

**Ривний Кирилл Николаевич**, магистрант, кафедра общинженерных дисциплин и оборудования, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: ido@donnuet.edu.ua.

**Rivnyi Kiril**, master, Department of General Engineering Disciplines and Equipment, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0671049709; e-mail: ido@donnuet.edu.ua.

DOI: 10.5281/zenodo.3263702

УДК 664.834.2

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ГИДРОФОБНОГО ПОКРЫТИЯ НА МАСООБМІННІ МОДУЛІ СУШАРОК ДЛЯ 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 (із точки зору виготовлення) та практична неможливість механізувати процес завантаження-вивантаження, що не дозволяє автоматизувати сушіння. Запропоновані конструктивні й технологічні рішення дозволяють усунути зазначені вище недоліки.*

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

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ГИДРОФОБНОГО ПОКРЫТИЯ НА МАСООБМЕННЫЕ МОДУЛИ СУШИЛОК ДЛЯ 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*

масообмінного модуля. Но такая конструкция имеет принципиальные недостатки: технологические (с точки зрения изготовления) и практическая невозможность механизировать процесс погрузки-выгрузки, что не позволяет автоматизировать сушку. Предложенные конструктивные и технологические решения позволяют устранить указанные выше недостатки.

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

## TECHNOLOGY OF APPLICATION OF HYDROPHOBIC COATING ON MASS-EXCHANGE MODULES OF DRYERS FOR DRYING PLANT RAW MATERIALS

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.** На сучасному етапі одним із найбільш перспективних способів отримання сухої рослинної сировини є сушіння в масообмінних модулях із комбінованим підведенням теплоти, який розроблено в Харківському

державному університеті харчування та торгівлі, що забезпечує одержання високопористого швидковідновлюваного продукту з малими енерговитратами [1–4].

Сушіння відбувається в масообмінних модулях (МОМ), які є складовою установок для сушіння харчових продуктів, що широко застосовуються на сучасних переробних підприємствах.

Сьогодні одним із чинників, який стримує зростання виробництва продуктів харчування за допомогою сушіння, є вивантаження МОМ. Це спричинено тим, що під час сушіння харчових продуктів, які містять цукор, відбувається прилипання (карамелізація) до внутрішньої поверхні МОМ, що ускладняє вивантаження сухого продукту. Існують різні способи надання робочим поверхням МОМ антиадгезійних та гідрофобних властивостей, наприклад покриття внутрішньої поверхні МОМ фторопластами, але використання в сушарках такого покриття є недоцільним через його дорожнечу та слабку механічну стійкість.

Застосування кремнійорганічних речовин на різних стадіях технологічних процесів у харчовій промисловості дає змогу вдосконалити устаткування й оптимізувати виробництво сушених продуктів. Ці речовини є термічно стійкими, хімічно інертними до конструкційних матеріалів, нелеткими й абсолютно нешкідливими для людини й навколишнього середовища.

Дослідженнями доведено перспективність використання кремнійорганічного лаку як антиадгезійного покриття для жарильних форм для хлібобулочних та м'ясних виробів. На основі одержаних експериментальних даних розроблено технологію та спосіб обробки внутрішньої поверхні жарильних форм для випікання та запікання кулінарних і кондитерських виробів [2].

Суттєвою проблемою сучасних переробних підприємств є зниження адгезії під час сушіння рослинної сировини. Як правило, продукти, які піддають сушінню, мають високу адгезійну міцність, що приводить до втрат на стадії вивантаження готової продукції. На адгезійну взаємодію продукту з контактною поверхнею МОМ значною мірою впливають різні чинники, в основному рецептурно-технологічні особливості продукту та структурно-механічні властивості матеріалу робочої поверхні МОМ.

Результати ретельного аналізу сучасних вітчизняних та зарубіжних розробок засвідчують, що кремнійорганічні речовини можна успішно використовувати для покриття внутрішньої поверхні тепломасообмінних модулів, які є складовою установок для сушіння харчових продуктів. На сучасних переробних підприємствах, які

займаються сушінням харчових продуктів, внутрішню поверхню MOM не піддають спеціальній обробці для створення гідрофобного антиадгезійного покриття, що спричиняє низку недоліків, які суттєво погіршують якість готових виробів та негативно впливають на екологію.

