

УДК 66.047.41:[664.8:582.548.21]

## Експериментальні дослідження процесів сушіння бананів

Д. В. Гузик<sup>1</sup>, О. В. Череднікова<sup>2</sup>, Д. О. Дубчак<sup>3</sup>, Б. М. Нестеренко<sup>4</sup>, А. С. Передерій<sup>5</sup>, О. Г. Сімон<sup>6</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, [guzikd64@ukr.net](mailto:guzikd64@ukr.net), ORCID: 0000-0003-2130-951X

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, [al.chered108@gmail.com](mailto:al.chered108@gmail.com), ORCID: 0000-0003-4684-9870

<sup>3</sup>студ., Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, [dima.dubchak.2004@gmail.com](mailto:dima.dubchak.2004@gmail.com)

<sup>4</sup>студ., Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, [bogdannesterenko51@gmail.com](mailto:bogdannesterenko51@gmail.com)

<sup>5</sup>студ., Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, [aia.prdry020104@gmail.com](mailto:aia.prdry020104@gmail.com)

<sup>6</sup> студ. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, [tr13xh@gmail.com](mailto:tr13xh@gmail.com)

*Анотація. У статті розкрито актуальність теми – визначення ефективного способу підвищення терміну збереження продуктів харчування. Проаналізовано новітні дослідження та публікації, присвячені теоретичним і практичним аспектам технології виробництва сухих харчових продуктів. Визначено найважливіші вимоги до сушильних систем, розглянуто основні способи сушіння фруктових сировини, сформульовано цілі роботи. Представлено конструкцію камерної конвекційної сушарки для проведення випробувань в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції і теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Наведені отримані результати з сушіння бананів, їх аналіз та порівняння з вибором оптимального варіанта режиму сушки. Представлені висновки з виконаної роботи.*

*Ключові слова: штучне конвективне сушіння, сушильна камера, сировина, сушильний агент.*

**Вступ.** В умовах сьогодення для керівництва будь-якої країни світу гостро стоїть питання забезпечення громадян продуктами харчування. Сушіння – це ефективний спосіб зберігання смакових якостей сировини, який дозволяє зберегти біологічно активні речовини та збільшити їх термін придатності. Зважаючи на те, що в нашій країні введений воєнний стан та йде повномасштабне вторгнення країни-агресора, нашим захисникам потрібне швидке насичення організму. Військові, які виконують бойові завдання не завжди можуть повноцінно харчуватися, а організму потрібне швидке відновлення сил.

**Актуальність дослідження.** Сушіння сировини, зокрема продуктів харчування, дозволяє збільшити термін зберігання продукції за умов дотримання відповідних умов її зберігання [1,2]. Цей метод консервації є простим та економічним і дозволяє зменшити об'єми приміщень для зберігання продукції. Щоб зберегти зовнішній вигляд та корисні речовини продукту (бананів), важливо стежити за тим, щоб процес сушіння відбувався з дотриманням рекомендованого технологічного режиму (температури, вологості та швидкості руху сушильного агента) [3].

**Формулювання цілей статті.** Метою проведення експериментальних досліджень з сушки бананів (бананових слайсів) було визна-

чення оптимальних умов сушіння для збільшення їх терміну придатності, збереження якості та корисних речовин продукту. Дослідження включало в себе визначення впливу температури та швидкості повітря (сушильного агента) на процес штучного конвективного сушіння, а також визначення за результатами натурних експериментів оптимальних умов для отримання на виході якісної продукції.

**Основна частина.** Сушка продуктів харчування – це процес, який можна виконувати за різними методами. Для цього можна використовувати природні теплові джерела, такі як сонце, повітря або тепло, або ж використовувати спеціальні устаткування, які забезпечують штучне підігрівання. Крім того, існують інші методи сушки, такі як сушка під вакуумом або у середовищі рідкого азоту. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, тому вибір методу залежить від багатьох факторів, таких як тип сировини, вимоги до якості продукції, доступність устаткування та інші.

