

СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ
ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 631.563.2:664.086:005.591.6

АПАРАТИ ДЛЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ
DEVICES FOR DRYING RAW MATERIALS BY
ELECTROMAGNETIC FIELD¹Бандура В. М., к.т.н., професор, ²Яровий І.І., к.т.н., асистент, ²Маренченко О. І., аспірант,
²Пилипенко Є.О., аспірант¹Вінницький національний аграрний університет²Одеська національна академія харчових технологій¹Bandura V.M., ²Yarovi I.I., ²Marenchenko O.I., ²Philipenko O.E.¹Vinnitsia national agrarian university²Odessa national academy of food technologies

Copyright © 2016 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Анотація. Визначено актуальність дослідження інноваційних способів енергопідводу в процесах сушіння рослинної сировини. Показано основні переваги сушіння вологих матеріалів у мікрохвильовому та інфрачервоному електромагнітному полі. Обґрунтовано вибір моделі процесу вологовидалення та способів дослідження даного процесу. Показано узагальнений аналіз результатів дослідження процесу видалення вологи під впливом електромагнітного поля для декількох видів рослинної сировини. Обґрунтовано вибір апаратурної схеми установки для сушіння рослинної сировини в потоці. Визначено основні конструктивні рішення та обмеження в конструкції сушильного апарату з електромагнітним енергопідводом. Узагальнено досвід використання дослідної сушильної установки з комбінованим електромагнітним енергопідводом. Запропоновано структурну схему та типовий конструктив універсальної установки для сушіння і стерилізації рослинної сировини та харчових продуктів і напівфабрикатів.

Abstract. The article determines the relevance of the research of innovative methods of energy transfer in the processes of drying of plant raw materials. Electromagnetic emitters, as sources of contactless energy transmission in the processes of drying and sterilization of moist materials are used very limited. At the same time, such a method of drying is known for a long time and has a whole list of advantages over conventional convection drying technology. The article shows the main advantages of the process of drying of moist materials in microwave and infrared electromagnetic fields. The purpose and task of the study of the process of the combined power transmission with the use of both types of fields have been formed.

The article describes the procedure for carrying out experiments on the study of the moisture removal process at a combined power transmission. The main characteristics of experimental equipment used in experiment - a special strip modular drying unit with microwave and infra-red heating zones are given. The choice of methods of experimental research of drying process is substantiated. The approximate model of the process of damp removal under the influence of an electromagnetic field and the choice of methods for determining the main dependencies characterizing the process are described.

The generalized analysis of the results of the process of removing moisture under the influence of an electromagnetic field for several types of plant material is shown. The choice of the equipment scheme for an industrial plant for drying vegetable raw materials in the stream is substantiated. The basic design decisions and constraints in the design of a modular drying device with an electromagnetic energy source are determined. The experience of using an experimental drying unit with a combined electromagnetic power supply is generalized. The structural scheme and typical design of a universal plant for drying and sterilization of plant raw materials, food products and semi-finished products are offered.

Ключові слова: електромагнітні джерела енергії, комбіновані способи сушіння, мікрохвильове сушіння, інфрачервоне сушіння, сушіння рослинної сировини, енергоефективність.

СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

Keywords: electromagnetic energy sources, combined drying methods, microwave drying, infrared drying, drying of vegetable raw materials, energy efficiency.

Вступ. Сушіння було і залишається однією з найбільш енергоємних операцій серед технологічних процесів харчової та переробної промисловості [1, 2]. Традиційні, переважно конвективні, способи сушіння не в змозі продемонструвати значного покращення їх енергоефективності, інтенсивності вологовидалення та збільшення якості висушеного продукту.

Інноваційні технології сушіння, зокрема з використанням мікрохвильового (МХ) впливу, поступово проникають в такі сектори економіки як сушіння термолабільних матеріалів, порошків фармацевтичного призначення, інтенсифікація процесів полімеризації матеріалів, тощо [3, 4].

