

Діц Ігор Русланович, студ., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-88, 0991966409; e-mail: ditsNN@mail.ru.

Диц Игорь Русланович, студ., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-88, 0991966409; e-mail: ditsNN@mail.ru.

Dits Ihor, student, faculty of equipment and technical services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovskaya str. 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Тел.: (057)349-45-88, 0991966409; e-mail: ditsNN@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.О. Потаповим.
Отримано 15.042017. ХДУХТ, Харків.*

УДК 664.834.2

ВПЛИВ ПОТОКУ ПОВІТРЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ПІД ЧАС СУШІННЯ В МАСООБМІННОМУ МОДУЛІ

Є.М. Якушенко, Є.Ю. Стоян

Розглянуто вплив параметрів потоку повітря на температуру рослинної сировини під час сушіння за конвективного підведення теплоти до масообмінного модуля. За результатами проведених експериментів виконано аналіз комплексу «температура – час дії температури», показано наявність кореляції між середньоінтегральною температурою і температурою. Кореляції між швидкістю потоку повітря і середньоінтегральною температурою не виявлено.

Ключові слова: сушіння, рослинна сировина, масообмінний модуль, середньоінтегральна температура.

ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ВОЗДУХА НА ТЕМПЕРАТУРУ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ В МАСООБМЕННОМ МОДУЛЕ

Е.Н. Якушенко, Е.Ю. Стоян

Рассмотрено влияние параметров потока воздуха на температуру растительного сырья в процессе сушки при конвективном подводе теплоты к массообменному модулю. По результатам проведенных экспериментов

© Якушенко Є.М., Стоян Є.Ю., 2017

выполнен анализ комплекса «температура – время действия температуры», показано наличие корреляции между среднеинтегральной температурой и температурой. Корреляции между скоростью потока воздуха и среднеинтегральной температурой не выявлено.

Ключевые слова: сушка, растительное сырье, массообменный модуль, среднеинтегральная температура.

EFFECT OF AIR FLOW ON THE TEMPERATURE OF VEGETABLE RAW MATERIAL DURING DRYING PROCESS IN THE MASS EXCHANGED MODULE

E. Yakushenko, E. Stoyan

The vegetable raw material drying process is carried out in mass exchanged modules where the mass exchanged surface is smaller than the evaporation surface and it is made of vapor tight material. Reducing of external mass exchanged surface creates the conditions under which the rate of moisture evaporation in the product exceeds the rate of vapor removal from capacity, it causes sharp intensification of the drying process and the porous structure formation.

One of the main indices of the quality of the dried product is the conservation of biologically active substances. The value of the loss of these substances is determined by chemical reactions which occur in the product during drying. The rate of these reactions increases with increasing of material temperature. Under convective drying the air flow temperature and material temperature during drying process are nearly equal, it restricts the possibility of intensifying the process by increasing the air flow temperature. It should be noted that the rate of chemical reactions depends not only on the temperature value, but also on its action time. Therefore, in some drying plants temperature effect on the material is reduced by introducing oscillating modes it means short staying of the material in the zone of high temperature with following its movement into the zone of low temperature. However, implementation of these processes is restricted by technical complexity and low versatility concerning the type of raw material which is dried.

The effect of air flow parameters on the temperature of vegetable raw material during the drying process under convective heat supply to the mass exchanged module was considered in the research paper. The analysis of the complex "temperature – time of action – temperature" was done on the base of the research results, the correlation between the average integral temperature and temperature was shown. Correlation between air flow velocity and average integral temperature was not identified.

Keywords: drying, vegetable raw material, mass exchanged module, average integral temperature.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Основною метою переробки фруктів та овочів є вироблення харчових продуктів із тривалим збереженням їх харчових і смакових властивостей. На

формування їх якості впливають такі чинники: вид і якість сировини, її цільове призначення, технологія переробки, особливості пакування. Якість готової продукції значною мірою залежить від якості овочів і фруктів, їхніх технологічних властивостей, особливостей хімічного складу не тільки виду сировини, а й ботанічного сорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сушіння рослинної сировини здійснюється в масообмінних модулях [1] із поверхнею масообміну, меншою за поверхню випару і виконаною з паронепроникного матеріалу. Зменшення поверхні зовнішнього масообміну створює умови, за яких швидкість випаровування вологи в продукті перевищує швидкість відведення пари з ємності, що приводить до різкої інтенсифікації процесу сушіння й утворення пористої структури.

