

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ЗНЕВОДНЕННЯ ЯБЛУК ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ФРУКТОВИХ ЧИПСІВ

Ю.Ф. Снежкін, О.В. Гусарова

Наведено результати досліджень впливу тепловологісних параметрів сушильного агента на процес зневоднення яблук, до низької залишкової вологості під час виробництва фруктових чипсів, обґрунтовано використання ступеневих режимів сушіння яблук. Визначений енергоефективний режим сушіння, який забезпечує скорочення енерговитрат на 10–15% та дозволяє отримувати якісний продукт із максимальним збереженням вітамінів, мінералів, корисних речовин, аромату та кольору.

Ключові слова: яблучні чипси, тепловологісні параметри сушильного агента, ступеневе зневоднення, енергоефективність.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЯБЛОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФРУКТОВЫХ ЧИПСОВ

Ю.Ф. Снежкин, Е.В. Гусарова

Представлены исследования влияния тепловлажностных параметров сушильного агента на процесс обезвоживания яблок до низкой остаточной влажности при производстве фруктовых чипсов, обосновано использование ступенчатых режимов сушки яблок. Определен энергоэффективный режим, который обеспечивает сокращение энергозатрат на 10–15% и позволяет получать качественный продукт с максимальным сохранением витаминов, минералов, полезных веществ, аромата и цвета.

Ключевые слова: яблочные чипсы, тепловлажностные параметры сушильного агента, стадийное обезвоживание, энергоэффективность.

THE DETERMINATION OF OPTIMAL MODES OF APPLES DRYING IN THE PRODUCTION OF FRUIT CRISPS

Yu. Snezhkin, O. Husarova

A new form of dried products for Ukrainian consumers is fruit and vegetable crisps. These include crisps from apples, pears, persimmons, quinces, bananas, beets, carrots, white roots, etc. Fruit or vegetable crisps are thin lamina of fruits or vegetables obtained without frying. Fruit or vegetable crisps obtained by drying to low residual moisture. Their characteristic is the lack in the composition of cholesterol, carcinogens and more.

Scientific development technologies drying crisps involved in many countries (USA, China, Korea, Thailand, Serbia, Poland, Hungary, Russia and Belarus), but Ukraine does not pay enough attention to such studies.

The article describes the innovative technologies that are used in the world for the production of fruit and vegetables crisps, in particular apple crisps. The main disadvantages of the methods for producing crisps are also indicated. Objects of research were Reinette Simirenko apples. The optimal degrees regimes of drying of apples in the production of fruit crisps are presented in the article. The drying curves Reinette Simirenko apples and organoleptic properties apple chips are analyzed. The obtained energy-efficient mode of drying apples with thermal and humidity of the drying agent parameters: temperature 80...60°C, speed of 1,5–2 m/s, moisture content of 10 g/kg dry air. The proposed regime will reduce energy consumption by 10–15%. The proposed regime allows to obtain a quality product with maximum preservation of vitamins, minerals, nutrients, flavor and color.

The results used to develop energy efficient production technology of apple crisps, developed and approved technical specifications "Chips fruit and vegetable". The technology is protected by 9 patents of Ukraine.

Keywords: *apple crisps, thermal and humidity parameters of the drying agent, phasic dehydration, energy efficiency.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Серед фруктів яблука є поширеним продуктом, який практично цілий рік присутній у нашому раціоні харчування. Згідно з даними Державної служби статистики України та «АПК-Информ: овощи & фрукты» виробництво яблук в Україні має стійку тенденцію до зростання [1; 2]. За даними [2] за останні 10–13 років, починаючи з 2004 року, виробництво яблук в Україні зросло в 1,5 рази. До 2014 року 90% яблук вивозилися до Російської Федерації, 10% у ЄС. Ураховуючи нинішню політичну ситуацію, близько 15% яблук вивозиться в країни ЄС, а решту треба переробляти та зберігати.

Як відомо, термін зберігання свіжої харчової сировини рослинного походження невеликий. Ферментативні, мікробіологічні та біохімічні зміни призводять до псування сировини досить швидко й під час зберігання їхні втрати можуть сягати до 50%. Одним із найбільш ефективних методів збереження свіжої харчової сировини є сушіння. Сушена продукція не потребує великих площ для зберігання та транспортування, в ній збережені корисні речовини, вона має довготривалий термін зберігання.

