

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

XVII Міжнародної наукової конференції
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

3-8 вересня 2018 р.



**ОДЕСА
2018**

Публікуються доповіді, представлені на XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (3 – 8 вересня 2018 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Гавва <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
Корнієнко <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Паламарчук <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
Сорока <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Тасімов <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
Черевко <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Шит <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.
Сухий <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д. хім. н., професор

СЕКЦІЯ 4.

**ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ,
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ, ХІМІЧНИХ ТА ПАРФУМЕРНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

5. Патент 55709 UA, МПК В01F 7/16, В01F 3/08. Спосіб гідродинамічної обробки гетерогенних рідких середовищ та гідродинамічний диспергатор-змішувач для його здійснення / Л.М. Грабов, В.І. Мерщій, Т.Л. Грабова.; заявник и патентовласник ІТТФ НАНУ. – №2002053954; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
6. Круковский П.Г. Трехмерная CFD-модель гидродинамических процессов в реакторном аппарате / П.Г. Круковский, Л.Н. Грабов и др. // Промышленная теплотехника. – 2004. –Т. 26, № 4. – С. 5–12.
7. Басок Б.И. Оценка эффектов диспергирования включений в роторно-пульсационном аппарате дисково-цилиндрического типа / Б.И. Басок, Т.Л. Грабова // Промышленная теплотехника. – 2006. –Т. 28, №6. – С. 37–43.
8. Информационный лист оборудования фирмы KINEMATIKA AG., Швейцария, 2011. – 10 с.
9. Грабова Т.Л. Диспергування гетерогенних систем у роторно-пульсацийних апаратах дисково-циліндричного типу: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Т. Л. Грабова. – К., 2007. – 23, [1] с.
10. Долінський А.А., Басок Б.И., Накорчевский А.И. Адиабатически вскипающие потоки. Теория, эксперимент, технологическое использование – К.: Наукова думка, 2001 – 208 с.
11. Грабов Л.Н. Исследование процесса диспергирования в системе “твердое тело-жидкость” в тепломассообменных технологиях / Грабов Л.Н., Мерщій В.И. и др. // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4-5. – С. 60–64.
12. Патент 59460 UA, МПК В01F 7/26. Спосіб субмікронного диспергування багатокомпонентних рідких середовищ і пристрій для його здійснення / Долінський А.А., Грабов Л.М., Бігел У. та інш./ – 2001.
13. Грабова Т.Л. Применение метода дискретно-импульсного ввода энергии для получения структурированных спиртосодержащих систем // Промышленная теплотехника. – 2010 – Т. 32, № 3. – С. 80-86.
14. Долінський А.А. Теплофізичні методи створення наноструктурованих матеріалів з покращеними властивостями / А.А. Долінський, Л.М. Грабов и др. // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32, № 6. – С. 5–14.
15. Грабова Т.Л. Воздействие ДИВЭ на свойства кремнийорганических сорбентов // Промышленная теплотехника. – 2004. – Т.26, №6. – С. 9-15.
16. Патент 78455 UA, МПК В01D 11/02, А61К 36/00, А61К 133/00. Спосіб екстрагування біологічно-активних речовин у системі «тверде тіло-рідина» / А.А. Долінський, Л.М. Грабов, В.І. Мерщій та інш.; заявник и патентовласник ІТТФ НАНУ. – №200511922; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3.

УДК 66.047.55

АПАРАТИ ДЛЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Бандура В. М., к.т.н., професор¹, Яровий І.І., к.т.н., асистент², Маренченко О. І.², аспірант.

¹ Вінницький національний аграрний університет

² Одеська національна академія харчових технологій

DEVICES FOR DRYING RAW MATERIALS BY ELECTROMAGNETIC FIELD

Bandura V. M., PhD, professor¹, Yaroyyi I.I., PhD², Marenchenko O. I.², postgrad.

¹ Vinnytsia national agrarian university, ² Odessa national academy of food technologies

Анотація. Показано узагальнений аналіз результатів дослідження процесу вологовидалення для декількох видів рослинної сировини. Обґрунтовано вибір апаратурної схеми установки для сушіння рослинної сировини в потоці. 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 generalized analysis of the results of the study of the moisture removal process for several types of plant raw materials is shown. The choice of the apparatus scheme for plant drying in the flow of raw materials is substantiated. The experience of using an experimental drying unit with a combined electromagnetic power source is generalized. The structural scheme and the typical construct 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.