У зв'язку з цим викликає практичний інтерес дослідження способів сушіння в масообмінному модулі (МОМ) із комбінованим підведенням теплоти для одержання високопористого швидковідновлюваного продукту, у тому числі порошків. Завдяки можливості отримання низького кінцевого вологовмісту за відносно короткий час сушіння в МОМ є альтернативою сублімаційному сушінню через високу якість та малі енерговитрати [2].

Мета статті – дослідження впливу параметрів потоку повітря на температуру рослинної сировини під час сушіння за конвективного підведення теплоти до масообмінного модуля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з основних показників якості сушеного продукту є збереженість біологічно активних речовин. Величина втрат цих речовин визначається хімічними реакціями, що відбуваються в продукті під час сушіння. Швидкість цих реакцій збільшується з підвищенням температури матеріалу. За конвективного сушіння температура потоку повітря і температура матеріалу під час сушіння майже однакові, що обмежує можливість інтенсифікації процесу шляхом підвищення температури потоку повітря. Слід зазначити, що швидкість перебігу хімічних реакцій залежить не тільки від величини температури, але й від часу її дії. Тому в деяких сушильних установках температурний вплив на матеріал зменшується шляхом уведення осцилювальних режимів – короткочасне перебування матеріалу в зоні високої температури з наступним його переміщенням у зону низької температури [3]. Однак реалізація таких процесів обмежується технічною складністю і малою універсальністю стосовно виду сировини, що висушується.

Сушіння в масообмінному модулі є таким способом, за якого комплекс «температура – час дії температури» є більш раціональним порівняно з іншими способами сушіння.

Для кількісного оцінювання цього комплексу використовується така характеристика, як інтегральний температурний вплив на матеріал у процесі зневоднення, що дорівнює площі під кривою «температура – час» [1] (рис. 1).

Його обчислюють за формулою

$$\Theta = \int_0^{\tau_c} f(\tau) \cdot d\tau, \quad (1)$$

де Θ – інтегральний температурний вплив, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{хв}$;
 $f(\tau)$ – функція залежності температури матеріалу від часу сушіння;

τ – поточний час сушіння, хв;

τ_c – тривалість сушіння, хв.

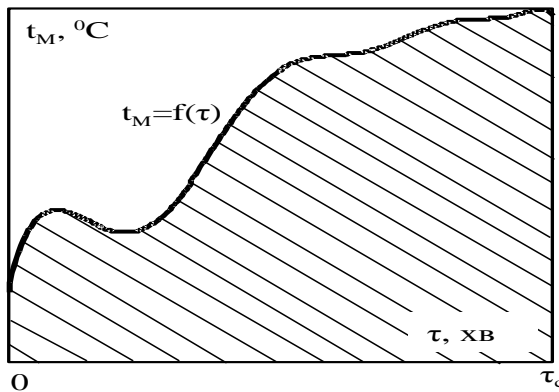


Рис. 1. Термограма сушіння рослинної сировини в масообмінному модулі

Середня інтегральна температура матеріала за час сушіння Θ_{cp} визначається як

$$\theta_{cp} = \frac{\Theta}{\tau_c} \quad (2)$$

На експериментальній установці [4] досліджено вплив параметрів потоку повітря на середню інтегральну температуру матеріалу під час сушіння в масообмінному модулі.

Сушильна камера 1 із масообмінним модулем для матеріалу, що висушується, 2 розміщується на електронних вагах 11. Потік повітря, підготовлений у калорифері 5, нагнітається в сушильну камеру за допомогою компресора 3 зі змінюваною частотою обертання двигуна. Дифузор механічно зв'язаний із сушильною камерою, що має лабіринт для зменшення втрат потоку повітря. Температура в центрі й на поверхні зразка вимірювалася термопарами і реєструвалася самописним потенціометром 13.

