Секція 2. ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 664.8.039.4:631.365

ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ НА ПРОЦЕС ВАКУУМНОГО СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

О.І. Черевко, В.М. Михайлов, О.А. Маяк, А.М. Сардаров

Розглянуто нові маловідхідні енергозбережні способи виробництва концентрованих продуктів на основі плодоовочевої сировини: цукатів, пастоподібних концентратів напоїв, сухих конфітюрів і роздільних концентратів. Досліджено реологічні властивості розроблених концентрованих продуктів та процеси їх виробництва, зокрема вібраційне вакуумне сушіння.

Ключові слова: *концентровані продукти, плодоовочева сировина, вібрація, сушіння.*

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА ПРОЦЕСС ВАКУУМНОЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

А.И. Черевко, В.М. Михайлов, О.А. Маяк, А.М. Сардаров

Рассмотрены новые малоотходные энергосберегающие способы производства концентрированных продуктов на основе плодоовощного сырья: цукатов, пастообразных концентратов напитков, сухих конфитюров и раздельных концентратов. Исследованы реологические свойства разработанных концентрированных продуктов и процессы их производства, а именно вибрационная сушка.

Ключевые слова: *концентрированные продукты, плодоовощное сырье, вибрация, сушка.*

THE EFFECT OF VIBRATION ON THE PROCESS OF VACUUM DRYING OF VEGETABLE RAW MATERIALS

A. Cherevko, V. Mykhailov, O. Mayak, A. Sardarov

The article discusses the new energy-saving low-waste methods of production of concentrated products based on fruit and vegetable raw materials:

© Черевко О.І., Михайлов В.М., Маяк О.А., Сардаров А.М., 2015

candied fruits, pasty beverage concentrates, dry confitures and separate concentrates. The proposed method of production of concentrated products involves the following core processes: milling fruit and vegetable raw materials, boiling down under vacuum and vacuum drying. In the production of paste-like beverage concentrates and confitures boiling of the puree under vacuum in the conditions of constant mixing of the concentrate is assumed. In the production of candied fruit and separate concentrates vacuum drying of raw materials with subsequent grinding is to be used. For the intensification of the drying process it is proposed to use the vibrating effect. Vibration (mechanical vibrations) is selected as the universal form of mechanical stress, allowing to achieve the destruction of the product's structure, which increases the mass transfer area of the surface during the drying process. The paper proposes a scheme of the experimental setup. The experiments showed that application of vibration reduces duration of the drying process by 30%. The equations allow you to calculate the length of the vibrating vacuum drying plant material required in the determination of energy expenditure.

Keywords: *concentrated products, fruit and vegetable raw materials, vibration, drying.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Підвищення якості готової продукції в харчовій промисловості досягається шляхом створення нових прогресивних технологій, що дозволяють отримувати натуральні високоякісні продукти з одночасним зменшенням втрат сировини, зниженням матеріальних і енергетичних витрат. Плодоовочева сировина – це основне джерело вуглеводів, вітамінів, органічних кислот, мінеральних солей, дубильних, ароматичних та інших цінних у харчовому і лікувальному відношенні речовин. Проте в процесі їх переробки за існуючими технологіями велика частина біологічно активних речовин втрачається, тому актуальним завданням є створення нових способів переробки плодоовочевої сировини, що дозволять зберегти харчову та біологічну цінність вихідної сировини. Такі технології дозволяють отримувати продукти лікувально-профілактичного, дієтичного харчування, у тому числі для харчування людей, які працюють в екстремальних умовах. Ці властивості мають високов'язкі концентровані продукти з плодоовочевої сировини, оскільки через високий вміст сухих речовин кількість вітамінів, мікроелементів і клітковини в них підвищена. Важливим є виробництво концентрованих продуктів на основі вже наявного досвіду з переробки такої сировини, як буряк, морква, гарбуз, кабачок, чорна смородина, малина, вишня, слива, айва, груші, абрикоси й особливо яблука, що є масою сировиною та має високі споживчі якості.