Актуальність. Одна з проблем конвективних способів сушіння полягає в тому, що тепло, необхідне для випарювання рідини, передається волозі матеріалу через декілька агентів – посередників: спочатку тепло генерується спалюванням палива, далі тепло передається сушильному агенту, потім сушильний агент нагріває вологий матеріал і лише внаслідок нагріву матеріалу тепло передається волозі, яка при достатньому енергопідводі видаляється випарюванням [5]. На кожному з етапів цієї послідовності передачі тепла є непродуктивні втрати, а в кінці ланцюга перетворень до вологого матеріалу (суха частка якого складає чималий відсоток) слід підвести скільки тепла, щоб нагріти увесь матеріал до такої температури при якій буде проходити інтенсивне випарювання вологи.

Використовуючи в якості енергопідводу мікрохвильове (МХ) електромагнітне поле можна вирішити цю проблему, а саме - забезпечити не опосередковану передачу тепла у внутрішні шари частинок нагріванням їх поверхні, а використавши особливості взаємодії електромагнітного поля та дипольних молекул води – забезпечити адресний енергопідвід, тобто підігрівати нагріванню саме вологу, що міститься в матеріалі частинок матеріалу [6].

Ще не набувши широкого використання технологія електромагнітного сушіння все частіше знаходить своє місце в процесах комбінованого сушіння та термічної обробки матеріалів, зокрема у поєднанні з конвективним нагрівом гарячим повітрям, інфрачервоним випромінюванням та вакуумом [7].

Одними з найбільш ефективних сушильних апаратів на основі мікрохвильових технологій вологовидалення вважаються стрічкові установки модульної конструкції. До переваг таких рішень слід віднести високу продуктивність, високу швидкість сушіння, широкий спектр режимів роботи, легке масштабування продуктивності конструкції, можливість комбінування мікрохвильового впливу з іншими видами енергопідводу: інфрачервоним випромінюванням та конвективним нагріванням.

Мета досліджень. Комплекс досліджень процесів взаємодії мікрохвильового електромагнітного поля з вологими матеріалами рослинного походження є частиною базової наукової програми кафедри процесів, апаратів та енергетичного менеджменту, що має на меті розробку нових інноваційних методів та способів сушіння рослинної сировини в технологічних процесах харчової промисловості.

Однією з поточних цілей дослідження є визначення потенціалу, обмежень та доцільних режимів енергопідводу для енергоефективного провадження процесу сушіння в стрічковій сушарці з використанням електромагнітних джерел енергії. **Об'єкт сушіння** – рослинна сировина.

Результати експериментальних досліджень сушіння рослинних матеріалів. Для досліджень процесів мікрохвильового сушіння матеріалів і сировини, на кафедрі створено експериментальну сушильну установку з комбінованим (мікрохвильовим та інфрачервоним) енергопідводом (рис. 1).

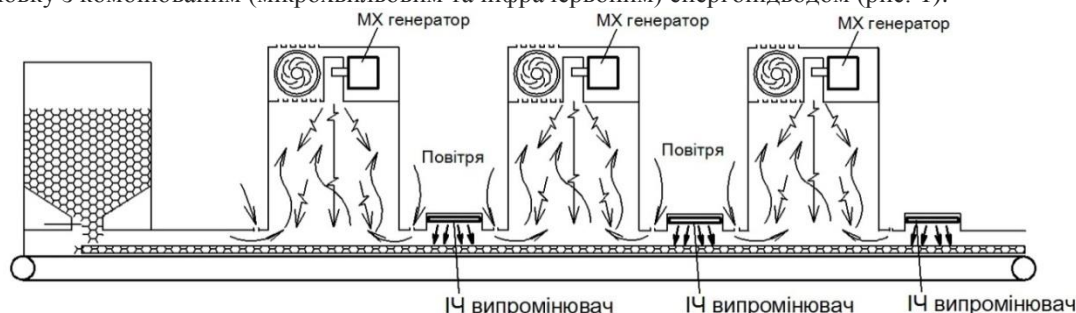


Рис. 1 - Схема стрічкової сушильної установки ОНАХТ

Характеристики установки:

Частота випромінювання МХ генераторів: 2450 ± 50 МГц;

Споживана електрична потужність МХ випромінювачів: $\leq 2,4$ кВт (регулюється);

Споживана електрична потужність ІЧ випромінювачів: $\leq 5,4$ кВт (регулюється);

Швидкість конвеєра установки: $0 \pm 0,3$ м / хв (регулюється);

Продуктивність по продукту, усереднено: 3 ± 10 кг/год;

**СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ
ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Продуктивність по вологі, усереднено: $0,3 \pm 0,4$ кг/год;

Габаритні розміри установки (д/ш/в): 3000x600x1200 мм.