Дослідження проводилися на модельному матеріалі в масообмінному модулі. Підведення тепла потоком повітря до матеріалу в масообмінному модулі здійснювалося конвективним способом. Температура потоку повітря приймалася: 85, 90, 95, 100 °С, швидкість потоку повітря змінювалася в межах від 2 до 14 м/с.

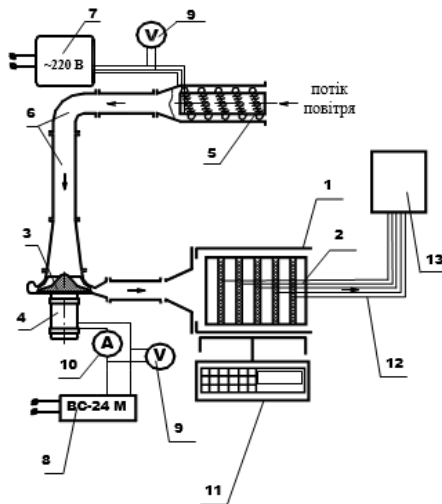


Рис. 2. Експериментальна установка з масообмінним модулем: 1 – камера; 2 – масообмінний модуль із рослиною сировиною; 3 – компресор; 4 – електродвигун компресора; 5 – калорифер; 6 – патрубки; 7 – автотрансформатор; 8 – випрямляч; 9 – вольтметр; 10 – амперметр; 11 – електронні ваги; 12 – термопари; 13 – потенціометр

Під час експериментів термограми (залежність температури матеріалу від часу сушіння) фіксувалися на папері самописця, потім оброблялися, а отримані дані апроксимувалися. Апроксимація проходила по поліномом

$$f(\tau) = \sum_{n=0}^P a_n \cdot \tau_i^n, \quad (3)$$

де P – ступінь полінома.

Інтегруванням отриманої функції (3) одержували величину середнього інтегрального впливу на матеріал, а потім за формулою (2) визначалася середньоінтегральна температура $\Theta_{\text{ср}}$. Залежність середньоінтегральної температури від параметрів потоку повітря наведена на рис. 3.

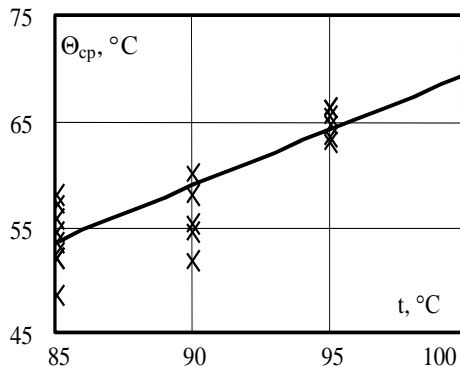


Рис. 3. Залежність середньоінтегральної температури матеріалу від температури сушіння

Спостерігається пряма кореляція між температурою потоку повітря і середньоінтегральною (рис. 3). При цьому збільшення температури потоку повітря на 15 °C приводить до зростання середньоінтегральної температури на 25 °C. Кореляційного зв'язку між швидкістю потоку повітря і середньоінтегральною температурою не виявлено (рис. 4).

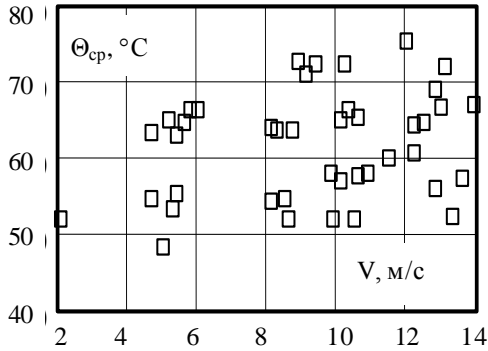


Рис. 4. Залежність середньоінтегральної температури матеріалу від швидкості потоку повітря

Для розрахунку сушіння в масообмінному модулі визначається різниця між температурою потоку повітря і середньоінтегральною температурою Δt .