Запропонований спосіб виробництва концентрованих продуктів містить такі основні технологічні процеси: подрібнення

плодоовочевої сировини, уварювання під вакуумом і вакуумне сушіння. Під час виробництва пастоподібних концентратів напоїв і конфітюрів передбачається уварювання пюре під вакуумом в умовах постійного перемішування концентрату, у ході виробництва цукатів і роздільних концентратів – вакуумне сушіння сировини з наступним подрібненням. Для інтенсифікації процесу сушіння сировини запропоновано використовувати вібраційний вплив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні процес вакуумного сушіння широко застосовується в харчовій промисловості. У свою чергу відомо вплив вібрації на інтенсифікацію багатьох технологічних процесів [1]. Серед різних форм механічних впливів на дисперсні системи в технологічних масообмінних процесах вібрація займає особливе місце як найбільш ефективний засіб створення регульованого динамічного стану дисперсних систем [2; 3]. Таким чином, викликає інтерес дослідження кінетики вакуумного сушіння рослинної сировини в умовах дії вібраційного поля.

Мета статті – дослідження впливу вібрації на процес сушіння рослинної сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Харчові дисперсні системи за хімічним складом є в більшості органічними сполуками; можливості регулювання їх динамічного стану за рахунок підвищення температури досить обмежені, а в багатьох випадках цей спосіб узагалі неприйнятний. Водночас відомо, що одним із способів інтенсифікації технологічних процесів у харчовій промисловості, перебіг яких супроводжується конвективною дифузією, є досягнення максимуму активної поверхні поділу між фазами в результаті руйнування структури, у тому числі агрегатів та частинок із «оголенням» активної міжфазної поверхні й вивільненням розподіленої в структурній сітці дисперсійного середовища. Однак створення регульованого динамічного стану в концентрованих дисперсних системах, що необхідно як для вивчення їх реологічних властивостей, так і для проведення низки хіміко-технологічних процесів, за допомогою традиційних методів неможливе. Причина полягає в неможливості досягнення під час зсувного деформування висококонцентрованих в'язкопластичних систем із рідким дисперсійним середовищем граничного руйнування структури.

Спроби розв'язання цього завдання шляхом підвищення енергії або потужності механічних впливів, що підводяться до дисперсної системи, наприклад збільшенням швидкості деформації за умов використання пастоподібних систем, зазвичай не приводять до очікуваного результату, тому що дисипація підведеної енергії в

дисперсній системі нерівномірна за обсягом і має локальний характер, тобто не дозволяє ізотропно зруйнувати структуру. Універсальною формою механічного впливу, що дозволяє усунути цю перешкоду, є вібрація (механічні коливання з регульованими частотами й амплітудами).

Для дослідження кінетики вакуумного сушіння рослинної сировини в умовах дії вібраційного поля була створена експериментальна установка – вакуум-апарат з нагрівальною оболонкою, усередині якого підвішувалася на тросі сталева сітка з розміщеними в ней зразками плодоовочевої сировини. Тросик під'єднувався до генератора вібрацій, зробленого у вигляді циліндра на опорних пружинах, усередині якого обертався валик із дисбалансами (рис.).

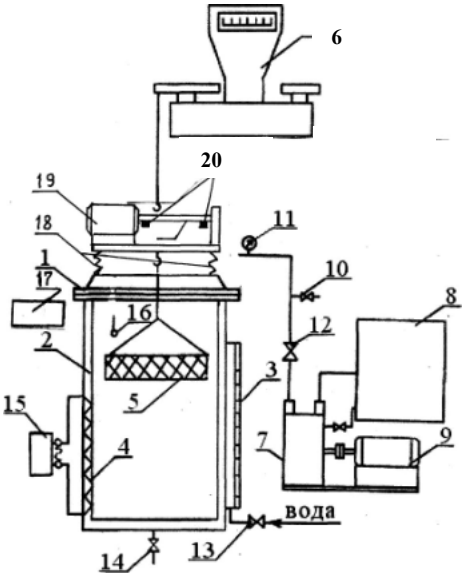

Рис. Схема експериментальної установки для дослідження процесу вібраційного вакуумного сушіння плодово-ягідної й овочевої сировини: 1 – апарат; 2 – оболонка; 3 – мірне скло; 4 – тени; 5 – кошик; 6 – ваги; 7 – насос; 8 – бак; 9 – електродвигун; 10 – дросельний вентиль; 11 – ма-нометр; 12, 13, 14 – вентилі; 15 – ватметр; 16 – термопара; 17 – мілівольтметр; 18 – пружина; 19 – електродвигун; 20 – дисбаланси; 21 – вал

Під час вакуумного сушіння періодично на короткий час тросик із сіткою під'єднувався до вагового пристрою для вимірювання зміни маси зразків.

