

Перекрест Володимир Вікторович, асист., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0980717294; e-mail: vv-perekrest@yandex.ru.

Перекрест Владимир Викторович, ассист., 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.: 0980717294; e-mail: vv-perekrest@yandex.ru.

Perekrest Vladimir, Assistants, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Тел.: 0980717294; e-mail: vv-perekrest@yandex.ru.

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

Отримано 30.09.2017. ХДУХТ, Харків.

DOI: 10.5281/zenodo.1108563

УДК 643.33:635.965.2

РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОЇ ІЧ-СУШАРКИ ОРГАНІЧНОЇ ПРИРОДНОЇ СИРОВИНИ

Л.В. Кіптела, А.М. Загорулько, О.Є. Загорулько, Б.В. Ляшенко

Сушіння органічної природної сировини є складним технологічно-конструктивним завданням для сучасної інженерії, під час виконання якого розроблено принципово нову універсальну ІЧ-сушарку органічної природної сировини безперервної дії з раціональною формою робочої камери, призначеною для сушіння одночасно до чотирьох різновидів сировини. Висока якість сушених напівфабрикатів досягається за рахунок використання низькотемпературного випромінювача (ГПРЕНВТ), вібрації та енергоощадного пристрою.

Ключові слова: розробка, універсальна ІЧ-сушарка, органіка, ГПРЕНВТ, вібрація, енергоощадність.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ИК-СУШИЛКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

Л.В. Киптелея, А.Н. Загорулько, А.Е. Загорулько, Б.В. Ляшенко

Сушка органического природного сырья является сложным технологически-конструктивным заданием для современной инженерии, при выполнении которого разработана принципиально новая универсальная ИК-сушилка органического природного сырья непрерывного действия с рациональной формой рабочей камеры, предназначенной для сушки одновременно до четырех видов сырья. Высокое качество сушеных полуфабрикатов достигается за счет использования низкотемпературного излучателя (ГПРЕНВТ), вибрации и энергосберегающего устройства.

Ключевые слова: разработка, универсальная ИК-сушилка, органика, ГПРЕНВТ, вибрация, энергосбережение.

DEVELOPMENT OF UNIVERSAL IR-DRYER OF ORGANIC NATURAL RAW MATERIAL

L. Kiptela, A. Zahorulko, A. Zagorulko, B. Liashenko

Today the demand of the population of Ukraine and other European countries for quality organic food products is growing. First of all, it is the demand for organic natural semi-finished products which contain a significant amount of biologically active agents, smell and look good, and are also reasonably priced. In most cases drying is used to process this raw material. Drying of organic natural raw materials is a complex technological and structural task for modern engineering.

To solve this problem, many enterprises carry out technical upgrades by equipping them with modern economic, reliable equipment, which allows minimizing the raw material losses during technological operations. But increasingly there is a need for the development of conceptually new resource- and energy-saving equipment using modern low-metal infrared emitters and energy-saving devices.

The purpose of this article is to increase the resource and energy efficiency of the organic natural raw material drying process by developing a conceptually new multi-purpose infrared continuous dryer with a rational shape of the process chamber intended for simultaneous drying of up to four types of raw materials.

During the design process, the following tasks were assigned, i.e. improvement of the heat transfer efficiency; reducing the duration of the drying process due to ensuring the uniformity of the temperature field on the receivers and in the process chamber of the device as a whole and using the vibration; effective constructive placement of the energy-saving device and improvement the quality of the output products.

Multi-purpose infrared dryer for organic natural raw materials is intended for drying of up to four types of organic natural raw materials due to continuous operation. In the device a flexible film electrical resistance heater of radiant type is used as a heater, which is installed on the inner surface of the dryer and the outer surface of the inner overhead pipeline located in the center of the device's operating space.

The high quality of dried semi-finished products is achieved by reducing the duration of heat treatment of raw materials with the application of mild temperature conditions (40–60°C) and vibration.