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. 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.

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. 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 піддівати нагріванню саме вологу, що міститься в матеріалі частинок матеріалу.

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 [X].

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.

Мега 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).

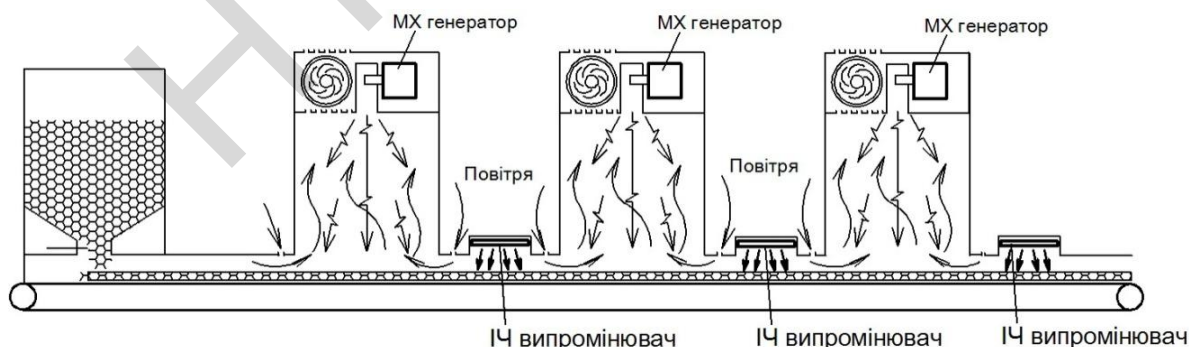


Рис. 1. Схема стрічкової сушильної установки ОНАХТ

Характеристики установки:

Частота випромінювання МХ генераторів: 2450 ± 50 МГц;

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

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

Швидкість конвеєра установки: 0-0,3 м / хв (регулюється);

Продуктивність по продукту, усереднено: 3-10 кг/год;
Продуктивність по волозі, усереднено: 0,3-0,4 кг/год;
Габаритні розміри установки (д/ш/в): 3000х600х1200 мм.

Конструкція установки дозволяє здійснювати контрольований та дозований вплив на матеріали, що транспортуються стрічковим конвеєром через три модулі – сушильні зони, кожна 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 енергопідводом. 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 високої швидкості транспортування сировини зменшується ризик локальних перегрівів, внаслідок нерівномірності впливу електромагнітного поля в межах зон енергетичного впливу.

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 дуже перспективним для нагрівання, сушіння, досушування та стерилізації сировини, матеріалів і продуктів 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 зернівки, 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 дослідження стосувалась моделювання роботи багатозонної сушарки на базі установки з трьома модулями. Для експериментального моделювання роботи багатозонної установки, контейнери з матеріалом, що піддавався обробці переміщались з вихідного шлюзу сушарки до вхідного. Проводилось декілька таких перенесень, при кожному з них визначалась маса контейнера, за зміною маси розраховувалась кількість видаленої 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 швидкість 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 [XXXX].

Роздільний вплив, зон сушіння з МХ генератором та зон з ІЧ – випромінювачем досліджувався з наступними параметрами. Сировина - соняшник, завантаження стрічки конвеєра $g = 3.96...7.92 \text{ кг/м}^2$, питома потужність МХ випромінювання $N_{\text{мх}} = 7,5...15 \text{ кВт/м}^2$, питома потужність ІЧ випромінювання $N_{\text{іч}} = 7,33...11 \text{ кВт/м}^2$, тривалість процесу сушіння $\tau = 30...45 \text{ хв.}$, температура сушіння $T = 34...39 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

За аналогічною схемою досліджувався процес сушіння сої. Встановлено, що тип енергопідводу для сої менш важливий. На початку процесу сушіння деяку перевагу має використання ІЧ енергопідводу, 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 $v=0,025 \text{ м/с}$, $N(ІЧ+НВЧ)=30, 36 \text{ та } 41 \text{ кВт/м}^2$, при вищих показниках потужності, температура шару сировини перевищувала допустимі показники. Режим роботи - обробка протягом 60 хв. Графіки залежностей надано на рис. 2.