*Сушіння бананів природним теплом* – це процес, який відбувається за допомогою природних джерел тепла, таких як сонце та повітря. В цьому методі сушки свіжі банани поширюють на поверхні з плоскими та чистими місцями, де є добра вентиляція та протяг. Банани потрібно регулярно перемішувати, щоб забезпечити рівномірне сушіння.

Сонячне сушіння полягає в тому, що сировину розкладають на спеціальних площадках на відкритому повітрі з доступом до сонячних променів. Цей метод досить простий і ефективний, але його можливості обмежені погодними умовами та потрібен регіон зі стабільним та сильним сонячним випромінюванням і потребує наявності відкритих місць для сонячної експозиції.

Повітряно-тіньове сушіння виконується в приміщеннях з відкритими вікнами або вентиляційними отворами, що забезпечує природний потік повітря і відвід від негативних впливів сонячних променів. Цей метод дозволяє зберегти якість сировини, але тільки в умовах низької вологості повітря.

Обидва методи дозволяють зберегти корисні речовини в бананах, збільшити термін їх придатності та зменшити об'єми приміщень для їх зберігання, проте вони не завжди ефективні в умовах високої вологості повітря та не дозволяють досягти оптимального ступеня сушіння.

*Штучна сушка бананів* передбачає використання тепла, що створюється за допомогою електричних нагрівальних елементів, гарячого повітря або інфрачервоного випромінювання. Цей метод сушки є одним з найбільш ефективних, оскільки дозволяє швидко видалити вологу з продукту і забезпечити його стабільну якість та довготривалу збереженість.

У процесі штучної сушки бананів, свіжі плоди обробляються теплом, що забезпечує випаровування вологи з поверхні фруктів. Волога збирається у вигляді пари і відводиться з сушарки за допомогою вентиляційної системи. Чим швидше відводиться волога, тим швидше відбувається процес сушіння.

Крім того, важливо правильно підготувати фрукти до сушіння, знявши з них всі зовнішні пошкодження та очистивши від будь-яких забруднень. Також необхідно забезпечити вільний доступ повітря до продукту, щоб забезпечити рівномірне сушіння.

У результаті штучної сушки бананів отримується продукт, що має стабільний вологість і довготривалий термін зберігання. Такий спосіб сушки є ефективним для масового виробництва.

*Сушка бананів в вакуумі* є одним зі способів консервування фруктів та зберігання їх біологічно активних речовин. Процес сушіння відбувається за рахунок зменшення атмосферного тиску, що сприяє випаровування вологи з продукту при низькій температурі.

Спочатку банани піддаються попередній обробці, наприклад, промиванню та очищенню від зовнішніх забруднень. Далі їх нарізають на кришталево-чисті круглі скибочки товщиною близько 5 мм. Потім скибочки бананів розкладають у спеціальних пакетах для сушіння в вакуумі.

Пакети запаяні та готові для процесу сушіння. Сушіння відбувається в спеціальному обладнанні, де пакети з бананами поміщаються в камеру з вакуумним насосом. Насос зменшує тиск у камері до певного рівня, що сприяє ефективному випаровуванню вологи з бананів.

Після сушіння в вакуумі банани стають хрусткими та легкими. Цей метод зберігання їх дозволяє зберегти максимальну кількість біологічно активних речовин, включаючи вітаміни та мінерали, що робить їх корисними для здоров'я.

Іншою перевагою сушки бананів в вакуумі є збереження смакових якостей та аромату фруктів. Крім того, такий метод зберігання дозволяє продовжити термін придатності продукту до кількох років. Однак, процес сушіння в вакуумі може бути досить складним та вимагати спеціального обладнання та навичок.

*Сушка бананів у середовищі рідкого азоту* є одним зі способів збереження продукту і використовується, зокрема, в харчовій промисловості та в косметології.

Суть цього методу полягає в тому, що банани поміщають в камеру, де створюють високий тиск та низьку температуру. За рахунок цього, вода у бананах переходить у стан твердого або газоподібного азоту, не залишаючись в продукті у вигляді рідини, що дозволяє зберегти якість та корисні властивості бананів.