Конструкція установки дозволяє здійснювати контрольований та дозований вплив електромагнітним випромінюванням на матеріали, що транспортуються стрічковим конвеєром через три сушильні модулі, кожен з індивідуальним керуванням потужності. Експозиція сушіння визначається швидкістю стрічки.

Основна група експериментальних досліджень, що проводяться на установці, пов'язана з визначенням обмежень та доцільних режимів у процесах мікрохвильового, інфрачервоного та комбінованого сушіння сировини і матеріалів рослинного походження: зерен пшениці та бобових культур, вареного гороху, нарізаних овочів і фруктів.

Результати проведених досліджень свідчать, що через велику кількість факторів, процес взаємодії МХ поля з рослинною сировиною, вкрай складно піддається аналітичному аналізу. Саме тому основним напрямком робіт у дослідженні процесів МХ сушіння обрано шлях експериментального моделювання процесів, з подальшим аналізом результатів.

Саме стрічкові сушарки є одною з найбільш перспективних конструкцій для сушильних апаратів з адресним електромагнітним енергопідведенням. Найбільш доцільною для таких апаратів є модульна конструкція сушильних зон з десятком і більше сушильних модулів. За рахунок лінійного збільшення кількості сушильних камер подібні установки дозволять відносно просто масштабувати їх продуктивність. Важливим є те, що при збільшенні кількості зон сушіння пропорційно зростатиме експозиція сушіння, а при умові достатньо високої швидкості транспортування сировини зменшується ризик локальних перегрівів, що можуть виникати в матеріалі внаслідок нерівномірності впливу електромагнітного поля. Фізичні особливості взаємодії МХ поля з вологою, що міститься в частинках сировини, дозволяють використовувати такі режими обробки, при яких поле нагріває шари матеріалу пропорційно їх вологості. Такий спосіб обробки рослинної сировини виглядає перспективним для нагрівання, сушіння, досушування та стерилізації сировини, матеріалів і продуктів саме у харчовій промисловості.

Дуже перспективною виглядає можливість створення комбінованих способів вологовидалення, а одним з найцікавіших варіантів є поєднання МХ способу сушіння з інфрачервоною сушкою. Обидва способи дозволяють створити інтенсивний потік вологи в межах вологої частинки, різниця полягає у глибині шарів на які здійснюється вплив. Якщо МХ випромінювання дозволяє створити інтенсивний потік вологи з глибоких шарів частинки, то ІЧ випромінювання дозволяє інтенсифікувати рух вологи у приповерхневих шарах. Такий комбінований вплив на процес перерозподілу (транспортування) вологи всередині частинок вологої сировини, може бути рекордно енергоефективним при збереженні високої продуктивності сушіння.

Одна з проблем проведеної частини дослідження стосувалась моделювання роботи багатозонної сушарки на базі установки з декількома (трьома) модулями. Для експериментального моделювання роботи багатозонної установки, вологий матеріал дозувався в контейнери, а контейнери, після проходження ними трьох зон сушіння переміщались з вихідного шлюзу сушарки до вхідного. Проводилось декілька таких перенесень, при кожному з них фіксувалась маса контейнера а за її зміною визначалась кількість виділеної вологи.

На окремих етапах дослідження, в якості об'єкту сушіння використовувались різні види рослинної сировини: зернові та бобові культури (пшениця, насіння соняшника, горох, соя), різані фрукти (яблука, груші, банани, ананас), овочі (морква, буряк, цибуля). Тестові сушіння показали високу якість отриманої сухої продукції. Порівняно з традиційним конвективним сушінням при МХ+ІЧ сушінні повніше зберігається як смакові якості так і зовнішній вигляд продукту.

