

МАСООБМІННИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

В.О. Потапов, Є.М. Якушенко, Є.Ю. Стоян

Наведено недоліки сучасного обладнання для сушіння рослинної сировини та показано перспективність застосування двоповерхневої функціональної місткості як базової для створення масообмінного модуля. Але така конструкція має принципові недоліки: технологічні (з точки зору виготовлення) обмеження великих за розмірами та практична неможливість механізувати процес завантаження-вивантаження, що не дозволяє автоматизувати сушіння.

Запропоновані конструктивні і технологічні рішення дозволяють усунути вищезгадані недоліки.

Ключові слова: сушіння, рослинна сировина, масообмінний модуль, функціональна місткість, гідрофобне покриття, кремнійорганічний лак.

МАСООБМЕННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В.А. Потапов, Е.Н. Якушенко, Е.Ю. Стоян

Приведены недостатки современного оборудования для сушки растительного сырья и показана перспективность применения двухповерхностной функциональной емкости как базовой для создания массообменного модуля. Но такая конструкция имеет принципиальные недостатки: технологические (с точки зрения изготовления) ограничение больших по размерам и практическая невозможность механизировать процесс погрузки-выгрузки, что не позволяет автоматизировать сушки.

Предложенные конструктивные и технологические решения позволяют устранить вышеупомянутые недостатки.

Ключевые слова: сушка, растительное сырье, массообменный модуль, функциональная емкость, гидрофобное покрытие, кремнийорганический лак.

MASS EXCHANGE MODULE FOR THE IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF VEGETABLE RAW MATERIAL DRYING

V. Potapov, E. Yakushenko, E. Stoyan

The problem of production food products which are enriched with various biological active additives is extremely topical for Ukraine in the conditions of the economic and ecological crisis. It leads to increasing of the population morbidity, the reason of which in a large measure is the existence of dietary rations deformation.

The production of powders which are obtained by various drying methods allows realizing waste-free processes of agricultural products processing and it is one of the perspective ways of agricultural raw materials rational use.

The study which is carried out by the authors, shows the promising use in the process of vegetable raw material drying of the two-level functional container (FC), as the base for the mass exchange module (MEM) creation. But the functional container of such construction has principle drawbacks such as technological drawbacks from the production point of view (the restriction of functional container large sizes) and practical drawbacks (impossibility to mechanize the process of loading and unloading of functional container, and it does not allow the drying process automating).

The proposed constructive and technological solutions for the development of MEM use the ideology of the two-level functional container and allow elimination of the above-mentioned drawbacks.

The obtained results allow construction of the basic drying module which implements the drying process and has operational productivity not less than 300 kg per hour.

Keywords: *drying, vegetable raw material, mass exchange module, functional container, hydrophobic coating, silicon organic lacquer.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз конструкцій сушарок, розроблених у Центрі сушіння ХДУХТ, показав необхідність розробки масообмінного модуля (МОМ), який був би базовим для серії сушарок різної продуктивності для різної сировини. Цей модуль повинен мати:

- витрати енергії на отримання 1 кг сушеної продукції – 7,5-24,0 МДж;
- продуктивність від 300–600 кг/год, за вологою сировиною;
- температурні та годинні режими роботи, які забезпечать максимальне збереження БАД, вітамінів та інших корисних речовин;
- конструкцію, яка дозволяє максимально механізувати й автоматизувати процес сушіння;
- можливість складання з базових модулів комплексів для сушіння необхідної продуктивності;
- можливість спряження базового модуля з існуючим обладнанням для підготовки сировини до сушіння та кінцевого продукту для транспортування та збереження.

Проведені дослідження показали перспективність використання двоповерхневої функціональної місткості (ФМ) як базової для створення МОМ. Але ФМ такої конструкції має принципові недоліки:

- техно логічні (із точки зору виготовлення) обмеження великих за розмірами ФМ;
- практична неможливість механізувати завантаження та вивантаження ФМ, що не дозволяє автоматизувати процес сушіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сушіння рослинної сировини здійснюється в масообмінних модулях [1] із поверхнею масообміну, меншою за поверхню випарювання і виконаною з паронепроникного матеріалу. Зменшення поверхні зовнішнього масообміну створює умови, за яких швидкість випаровування вологи в продукті перевищує швидкість відведення пари з місткості, що приводить до різкої інтенсифікації процесу сушіння й утворення пористої структури [2].

У зв'язку з цим виникає практичний інтерес до дослідження способів сушіння в масообмінному модулі (МОМ) із комбінованим підведенням теплоти для одержання високопористого швидковідновлюваного продукту, у тому числі порошоків. Завдяки можливості отримання низького кінцевого вологовмісту за відносно короткий час сушіння МОМ є альтернативою сублімаційному сушінню через високу якість та малі енерговитрати [3].

Мета статті – розробка пропозиції щодо конструкції МОМ, яка використовує ідеологію двоповерхневої ФМ для реалізації сушіння.

