

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук
Омельченко О. В., канд. техн. наук
Лісовий С. Р., здобувач СВО магістра
Шилін А. С., здобувач СВО бакалавра
Корінь К. О., здобувач СВО бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ БАНАНІВ

UDC (66.047.4/.5:634.771): 001.8(045)

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences
Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences
Lisovy S. R., a graduate of a master's degree
Shilin A. S., a graduate of a bachelor degree
Koryn K. O., a graduate of a bachelor degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rig, Ukraine), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

RESEARCH AND OPTIMIZATION OF CONVECTION DRYING PROCESSES OF BANANAS

Мета. Метою статті є оптимізація процесів сушіння плодовоовочевої сировини на прикладі бананів.

Методи. У роботі для дослідження процесів сушіння бананів при різних температурних режимах, застосовано метод конвективного сушіння.

Результати. Зазначено, що багато різновидів плодовоовочевої сировини дуже швидко втрачає істотні властивості через високий вміст вологи: груші, яблука, абрикоси, сливи, гриби тощо. Для запобігання втратам якості (аромат, колір, зовнішній вигляд, поживні властивості) та збільшення терміну зберігання, застосовують різноманітні методи, зокрема сушіння, яке є ефективним методом обробки плодовоовочевої сировини. Вважається, що при зневодненні продукти харчування повинні зберігати такі критерії якості: колір, форма і текстура. Тому важливим є пошук оптимальних температурних режимів сушіння для різних видів плодовоовочевої сировини. Сконцентровано увагу на тому, що методи сушіння харчової сировини спрямовані на виготовлення високоякісної безпечної сировини та покращення ефективності обробки. У зв'язку з цим пропонується, застосовувати не лише традиційні методи сушіння, а й поєднувати деякі методи сушіння, задля скорочення часу висихання та зниження споживання енергії. Для оптимізації процесів сушіння сировини було проведено дослідження, яке передбачало сушіння бананів за допомогою конвективного методу, а саме в сушильній шафі з примусовою конвекцією. Для сушіння банани було нарізано на скибочки товщиною 10 мм. Температура сушіння для різних зразків становила 35°C, 60°C та 80°C, час сушіння однаковий. Показниками якості було обрано критерії: колір (однорідний без опіків та пошкоджень); форма (однорідна за обсягом), текстура (відносно тверда, не крихка). Було отримано результати, які свідчать, що температура сушіння бананів – 35°C занадто низька, тому ефективність сушіння знижується і призводить до отримання недосушених (в'ялених) бананів. У процесі сушіння бананів при температурі 60°C отримали

сушені банани, які мають відповідний зовнішній вигляд (однорідний колір без опіків та пошкоджень), форму (однорідна за обсягом), текстуру (тверда, не крихка). Температура сушіння бананів – 80°C є занадто високою, поверхневий шар бананів швидко став твердим, що призвело до зменшення розмірів та втрати соковитості. Отримані сушені банани, при температурі сушіння 80°C, мають не відповідний зовнішній вигляд (неоднорідний колір з деякими опіками), форму (неоднорідна за обсягом, спостерігається зменшення розмірів), текстуру (тверда, крихка).

Ключові слова: конвективне сушіння, комбіновані методи сушіння, критерії якості, показники якості, колір, форма, текстура, банани.

Постановка проблеми. Багато різновидів плодовоовочевої сировини дуже швидко втрачає споживчі властивості через високий вміст вологи: груші, яблука, абрикоси, сливи, гриби тощо. Для запобігання втратам якості (аромат, колір, зовнішній вигляд, поживні властивості) та збільшення терміну зберігання, застосовують різноманітні методи, зокрема сушіння, яке є ефективним методом обробки плодовоовочевої сировини.