Основною перевагою цього методу є те, що він дозволяє зберегти більшість вітамінів, мінералів та інших корисних речовин у бананах. Також, зберігання бананів у середовищі рідкого азоту зменшує ризик розвитку плісняви та інших шкідливих мікроорганізмів.

Проте, використання цього методу має деякі обмеження. Особливої уваги потребує правильна підготовка бананів до сушіння, так як вони можуть пошкодитись через різку зміну температури. Також, обладнання для зберігання бананів у середовищі рідкого азоту є досить дорогим, тому використовується переважно у високотехнологічних виробництвах.

**Опис стенду.** Для дослідження процесу сушіння використовували камерну конвективну сушарку, яка знаходиться в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції і теплоенергетики Національного університету "Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка" (Рис. 1) [4,5].

Сушильна камера для сировини є основним елементом даного лабораторного стенду (Рис. 2) [6,7]. Вона виготовлена з дерев'яних щитів, з утепленням з пінополістиролу товщиною 25 мм. Додатково для зменшення тепловтрат внутрішня поверхня сушильної камери вкрита шаром харчової фольги. Стенд містить дверцята в яких виготовлено оглядове віконце. Воно допомагає спостерігати за процесом сушіння і температурою всередині камери. Камера обладнана лампою холодного світла.

Рух повітря (агента сушіння) в стенді забезпечує каналний вентилятор шведської фірми "Systemair" марки KV160M з можливістю зміни витрати за допомогою регулятора кількості обертів робочого колеса нагнітача. Температурний режим під час проведення натурних вимірювань регулювався за допомогою електричного калорифера фірми "AeroStar" (м. Київ, Україна) марки SEH 50-25/22,5. Калорифер має 9-ть ТЕНів, потужність 2,5 кВт кожний.



Рис. 2 Загальний вигляд робочого простору камери: 1 – лампа освітлення, 2 – термометр фіксації температури агента сушіння в камері, 3 – решітки для розміщення сировини



Рис. 1 Лабораторний стенд для проведення натурних досліджень: 1 – камера, 2 - каналний вентилятор, 3 - електрокалорифер, 4 – термометри для фіксації температури агента сушіння до та після камери, 5 – регулятор кількості обертів робочого колеса нагнітача, 6 – вікно для візуального спостереження процесу сушіння, 7 – ваги

**Проведення натурних досліджень.** При проведенні досліджень ставилась задача визначення інтенсивності зменшення ваги продукту – слайсів бананів і отримання вихідного якісного кінцевого продукту в результаті варіації змін кіль-

кісно-якісних показників параметрів агента сушіння (повітря) – тобто його температури та кількості (швидкості руху) при проходженні його крізь робочий об'єм камери сушіння.

У відповідності до рекомендацій з сушіння бананів нами були проведені експерименти для

визначення рівню впливу на інтенсивність зміни ваги продукту – швидкості руху агента сушіння та його температури.

Температура агента сушіння в даній установці може регулюватись шляхом увімкнення різної кількості ТЕНів та одночасною зміною швидкості руху повітря і відповідно його витрати. Останній параметр визначався відносно швидкості повітря, яка вимірювалась електронним анемометром в місці виходу повітря зі шафи через патрубок круглого перетину діаметром 160 мм.

Сам експеримент складався з двох етапів, при увімкненні 2-ох ТЕНів (загальною потужністю 5 кВт), та лише зміні витрати агента сушіння, який проходив через сушильну камеру. При цьому середня температура в робочому просторі камери в першому та другому експериментах підтримувалась на рівні:  $t_{\text{кам}} = 49,3 \text{ }^\circ\text{C}$  та  $t_{\text{кам}} = 69 \text{ }^\circ\text{C}$ , що близько до рекомендованого значення температури сушіння бананів на рівні  $50 \div 70 \text{ }^\circ\text{C}$ . За результатами експериментів був побудований графік зміни температури у камері сушіння (Рис. 3).