Виклад основного матеріалу дослідження. Існуюча ФМ складається з двох частин, які повинні відкриватися під час завантаження та вивантаження матеріалу, що потребує їх витягування з сушильної камери. Із точки зору експлуатації маса однієї місткості не повинна перевищувати 20 кг. Підвищення продуктивності сушарки у цьому випадку досягається збільшенням кількості ФМ. Якщо вважати, що кожна місткість завантажується-вивантажується вручну, то це зменшує експлуатаційну продуктивність сушарки.

Використання ФМ, більшої ніж $0,5 \times 0,5$ м, викликає також технологічні труднощі виготовлення, які пов'язані зі зменшенням жорсткості конструкції, труднощами досягнення необхідної геометричної форми тощо.

Така конструкція та технологія завантаження-вивантаження матеріалу не дозволяє механізувати й автоматизувати роботу сушарки.

Зважаючи на вищесказане, пропонується конструкція МОМ, у якій запропоновані такі конструктивні та технологічні рішення:

1) інверсія конструкції сушильної камери МОМ, де нефункціональні місткості формують канал сушильного агента, а автономний канал формує об'єми для сировини;

2) конструкція сушильної камери зі знімними каналами та конструкція каналів;

3) спосіб автоматичного завантаження МОМ сировиною з використанням керованих ступок верхньої та нижньої частини МОМ;

4) режим продування камери MOM, який забезпечує автоматичне вивантаження висушеного продукту з MOM;

5) покриття внутрішніх поверхонь MOM, які контактують із висушуваним продуктом, кремнійорганічними речовинами для придання їм антиадгезійних властивостей.

Масообмінний модуль (рис. 1) складається з корпусу, змінних каналів, напрямних вставок. Верхні та нижні частини MOM закриваються керованими стулками. Приводи стулок розташовуються на корпусі.

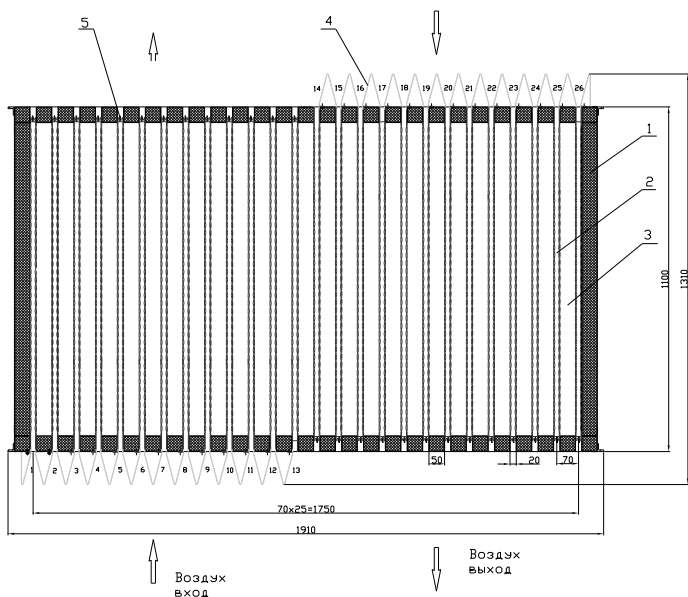


Рис. 1. Масообмінний модуль: 1 – корпус; 2 – канали; 3 – зневоднюваний матеріал; 4 – напрямні входу сушильного агента; 5 – керовані стулки

Корпус MOM є теплоізолюваною прямокутною в плані місткістю, відкритою з верхньої і нижньої частин. Розміри за внутрішніми поверхнями 1000x1770 мм. Висота – 1195 мм. Корпус виконується з швелерів, куточків і листів сталі, з'єднаних зваркою.

У довгій бічній частині виконані наскрізні прямокутні отвори для встановлених каналів. Канали всовуються в ці отвори, фіксуються фланцем і закріплюються гвинтами.

Між двома сусідніми каналами з боку входу повітря, розташовуються вставки, які забезпечують рівні гідравлічні умови для потоку.

У MOM розташовується 26 каналів, причому вхід у 13 каналів здійснюється з одного боку, а в інші 13 каналів – із протилежного.

У випускних частинах каналів розташовуються стулки, які забезпечують дроселювання потоку повітря, для забезпечення режиму продування.

Верхня і нижня частина MOM закривається стулками, які повертаються на осі на 90° та забезпечивають відкриття і закриття MOM. До впускних і випускних частин MOM кріпляться відповідні патрубки.

MOM установлюється на датчики сили, що дозволяє контролювати завантаження і час закінчення сушіння.

Канал сушильного агента (повітря) є жорсткою конструкцією, виконаною з бічних і торцевих планок, вхідного і вихідного патрубків, турбулізатора.

Бічні планки утворюють бічну поверхню каналу, мають у перетині трикутну форму (рис. 2). Один бік каналу утворюється 39 планками. Плоскою стороною планка встановлена до висушуваного матеріалу, кутова сторона звернена до потоку сушильного агента. Зверху канал закритий торцевими планками, що мають форму швелера. Вхідний патрубок прямокутної форми, має фланець для фіксації каналу в подовжньому напрямку й отвору для кріплення до корпусу MOM. Вихідний фланець має прямокутну форму.