Видалення вологи із сировини є необхідним етапом виробництва, який проходить із застосуванням певних температурних режимів, що дозволяє тривалий час зберігати кінцевий продукт без порушення його органолептичних властивостей. Зневоднення призводить до зниження активності бактерій, дріжджів та цвілі, що запобігає псуванню та можливості зберігання продукту при температурі навколишнього середовища [1-4]. Тому з-поміж основних параметрів, що впливають на якість продуктів, що підлягають сушінню є температура. Деяка рослинна сировина дуже чутлива до нагрівання, бо її якість суттєво може знизитися, якщо вона буде піддаватися надмірному температурному режиму. Занадто сильне нагрівання призводить до пошкодження зовнішньої поверхні, яка може стати дуже сухою в короткий проміжок часу, обгоріти або занадто підсмажитися, що не буде приваблювати споживача. Тому якість продукції набуває все більшого значення у процесі сушіння харчових продуктів. При зневодненні плодовоовочева сировина повинна зберігати такі критерії якості, як колір, форму і текстуру. Тому важливим є дослідження та обґрунтування оптимальних температурних режимів сушіння.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом науковці приділяють багато уваги удосконаленню методів сушіння продуктів харчування. Вважається, що сушіння зазвичай описує процес видалення вологи для отримання твердого продукту. Передача енергії у вигляді тепла від навколишнього середовища до вологого твердого тіла може відбуватися в результаті конвекції, провідності або випромінювання, а в деяких випадках і в результаті поєднання деяких методів [5]. Для ефективного здійснення процесу сушіння продуктів харчування застосовують різноманітні сушарки за способом підведення теплоти вони класифікуються на такі види сушіння: конвективне, контактне, діелектричне, мікрохвильове, сублімаційне тощо.

Конвекція є найпоширенішим способом сушіння плодовоовочевої сировини. Під час конвективного сушіння попередньо оброблені овочі піддаються дії гарячого повітряного потоку 50°C-90°C [6, 7, 8]. Проте при даному методі сушіння зневоднена сировина має тривалий час сушіння, що може спричинити втрати поживних речовин, а також нерівномірне висихання, що спричиняє опіки та пошкодження. Так, наприклад, імбир є традиційним рослинним лікарським засобом, який використовують як приправу в різних країнах світу. Процес зневоднення не тільки продовжує сировині час зберігання, а й забезпечує відповідну якість і смак. Зневоднені скибочки імбиру можуть використовуватися як чіпси або подрібнюватися в імбирний порошок. Тому для збереження антиоксидантних властивостей імбиру його краще сушити при більш низьких температурах, бо високі температури сушіння можуть призвести до втрати вітамінів та мінералів, що недопустимо для даного виду сировини. Для отримання високоякісного висушеного продукту перевага віддається нижчій температурі сушіння.

Інфрачервона сушка відбувається шляхом впливу на свіжий продукт електромагнітного випромінювання в діапазоні довжин хвиль 0,8–1000 мкм. Енергія інфрачервоного випромінювання передається від джерела нагріву до поверхні об'єкту сушіння, взаємодіючи з внутрішньою структурою сировини, що сприяє збільшенню температури та швидкості випаровування вологи [7, 8]. Під час процесу ІЧ-сушіння середовище для передачі енергії від джерела до продуктів харчування не потрібне.

Мікрохвильове і радіочастотне сушіння відносять до діелектричного сушіння. Процес нагріву полягає у взаємодії між електромагнітним полем, яке створюється радіочастотним генератором і молекулярними води, що містяться у продукті. Вода в овочевій сировині часто є основним компонентом, який відповідає за діелектричне нагрівання/сушіння, оскільки є від природи біполярна, вона нагрівається, що призводить до випаровування [7, 8]. Удосконалення методів сушіння харчової сировини спрямовані на виготовлення високоякісної безпечної сировини та покращення ефективності обробки. Тому останнім часом пропонується поєднання деяких методів сушіння, задля скорочення часу висихання та зниження споживання енергії зберігаючи при цьому високу якість продукції. Розглянемо деякі комбіновані методи сушіння, які застосовуються у харчовому виробництві (табл. 1).

Таблиця 1 – Комбіновані методи сушіння

Комбіновані методи сушіння	Характеристика
Поєднання конвективної сушки з вакуумно-мікрохвильовою сушкою	Призводить до отримання продуктів кращої якості при меншій вартості процесу, а також меншому енергоспоживанні [7, 8]
Поєднання ІЧ-випромінювання з сублімаційним сушінням	Позитивно впливає на якість сушеної сировини та має великий потенціал у промисловому застосуванні, бо сублімаційне сушіння є досить повільним і часто малопродуктивним процесом [8, 10]
Поєднання інфрачервоного та вакуумного сушіння сировини	Прискорює процес сушіння за рахунок ІЧ-випромінювання та отримання сировини високої якості, застосовуючи вакуумне сушіння, яке уможливорює досушування продукти через більш низьку температуру сушіння [7, 9]
Поєднання ІЧ-випромінювання та конвективного сушіння	Ефективний і швидкий метод сушіння, має високу якість висушених продуктів, зменшення часу сушіння, зниження споживання енергії та підвищення енергоефективності [7, 8, 9]
Поєднання вакуумно-мікрохвильового сушіння	Є досить ефективним методом, оскільки процес передбачає використання вакууму, який забезпечує швидкий масообмін і низьку температуру в поєднанні з мікрохвильовим нагріванням, що сприяє прискоренню передачі теплової енергії [7, 8, 10]