$$\Delta t = t - \Theta_{cp} . \quad (4)$$

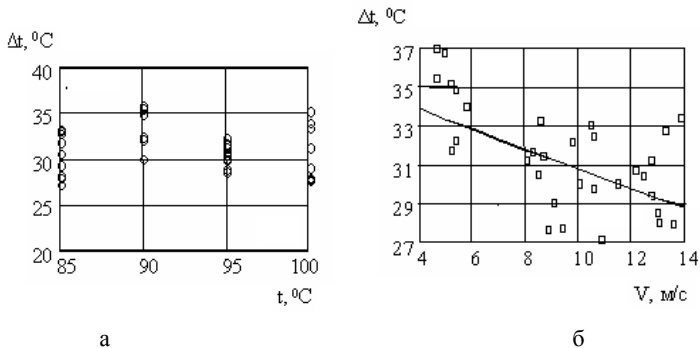


Рис. 5. Залежність перепаду між середньоінтегральною температурою матеріалу і параметрами потоку повітря: а – температури; б – швидкості

Висновки. Таким чином, вплив параметрів потоку повітря на Δt показано на рис. 5. Кореляційного зв'язку між Δt і температурою потоку повітря не виявлено. Збільшення швидкості потоку повітря на 10 м/с приводить до зменшення Δt на 6 °С.

Список джерел інформації / References

1. Погожих М. І. Наукові основи теорії й техніки сушіння харчової сировини в масообмінних модулях : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.12 / Погожих Микола Іванович. – Х., 2002. – 331 с.

Pogozhih M.I. (2002), *Scientific bases of the theory and drying techniques of food raw materials in mass transfer modules* : dissertation [Naukovi osnovi teorii j tehniki sushinnja harchovoї sirovini v masoobminnih moduljah : diss. d-ra tehn. nauk], Kharkiv, 331 p.

2. Якушенко Є. М. Підвищення енергоефективності процесу сушіння виноградних вичавок у масообмінному модулі з кондуктивним підведенням теплоти : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Якушенко Євген Миколайович. – Х., 2014. – 156 с.

Yakushenko, E.N. (2014), *The improving of energy efficiency of the drying process of husks of grapes in mass transfer module with conductive supply of heat* : dissertation [Pidvyschennya enerhoefektyvnosti protsesu sushynna vynohradnykh vychavok u masoobminnomu moduli z konduktivnym pidvedennyam teploty : diss. kand. tehn. nauk], Kharkiv, 156 p.

3. Куцакова В. Е. Интенсификация тепло- и массообмену при сушині харчових продуктів / В. Е. Куцакова, А. Н. Богатирьов. – М. : Агрпромиздат. 1987. – 236 с.

Kutsakova, V.E., Bohatyrov, A.N. (1987), *The intensification of heat and mass transfer in drying foodstuffs* [Intensyfikatsiya teplo- i massoobminu pry sushynni kharchovykh produktiv], Agropromizdat, Moscow, 236 p.

4. Сомів О. С. Використання термограмм при дослідженні процесу ЗТП-сушіння / О. С. Сомів // Технології в машинобудуванні. Вісник Харківського державного політехнічного університету : сб. науч. тр. – Х., 1999. – Вып. 62. – С. 25–28.

Somov, O.S. (1999), «The use of thermocouples in the study of the MHT-drying process» *Technology in machinebuilding*. [“Vykorystannya termohramm pry doslidzhenni protsesu ZTP-sushynna” Tekhnolohiyi v mashynobuduvanni. Visnyk Kharkivs'koho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu], HGPU, Kharkiv, pp. 25-28.

Якушенко Євген Миколайович, канд. техн. наук, доц., кафедра холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: papelats@ukr.net.

Якушенко Евгений Николаевич, канд. техн. наук, доц., кафедра холодильной и торговой техники и прикладной механики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: papelats@ukr.net.

Yakushenko Evgen, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, PhD), Associate Professor, Department of Refrigeration, Trade Equipment and Applied Mechanics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: papelats@ukr.net.

Стоян Євген Юрійович, канд. техн. наук, доц., кафедра економіки та управління, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: stoyaneugen@ukr.net.

Стоян Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доц., кафедра экономики и управления, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: stoyaneugen@ukr.net.

Stoyan Evgen, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, PhD), Associate Professor, Department economics and Management, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: stoyaneugen@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. М.І. Погожих.
Отримано 15.04.2017. ХДУХТ, Харків.*