Новою формою сушеної продукції для українського споживача є фруктово-овочеві чипси. Зокрема, найбільш поширені – яблучні. Фруктові або овочеві чипси – це тонкі пластинки фруктів чи овочів, отримані сушінням до низької залишкової вологості, без обсмаження, тому їх характерною відзнакою є відсутність у складі холестерину, канцерогенів тощо. Вони ароматні, смачні та, що дуже важливо, –

натуральні. Завдяки цьому чипси набувають популярності та попиту. Процес термічного зневоднення є основним у технологічному циклі отримання фруктових чипсів і визначає якість готового продукту та енергетичні показники виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз доступних літературних та інтернет-джерел показав, що існує значна кількість технологій для виробництва фруктово-овочевих чипсів. Науковими розробками технологій сушіння чипсів займаються у багатьох країнах світу (США, Китаї, Кореї, Таїланді, Сербії, Польщі, Угорщині, Росії та Білорусії) [3–9], проте в Україні не приділяють достатньої уваги подібним дослідженням. Тому цією проблемою почали займатися в Інституті технічної теплофізики НАН України.

Більшість технологій отримання фруктових чипсів містять такі основні етапи [3–9]: миття, видалення або невидалення насіннєвої камери, нарізання кружальцями і/або напівкружальцями, обробку сировини на стадії підготовки сировини до сушіння (або на заключному етапі обробку готового продукту) стабілізаторами, підсилювачами смаку та ін., сушіння (основний процес у технологічному циклі виробництва чипсів), охолодження готового продукту та пакування. Існуючі технології мають певні недоліки: наявність додаткових операцій, таких як очищення від шкірочки; внесення додаткових сировинних компонентів для підсилення смаку готового продукту; використання складного та дорогого обладнання; режимів із багатьма змінними параметрами; температур (понад 60°C) або низьких 40...50°C, що погано впливає на термолабільні матеріали; відносно високі теплові втрати в навколишнє середовище і недостатнє використання теплового потенціалу теплоносія під час конвективного сушіння; використання енергії СВЧ-хвиль, що негативно позначаються на здоров'ї людини та ін. Фруктові та овочеві чипси за рахунок внесення ароматичних спецій штучного походження втрачають природний смак; додаткові операції та обладнання збільшують витрати на виробництво, підвищують собівартість кінцевого продукту. При цьому сушіння високоволової сировини, якими є фрукти та овочі, у зазначеному тепловому режимі (температури 40...50°C) призводить до зростання тривалості процесу сушіння і, як наслідок, до збільшення енерговитрат, а сушіння за високих температур до втрат корисних речовин у сировині.

Розробка енергоефективної теплотехнології виробництва яблучних чипсів є актуальним завданням через відсутність в Україні масового промислового виробництва чипсів. Окрім того, вирішення питань зниження енергоспоживання та інтенсифікації процесу сушіння є актуальним науково-технічним завданням.

Мета статті. Дослідження впливу тепловологісних параметрів сушильного агента (с. а.) на процес сушіння яблук сорту Ренет Симиренка до низької залишкової вологості. Обґрунтування та розробка енергоефективних режимів сушіння яблук з метою інтенсифікації процесу зневоднення в теплотехнологіях виробництва фруктових чипсів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення енергоефективних режимів сушіння проведено дослідження впливу температури та швидкості с. а. на процес зневоднення яблук сорту Ренет Симиренка, нарізаних кільцями товщиною 3–4 мм з видаленою серцевиною. Зневоднення здійснювалось методом конвективного сушіння до кінцевого вологовмісту не більше 8% за температур с. а. від 60 до 120°C, та у режимах ступеневого зневоднення за температур 80...60°C, 90...70...60°C, 70...65...60°C і за швидкості с. а. 1,5 м/с, вологовмісті – 10 г/кг_{с.п.} При визначенні впливу швидкості с. а. на процес сушіння рослинної сировини швидкості складали від 0,5 до 3 м/с за ступеневого режиму 80...60°C, вологовмісті – 10 г/кг_{с.п.}

Результати експериментальних досліджень показали (рис. 1), що за температури с. а. 120°C тривалість процесу сушіння скорочується майже в 4 рази порівняно з сушінням за 60°C. Зразки мали неприпустиме коричневе забарвлення, смак та запах, не властивий вихідній сировині, крім того відбулось руйнування вітамінів. За температури с. а. 60°C зневоднювальний матеріал знаходився досить тривалий термін під впливом небажаного фактора температура-час, в результаті чого відбулось окислення зразків.

