – складний та енергосмний процес і визначається тісним взаємозв'язком теплотехнічних закономірностей і технологічних властивостей сировини, що переробляється. Технологічні сторони процесу є вирішальними при виборі оптимального режиму зневоднювання. Оптимальний режим сушіння забезпечується мінімальними витратами теплоти і максимальним збереженням нативних властивостей зневодненого матеріалу.

Для задоволення зростаючих потреб населення в сушених харчових продуктах потрібно не тільки збільшувати їх виробництво, поліпшувати якість продукції, створювати раціональні умови зберігання, але і знижувати собівартість переробки. У створенні умов, що забезпечують отримання високосортної продукції і зниженні витрати на виробництво, вирішальну роль відіграє механізація, автоматизація та інтенсифікація виробничих процесів.

Підраховано, що в Україні приблизно 15% палива витрачається на сушіння, при цьому енергетичний ККД багатьох сушильних установок становить лише 30-50%. У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів навіть 1% економії спожитої енергії приносить суттєві економічні результати. Тому підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесів сушіння має важливе народногосподарське значення. Актуальним завданням сьогодення є зменшення енергозатрат при досягненні високої якості продукції.

Для зневоднення харчових продуктів в тонкому шарі з енергетичної точки зору найбільш

доцільно застосувати інфрачервоне випромінювання, але даний метод не отримав широкого розповсюдження через явище термодифузії. Ряд учених рекомендують здійснювати сушку з періодичним опроміненням, щоб волога встигала відводитися з продукту. Як відомо при конвективному висушуванні повітря є носієм теплоти від електрокалорифера до продукту, що є більш енерговитратним ніж при інфрачервоному при якому повітря не виконує функцію носія теплоти, а лише функцію відведення вологи. Нами запропоновано комбінувати два способи підведення теплоти при сушінні, що дозволить зменшити відносну вологість повітря, а отже збільшити рушійну силу процесу в порівнянні з інфрачервоним сушінням.

Для вирішення цих завдань нами було спроектовано і введено в експлуатацію радіаційно-конвективну сушильну установку (рис.1.).



*Рис. 1. Внутрішній вигляд радіаційно-конвективної сушильної установки*

Ефективність сушіння залежить не лише від способу сушіння і температури, а також від швидкості сушіння.

Швидкість циркуляції повітря в сушильному пристрої - найважливіший параметр процесу сушіння. Чим вище швидкість циркуляції, тим за інших рівних умов менша тривалість процесу, вища продуктивність сушіння, менше нерівномірність просихання матеріалу, вищий оптимальний ступінь насиченості середовища, більші витрати електроенергії і в більшості випадків вище собівартість. Нижче викладені деякі результати досліджень впливу швидкості циркуляції сушильного агента на різні сторони процесу сушіння в радіаційно-конвективній установці періодичної дії. Розрахунки виконані на прикладі культивованих грибів глива звичайна.

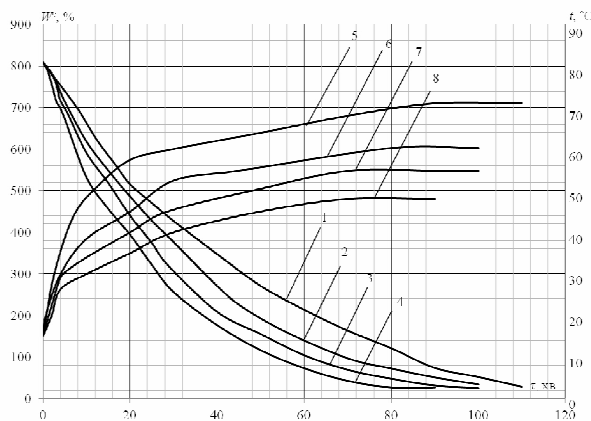
У зв'язку з істотним впливом швидкості циркуляції на різні сторони процесу сушіння доцільним є встановлення оптимальних її значень. Під оптимальною швидкістю циркуляції будемо розуміти швидкість, при якій забезпечується мінімальна собівартість сушіння і виконуються обмеження, що накладаються на процес.