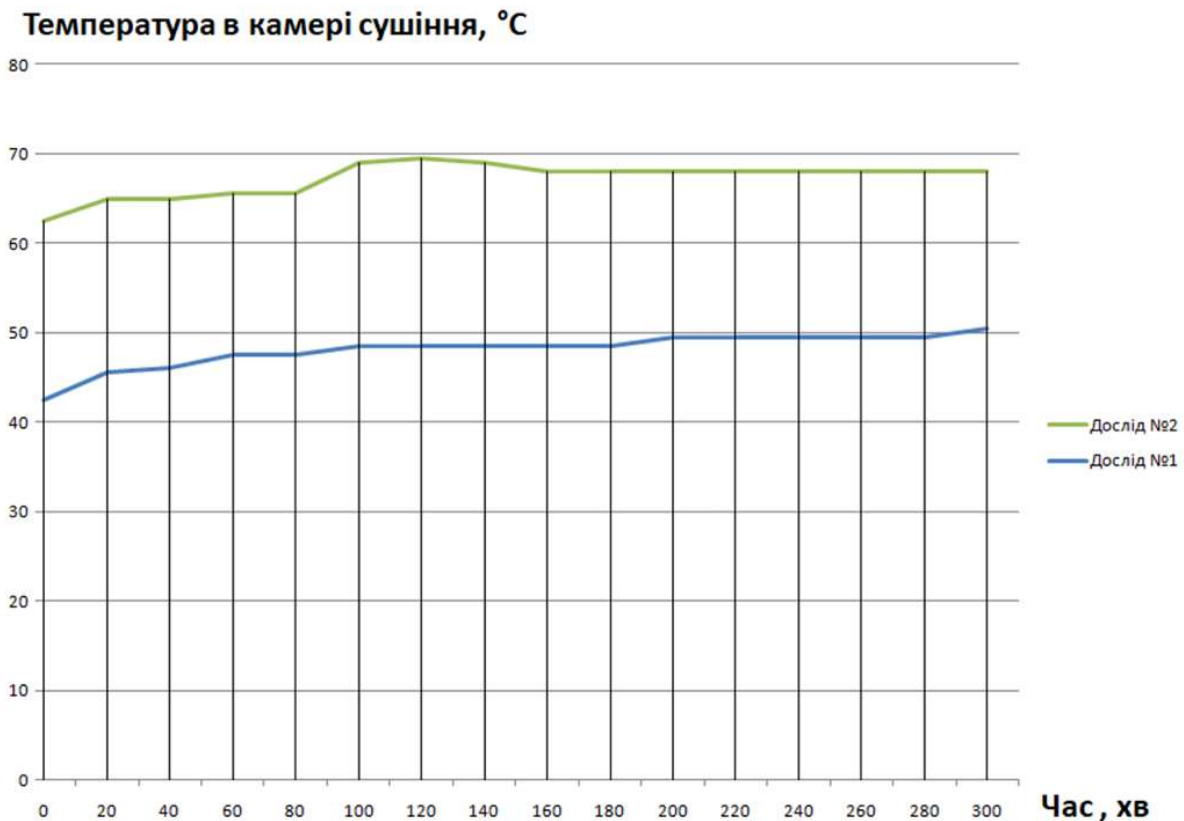


Рис. 3 Графік зміни температури у камері сушіння

Головним параметром, який визначався в ході експерименту була зміна маси сировини (від початкової ваги) за певний проміжок часу і отримання в результаті якісної продукції. На кожному етапі проведення дослідів, було виділено 5 годин. Для сушіння були використані банани (Рис. 4).

До початку експериментів завчасно вмикався стенд для встановлення сталого температурного режиму в камері. Перед розміщенням сировини в сушильну камеру її попередньо було зважено. В процесі експерименту проводяться заміри маси сировини (її зміни) за певний проміжок часу, а саме кожні 20 хвилин проведення експерименту. Банани були порізані на слайси товщиною 0,5 мм та розкладені по всій площині

решітки (Рис. 5, 6).