Keywords: *development, multi-purpose infrared dryer, organics, flexible film electrical resistance heater of radiant type (GPRENTV), vibration, energy saving.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Фактично щодня спостерігається зростання потреб населення України та інших європейських країн якісних органічних продуктах харчування, насамперед в органічних плодово-ягідних та овочевих напівфабрикатах, що містять значну кількість біологічно активних речовин (БАР), мають приємний запах і зовнішній вигляд, а також продаються за доступною ціною. Саме ці критерії є вирішальними під час виробництва такої продукції, що підвищує попит у споживачів. Особливо це стосується сушених напівфабрикатів на основі плодово-ягідної сировини, яка вимагає щадного режиму теплової обробки.

Сушіння органічної природної сировини є складним технологічно-конструктивним завданням для сучасної інженерії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для покращення технологічних процесів із виробництва якісних органічних продуктів харчування із плодово-ягідної сировини на багатьох підприємствах здійснюється їх технічне переозброєння шляхом оснащення сучасним ефективним і надійним обладнанням, яке є універсальним, економічним, надійним та мінімізує втрати під час технологічних операцій [1].

На сьогодні одним з основних напрямів для підвищення ефективності виробництва якісної органічної сушеної продукції є збереження та використання вторинних енергоресурсів під час проведення технологічних процесів сушіння на наявному обладнанні за рахунок його модернізації або створення принципово нового устаткування.

До основних недоліків наявного устаткування, що істотно впливають на якість отримуваної сушеної продукції, належать [2–4]:

– низька рівномірність розподілу теплових потоків від ІЧ-випромінювачів за рахунок складності виготовлення рефлекторних блоків із раціональною формою;

- збільшення металомісткості апаратів за рахунок використання рефлекторних блоків;
- неврахування спектрально-оптичної складової об'єктів «рослинна сировина – ІЧ-випромінювач»;
- незначне енергозбереження;
- відсутність енергоощадних комплексів та пристроїв.

Тому виникає потреба в розробці принципово нового енерго- та ресурсоощадного обладнання з обов'язковим використанням сучасних низькометалевих ІЧ-випромінювачів [5], що мають чітку динаміку роботи та низьку температуру робочої поверхні.

У попередніх роботах авторів [5] доведено ефективність використання як нагрівача гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕНВТ) [6], який характеризується простотою монтажування, низькою металомісткістю, інерційністю та простотою автоматизації, легкістю конструкції, низькою енергоємністю та невисокою температурою робочої поверхні (40–85°C).

Мета статті – підвищення ресурсо- та енергоефективності процесу сушіння органічної природної сировини шляхом розробки принципово нової універсальної ІЧ-сушарки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети в Харківському державному університеті харчування та торгівлі на кафедрі процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв розроблено експериментальну установку універсальної ІЧ-сушарки органічної природної сировини, що дозволить проводити дослідження з можливих шляхів інтенсифікації існуючих сушарних апаратів і процесів.

Розроблена універсальна ІЧ-сушарка органічної природної сировини безрефлекторного типу з раціональною формою робочої камери належить до апаратів харчової промисловості безперервної дії, під час проектування якої були поставлені такі завдання:

- підвищити ефективність теплообміну;
- зменшити тривалість процесу сушіння за рахунок забезпечення рівномірності температурного поля на приймачах та в робочій камері апарата в цілому та вібрації;
- розміщення конструктивно ефективного енергоощадного пристрою;
- підвищення якості отриманої продукції.

Розроблена універсальна ІЧ-сушарка органічної природної сировини (рис. 1) складається із завантажувального бункера 1, гнучкої оффрованої трубки 2, модульних сітчастих місткостей 3,

горизонтально вмонтованих перфорованих перегородок 4, вертикальної циліндричної робочої камери 5, вібраційного дискового механізму 6, бункера тимчасового зберігання сушеної продукції 7, гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу 8, внутрішнього повітряного трубопроводу 9, змієвикових теплообмінників 10, витяжних вентиляторів 11; нагнітаючого вентилятора 12; 13 – спірального розсіювача повітря; 14 – стійок.