Нами запропоновано розроблення нової технології виробництва сушених їстівних грибів, які є джерелом повноцінних білків, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон та мають лікувально-профілактичні властивості. Ми пропонуємо вирішення одночасно двох проблем. Перша полягає в тому, що лише 20 % грибів від загальної кількості вирощених надходить на переробку. Причинами, які стримують їх широке використання у виробництві та просуванні на споживчому ринку, є незначний термін зберігання і недостатня кількість технологій переробки. Друга проблема постає у великих енергозатратах на процес сушіння. Ми пропонуємо вирішення цих проблем за допомогою комбонування двох відомих способів сушіння, а саме конвективного та інфрачервоного. Конвективний спосіб дозволить зменшити час сушіння, а одночасне підведення інфрачервоних променів зменшить затрати електроенергії на виробництво. Комбінований спосіб сушіння є економічним у витратах електроенергії, часу і забезпечує при цьому одночасне збереження біологічно активних речовин.

Визначення впливу швидкості повітря на процес сушіння проводили при постійних параметрах температура теплоносія – 60 °С, початковому питомому навантаженні – 200 г. Швидкість

повітря змінювалась від 2,5 до 5,5 м/с.

У зв'язку з тим, що температура чинить вирішальний вплив на швидкість проходження біохімічних реакцій в сировині, ми задалися метою вивчити закономірності зміни в часі температури плодового тіла грибів при проведенні процесу сушіння за різних параметрів, що має практичне значення для розробки оптимальних режимів сушіння і створення передумов, що дають можливість передбачити напрямок біохімічних змін під дією температури.



**Рис. 2. Криві комбінованого сушіння культивованих грибів глива звичайна 1-4 і термограми 5-8 при температурі 60 °C: 1,5 – 2,5 м/с; 2,6 – 3,5 м/с; 3,7 – 4,5 м/с; 4,8 – 5,5 м/с**

Апроксимуючи дані першого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються лінійному закону.

1.  $W^c = -14,907 \tau + 812,27$  при  $R^2 = 0,9991$ ;
2.  $W^c = -19,267 \tau + 812,87$  при  $R^2 = 0,9951$ ;
3.  $W^c = -22,377 \tau + 813,72$  при  $R^2 = 0,9909$ ;
4.  $W^c = -27,967 \tau + 811,05$  при  $R^2 = 0,9968$ .

Апроксимуючи дані другого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються логарифмічному закону.

1.  $W^c = -308,8 \ln(\tau) + 1475,3$  при  $R^2 = 0,998$ ;
2.  $W^c = -289,3 \ln(\tau) + 1343,3$  при  $R^2 = 0,9931$ ;
3.  $W^c = -272,5 \ln(\tau) + 1242,4$  при  $R^2 = 0,9867$ ;
4.  $W^c = -256,9 \ln(\tau) + 1144$  при  $R^2 = 0,9843$ .

де  $W^c$  – вологовміст, %;  $\tau$  – час, хв;  $R^2$  – коефіцієнт кореляції.

Порівнюючи способи сушіння при швидкості теплоносія від 2,5 до 5,5 м/с в першому випадку спостерігається підвищення температури в центрі плодового тіла до 71 °C, що шкідливо впливає на хімічний склад і відповідно з збільшенням швидкості теплоносія температура зменшується. Так для швидкості теплоносія 5,5 м/с температура в центрі плодового тіла не перевищує 48 °C.

Якщо сушіння проводять попередньо нагрітим повітрям, як в даному випадку, то випаровування вологи проходить тільки внаслідок охолодження повітря; при цьому волога вносить в повітря рівно стільки ж тепла, скільки вона віддає, охолоджуючись, на випарування вологи.

Відповідно, чим більша швидкість повітря, тим частіше проходить охолодження повітря, що призводить до прискорення процесу сушіння.

Перепад температури обумовлюється інтенсивністю випаровування вологи з поверхні висушуваного матеріалу. Чим вище швидкість повітря, тим вище інтенсивність випаровування і тим повільніше проходить прогрівання внутрішніх шарів плодового тіла.

При виведенні рівняння кінетики сушіння з експериментальних залежностей  $dW/dt$  встановили, що на першій стадії швидкість сушіння можна вважати постійною.

Проаналізувавши другий період сушіння вивели апроксимаційні рівняння залежності швидкості сушіння від вологовмісту, що підпорядковуються лінійному закону:

1.  $dW^c/d\tau = 0,0238W + 0,7179$  при  $R^2 = 0,9579$ ;
2.  $dW^c/d\tau = 0,0283W + 0,7712$  при  $R^2 = 0,9767$ ;
3.  $dW^c/d\tau = 0,0355W + 0,5604$  при  $R^2 = 0,9806$ ;
4.  $dW^c/d\tau = 0,0388W + 0,9641$  при  $R^2 = 0,9879$ .