Найкраще для обробки у стрічковій сушарці підходить сипка сировина з складною внутрішньою структурою. Одним з об'єктів дослідження було обрано насіння соняшника. Наявність жорсткої зовнішньої оболонки ускладнює його сушіння з використанням конвективного енергопідводу, до того ж соняшник є термолабільним, а МХ сушіння має значні переваги саме для таких матеріалів.

Проведено експериментальне моделювання процесу вологовидалення при декількох значеннях навантаження сушарки (змінюючи товщину шару сировини), при декількох значеннях продуктивності установки (змінюючи швидкості стрічки сушарки) та декількох значеннях інтенсивності електромагнітного МХ поля та ІЧ випромінювання. Діапазон потужностей впливу інфрачервоного випромінювання (ІЧ) та надвисокочастотного (НВЧ) електромагнітного поля змінювався у великих межах. Досліджено роздільний та комбінований вплив ІЧ та МХ випромінювання [7].

Роздільний вплив, зон сушіння з МХ генератором та зон з ІЧ – випромінювачем досліджувався з наступними параметрами. Сировина - соняшник, завантаження стрічки конвеєра $g=3,96 \div 7,92$ кг/м², питома потужність МХ випромінювання $N_{mx}=7,5 \div 15$ кВт/м², питома потужність ІЧ випромінювання $N_{ic}=7,33 \div 11$ кВт/м², тривалість процесу сушіння $\tau=30 \div 45$ хв., температура сушіння $T=34 \div 39$ °С.

СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

Визначено, що при сушінні соняшника наявна значна різниця у ефективності МХ та ІЧ енергопідведення, так при однаковій підведеній електричній потужності ІЧ-випромінювання висушує насіння соняшника у 2.5 рази швидше ніж при МХ енергопідведення.

За аналогічною схемою досліджувався процес сушіння сої. Встановлено, що тип енергопідведення для сої менш важливий. На початку процесу сушіння деяку перевагу має використання ІЧ енергопідведення, проте до кінця періоду сушіння швидкість вологовидалення стає практично однаковою для обох способів.

Комбінований, тобто послідовний вплив, зони сушіння з МХ генератором та зони з ІЧ – випромінювачем досліджувався з наступними параметрами $g=3.96 \text{ кг/м}^2$, швидкість стрічки $v=0,025 \text{ м/с}$, $N(\text{ІЧ}+\text{НВЧ})=30, 36 \text{ та } 41 \text{ кВт/м}^2$, при вищих показниках потужності, температура шару сировини перевищувала допустимі для органічного матеріалу показники. Тривалість обробки 60 хв. Графіки залежностей надано на рис. 2.