Рис. 4 Підготовка сировини для проведення експерименту



Рис. 5 Слайси бананів на решітці перед завантаженням у камеру



Рис. 6. Сировина в камері сушіння

Для коректного зняття показів ваги (її зміни в часі) слайсів бананів використовувалось “дистанційне” вимірювання ваги решітки разом з дослідною партією сировини за допомогою встановлених і з’єднаних через подовжувач електронних вагів з можливістю точних вимірювань зміни ваги до 0,01 гр. (Рис. 7).

Результати двох дослідів були зведені в таблицю 1.



Рис. 7 Процес зняття показів ваги сировини

## Результати досліджень

Номер досліджу		1	2
Теплова потужність ТЕНів , кВт		5	
Середня температура в камері сушіння, °С		49,3	69
Швидкість агента сушіння в камері, м/с		0,4	0,24
Положення регулятора швидкості		5	3
Маса сировини, гр	початкова 0 хв.	0,353	0,353
	після 20 хв.	0,319	0,243
	після 40 хв.	0,319	0,243
	після 60 хв.	0,269	0,243
	після 80 хв.	0,269	0,193
	після 100 хв.	0,269	0,193
	після 120 хв.	0,269	0,193
	після 140 хв.	0,219	0,193
	після 160 хв.	0,219	0,123
	після 180 хв.	0,219	0,123
	після 200 хв.	0,219	0,123
	після 220 хв.	0,219	0,123
	після 240 хв.	0,219	0,123
	після 260 хв.	0,219	0,123
	після 280 хв.	0,169	0,123
після 300 хв.	0,169	0,123	

За результатами двох дослідів можна проаналізувати як відбувався процес сушіння. Для більш чіткого поняття інтенсивності сушки слайсів бананів, був побудований графік зменшення маси за 5-ть годин на протязі кожної серії експерименту (Рис. 8).

За результатами досліджень можна зробити попередній висновок, що найбільш оптимальним варіантом сушіння слайсів бананів був отриманий за умов досліджу №2, а саме: при температурі в камері конвективного сушіння 69 °С (рекомендована 50-70 °С), та швидкості

руху агента сушіння 0,24 м/с. При таких параметрах агента сушки втрачається найбільше вологи, а з точки зору технології сушіння ми не вийшли за рамки рекомендованого температурного режиму і можемо отримати якісну продукцію (слайсів бананів) з мінімальними енергетичними втратами. Як видно з останнього графіку при проведенні експерименту №2 – вже за дві години і 40 хвилин маса сировини не змінювалась, що краще за показники експерименту №1.