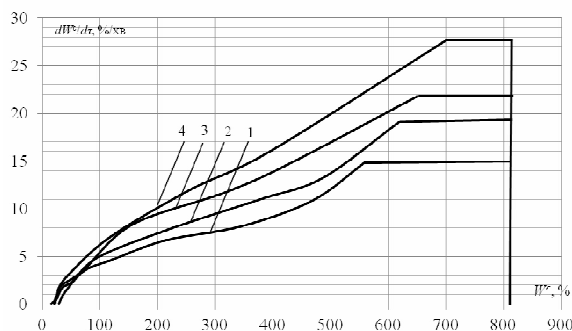


Рис. 3. Криві швидкості сушіння гливи звичайної культивованої при різній швидкості теплоносія: 1 – 2,5 м/с; 2 – 3,5 м/с; 3 – 4,5 м/с; 4 – 5,5 м/с

Швидкість повітря виявляє вплив на тривалість сушіння грибів лише у періоді постійної швидкості сушіння, а у періоді падаючої швидкості сушіння зменшення вологості матеріалу практично не залежить від швидкості повітря, що не впливає на переміщення вологи в середині грибів.

На основі кривих сушіння і швидкості сушіння були розраховані коефіцієнти швидкості сушіння в першому та другому періодах, а також тривалість прогрівання  $\tau_{пр.}$ , тривалість першого  $\tau_1$  і другого  $\tau_2$  періодів. Дані наведені у табл. 1. і на рис. 4, 5.

Таблиця 1

**Коефіцієнти швидкості сушіння гливи звичайної культивованої  
комбінованим способом при температурі 60 °С**

№п/п	w, м/с	$W^c_{кр.}$ , %	$dW^c/d\tau$ , %/хв	$K_1$ , %/с <sup>-1</sup>	$K_{1r} \cdot 10^3$ с <sup>-1</sup>	$\tau_{пр.}$ , хв	$\tau_1$ , хв	$\tau_2$ , хв	$\tau_{заг.}$ , хв
1	2,5	557,7	14,8	0,027	0,0135	2	20	90	110
2	3,5	618,1	19,1	0,03	0,015	2	18	82	100
3	4,5	649,8	21,8	0,033	0,0165	2	16	84	100
4	5,5	698,6	27,6	0,039	0,0195	2	15	75	90

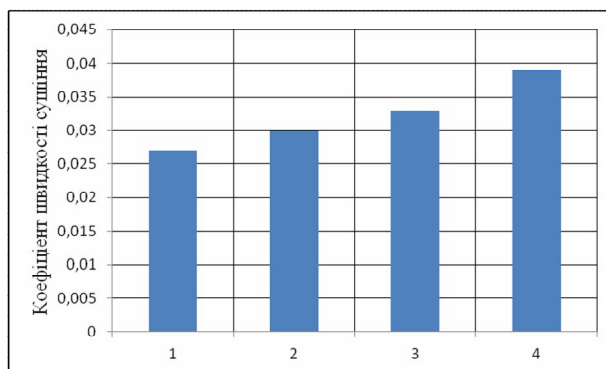


Рис. 4. Коефіцієнти швидкості сушіння культивованих грибів гливи звичайна в перший період сушіння при швидкості повітря: 1 – 2,5 м/с; 2 – 3,5 м/с; 3 – 4,5 м/с; 4 – 5,5 м/с

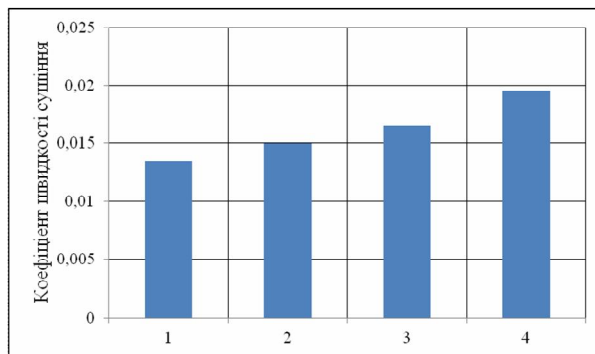


Рис. 5. Коефіцієнти швидкості сушіння культивованих грибів глива звичайна в другий період сушіння при швидкості повітря: 1 – 2,5 м/с; 2 – 3,5 м/с; 3 – 4,5 м/с; 4 – 5,5 м/с

Графік залежності витрат енергії від швидкості теплоносія при радіаційно-конвективному способі сушіння культивованих грибів глива звичайна наведено на рис.6.