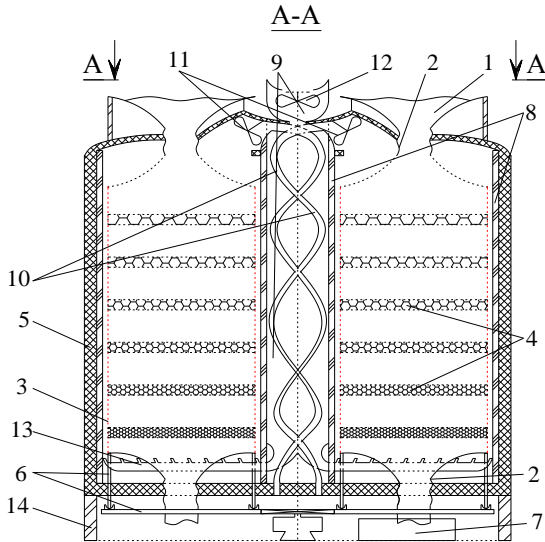


Рис. 1. Приклад універсальної ІЧ-сушарка органічної природної сировини із двох модулів сітчастих місткостей: 1 – завантажувальний бункер; 2 – гнучка гофрована трубка; 3 – модульні сітчасті місткості; 4 – горизонтальні вмонтовані перфоровані перегородки; 5 – вертикальна циліндрична робоча камера; 6 – вібраційний дисковий механізм; 7 – бункер тимчасового зберігання сушеної продукції; 8 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу (ГПРЕнВТ); 9 – внутрішній повітряний трубопровід; 10 – змієвикові теплообмінники; 11 – витяжні вентилятори; 12 – нагнітаючий вентилятор; 13 – спіральний розсіювач повітря; 14 – стійки

Реалізація сушіння в запропонованому пристрої здійснюється таким чином: органічна природна сировина, що попередньо відкалібрована, або ж нарізана певними геометричними розмірами

надходить до завантажувального бункера 1, розташованого у верхній частині апарата та з'єднаного за допомогою гнучкої гофрованої труби 2 з модульними сітчастими місткостями 3 (діаметр отворів яких менший за діаметри отворів горизонтальних перегородок), які мають усередині горизонтально вмонтовані перфоровані перегороди 4 зі змінними діаметрами отворів. Модульні сітчасті місткості 3 заповнюють внутрішню геометрію вертикальної циліндричної робочої камери 5.

Розвантаження модульних сітчастих місткостей 3 здійснюється за рахунок використання вібраційного дискового механізму 6 стійки якого вмонтовані в нижніх частинах модульних секційних місткостей 3 та усушування сировини шляхом зменшення її геометричних розмірів з одночасним її проходженням під дією вібрації крізь відповідні діаметри отворів, розміщених на горизонтальних вмонтованих перфорованих перегородках 4.

Головною умовою розвантаження сировини в модульних сітчастих місткостях 3 є проходження її крізь нижню горизонтально вмонтовану перфоровану перегородку 4 із найменшими діаметрами отворів, які розраховуються за відповідним рівнянням і характеризують сушену сировину з кінцевим вологовмістом 6–12%.

Нижня частина модульних сітчастих місткостей 3 – це одночасно бункер розвантажування, з'єднаний гнучкою гофрованою трубою 2 із бункером тимчасового зберігання сушеної продукції 7.

Сушіння природної сировини здійснюється за температури 40–60°C, за рахунок використання як нагрівача гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу 8 [6], який встановлено також і на зовнішній поверхні внутрішнього повітряного трубопроводу 9, розміщеного в центрі робочого простору апарата.

У верхній частині внутрішнього повітряного трубопроводу 9 вмонтовано нагнітаючий вентилятор 12, що створює необхідний тиск для руху свіжого повітря між розташованими всередині змієвиковими теплообмінниками 10, усередині яких рухається відпрацьоване вторинне повітря із середньою температурою 42–58°C, яке нагнітається за рахунок витяжних вентиляторів 11, розташованих у верхній частині апарата. Нижня частина внутрішнього повітряного трубопроводу 9 з'єднана зі спіральним розсіювачем повітря 13, який розташований у нижній частині апарата.

Під час проходження свіжого повітря внутрішньомім повітряним трубопроводом 9 здійснюється його попереднє підігрівання в середньому на 4–7°C, що, у свою чергу, дозволяє збільшити спроможність повітря поглинати випаровану вологу із

сировини. Універсальна ІЧ-сушарка органічної природної сировини змонтована на стійках 14.