Якість продукції набуває все більшого значення у процесі сушіння харчових продуктів. При зневодненні продукти харчування повинні зберігати такі критерії якості: колір, форма і текстура. Тому важливим є пошук оптимальних температурних режимів сушіння для різних видів плодовоовочевої сировини.

Мета статті – оптимізація процесів сушіння плодовоовочевої сировини на прикладі бананів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Колір є одним з найголовніших критеріїв якості, що оцінюється споживачами, які мають певні очікування щодо якості продукту,

особливо зовнішнього вигляду, бо схильні до асоціацій кольору та його візуальних властивостей зі смаком. Тому колір і форма вважаються основними критеріями сприйняття готового продукту [7]. Не менш вагомим критерієм є текстура, яка має відповідати певним вимогам якості, а саме бути незанадто твердою, однорідною по всій пластині, крихкою при механічному впливі. Для оптимізації процесів сушіння сировини було проведено дослідження, яке передбачало сушіння бананів за допомогою конвективного методу, а саме в сушильній шафі з примусовою конвекцією. Для сушіння банани було нарізано на скибочки товщиною 10 мм. Температура сушіння для різних зразків становила 35°C, 60°C та 80°C, час сушіння для всіх зразків був однаковий. Показниками якості було обрано критерії: колір (однорідний без опіків та пошкоджень); форма (однорідна за обсягом), текстура (відносно тверда, не крихка). Розглянемо отримані якісні показники сушених бананів, зневоднених за різної температури.

Перший дослід передбачав сушіння бананів при температурі 35°C, рис. 1. Як відомо, такі параметри, як температура та швидкість повітряного потоку можна регулювати у процесі сушіння, а отже колір і форма можуть зберігатися в допустимих межах після висихання. Якщо температура занадто низька, ефективність сушіння знижується і може призвести до отримання продукції низької якості. Так, у процесі сушіння при таких низьких температурах було отримано в'ялені банани.

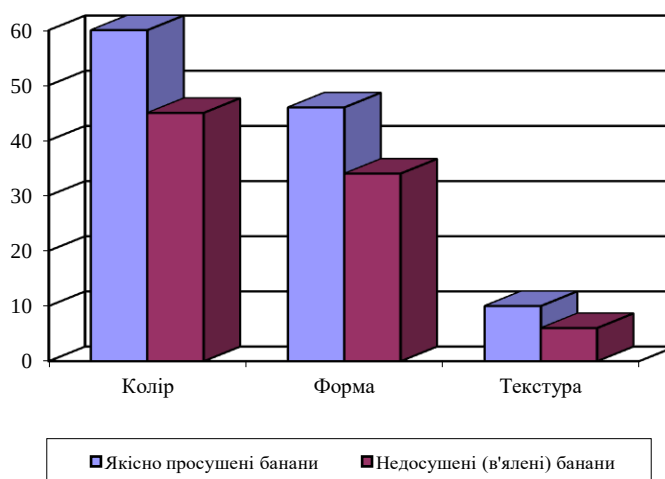


Рисунок 1 – Порівняння критеріїв якості недосушених (в'ялених) бананів з якісно просушеною сировиною

Другий дослід передбачав сушіння бананів при температурі 60°C, рис. 2. Отримані сушені банани, при температурі сушіння 60°C, мають відповідний зовнішній вигляд (однорідний колір без опіків та пошкоджень), форму (однорідна за обсягом), текстуру (тверда, не крихка).

Третій дослід передбачав сушіння бананів при температурі 80°C, рис. 3. Температура сушіння бананів при 80°C є занадто високою, бо поверхневий шар сировини швидко став твердим і це призвело до деякого зменшення розмірів скибочок, втрати поживних речовин та соковитості. Спостерігається зміцнення зовнішнього шару продукту, що призводить до пересушення та навіть деякого потемніння в середині бананів, що є неприйнятними для споживання.