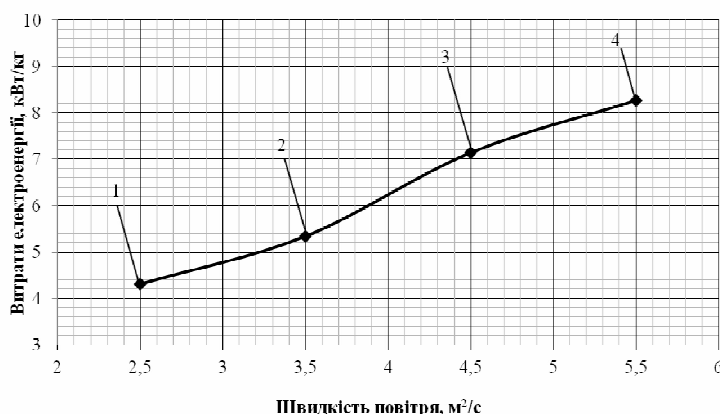


Рис. 6. Залежність витрат енергії від швидкості теплоносія при комбінованому методі енергопідведення, кВт/кг готового продукту: 1 – 2,5 м/с; 2 – 3,5 м/с; 3 – 4,5 м/с; 4 – 5,5 м/с

Апроксимуючи дані, вивели рівняння, що підпорядковуються лінійному закону:

$$y = 1,3673x + 0,7948 \text{ при } R^2 = 0,9888$$

Так як сушені гриби це напівфабрикат, який пропонується використовувати у складі перших та других обідніх страв, досліджено їх відновлюваність та підготовку до споживання. Для цього проводили дослідження набухання гливи у воді з подальшим варінням до готовності. Дані наведено у табл.2.

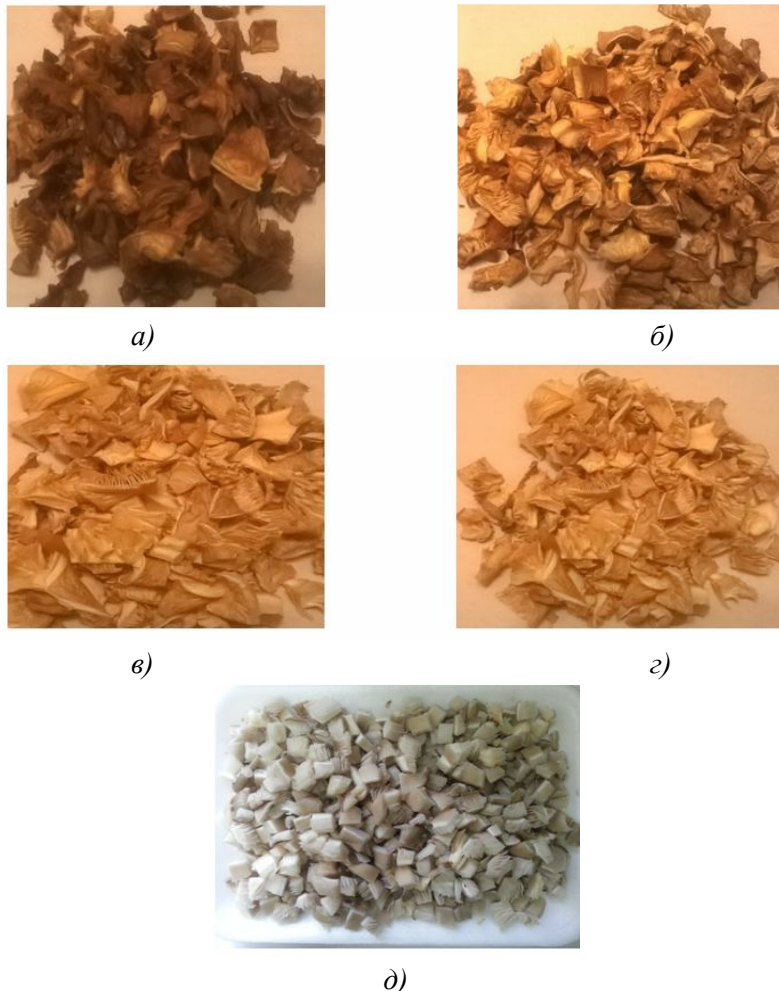
Таблиця 2

**Набухання культивованих грибів глива звичайна у воді залежно від температури і часу**

w, м/с	Зміна маси кубиків залежно від часу набухання, г			Температура води, °С
	0 хв	10 хв	20 хв	
2,5	0,28	1,62	1,7	100
3,5	0,30	2,0	2,6	
4,5	0,32	2,32	2,9	
5,5	0,32	2,5	3,4	

При проведенні досліджень процесу набухання було обрано воду з температурою 100 °С. Як видно з таблиці, чим більша швидкість теплоносія, тим швидше відновлюються гриби.