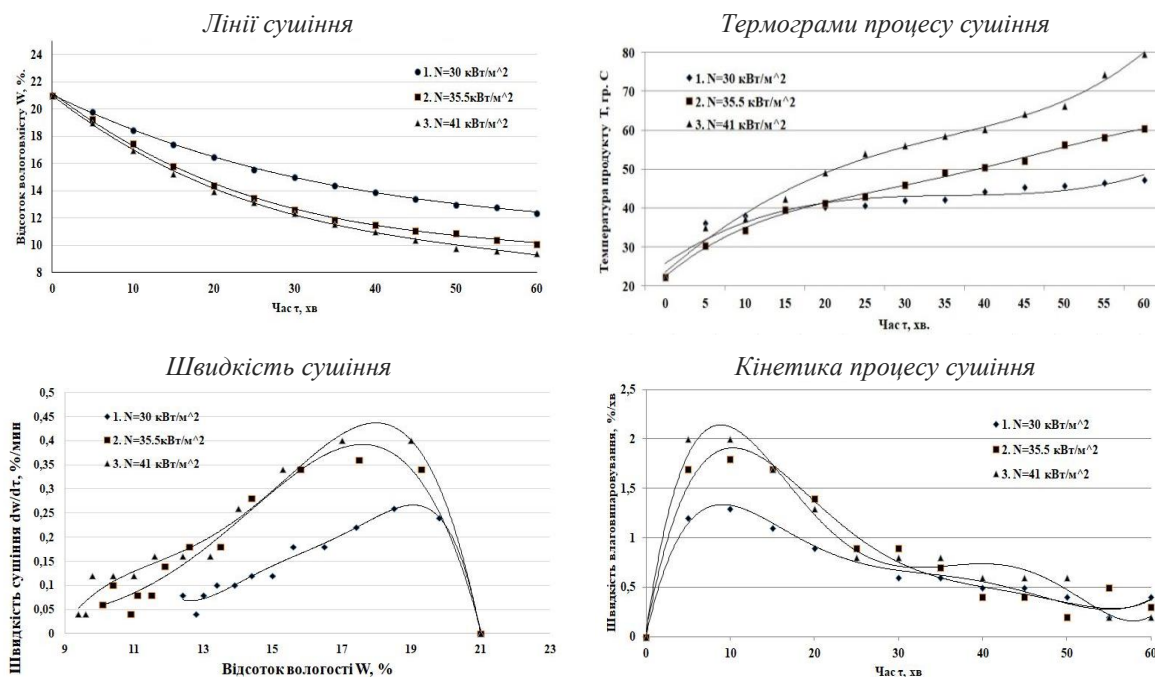


Рис. 2 - Графіки залежностей сушіння сої при комбінованому впливі ІЧ + НВЧ випромінювання

Результати дослідження дозволяють стверджувати, що технології мікрохвильового сушіння цілком реально застосовувати в технологічних процесах переробки рослинної сировини. Так зменшення вологості сої з 21 до 12,5 відсотків, при використанні комбінованого енергопідведення з питомою потужністю 30 кВт/м^2 , проходить на протязі 60 хв.. При такому режимі максимальна температура продукту не перевищувала $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Більший енергопідведення призводить до збільшення температури продукту до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ і вище. Комбінований вплив МХ поля та ІЧ випромінювання дозволяє отримати показники вологовидалення в межах $1 \text{ } \%/ \text{хв}$., а при реалізації в установці режиму вологовидалення без повного випаровування води енергоефективність апаратів з адресним енергопідведенням має стати на порядок вищою порівняно з традиційними конвективним сушильними технологіями [8].

Безпосередній «адресний» вплив на вологу, що міститься в матеріалі рослинної сировини, відсутність посередників, на кшталт сушильного агенту, та непродуктивних витрат енергії для нагрівання вже висушених ділянок (шарів) частинок матеріалу, в перспективі, дозволить електромагнітному способу сушіння стати одним з найбільш енергоефективних.

Аналізуючи перспективні можливості МХ сушильних апаратів слід приділити увагу ще одному питанню: чи обов'язково видаляти вологу з частинок матеріалу у вигляді пари?

Використання МХ електромагнітного поля відкриває можливість адресного, періодичного та дозованого впливу на вологу, що знаходиться у капілярах внутрішніх шарів частинки матеріалу, і дозволяє створювати такі режими енергопідведення, при яких випаровування води в капілярах буде протікати у вигляді серій імпульсів керованої періодичності та потужності, спричиняючи при цьому «викидання»

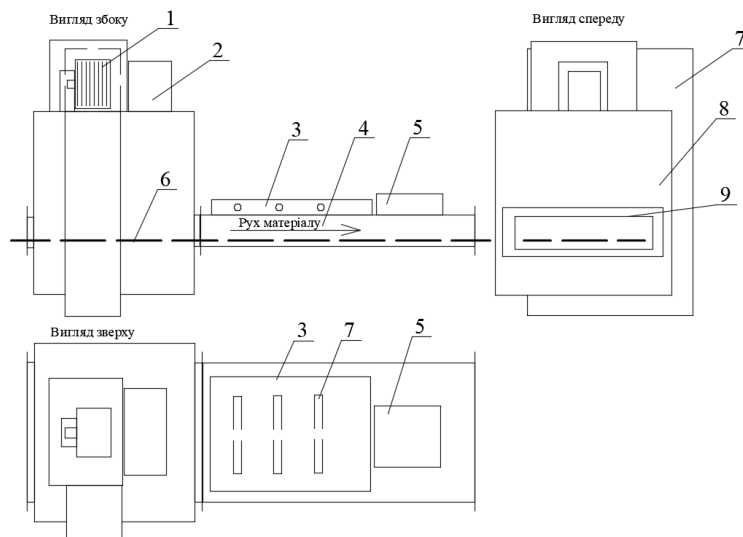
СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