Між бічними поверхнями каналу встановлений турбулізатор. Він складається з трьох елементів, що мають у перетині трикутну форму, і фіксувальних подовжніх планок.

Бічні, верхня і нижня планки виготовляються зі сталі товщиною 1 мм.

Для забезпечення автоматичного вивантаження висушеної продукції з MOM на всі внутрішні поверхні, які контактують з висушуваною сировиною, наносять антиадгезійне покриття.

Необхідність цього покриття визначається тим, що в процесі сушіння харчових продуктів, які містять цукор, відбувається карамелізація, що призводить до прилипання висушуваного продукту до внутрішніх поверхонь MOM. Існують різноманітні способи надання робочим поверхням MOM антиадгезійних і гідрофобних властивостей, наприклад покривання внутрішньої поверхні MOM фторопластами, але використання в сушарках вищезгаданих покриттів не є доцільним у результаті дорожнечі і слабкої механічної стійкості.

Для сушарки, що розробляється, пропонується застосовувати кремнійорганічні речовини, які термічно стійкі, хімічно інертні до конструкційних матеріалів, нелеткі і абсолютно нешкідливі для людини і довкілля. Дослідження встановили перспективність використання кремнійорганічного лаку як антиадгезійного покриття. Розроблено технологію і спосіб обробки поверхонь різноманітної форми.

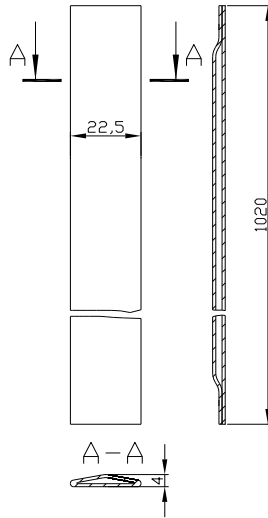


Рис. 2. Планка каналу

Використання речовин вітчизняного виробництва, наприклад кремнійорганічного лаку виробництва Запорізького ВО «Кремній-полімер», дозволить проводити сушіння харчових продуктів без утворення канцерогенних речовин [4], збільшити продуктивність МОМ за рахунок повної автоматизації вивантаження, підвищити якість готової продукції, понизити негативний вплив на екологію і поліпшити умови праці.

Технологічний процес покриття поверхонь кремнійорганічними речовинами внутрішньої поверхні МОМ уключає такі основні операції:

- підготовка внутрішньої поверхні МОМ до нанесення покриття;
- підготовка робочих розчинів кремнійорганічного лаку;

- нанесення лаку на поверхню МОМ;
- термічну обробку нанесеного покриття.

Оброблені кремнійорганічним з'єднанням поверхні МОМ набувають високих гідрофобних і антиадгезійних властивостей, продукт легко відділяється від поверхні, що дозволяє проводити процес вивантаження готової продукції шляхом продувки камери повітрям.

Висновки. Таким чином, запропонована конструкція масообмінного модуля забезпечує реалізацію процесу сушіння, автоматизацію завантаження-розвантаження і дозволяє використовувати МОМ для розробки перспективних сушарок різної продуктивності.

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.

Pogozhii M.I. (2002), *Scientific bases of the theory and drying techniques of food raw materials in mass transfer modules* : dissertation [Наукові основи теорії й техніки сушіння харчової сировини в масообмінних модулях : дис. ... д-р техн. наук], HDUHT, Kharkiv, 331 p.

2. Сомів О. С. Використання термограм 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 termogramm pry doslidzhenni protsesu ZTP-sushynnya" *Tekhnolohiyi v mashynobuduvanni*. *Visnyk Kharkivs'koho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*], HGPU, Kharkiv, pp. 25-28.

3. Куцакова В. Е. Интенсификация тепло- и массообмену при сушинні харчових продуктів / В. Е. Куцакова, А. Н. Богатир'ов. – М. : Агропромиздат. 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. Новые технологии витаминных углеводсодержащих фитодобавок и их использование в продуктах профилактического действия / Р. Ю. Павлюк, та ін. – Харків : ХДУХТ, 1997. – 291 с.

Pavljuk, R. Ju. (1997) *New technologies vitamin carbohydrate phytonutrients and their use in products of preventive action* [Novye tehnologii vitaminnyh uglevodsozderzhashchih fitodobavok i ih ispol'zovanie v produktah profilakticheskogo dejstvija], HDUHT, Kharkiv, 291 p.

Потапов Володимир Олексійович, д-р техн. наук, проф., кафедра холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Потапов Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, проф., кафедра холодильной и торговой техники и прикладной механики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Potapov Volodymyr, Doctor of Science, Prof., The 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: potapov@bigmir.net.

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, The 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, The 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. Погосжх.

Отримано 30.09.2017. ХДУХТ, Харків.

DOI: 10.5281/zenodo.1108575