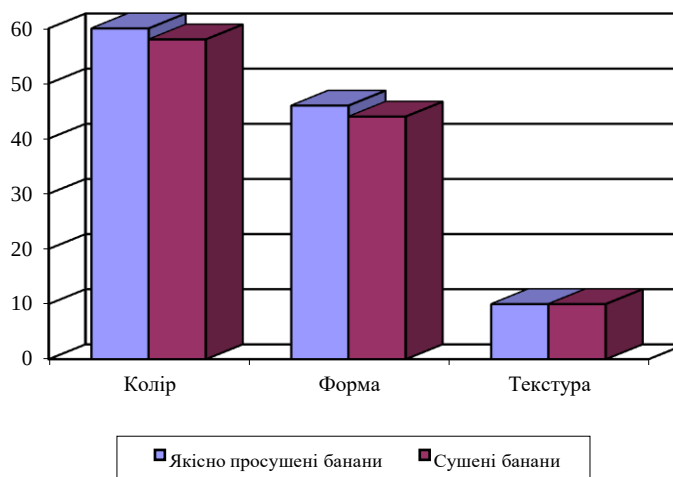


Рисунок 2 – Порівняння критеріїв якості якісно просушеної сировини

Отримані сушені банани, при температурі сушіння 80°C, мають не відповідний зовнішній вигляд (неоднорідний колір з деякими опіками), форму (неоднорідна за обсягом, спостерігається деяке зменшення розмірів), текстуру (тверда, крихка).

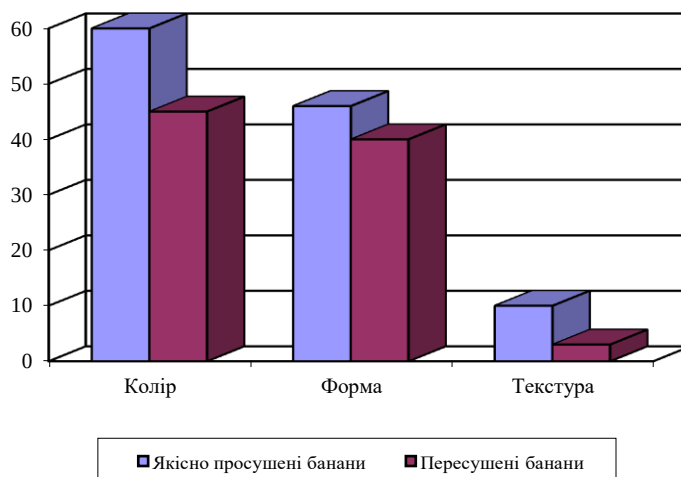


Рисунок 3 – Порівняння критеріїв якості пересушених бананів з якісно просушеною сировиною

Зразки сушених бананів при різних температурах представлено на рис. 4.



Рисунок 4 – Зразки сушених бананів при різних температурах

Отже, для оптимізації процесів сушіння сировини було проведено дослідження, яке передбачало сушіння бананів за допомогою конвективного методу, а саме в сушильній шафі з примусовою конвекцією. Для сушіння банани було нарізано на скибочки товщиною 10 мм. Температура сушіння для різних зразків становила 35°C, 60°C та 80°C, час сушіння однаковий. Показниками якості було обрано критерії: колір (однорідний без опіків та пошкоджень); форма (однорідна за обсягом), текстура (відносно тверда, не крихка). Було отримано результати, які свідчать, що температура сушіння бананів – 35°C занадто низька, тому ефективність сушіння знижується і призводить до отримання недосушених (в'ялених) бананів. У процесі сушіння бананів при температурі 60°C отримали сушені банани, які мають відповідний зовнішній вигляд (однорідний колір без опіків та пошкоджень), форму (однорідна за обсягом), текстуру (тверда, не крихка). Температура сушіння бананів – 80°C є занадто високою, поверхневий шар бананів швидко став твердим, що призвело до зменшення розмірів та втрати соковитості. Отримані сушені банани, при температурі сушіння 80°C, мають не відповідний зовнішній вигляд (неоднорідний колір з деякими опіками), форму (неоднорідну за обсягом, спостерігається зменшення розмірів), текстуру (тверда, крихка).