крапель невивареної води з капілярів у вигляді туману, без повного її випарювання. Такий ефект, названий «бародифузійною» реалізовано вченими кафедри у лабораторних дослідах [8]. Ініціація та стабілізація «бародифузійного» режиму роботи мікрохвильової сушарки потребує точно настроєної системи керування і глибокого знання процесів, що протікають у внутрішніх шарах вологої сировини при його обробці потужним МХ полем.

Пропозиції, щодо дизайну стрічкової МХ сушарки. При розробці конструкції МХ сушильної установки доцільно виходити з таких умов:

- конструкція сушарки має складатися з набору окремих (автономних) сушильних камер.
- вхідний та вихідний шлюзи та тунелі між камерами МХ нагріву, мають бути довжиною в межах 1 м. та висотою 35÷40 мм., що при номінальній завантаженості стрічки шаром вологої сировини мінімізує взаємний вплив магнетронів сусідніх камер;
- зона інфрачервоного нагріву має бути суміщеною з транспортним тунелем та розміщуватись після камери МХ сушіння;
- розміщення силових блоків (магнетрон, трансформатор живлення та ін.) має бути зручним для обслуговування в зв'язку з необхідністю періодичної заміни МХ генераторів;
- систему охолодження МХ генераторів (магнетронів) доцільно інтегрувати з системою продувки шару матеріалу повітряним потоком, що збільшить дифузійні властивості повітря та загальну енергоефективність установки;
- вхідний і вихідний тунелі сушарки доцільно забезпечити від витоків мікрохвильової енергії водяними навантаженнями, у вигляді радіопрозорих ємностей з водою;
- конструкція сушильних камер має бути цільнозварною, щоб уникнути витоків МХ випромінювання, для обслуговування слід передбачити технологічний люк;
- в зв'язку з необхідністю реалізації в сушарці складних алгоритмів включення магнетронів сушильних камер і приводу конвеєра, систему управління слід реалізувати на основі програмованого технологічного контролера з можливістю запуску заздалегідь розроблених програм сушіння для різних видів вологих матеріалів.

Основою мікрохвильової сушильної установки має стати типовий сушильний модуль (сушильна камера), ескізний проект конструкції такого модуля представлений на рис. 3. Модуль складається з прямокутної сушильної МХ камери, габарити якої відповідають параметрам використовуваного МХ генератора, наприклад для магнетронів з частотою 2450 МГц, габарити можуть складати (г/ш/в): 570x520x580 мм. та технологічного каналу з вбудованим ІЧ нагрівачем і витяжним вентилятором.



1 – магнетрон, 2 – блок керування, 3 – ІЧ нагрівач, 4 – транспортний тунель, 5 – вентилятор, 6 – стрічка конвеєра, 8 – корпус МХ камери, 9 – переріз транспортного каналу.

Рис. 3 - Загальний вигляд сушильного модуля (проект)

З двох сторін камери вбудовані фланці для з'єднання камери з транспортним тунелем та іншою камерою. Висота вікна повинна становити достатній простір для приєднання транспортних тунелів різної висоти. Збільшення висоти тунелю погіршить спільну роботу магнетронів камер, але надасть можливість обробляти більш габаритні, ніж тонкий шар сипучої сировини, матеріали, наприклад – стерилізувати

СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

упаковані продукти. Мінімальна висота вікна повинна складати 30 ... 40 мм, максимальна ~ 300 мм. Внутрішній простір камери має являти собою рівну, плоску, гладку поверхню, нефарбовану, матеріал камери - нержавіюча сталь. У верхній частині камери знаходиться вихід хвилеводу магнетрона спрямований вертикально вниз, на стрічку конвеєра, по центру камери.