Для описання кінетики вакуумного сушіння харчової сировини було обрано емпіричне рівняння (1), що описує криві сушіння s-подібного типу:

$$\frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = \exp\left[-(k\tau)^n\right], \tag{1}$$

де W – вологовміст, кг/кг; W_p – рівноважний вологовміст, кг/кг; W_0 – початковий вологовміст; k – розмірний кінетичний коефіцієнт, $с^{-1}$; n – безрозмірний кінетичний коефіцієнт.

Кінетичні коефіцієнти k, n пов'язані з масообмінними характеристиками – ефективним коефіцієнтом дифузії вологи та масообмінним коефіцієнтом Кирпичова.

$$k = \frac{a_{m\text{å}}}{R_v^{\,2}}, \tag{2}$$

$$n = A + B \cdot \mathrm{Ki}_m = A + B\,\frac{j_m l}{\rho_0 W_0 a_{m\text{å}}}, \tag{3}$$

де $a_{m\text{å}}$ – середній ефективний коефіцієнт дифузії вологи за весь період сушіння, $м^2/с$; $R_V = V/F$ – характерний розмір тіла, м; V – об'єм тіла, $м^3$; F – площа поверхні тіла, $м^2$; A, B – емпіричні постійні; KI_m – масообмінний критерій Кирпичова; j_m – густина потоку маси з поверхні тіла, $кг/м^2с$; l – характерний гідродинамічний розмір тіла, м; ρ_0 – маса сухої речовини в об'ємі тіла, $кг/м^3$.

У результаті регресійного аналізу з використанням рівнянь (1–3) та критеріального рівняння М.А. Верби отримали такі рівняння тривалості вібраційного вакуумного сушіння τ:

$$\tau = K_{\hat{a}}\,\frac{R_v^{\,2}}{a_{m\text{å}}}\left[\ln\left(\frac{W_0}{W_k}\right)\right]^{\left(1{,}156+2{,}273\cdot 10^{-6}\,\frac{\rho v}{\rho_0 W_0 a_{m\text{å}}}\cdot\frac{p_M - p}{p_M}\right)^{-1}} \tag{4}$$

$$K_{\hat{a}} = \frac{\tau_1}{\tau}, \tag{5}$$

де τ – тривалість вакуумного сушіння без використання вібрації, с; τ_1 – тривалість вакуумного сушіння з використання вібрації, с; W_k – кінцевий вологовміст, кг/кг; $K_в$ – коефіцієнт енергозбережної ефективності вібрації; ρ – густина води, кг/м^3; ν – кінематична в'язкість повітря, м^2/с; p_M – тиск пари над поверхнею тіла, що зневоднюється, Па; p – тиск у вакуумному апараті, Па.

Слід зазначити, що коефіцієнт $K_в$ характеризує відношення тривалості сушіння без використання вібрації до тривалості сушіння із застосуванням вібрації. Для визначення $K_в$ залежно від амплітуди коливань d і частоти коливань n були проведені експерименти з вібраційного вакуумного сушіння рослинної сировини. У результаті експериментів були знайдені оптимальні значення амплітуди коливань d = 0,8 мм і частоти коливань n = 40 Гц. За цих параметрів коефіцієнт енергозберігаючої ефективності вібрації $K_в$ = 0,75 і економія енерговитрат досягає 25%.

Таким чином, експерименти показали, що застосування вібрації скорочує тривалість процесу сушіння на 30%, а отримані рівняння дозволяють розрахувати тривалість вібраційного вакуумного сушіння рослинної сировини, необхідну для визначення енергетичних витрат, необхідних для реалізації процесу.