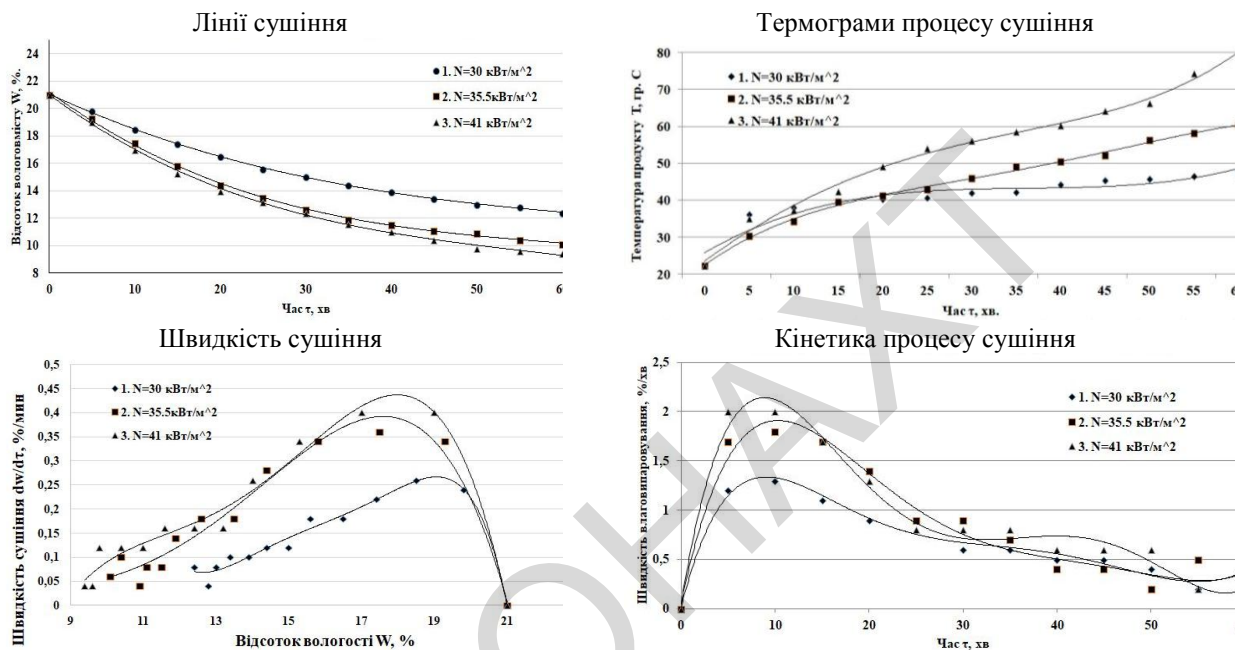


Рис. 2. Графіки залежностей при комбінованому впливі ІЧ + НВЧ випромінювання.

Результати дослідження дозволяють стверджувати, що технології мікрохвильового сушіння цілком реально застосовувати в технологічних процесах переробки рослинної сировини. Так зменшення вологості соняшника з 21 до 12,5 відсотків, при використанні комбінованого енергопідводу 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 енергопідвід призводив до збільшення температури продукту до 60 і вище $^\circ\text{C}$.

Комбінований вплив МХ поля та ІЧ випромінювання дозволяє отримати показники вологовидалення в межах 1 %/хв , а при реалізації в установці режиму вологовидалення без повного випаровування вологи [XXX] енергоефективність апаратів з адресним енергопідводом має стати на порядок вищою порівняно з традиційними конвективним сушильними технологіями.

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 енергопідводу, при яких випаровування води в капілярах буде протікати у вигляді серій імпульсів керованої періодичності та потужності, спричиняючи при цьому «викидання» крапель невикпареної води з капілярів у вигляді туману, без повного її випаровування. Такий ефект, названий «бародифузійною» [XXX] реалізовано вченими кафедри у лабораторних дослідах. 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) дистанційно керваних 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 но-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 радіо прозорих ємностей з водою;
- конструкція сушильних камер має бути цільнозварною, щоб уникнути витoku 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 окремий 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.