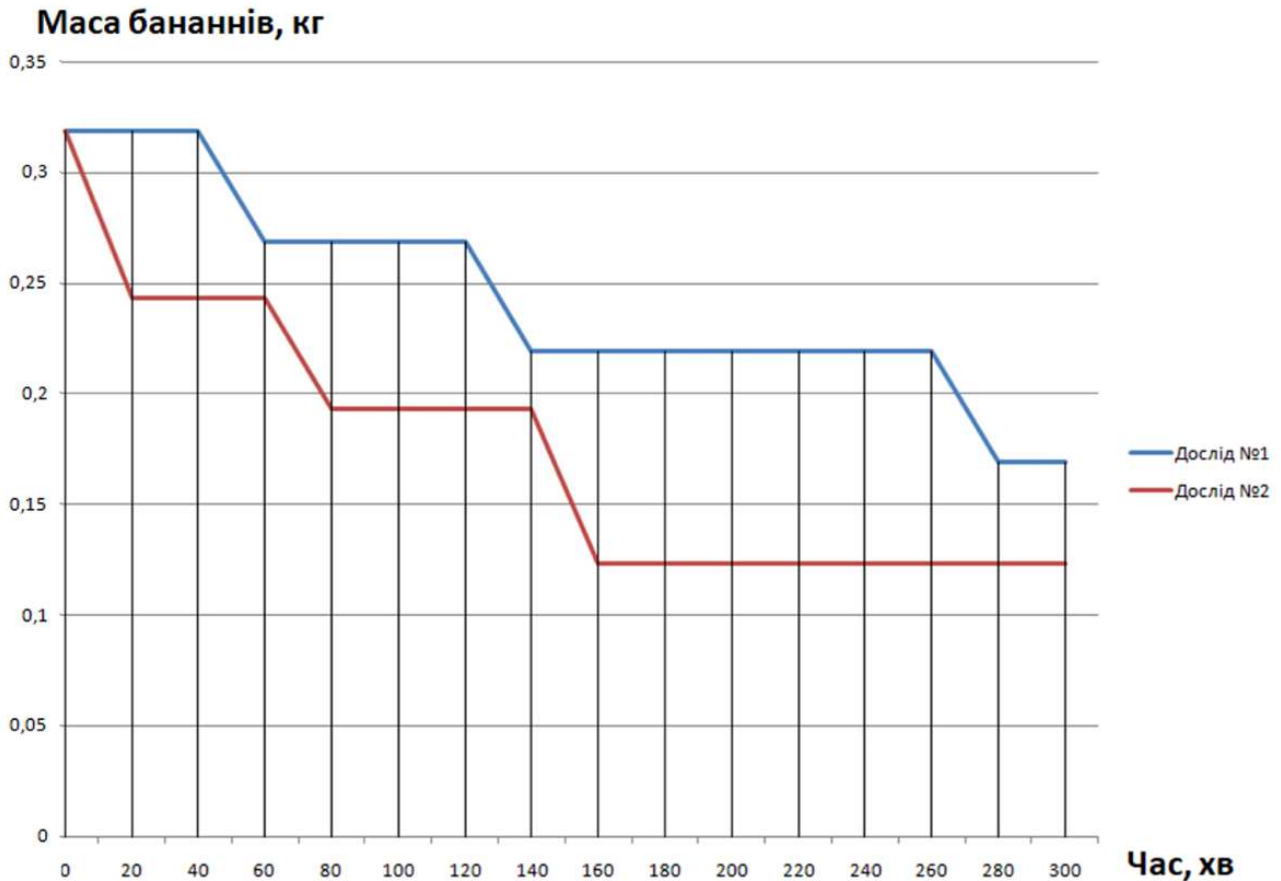


Рис. 8. Графік зміни маси сировини відносно часу знаходження у камері сушіння

**Висновки.** Порівняльний аналіз способів сушіння з точки зору термінів отримання якісного кінцевого продукту дає перевагу на користь штучного конвективного сушіння. Для отримати на виході якісного продукту сушіння потрібно використовувати установки з можливістю одночасної зміни кількісно-якісних параметрів агента сушіння (температура і швидкість руху повітря). Для досягнення коректної фіксації показів зміни температури агента сушіння та ваги сировини, процес зняття показів цих параметрів необхідно проводити без порушення температурного режиму сушильної камери – застосовуючи засоби візуального зняття показів

температури та “дистанційного” зняття ваги, так як це реалізовано на даному стенді. З проведених дослідів було визначено найбільш доцільний варіант сушіння бананів, в якому була отримана якісна сировина за менший проміжок часу та з мінімальними енергозатратами, а саме: при температурі в камері 69 °С, та швидкості руху повітря 0,24 м/с. Для проведення детального аналізу фактичних енергетичних і експлуатаційних витрат при кожному режимі сушки необхідне проведення додаткових лабораторних досліджень на даному устаткуванні.

#### References

1. Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки : навч. пос./ С. Й.Ткаченко, О. Ю.Співак. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – Режим доступу: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf> – Назва з екрана.
2. О.С. Бессараб Технологія сушіння плодів та овочів : консп. лек./ О.С. Бессараб, В. В. Шутюк. - Київ: НУХТ, 2002. – Режим доступу: [http://ktc.nuft.edu.ua/wp-content/uploads/pdf/Technologiya\\_sushinnya\\_plodiv\\_ta\\_ovosthiv.pdf](http://ktc.nuft.edu.ua/wp-content/uploads/pdf/Technologiya_sushinnya_plodiv_ta_ovosthiv.pdf) – Назва з екрана.
3. Комп’ютерна система керування сушильною камерою Режим доступу: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/541/524>.
4. Експериментальні випробування лабораторного стенда для дослідження процесів сушіння / к.т.н., доц., Гузик Д. В., Єршов М. П. // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вип. 27 / відповідальний редактор Е. С. Малкін. – Київ: КНУБА, 2018. – С. 52-60 с.