На рис.7. зображені фото досліджуваних культивованих грибів глива звичайна до та після радіаційно-конвективного сушіння:



**Рис. 7. Культивовані гриби глива звичайно до та після сушіння: а) 2,5 м/с; б) 3,5 м/с; в) 4,5 м/с; з) 5,5 м/с; д) свіжі гриби**

Як видно з рис.7 при швидкості теплоносія 4,5...5,5 м/с культивованні гриби глива звичайна після сушіння зберігають привабливий торговий вигляд, набувають характерного запаху для сушених грибів, а при 2,5...3,5 м/с гриби темніють, мають гіркуватий присмак та мало виявлений запах.

#### **Висновок**

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить, що вплив швидкості руху теплоносія на процес сушіння культивованих грибів має суттєве значення. Зі збільшенням швидкості теплоносія від 2,5 до 4,5 м/с інтенсивність процесу зневоднювання зростає на 30 %, до 5,5 м/с – на 40 %. В міру видалення вологи з матеріалу вплив швидкості руху теплоносія на процес зневоднювання зменшується. Враховуючи, що збільшення швидкості руху теплоносія призводить до зростання потужності вентиляційного обладнання сушильної установки, швидкість руху теплоносія доцільно підтримувати на оптимальному рівні 4,5...5,5 м/с. Така швидкість руху забезпечує необхідну інтенсивність сушіння і відносно невеликі енерговитрати під час зневоднювання.

#### **Список літератури**

1. Косяк Е. Потребительский рынок грибной продукции в Украине / Е. Косяк // Овощеводство. – 2011. – № 3. – С. 77–79.

2. Морозов А. И. Промышленное производство вешенки / Морозов А.И. – М.: АСТ; Донецк : Стаклер, 2006. – 111 с.
3. Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов. – М. : Агрпромиздат, 1985. – 503 с.
4. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности / А.С. Гинзбург. – Москва.: Пищевая промышленность, 1966. - 407 с.
5. Атаназевич В.И. Сушка пищевых продуктов / Справочное пособие. – М.: ДеЛи, 2000.-296 с.

### References

1. Kosyak Ye. Potrebitel'skiy rynek gribnoy produktisii v Ukraine / Ye. Kosyak // Ovoshchevodstvo . - 2011. - № 3. - S. 77-79.
2. Morozov A. I. Promyshlennoye proizvodstvo veshenki / Morozov A.I. - M .: AST ; Donetsk : Stakler , 2006. - 111 s.
3. Stabnikov V.N. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv / V.N. Stabnikov , V.M. Lysyanskiy , V.D. Popov. - M. : Agropromizdat , 1985. - 503 s.
4. Ginzburg A.S. Infrakrasnaya tekhnika v pishchevoy promyshlennosti / A.S. Ginzburg . - Moskva .: Pishchevaya promyshlennost' , 1966. - 407 s.
5. Atanazevich V.I. Sushka pishchevykh produktov / Spravochnoye posobiye . - M .: DeLi , 2000.-296 s.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС КОМБИНИРОВАННОЙ СУШКИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ГРИБОВ

**Аннотация:** наибольшие объемы расходов тепловой энергии требует сушка пищевой продукции. Соблюдение технологических требований должно обеспечить получение качественного полуфабриката, однако процесс сушки сопровождается увеличением затрат энергии. Представляется целесообразным изучить и реализовать на практике возможности использования экономического, с энергетической точки зрения совмещения, двух физических механизмов сушки (конвекционного и инфракрасного) и достижение на этой основе дальнейшего существенного снижения энергоемкости процесса обезвоживания.

**Ключевые слова:** радиационно-конвективный сушки, культивируемые грибы вешенка обыкновенная, облучения, энергозатраты, скорость теплоносителя.

### RESEARCH OF INFLUENCE HEAT TRANSFER AGENT VELOCITY CHANGES DURING COMBINED DRYING OF CULTIVATED MUSHROOMS

**Summary:** dry food needs the largest volume of the heat energy. Compliance with technical requirements should provide most of the intermediate product quality, but the drying process accompanied by an increase in energy expenditure. It is advisable to study and implement the use of economic power in terms combination of two physical mechanisms of drying (convection and infrared) and on this basis to achieve further significant reduction in energy intensity of dehydration process.

**Keywords:** radiation-convective drying, cultivated mushrooms oyster mushroom, radiation, power inputs, the rate of the coolant.