Схема управління сушильним модулем має передбачати: керування випромінювачем (сигнали «пуск»/«стоп»), блокування роботи магнетрона при відсутності продукту на вході камери та при перегріві магнетрона, контроль температури шару продукту на виході камери, контроль інших параметрів (вологість повітря на виході камери, інтенсивності МХ та ІЧ випромінювання, тощо.). Управління сушильною установкою має бути реалізоване у вигляді системи на базі програмованого контролера з панеллю людинно-машинного інтерфейсу, як найбільш гнучкої та універсальної платформи для керування складними технологічними процесами. Алгоритм керування сушильною установкою має передбачати вільне конфігурування режиму роботи апаратної частини (кількість зон, режими генерації, кількість і типи контролю) під виконувани установкою технологічні завдання, включаючи і широкий набір типових сценаріїв використання установки. Загальний конструктив модульної сушильної установки з комбінованим енергопідводом показано на рис. 4.

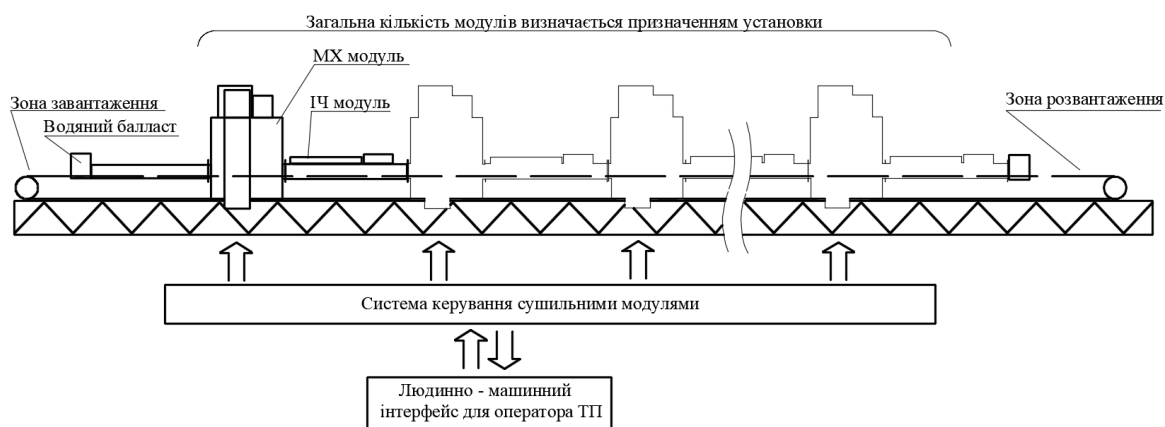


Рис. 4 - Приклад конструктивного рішення для сушильної установки з комбінованим енергопідводом

Висновок. Відповідно до мети і тематики дослідження проведено експериментальне дослідження процесу вологовидалення з рухомого шару рослинної сировини під комбінованим впливом інфрачервоного та мікрохвильового випромінювання. Дослідження проведено на основі показників роботи діючої експериментальної сушильної установки. В ході проведених випробувань досліджено кінетику процесу вологовидалення, визначено основні параметри та обмеження процесу комбінованого сушіння.

На основі аналізу результатів дослідження запропоновано проектне рішення промислової стрічкової сушильної установки з мікрохвильовим та інфрачервоним енергопідводом та можливістю масштабування продуктивності.

Література

1. Филоненко Г.К., Гришин М.А., Гольденберг Я.М. Сушка пищевых растительных материалов: учебное пособие. Москва: Пищевая промышленность, 1971. 435 с.
2. Бурич О., Берки Ф. Сушка плодов и овощей: пер. с венг. Справочное пособие. Москва: Пищевая промышленность, 1978. 280 с.
3. Shivhare U. et al. Microwave drying of soybean at 2.45 GHz //Journal of microwave power and electromagnetic energy. 1993. Т. 28, №. 1. С. 11 - 17.
4. Бурдо О.Г. Технологии направленного энергетического действия в АПК: Наукові праці ОНАХТ. Одеса, ОНАХТ, 2015. Т. 1, вип. 41. С. 42 - 46.
5. Снежкин Ю.Ф., Буряк Л.А., Хавин А.А. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов: монография. Киев, НАН Украины, изд. «Наукова думка», 2004, 227 с.
6. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Одесса: Полиграф, 2010. 368 с.
7. Бандура В. М., Маренченко О.І., Пилипенко Є.О., Катасонов О.В. Кінетика сушіння олійної сировини в електромагнітному полі: Наукові праці ОНАХТ. Одеса, ОНАХТ, 2017. Т. 81, випуск 1, С. 94 - 99.