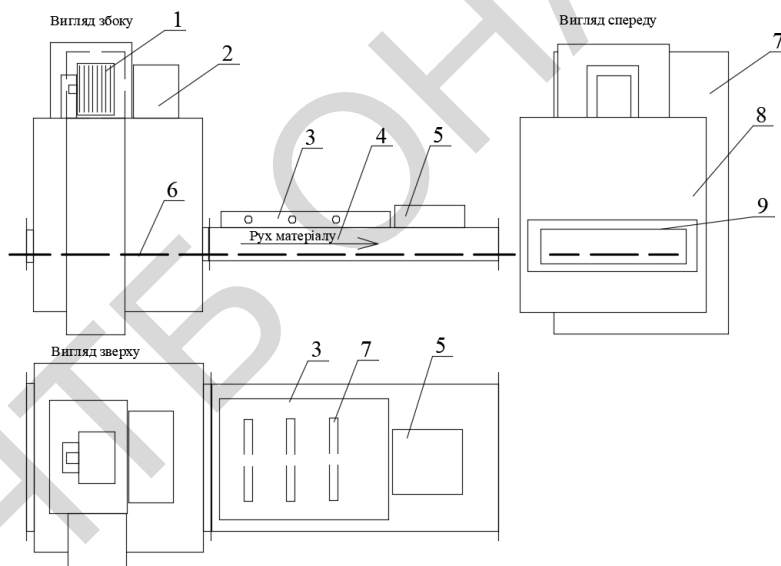


Рис. 3. Загальний вигляд сушильного модуля (проект): 1- магнетрон, 2 – блок керування, 3 – ІЧ нагрівач, 4 – транспортний тунель, 5 – вентилятор, 6 – стрічка конвеєра, 8 – корпус МХ камери, 9 – переріз транспортного каналу.

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 упаковані продукти. Мінімальна висота вікна повинна сотсавлять 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 окремим сушильним модулем має передбачати: керування випромінювачем (сигнали «пуск»/«стоп»), блокування роботи магнетрона при відсутності продукту на вході камери і при перегріві

магнетрона, контроль температури 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 логічного контролера та панелі людинно – машинного інтерфейсу, як найбільш гнучкої та універсальної платформи для керування складними технологічними процесами.

Алгоритм керування сушильною установкою має передбачати гнучке конфігурування режиму роботи апаратної частини установки: кількість зон, кількість і тип датчиків контролю і пристосовуватись тип розв'язуваних установкою технологічних завдань, та дозволяти змінювати програми управління (типові режими роботи). Загальний конструктив модульної сушильної установки з комбінованим енергопідводом показано на рис. 4.