Список джерел інформації / References

1. Урьев Н. Б. Пищевые дисперсные системы / Н. Б. Урьев, М. А. Талейсник. – М. : Агропромиздат, 1985. – 296 с.

Uriev, N.B. (1985), *Dispersed food systems* [*Pishevie dispersnie sistemi*], Agropromizdat, Moscow, 296 p.

2. Иванов Е. Л. Новые физические методы обработки пищевых продуктов. Лекция для студентов технологического факультета / Е. Л. Иванов. – Л., 1982. – С. 20–48.

Ivanov, E.L. (1982), *New physical methods of food processing. The lecture for students of the faculty of technology* [*Novyie fizicheskie metodyi obrabotki pischevyih produktov. Lektsiya dlya studentov tehnologicheskogo fakulteta*], Leningrad, pp. 20-48.

3. Промтов М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : учеб. пособие / М. А. Промтов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.

Promtov, M.A. (2004), *Machines and apparatus with pulsed energy effects on processed materialsl* [*Mashinyi i apparatyi s impulsnyimi energeticheskimi vozdeystviyami na obrabatyivaemyie veschestva*], Mashinostroenie-1, Moscow, 136 p.

Черевко Олександр Іванович, д-р техн. наук, проф., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківский

державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: prociap_hduht@mail.ru.

Черевко Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: prociap_hduht@mail.ru.

Cherevko Alexander, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: prociap_hduht@mail.ru.

Михайлов Валерій Михайлович, д-р техн. наук, проф., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківский державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: mychailov@kharkov.com.

Михайлов Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: mychailov@kharkov.com.

Mykhailov Valeriy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: mychailov@kharkov.com.

Маяк Ольга Анатоліївна, канд. техн. наук, доц., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківский державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: prociap_hduht@mail.ru.

Маяк Ольга Анатольевна, канд. техн. наук, доц., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: prociap_hduht@mail.ru.

Mayak Olga, Candidate of Technical Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), professor of department, Department of Processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: prociapp_hduht@mail.ru.

Сардаров Азіз Мурадович, асп., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківский державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: prociapp_hduht@mail.ru.

Сардаров Азиз Мурадович, асп., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: prociapp_hduht@mail.ru.

Sardarov Aziz, Graduate student, Department of Processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: prociapp_hduht@mail.ru.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. Л.В. Кіптелою.
Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.

УДК 664.002.5:640.432

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ ПІД ЧАС ДВОСТОРОННЬОГО ЖАРЕННЯ В УМОВАХ СТИСНЕННЯ

О.І. Черевко, В.О. Скрипник, А.Г. Фарісєєв

Досліджено теплопередачу в поверхневому шарі під час другої стадії двостороннього жарення м'яса з великим вмістом сполучної тканини в умовах стиснення. Розраховані коефіцієнт теплопередачі від поверхонь жарення до напівфабрикату, співвідношення між діаметром капіляра і тривалістю циклу випарування, раціональна питома поверхнева потужність поверхонь жарення і тривалість другої стадії процесу.

Ключові слова: *жарення, теплопередача, парові прошарки, м'ясо.*

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МЯСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ЖАРЕНИИ В УСЛОВИЯХ СЖАТИЯ

А.И. Черевко, В.А. Скрыпник, А.Г. Фарисеев

Исследована теплопередача в поверхностном слое во время второй стадии двустороннего жарения мяса с высоким содержанием соединительной ткани в условиях сжатия. Рассчитаны коэффициент теплопередачи от жарочных поверхностей к полуфабрикату, соотношение между диаметром капилляра и продолжительностью одного цикла испарения, рациональная удельная поверхностная мощность жарочных поверхностей и продолжительность второй стадии процесса.

Ключевые слова: *жарение, теплопередача, паровые прослойки, мясо.*

HEAT TRANSFER IN THE SURFACE LAYER OF THE MEAT PRODUCTS AT BILATERAL FRYING UNDER CONDITIONS OF COMPRESSION

A. Cherevko, V. Skrypnyk, A. Fariseev

We ascertained the mechanism of heat transfer in the surface layers of beef with a high content of connective tissue in the second stage of the process of

© Черевко О.І., Скрипник В.О., Фарісєєв А.Г., 2015