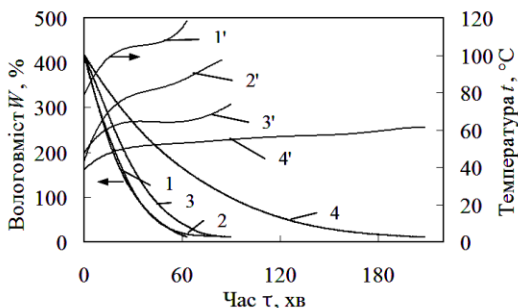
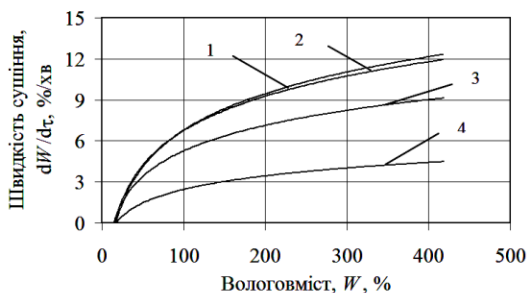


Рис. 1. Вплив температури сушильного агента на кінетику процесу зневоднення яблук за $V=1,5$ м/с, $d=10$ г/кг_{с.п.}:
1, 1' – $t=120^\circ\text{C}$, 2, 2' – $t=100^\circ\text{C}$, 3, 3' – $t=80^\circ\text{C}$, 4, 4' – $t=60^\circ\text{C}$

Чим вища температура с. а., тим відповідно вища швидкість зневоднення яблук (рис. 2). Так, за температури с. а. 120°C, швидкість зневоднення яблук до низької залишкової вологості у 2,6 рази вища, ніж за температури с. а. 60°C. Добре видно, що при досушуванні до низької залишкової вологості в міру видалення адсорбційної вологи, найбільш міцно пов'язаної з матеріалом, уповільнюється швидкість її видалення, тривалість процесу зростає, швидкість сушіння різко спадає, що призводить до збільшення енергетичних витрат.



**Рис. 2. Вплив температури сушильного агента на швидкість процесу зневоднення яблук за $V=1,5$ м/с, $d=10$ г/кг_{сн}:
1 – $t=120^{\circ}\text{C}$, 2 – $t=100^{\circ}\text{C}$, 3 – $t=80^{\circ}\text{C}$, 4 – $t=60^{\circ}\text{C}$**

Із теплотехнічної точки зору для інтенсифікації зневоднення температуру сушильного агента маємо підвищувати, але основною вимогою під час сушіння рослинних матеріалів до низької залишкової вологості є ретельний вибір температурного рівня з урахуванням гранично допустимих температур зневоднювального матеріалу. Ураховуючи термолабільність фруктової сировини, її максимально допустима температура складає 45...60°C.

Як видно з температурних кривих і кривих сушіння (рис. 1), нагрівання яблук відбувається швидше, ніж їх зневоднення, швидке збільшення температури матеріалу за температур сушіння 120, 100 та 80°C не дозволяє видалити необхідну кількість вологи, не перевищивши гранично допустиму температуру. Використання високих температур для термолабільних матеріалів можливе лише на стадії видалення вільної вологи.

У зв'язку з цим фрукти треба сушити при ступеневих режимах. За таких режимів підвищується енергоефективність процесу зневоднення, скорочується час сушіння, а також зберігаються корисні

речовини рослинної сировини. При використанні ступеневих режимів на початку процесу сушіння, на стадії видалення вільної вологи, використовують високу температуру с. а., а за досягнення матеріалом гранично допустимої температури її стадійно знижують. На підставі аналізу та узагальнення результатів експериментальних досліджень [10] розроблено ступеневі режими проведення процесу, відповідно до яких здійснюється зниження температури с. а. залежно від виду об'єкта зневоднення та контроль тривалості перебування зневоднювального матеріалу у середовище певної температури, завдяки чому виключається перегрів матеріалу й руйнування термолабільних речовин фруктової сировини.

За всіх ступеневих режимів зневоднення спостерігалось скорочення часу сушіння яблук (рис. 3). Тривалість процесу сушіння скорочується на 40% у разі зневоднення у ступеневому режимі за температур с. а. 80...60°C, ніж за температури 60°C. Отримані чипси мали бажані органолептичні показники (смак та запах, властивий вихідній сировині, світло-кремовий колір, хрустка структура).