Висновки. Зазначено, що багато різновидів плодовоовочевої сировини дуже швидко втрачає їстівні властивості через високий вміст вологи: груші, яблука, абрикоси, сливи, гриби тощо. Для запобігання втратам якості (аромат, колір, зовнішній вигляд, поживні властивості) та збільшення терміну зберігання, застосовують різноманітні методи, зокрема сушіння, яке є ефективним методом обробки плодовоовочевої сировини. Тому якість продукції набуває все більшого значення в процесі сушіння харчових продуктів. При зневодненні продукти харчування повинні зберігати такі критерії якості: колір, форма і текстура. Тому важливим є пошук оптимальних температурних режимів сушіння для різних видів плодовоовочевої сировини.

Сконцентровано увагу на тому, що методи сушіння харчової сировини спрямовані на виготовлення високоякісної безпечної сировини та покращення ефективності обробки. Тому останнім часом пропонується поєднання деяких методів сушіння, задля скорочення часу висихання та зниження споживання енергії зберігаючи при цьому високу якість продукції.

Для оптимізації процесів сушіння сировини було проведено дослідження, яке передбачало сушіння бананів за допомогою конвективного методу, а саме в сушильній шафі з примусовою конвекцією. Для сушіння банани було нарізано на скибочки товщиною 10 мм. Температура сушіння для різних зразків становила 35°C, 60°C та 80°C, час сушіння однаковий. Показниками якості було обрано критерії: колір (однорідний без опіків та пошкоджень); форма (однорідна за обсягом), текстура (відносно тверда, не крихка). Було отримано результати, які свідчать, що температура сушіння бананів – 35°C занадто низька, тому ефективність сушіння знижується і призводить до отримання недосушеної сировини. У процесі сушіння бананів при температурі 60°C отримали сушені банани, які мають відповідний зовнішній вигляд (однорідний колір без опіків та пошкоджень), форму (однорідна за обсягом), текстуру (тверда, не крихка). Температура сушіння бананів – 80°C є занадто високою, поверхневий шар бананів швидко став твердим, що призвело до зменшення розмірів та втрати соковитості. Отримані сушені банани, при температурі сушіння 80°C, мають не відповідний зовнішній вигляд (неоднорідний колір з деякими опіками), форму (неоднорідна за обсягом, спостерігається зменшення розмірів), текстуру (тверда, занадто крихка).

Список літератури

1. Євлаш О.В., Неміріч А. В., Гавриш Т.А. Дослідження якості сушених капусти та кабачків під час зберігання. *Наукові праці НУХТ*. 2012. № 46. С. 55–59.
2. Donald G. Mercer. An introduction to food dehydration and drying. New York: Apple Academic Press, 2010. 83 p.
3. Huzova I.O., Atamanyuk V.M. Dynamics of drying processes of plant raw material in the period of decreasing speed. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. Vol. 30. P. 419–430.

4. Górnicki K., Kaleta A. Drying curve modelling of blanched carrot cubes under natural convection condition. *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol. 82. P. 146–152.
5. Arun S. Mujumdar, Anilkumar S. Menon. Drying of Solids: Principles, Classification, and Selection of Dryers. New York: CRC Press, 2020. 30 p.
6. Drying technology in food processing. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/19/10597>.
7. Arun S. Mujumdar. Advances in Drying Science and Technology: Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products. New York: CRC Press, 2017. 537 p.
8. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/9/1261>.
9. Бессараб О.С. Технологія сушіння плодів та овочів. К.: НУХТ, 2008. 84 с.
10. Тарасенко Т.А., Євлаш В.В., Неміріч О.В. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. № 4 (64), 2015. С. 148–158.