Під час досліджень в експериментальній партії сушеної моркви її кінцеву якість установлювали органолептичним методом за такими параметрами: консистенцією, запахом, смаком, кольором і зовнішнім виглядом. Отриману профілограму органолептичних показників дослідного зразка сушених морквяних напівфабрикатів наведено на рис. 2.

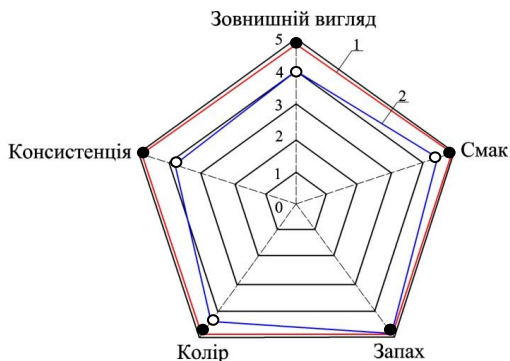


Рис. 2. Профілограма органолептичних показників сушених морквяних напівфабрикатів: 1 – зразок отриманий під час сушіння у розробленій універсальній ІЧ-сушарці; 2 – зразок, придбаний у торговельній мережі

Із наведених профілів видно, що найбільш високі органолептичні показники має зразок, отриманий саме в розробленій ІЧ-сушарці. Надалі планується більш детальне дослідження процесів ІЧ-сушіння в спроектованому та запатентованому апараті з використанням комп'ютерних програм TracePro, Flow Simulation.

Розроблений апарат є сучасною ефективною ресурсо-енергоощадною універсальною ІЧ-сушаркою безперервної дії з раціональною формою робочої камери, призначеною для сушіння одночасно до чотирьох різновидів органічної природної сировини для отримання якісних сушених напівфабрикатів.

Висновки. Переваги розробленої універсальної ІЧ-сушарки органічної природної сировини полягають у:

– безперервній роботі апарата з можливістю одночасного сушіння до чотирьох різновидів сировини в модульних сітчастих місткостях;

– підвищенні ресурсо- та енергоефективності за рахунок використання як нагрівача гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу, встановленого на внутрішній поверхні апарата й зовнішній поверхні внутрішнього повітряного трубопроводу, розміщеного в центрі робочого простору апарата;

– підвищенні якості отриманої продукції за рахунок зменшення тривалості термічної обробки сировини за м'якого температурного режиму (40–60°C) та використання вібрації.

Список джерел інформації / References

1. Погожих М. І. Технологія сушіння харчової сировини : навчальний посібник / М. І. Погожих, В. О. Потапов, М. М. Цуркан. – Харків: ХДУХТ, 2009. – 240 с.

Pohozhykh, M. I., Potapov, V. O., Tsurkan, M. M. (2009) *Technology of drying of food raw materials [Tekhnolohiya sushynnya kharchovoyi syrovyny]* Kharkiv 240 p.

2. Михайлов В. М. Малогабаритна енергозберігаюча сушильна установка / В. М. Михайлов, О. А. Северин // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій / Одеська нац. акад. харч. техн. – Одеса, 2006. – Вип. 28, – Т. 2. – С. 395–396.

Mykhaylov, V. M. Severyn, O. A. (2006) “Small-sized energy-saving drying plant” [“Malohabarytna enerhozberihayucha sushyl'na ustanovka”], *Naukovi pratsi Odes'koyi natsional'noyi akademiyi kharchovykh tekhnolohiy*, Odesa, Iss. 28, Vol. 2, 395-396 pp.

3. Касаткин В. В. Сушка термолабильных материалов на установках непрерывного действия / В. В. Касаткин, И. Ш. Шумилова // Пищевая промышленность. – 2006. – № 10. – С.12–13.

Kasatkin, V. V., Shumilova, I. Sh. (2006). “Drying thermolabile materials in continuous installations” [“Sushka termolabil'nykh materialov na ustanovkakh nepreryvnogo deistviia”], *Pishchevaia promyshlennost'*, No. 10, pp. 12-13.