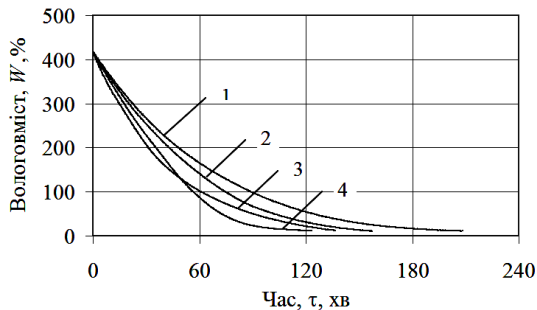


Рис. 3. Ступеневі режими зневоднення яблук при $V=1,5$ м/с, $d=10$ г/кг_{ен}: 1 – $t=60^\circ\text{C}$, 2 – $t=70\dots65\dots60^\circ\text{C}$, 3 – $t=90\dots70\dots60^\circ\text{C}$, 4 – $t=80\dots60^\circ\text{C}$

Установлено, що зі збільшенням швидкості с. а. до 3 м/с (рис. 4) тривалість процесу сушіння скорочується в 3,5 разу порівняно зі швидкістю 0,5 м/с, але зростають енергетичні витрати на досягнення необхідної швидкості с. а. Зменшення швидкості с. а. до 0,5 м/с призводить до різкого збільшення тривалості процесу сушіння під час досушування до низької залишкової вологості, що негативно позначається на органолептичних показниках готових яблучних чипсів. Найбільш оптимальні результати отримано за швидкості с. а.

1,5–2 м/с. Тривалість процесу сушіння скорочується на 45–55%, швидкість видалення вологи більша в 1,7–1,9 разу, ніж за швидкості 0,5 м/с. Отримані чипси мали бажані органолептичні показники.

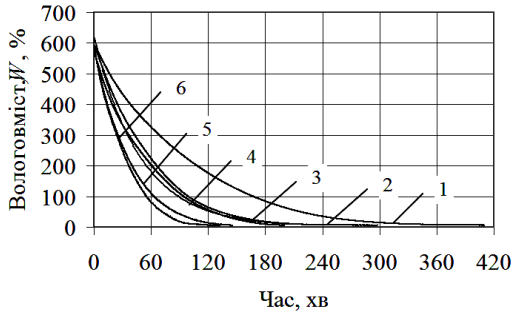


Рис. 4. Вплив швидкості сушильного агента на процес зневоднення яблук при $t=80\dots60^{\circ}\text{C}$, $d=10$ г/кг_{с.п.}: 1 – 0,5 м/с, 2 – 1,0 м/с, 3 – 1,5 м/с, 4 – 2 м/с, 5 – 2,5 м/с, 6 – 3 м/с

Отримані чипси відповідають Технічним умовам «Чипси фруктові, овочеві» ТУУ.10.3-05417118–053:2016 за фізико-хімічними показниками якості та мікробіологічними показниками.

Висновки. Для запобігання погіршенню якісних показників готового продукту рекомендується проводити процес сушіння в режимі ступеневого зневоднення за параметрів с. а.: температурі $80\dots60^{\circ}\text{C}$, швидкості 1,5–2 м/с та вологовмісті 10 г/кг_{с.п.}. Пропонований режим забезпечує скорочення енерговитрат на 10–15%, дозволяє отримувати якісний продукт із максимальним збереженням вітамінів, мінералів, корисних речовин, аромату та кольору.

На базі одержаних результатів запропоновано енергоефективну теплотехнологію виробництва яблучних чипсів, розроблено та затверджено технічні умови «Чипси фруктові, овочеві». Технологія захищена 9 патентами України.

Список джерел інформації / References

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
State Statistics Service of Ukraine [“Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy”], available at: www.ukrstat.gov.ua (accessed May 2017).
2. АПК-Информ : овощи & фрукты, информация для плодоовощного рынка СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fruit-inform.com/ru>.

“Fruit-Inform, information for the fruit and vegetable business of the CIS” [„APK-Inform: ovoshhi & frukty”, informacija dlja plodoovoshhnogo rynka SNG”], available at: www.fruit-inform.com/ru (accessed May 2017)

3. Желтоухова Е. Ю. Научное обеспечение процесса комбинированной радиационно-конвективной сушки фруктовых и овощных чипсов при импульсном энергоподводе : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Воронеж, 2013. – 20 с.