5. Гузик Д. В. Експериментальні дослідження процесів сушіння лікарських рослин / Д. В. Гузик, О. Б. Борщ, А. В. Рибалка // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. - Вип. 30 / відповідальний редактор В. О. Мілейковський. – Київ: КНУБА, - 2019. - С. 43-50.

6. Гузик Д.В. Лабораторні дослідження процесів сушіння лікарських трав при застосуванні примусової конвекції / Д.В.Гузик, А.В.Рибалка // Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 2. (Полтава, 22 квітня – 17 травня 2019 р.) – Полтава: Полт НТУ, 2019. – С. 180-181.

7. Гузик Д.В. Експериментальні дослідження процесів сушіння фруктів / Д.В. Гузик, А.В. Рибалка / Збірник наукових праць матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сучасної теплоенергетики» присвяченої 100-річчю професора Бориса Харлампієвича Драганова, 10-11 грудня 2020, р., за організацією Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, 2020. С. 155-170.

**UDC 697.91:697.97**

## **Experimental studies of banana drying processes**

Dmitriy Guzyk<sup>1</sup>, Oleksandra Cherednikova<sup>2</sup>, Dmytro Dubchak<sup>3</sup>, Bohdan Nesterenko<sup>4</sup>, Alina Perederii<sup>5</sup>, Oleksiy Simon<sup>6</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, [guzikd64@ukr.net](mailto:guzikd64@ukr.net), ORCID: 0000-0003-2130-951X

<sup>2</sup>PhD, associate professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, [al.chered108@gmail.com](mailto:al.chered108@gmail.com), ORCID: 0000-0003-4684-9870

<sup>3</sup>Student, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, [dima.dubchak.2004@gmail.com](mailto:dima.dubchak.2004@gmail.com)

<sup>4</sup>Student, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava Ukraine, [bogdannesterenko51@gmail.com](mailto:bogdannesterenko51@gmail.com)

<sup>5</sup>Student, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, [aia.prdry020104@gmail.com](mailto:aia.prdry020104@gmail.com)

<sup>6</sup>Student., National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, [tr13xh@gmail.com](mailto:tr13xh@gmail.com)

*Abstract: In today's conditions, the issue of providing citizens with food products is an actual task for the leadership of any country in the world. Considering the fact that our country is under martial law and a full-scale invasion of the aggressor country is underway, our defenders need a quick saturation of the body. Soldiers performing combat tasks cannot always eat well, and the body needs quick recovery. Drying is an effective method of preserving the taste qualities of raw materials, which allows you to preserve biologically active substances and increase their shelf life. The design of a chamber convection dryer for testing in the laboratory of the Department of Heat and gas supply, ventilation, and thermal power engineering of the National University "Yuri Kondratiuk Poltava Polytechnic" was presented. The obtained results of banana drying, their analysis, and comparison with the selection of the optimal option for the drying mode were given. A comparative analysis of drying methods to obtain a high-quality final product gives an advantage in favor of artificial convective drying. In order to obtain a high-quality drying product at the output, it is necessary to use installations with the possibility of simultaneously changing the quantitative and qualitative parameters of the drying agent (temperature and speed of air movement). From the conducted experiments, the most appropriate variant of banana drying was determined, in which high-quality raw materials were obtained in a shorter period of time and with minimal energy consumption, namely: at a temperature in the chamber of 69 °C and an air movement speed of 0.24 m/s. In order to carry out a detailed analysis of the actual energy and operating costs for each drying mode, it is necessary to conduct additional laboratory tests.*

*Keywords: convective drying, drying chamber, raw materials, drying agent.*

Надійшла до редакції / Received 28.03.2023