Відсутність проміжного антиадгезійного гідрофобного покриття на внутрішній поверхні MOM не спричиняє якісне відділення готової продукції після закінчення сушіння; низьку якість готового виробу внаслідок підгару та карамелізації продуктів, які підлягають сушінню; знижує продуктивність обладнання через необхідність очищення MOM від продуктів підгару та карамелізації, що утворилися під час сушіння харчових продуктів; викликає утворення канцерогенних речовин у продукті при контакті з поверхнею тепломасообмінного модулю та призводить до забруднення повітря робочої зони MOM продуктами підгару. Застосування кремнійорганічних речовин дає змогу повністю запобігти недолікам, які зазначено вище, підвищити якість готової продукції, збільшити продуктивність обладнання й покращити умови праці на виробництвах. Усі ці переваги забезпечуються лише за умови застосування оптимізованої технології нанесення кремнійорганічних покриттів на внутрішню поверхню тепломасообмінних модулів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Базову конструкцію MOM виготовлено зі сталі. Вона має прямокутну форму й складається із трьох частин: дна, кришки та вставки. Кріплення всіх частин MOM здійснюється спеціальними скобами. Торцеві поверхні дна й кришки являють собою рамки, виготовлені з кутиків за допомогою пайки. Бічні поверхні в MOM виконують функції масообміну й виготовлені з пластин. Така конструкція виключає масообмін через торцеві поверхні й дозволяє регулювати величину його поверхні. Пластини розташовуються з необхідним зазором між собою й кріпляться до кутиків торцевої поверхні гвинтами. Кріплення пластин дозволяє регулювати величину зазору між ними, що змінює величину поверхні масообміну в межах від 5% до 29% від загальної поверхні, що контактує з потоком сушильного агента [2].

У зв'язку з цим виникає практичний інтерес до дослідження покриття антиадгезійним гідрофобним шаром масообмінного модуля із комбінованим підведенням теплоти для одержання високопористого швидковідновлюваного продукту, у тому числі порошків.

**Мета статті** – розробка оптимізованої технології нанесення антиадгезійного гідрофобного покриття з використанням кремнійорганічних речовин, які дозволять проводити сушіння

харчових продуктів без утворення канцерогенних речовин, збільшити продуктивність MOM, підвищити якість готової продукції, знизити негативний вплив на екологію й покращити умови праці на підприємствах харчових та переробних виробництв.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відомо, що технологічний процес покриття поверхонь кремнійорганічними речовинами (лаками) є складним і включає ряд операцій: очищення поверхні, ретельну обробку та сушіння [2]. Режим цих операцій визначають на основі результатів технологічних експериментів відповідно до обраного конкретного виду кремнійорганічного покриття. У разі неоптимального режиму нанесення покриття виявляється технічно й механічно нестійким, що скорочує термін виробничої експлуатації обробленої поверхні.

У Харківському державному університеті харчування та торгівлі була розроблена технологія нанесення кремнійорганічних лаків вітчизняного виробництва та спосіб обробки внутрішньої поверхні масообмінного модуля для сушіння харчових продуктів.

Характерною особливістю нової технології є кінцева стадія обробки внутрішньої поверхні MOM – полімеризація нанесеного покриття в атмосфері гарячого повітря з метою зміцнення плівки лаку та забезпечення антиадгезійності поверхні MOM. Режим полімеризації має велике значення для отримання міцного, хімічно стійкого антиадгезійного покриття. Було апробовано декілька режимів цього процесу. У ході експериментів змінювали температуру і тривалість витримання MOM у гарячому повітрі. MOM, покриті розчином лаку, витримували за температур 100...240 °С з інтервалом 20 °С.

У результаті дослідження визначено оптимальний режим полімеризації, в якому MOM витримували за температури 200...220 °С протягом двох годин. Дослідження показали, що подальше підвищення температури не впливало на зміну міцності й термічну стійкість покриття.

Спосіб обробки внутрішньої поверхні MOM включає такі основні операції: підготовка внутрішньої поверхні MOM до нанесення покриття; приготування робочих розчинів кремнійорганічного лаку; нанесення лаку на поверхню MOM; термічна обробка нанесеного покриття.

Обробка запропонованим способом відбувається таким чином. Внутрішню поверхню MOM обробляють наждачним папером. Далі MOM піддають хімічній обробці в 5% розчині NaOH або KOH протягом 3–5 хв, промивають у проточній теплій воді та обробляють 10% розчином HNO<sub>3</sub> для нейтралізації залишків лугів, потім знову

промивають у проточній воді температурою 50...70 °С. Оброблені таким чином MOM сушать на стелажах протягом 2–3 год або в сушильній шафі за температури 120...150 °С до повного видалення вологи. Перед нанесенням покриття MOM нагрівають, при цьому їх температура не повинна перевищувати 40 °С. Після цього розчин лаку щіткою наносять на внутрішню поверхню MOM. Можливі й інші способи нанесення лаку, наприклад методом поливу або розпилювання з фарбувального пістолета. При цьому шар покриття має бути тонким і рівномірним по всій поверхні MOM. Після нанесення покриття MOM сушать на стелажах за кімнатною температурою протягом двох годин.

Останньою операцією процесу, що розглядається, є термічна обробка MOM, під час якої відбувається полімеризація плівки, що зумовлює антиадгезійність і гідрофобність внутрішньої поверхні, при цьому вирішальне значення має режим полімеризації.