Zheltoyhova, E.Y. (2013), *Scientific support of the process of combined radiation-convective drying of fruit and vegetable chips with pulsed energy supply: Author's thesis [Nauchnoe obespechenie protsessa kombinirovannov radiatsionno-konvektivnoy sushki fruktovyih i ovoschnyih chipsov pri impulsnom energopodvode]*, Voronezh, 20 p.

4. Калашников Г. В. Энергоресурсосберегающая линия производства плодовоовощных чипсов / Г. В. Калашников, Е. В. Литвинов // Адаптация ведущих технологических процессов к пищевым машинным технологиям материалы международной научно-технической конференции в 3 ч. Ч. 3. Воронеж, 2012. – С. 184–186.

Kalashnikov, G. and Litvinov, E. (2012), “Energy-saving production line for fruit and vegetable chips” [“Energoresursosberegayuschaya liniya proizvodstva plodoovoschnyih chipsov”], *Materials Of The International Scientific And Technical Conference "Adaptation Of Leading Technological Processes To Food Machine Technologies"*, Voronezh, Vol. 3, pp. 184-186.

5. Королев А. А. Технология производства плодовоовощных чипсов методом комбинированного обезвоживания / А. А. Королев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – № 10. – С. 29–30.

Korolev, A. (2012), “Technology of production of fruit and vegetable chips by the method of combined dehydration” [“Tehnologiya proizvodstva plodoovoschnyih chipsov metodom kombinirovannogo obezvozhivaniya”], *Storage And Processing Of Agricultural Raw Materials*, No. 10, pp. 29–30.

6. Sham, P., Scaman, C. and Durance, T. (2001), “Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety”, *Journal of Food Science*, Vol. 66, No. 9, pp.1341-1347.

7. Jo Gyu Pyo, (2014), “*Preparing method of apple chips*”, Korean. Pat. No 1020140040963.

8. Патент № 10964 Республика Беларусь. МПК A23L1/212, A23B7/005. Способ производства пищевого продукта из яблок / Арнаут С. А., Ловкис З. В. – № a20060519; заявл. 26.05.2006; опубл. 30.12.2007.

Arnaud, S.A. and Lovkis, Z.V. (2006), “*Method for making of foodstuff from apples*” [“*Sposob proizvodstva pishheвого produkta iz jablok*”], BLR, Pat. No. 10964.

9. Plocharski, W. and Konopacka, D. (2002). “*Method of manufacturing diet chips of vegetables and fruits*”, PL. Pat. No WO 2002074102.

10. Снежкин Ю. Ф. Анализ факторов повышения эффективности процесса сушки термолabileльных материалов / Ю. Ф. Снежкин, Р. А. Шапарь // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31. – № 7. – С. 110–112.

Snezhkin, Y., Shapar, R. (2009), "An analysis of factors that increase efficiency of the process of drying of thermolabile materials" ["Analiz faktorov povyisheniya effektivnosti protsessa sushki termolabilnyih materialov"], *Industrial Heat Engineering*, Vol. 31, No 7, pp.110–112.

Снежкін Юрій Федорович, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, директор Інституту технічної теплофізики НАН України, зав. відділом тепломасопереносу в теплотехнологіях. Адреса: Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, 03057, Україна. e-mail: ittf_ntps@ukr.net.

Снежкин Юрий Федорович, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НАН Украины, директор Института технической теплофизики НАН Украины, зав. отделом тепломассопереноса в теплотехнологиях. Адрес: Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, г. Киев, 03057, Украина. E-mail: ittf_ntps@ukr.net.

Snezhkin Yuriy, doc. of Technical Sciences, Prof., Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Director of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Head Department of Thermal Mass Transfer in Heat Technology. Address: Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Zhelyabova str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine. E-mail: ittf_ntps@ukr.net.

Гусарова Олена Віталіївна, наук. співроб., відділ тепломасопереносу в теплотехнологіях Інституту технічної теплофізики НАН України. Адреса: Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, 03057, Україна. E-mail: O.V.Husarova@nas.gov.ua.

Гусарова Елена Витальевна, научн. сотр., отдел тепломассопереноса в теплотехнологиях Института технической теплофизики НАН Украины. Адрес: Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, г. Киев, 03057, Украина. E-mail: O.V.Husarova@nas.gov.ua.

Husarova Olena, Research Assistant of the Department of Thermal Mass Transfer in the Thermotechnologies of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Address: Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Zhelyabova str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine. E-mail: O.V.Husarova@nas.gov.ua.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. М.І. Погосжих.

Отримано 30.09.2017. ХДУХТ, Харків.

DOI: 10.5281/zenodo.1108530