**СТВОРЕННЯ ІНОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ
ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

8. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Бандура В.Н., Яровой И.И. Механодиффузионный эффект – новое явление в тепломассопереносе: ММФ. Минск, Беларусь. 2016, С. 224-228.

References

1. Fyloenko, H. K., Hryshyn, M. A., Holdenberh, Ya. M., & Kossek, V. K. (1971). Sushka pyshchevykh rastytelnykh materialov. *Pyshchevaia promyshlennost*, 440.
2. Burych, O., & Berky, F. (1978). Sushka plodov y ovoshchei. M.: *Pyshchevaia promyshlennost*, 280.
3. Shivhare, U., Raghavan, V., Bosisio, R., & Giroux, M. (1993). Microwave drying of soybean at 2.45 GHz. *Journal of microwave power and electromagnetic energy*, 28(1), 11-17.
4. Burdo, O. H. (2015). Tekhnolohyyu napravlennoho enerhetycheskoho deistviya v APK. *Naukovi pratsi [Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii]*, (47 (1)), 4-10.
5. Snezhkyn, Yu. F., Boriak, L. A., & Khavyn, A. A. (2004). *Enerhosberehaiushchye teplotekhnolohyyu proyzvodstva pyshchevykh poroshkov yz vtorychnykh syrevykh resursov*. Kyev: Naukova dumka, 227.
6. Burdo, O. H. (2010). *Evolyutsiya sushylnykh ustanovok*, 368.
7. Bandura, V. M., Marencheko, O. I., Pylypenko, Ye. O., & Katasonov, O. V. (2017). Kinytyka sushinnia oliinoi syrovyny v elektromahnitnomu poli. *Naukovi pratsi ONAKhT*, 81(1), 94 - 99.
8. Burdo, O. G., Terziyev, S. G., Bandura, V.N., & Yarovoy, I. I. (2016). Mekhanodiffuzionnyy effekt – novoye yavleniye v teplomassopere nose: *MMF. Minsk, Belarus'*, 224 - 228.

Cite as

Бандура В.М., Яровий І.І., Маренченко О. І., Пилипенко С.О. Апарати для сушіння рослинної сировини електромагнітним полем // *Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій*. Одеса, 2018. Т. 82, вип. 2. С. 123 – 129.

Отримано в редакцію 05.10.2018

Прийнято до друку 02.11.2018

Received 05.10.2018

Approved 02.11.2018

УДК 664.8.047.014

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОМАСОБМІННИХ ПРОЦЕСІВ
СУШІННЯ НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР
INVESTIGATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES
DURING DRYING OF SEEDS VEGETABLE CROPS**

Пазюк В. М., канд. техн. наук, с.н. с., доцент
Інститут технічної теплофізики НАН України
Paziuk V.M.

Institute Of Engineering Thermophysics Ukraine National Academy of Sciences

Copyright © 2018 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація. Виробництво та зберігання високоякісного насіння – це одне з головних завдань суспільства, що передбачає вирішення питання продовольчої безпеки країни. Забезпечення країни посівним матеріалом та сировиною для переробної промисловості є необхідною умовою розвитку економіки.

Найближчі 100 років за даними ООН населення планети може збільшитись до 12 – 13 млрд. людей, що потребує збільшення виробництва зерна, зокрема пшениці до 1100 – 1200 млн.т. (виробництво зерна в 2017 році в світі склало 754 млн.т.). Відповідно, із-за збільшення виробництва зерна виникає потреба у якісному насіннєвому матеріалі.