Розроблений технологічний процес дає змогу отримати міцне антиадгезійне, гідрофобне кремнійорганічне покриття і, відповідно, здійснювати процес вивантаження готової продукції без ускладнень, забезпечити більш тривалу експлуатацію оброблених MOM, поліпшити санітарний стан робочих місць на виробництві, значно підвищити якість готової продукції.

У ході експериментальних досліджень, якій описано в роботі [2], встановлено, що оброблені MOM порівняно з традиційними сушарками мають більш надійні експлуатаційні показники. Оброблені кремнійорганічною сполукою поверхні MOM набувають високих гідрофобних та антиадгезійних властивостей. Продукт легко відділяється від поверхні, отже, її не потрібно очищати, що приводить до збільшення продуктивності обладнання з помітним економічним ефектом.

Якість готових виробів покращується за рахунок того, що усувається утворення канцерогенних речовин на поверхні продукту внаслідок виключення підгару. Це робить істотний внесок у соціальний ефект від упровадження MOM із кремнійорганічним покриттям. Іншою стороною цього ефекту є значне поліпшення умов праці на харчових виробництвах унаслідок абсолютної нешкідливості кремнійорганічних речовин навіть за температур вище 300 °С для людини й навколишнього середовища. Слід також відзначити, що розроблена технологія та спосіб обробки внутрішньої поверхні MOM кремнійорганічним лаком не пов'язані зі значними витратами часу й матеріальних ресурсів, тому є доступними для різноманітних підприємств харчування.

**Висновки.** Таким чином, розроблена технологія обробки внутрішньої поверхні МОМ кремнійорганічним лаком у харчовій промисловості сприяє збільшенню продуктивності обладнання, поліпшенню якості готової продукції та умов праці на виробництвах. Вона готова до широкомасштабного практичного впровадження в Україні з суттєвим очікуваним економічним і соціальним ефектом.

### 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.

Pogozhiih, 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-ра техн. наук], НДУНТ, 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* [Підвищення енергоефективності процесу сушіння виноградних вичавок у масообмінному модулі з кондуктивним підведенням теплоти: дис. ... канд. техн. наук], НДУНТ, Kharkiv, 156 p.

3. Потапов В. А. Исследование энергоэффективности процесса сушки в теплообменном модуле с внутренним нагревателем / В. А. Потапов, Е. Н. Якушенко // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій : зб. наук. пр. / ОНАХТ. – Одеса, 2010. – Вип. 37. – С. 108–114.

Potapov, V., Yakushenko, E. (2010), “Research of energy efficiency of the drying process in the heat and mass transfer modules with an internal heater”, [“Issledovanie jenergoeffektivnosti processa sushki v teplomassoobmennyh moduljah s vnutrennim nagrevatelem”], ОНАНТ, Odessa, pp. 108-114.

4. Потапов В. О. Кінетика сушіння: аналіз і керування процесом : монографія / В. О. Потапов. – Харків : ХДУХТ, 2009. - 250 с.

Potapov, V. (2009), *Drying kinetics: analysis and management process* [Drying kinetics: analysis and management process], НДУНТ, Kharkiv, 250 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@bignir.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@bignir.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.

DOI: 10.5281/zenodo.3263704



## **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ПЕКТИНУ З ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.В. Омельченко,  
О.Є. Мельник, В.В. Малич**

*Розглянуто питання використання процесу кислотного екстрагування під час вилучення пектину з відходів цукрового виробництва. Надано аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень технологічних параметрів кислотного екстрагування пектинових речовин із використанням розробленого перемішувального елемента. За отриманими результатами зроблено висновки щодо доцільності використання нового методу інтенсифікації екстрагування пектину.*

***Ключові слова:** буряк, процес, кислота, екстрагування, пектин, елемент, перемішування.*

## **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСА ЕКСТРАГІРОВАНИЯ ПЕКТИНА ИЗ ОТХОДОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.В. Омельченко,  
О.Е. Мельник, В.В. Малич**

*Рассмотрены вопросы использования процесса кислотного экстрагирования при изъятии пектина из отходов сахарного производства. Дан анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований технологических параметров кислотного экстрагирования пектиновых веществ с использованием разработанного перемешивающего элемента. По полученным результатам сделаны выводы относительно целесообразности использования нового метода интенсификации экстрагирования пектина.*

***Ключевые слова:** свекла, процесс, кислота, экстрагирование, пектин, элемент, перемешивание.*

## **INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF EXTRACTING PECTIN FROM SUGAR PRODUCTION WASTES**

**G. Deynichenko, V. Guzenko, O. Omelchenko, O. Melnik, V. Malych**

*Experimental research of acid extraction of pectin containing raw materials (beet pulp) is highlighted with the use of a new model of the mixing element compared to the usual lattice mixer. The experimental setting and the method of*