References

1. Yevlash, O.V., Nemirich, A. V., Havrysh, T.A. (2012). *Doslidzhennya yakosti sushenykh kapusty ta kabachkiv pid chas zberihannya* [Study of the quality of dried cabbage and zucchini during storage]. *Naukovi pratsi NUKHT* [Scientific works of NUHT]. Vol. 46. P. 55–59.
2. Donald, G. Mercer. (2010). *Vstup do znevodnennya ta sushinnya yizhi* [An introduction to food dehydration and drying]. New York: Apple Academic Press, 83 p.
3. Huzova, I.O., Atamanyuk, V.M. (2022). *Dynamika protsesiv sushinnya roslynnoyi syrovynyv period znyzhennya shvydkosti* [Dynamics of drying processes of plant raw material in the period of decreasing speed]. *Zhurnal khimiyi ta tekhnolohiy* [Journal of Chemistry and Technologies]. Vol. 30. P. 419–430.
4. Górnicki, K., Kaleta, A. (2007). *Modelyuvannya kryvoyi sushinnya blanshovanykh kubykiv morkvy v umovakh pryrodnoyi konvektsiyi* [Drying curve modelling of blanched carrot cubes under natural convection condition]. *Zhurnal kharchovoyi inzheneriyi* [Journal of Food Engineering]. Vol. 82. P. 146–152.
5. Arun, S. Mujumdar, Anilkumar, S. Menon. (2020). *Sushinnya tverdykh rehovyn: pryntsypy, klasyfikatsiya ta vybir susharok* [Drying of Solids: Principles, Classification, and Selection of Dryers]. New York: CRC Press, 30 p.
6. *Tekhnolohiya sushinnya v kharchoviy promyslovosti* [Drying technology in food processing]. Access mode: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/19/10597>.
7. Arun, S. Mujumdar. (2017). *Dosyahnennya nauky ta tekhnolohiyi sushinnya: Posibnyk iz sushinnya ovochiv ta ovochevykh produktiv* [Advances in Drying Science and Technology: Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products]. New York: CRC Press, 537 p.
8. *Porivnyannya tradytsiynykh i novykh tekhnolohiy sushinnya ta yikh vplyv na yakist' fruktiv, ovochiv i aromatnykh trav* [Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs]. Access mode: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/9/1261>.
9. Bessarab, O.S. (2008). *Tekhnolohiya sushinnya plodiv ta ovochiv* [Technology of drying fruits and vegetables]. Kyiv: NUHT, 84 p.
10. Tarasenko, T.A., Yevlash, V.V., Nemirich, O.V. (2015). *Teoretychne doslidzhennya sposobiv sushinnya ovochiv ta fruktiv* [Theoretical study of methods of drying vegetables and fruits]. *Naukovyy visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhys'koho* [Scientific Bulletin of the LNUVMBT named after S.Z. Gzhitskyi]. Vol. 4 (64), P. 148–158.

Objective. The purpose of the article is to optimize the drying processes of fruit and vegetable raw materials using bananas as an example.

Methods. In this work, the convective drying method was used to study the processes of drying bananas at different temperature conditions.

Results. It has been noted that many varieties of fruit and vegetable raw materials very quickly lose their edible properties due to high moisture content: pears, apples, apricots, plums, mushrooms, etc. To prevent loss of quality (aroma, color, appearance, nutritional properties) and increase shelf life, various methods are used, in particular drying, which is an effective method for processing fruit and vegetable raw materials. It is believed that when dehydrated, products must retain the following quality criteria: color, shape and texture. Therefore, it is important to search for optimal drying temperature conditions for various types of fruit and vegetable raw materials. Attention is focused on the fact that methods of drying food raw materials are aimed at producing high-quality safe raw materials and improving processing efficiency. In this regard, it is proposed to use non-cast traditional drying methods, but also combine some drying methods to reduce drying time and reduce energy consumption. To optimize the drying processes of raw materials, a study was conducted that involved drying bananas using the convective method, namely in a forced convection drying cabinet. For drying, bananas were cut into 10 mm thick slices. The drying temperature for different samples was 35°C, 60°C and 80°C, and the drying time was the same. The following criteria were chosen as quality indicators: color (uniform without burns or damage); shape (uniform in volume), texture (relatively hard, not brittle). Results were obtained indicating that the banana drying temperature of 35°C is too low, so the drying efficiency is reduced and leads to under-dried raw materials. In the process of drying bananas at a temperature of 60°C, dried bananas were obtained that had the appropriate appearance (uniform color without burns or damage), shape (uniform in volume), texture (hard, not brittle). The banana drying temperature of 80°C is too high; the surface layer of bananas quickly became hard, which led to a decrease in size and loss of juiciness. The resulting dried bananas at a drying temperature of 80°C have an inappropriate appearance (inhomogeneous color with some burns), shape (inhomogeneous in volume, a decrease in size is observed), and texture (hard, too brittle).

Key words: convective drying, combined drying methods, quality criteria, quality indicators, color, shape, texture, bananas.