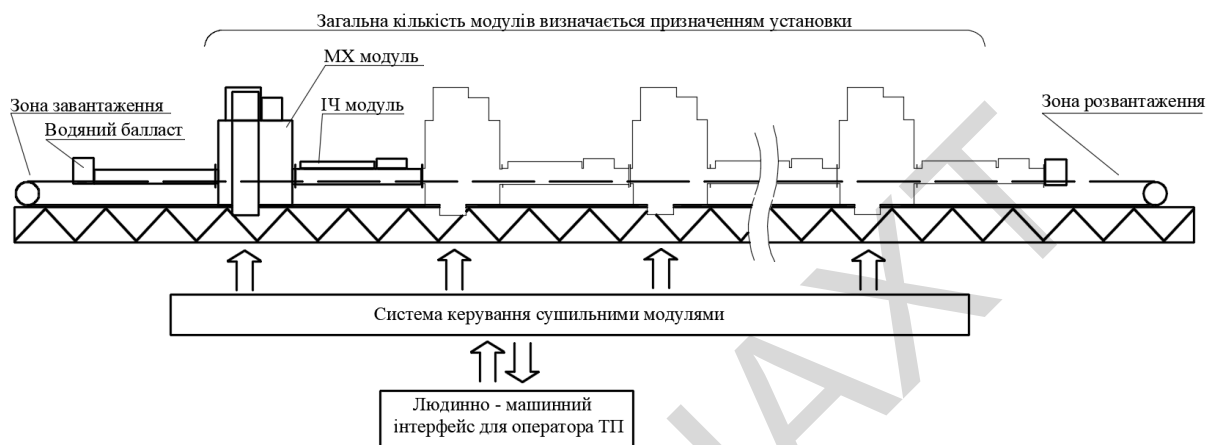


Рис. 4. Приклад конструктивного рішення для сушильної установки з комбінованим енергопідводом.

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 ключові параметри процесу комбінованого сушіння.

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

Література.

1. Филоненко, Г.К. Сушка пищевых растительных материалов [Текст] / Г.К.Филоненко, М.А. Гришин, Я.М. Гольденберг и др. – М.: Пищевая промышленность, 1971. - 440 с.
2. Гинзбург, А.С. Технология сушки пищевых продуктов [Текст] / –М.: Пищевая промышленность, 1976. -248 С.
3. Бурич, О. Сушка плодов и овощей [Текст] / О. Бурич, Ф. Берки. – М.: Пищевая пром-сть, 1978. – 280 с.
4. Явчуновский, В.Я. Микроволновая и комбинированная сушка: физические основы, технологии и оборудование [Текст] / Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1999. -213 с.
5. Семенов, Г.В. Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко [Текст] / Г.В. Семенов, Г.И. Касьянов – Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2002. – 112 с.
6. Снежкин, Ю.Ф. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов [Текст] / Снежкин Ю.Ф., Буряк Л.А., Хавин А.А. – НАН Украины, - Киев, изд. «Наукова думка», 2004, 227 с.
7. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Одесса: Полиграф, 2010. 368 с.
8. Бурдо О.Г. Механодиффузионный эффект – новое явление в теплопереносе [Текст] / О.Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, В.Н. Бандура, И.И. Яровой – ММФ, Минск, Беларусь, 2016, с. 224-228.
9. Бандура В. М. Кінетика сушіння олійної сировини в електромагнітному полі [Текст] / В.М. Бандура, О.І. Маренченко, Є.О. Пилипенко, О.В. Катасонов – Одеса, ОНАХТ, Наукові праці, Том 81, випуск 1, 2017, с. 94-99.

Ляпошенко О.О., Іванов В.О., Павленко І.В., Дем'яненко М.М., Старинський О.Є., Ковтун В.В. ...	159
СУЧАСНІ СЕПАРУВАЛЬНІ АПАРАТИ ДЛЯ ВИНОПРОДУКТІВ	
Ковалевський К.А., Валько М.І., Мамай О.І., Кузьміна Т.О., Яковенко Т.О.	164
ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ	
Бурдо О.Г., Зыков А.В., Мордынский В.П., Светличный П.И., Пур Д.Р.	169
СПОСІБ ПЕРЕРОБКИ ЯГІД ВИНОГРАДУВ НАТИВНОМУ СТАНІ	
Кепін М.І.	175
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ БЛОЧНОГО ВИМОРОЖУВАННЯ	
Трішин Ф.А., Светличный П.И., Трач О., Орловська Ю.В.	180
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ В УМОВАХ МІНІ-ЦЕХІВ	
Осадчук П. І., Дударев І. І.	185
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЙ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В СОВРЕМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	
Потапов В.А., Белый Д.В.	189
СИРОВИННІ РЕСУРСИ ПТАХОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Хомічук В.А., Усатенко Н.Ф.	192
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАМЕСА ТЕСТА – ЗАДАЧИ И ОТВЕТЫ	
Янаков В.П.	194
РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАСТИФІКАЦІЇ МАСЕЛ І ЖИРІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ КОНДИТЕРСЬКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Хомічук В.А., Гнядий А.В.	197
ИННОВАЦИОННОЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ	
Грабова Т.Л., Шматок А.И., Посулько Д.В., Сильягина Н.Б., Степанова О.Е.	199
АПАРАТИ ДЛЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ	
Бандура В. М., Яровий І.І., Маренченко О. І.	204