4. Промислові сушарки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://tehnoprom.vn.ua/ua/>.

Industrial dryers [Promyslovi susharki], available at : <http://tehnoprom.vn.ua/ua/>.

5. Монокристал – единственный производитель инфракрасных пленочных нагревательных элементов в Украине, странах Европы и СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://monocrystal.com.ua/index.php>

Monocrystal is the only manufacturer of infrared film heating elements in Ukraine, Europe and CIS countries. [Monokrystall – edynstvennyy proyzvoditel' ynfkrasnykh plenochnykh nahrevatel'nykh elementov v Ukrainy, stranakh Evropy y SNH], available at : <http://monocry-stal.com.ua/index.php>.

6. Пат. на корисну модель 108041 Україна, МПК G05D 23/19, B01D 1/22, H05B 3/36. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу / Загорулько А. М., Загорулько О. Є. ; заявник та

патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u201600827 ; заявл. 02. 20.2016 ; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – 4 с.

Zagorulko, A.M., Zagorulko, E.E., (2016) Pat. a utility model 108041 Ukraine, Flexible film resistive electric heater of radiating type [Gnuchkyj plivkovyj rezystyvnyj elektronagrivach vuprominyuyuchogo typu]

Кіптела Людмила Василівна, д-р техн. наук, проф., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: kiptela_L.V@hduht.edu.ua.

Киптелея Людмила Васильевна, д-р техн. наук, проф., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: kiptela_L.V@hduht.edu.ua.

Kiptela Liudmyla, Dr of Technical Sciences, Professor, Faculty of Equipment and Technical Services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: kiptela_L.V@hduht.edu.ua.

Загорулько Андрій Миколайович, канд. техн. наук, факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: zagorulkoAN@hduht.edu.ua.

Загорулько Андрей Николаевич, канд. техн. наук, факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: zagorulkoAN@hduht.edu.ua.

Zagorulko Andrii, PhD, Faculty of Equipment and Technical Services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: 0505474173; e-mail: zagorulkoAN@hduht.edu.ua.

Загорулько Олексій Євгенович, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: zagorulko@hduht.edu.ua.

Загорулько Алексей Евгеньевич, канд. техн. наук, доц., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: zagorulko@hduht.edu.ua.

Zagorulko Alexey, PhD. Sc. Associate Professor, Faculty of Equipment and Technical Services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: zagorulko@hduht.edu.ua.

Ляшенко Богдан Віталійович, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет

харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: Liashenko@hduht.edu.ua.

Ляшенко Богдан Витальевич, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання і технічного сервіса, Харьковський державний університет харчування і торгівлі. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail : Liashenko@hduht.edu.ua.

Liashenko Bohdan, PhD. Sc. Associate Professor, Faculty of Equipment and Technical Services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: Liashenko@hduht.edu.ua.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.О. Потаповим.

Отримано 30.09.2017. ХДУХТ, Харків.

DOI: 10.5281/zenodo.1108565

УДК 621.565.93.95

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСКРИТИЧНИХ БУСТЕРНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

В.О. Потапов, О.В. Петренко, Д.П. Семенюк, Д.В. Білий

Розглянуто та проаналізовано конструктивні особливості обладнання, що входить до складу транскритичних бустерних холодильних систем. Особливу увагу приділено заходам, які забезпечують роботу системи за високих тисків.

Ключові слова: *CO₂, транскритична фаза, бустерна система, робочий тиск, газоохолоджувач, ресивер, трубопроводи, вугільна кислота.*

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСКРИТИЧЕСКИХ БУСТЕРНЫХ СИСТЕМ

В.А. Потапов, Е.В. Петренко, Д.П. Семенюк, Д.В. Белый

Рассмотрены и проанализированы конструктивные особенности оборудования, входящего в состав транскритических бустерных холодильных систем. Особое внимание уделено мероприятиям, обеспечивающим работу системы при высоких давлениях.

Ключевые слова: *CO₂, транскритическая фаза, бустерная система, рабочее давление, газоохладитель, ресивер, трубопроводы, угольная кислота.*