

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**



ОДЕСА
2017

Публікуються доповіді, представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (4 – 8 вересня 2017 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

О.Г. Бурдо

Ю.О. Левтринська

Е.Ю. Ананійчук

О.В. Катасонов

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

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

використовувати комбінований метод сушіння використовуючи НВЧ-генератори енергії та ІЧ-випромінювачі.

Література:

1. Друкований М.Ф. Удосконалення теплотехнологій при виробництві олії та біодизельного пального. Монографія / М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, Л.М. Колянковська, В.І Паламарчук. – Вінниця, РВВ ВНАУ, 2014. – 254 с.
2. «Зберігання і переробка продукції рослинництва»/ «2.4.5. Особливості сушіння зерна окремих культур»/ <http://buklib.net/books/21971/>
3. «Гідрофільні властивості соняшникового насіння»/ Манк В.В., Ковалевська Є.І., Мельник О.П., Максимова І.М./ Національний університет харчових технологій, Могилів-Подільський технологічний технікум ВДАУ/ Україна 2008р 2-3с.
4. Бурдо О.Г. Еволюція сушильних установок – Одеса: Полиграф, 2010 – 368с.
5. Бурдо О.Г., Пищевые нанотехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
6. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. М., 1981. – 200 с.

УДК 621.9.048.6

СУШАРКИ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Яровий І.І.¹, к.т.н., Катасонов О.В.², аспірант

DRYERS NEXT GENERATION

Yarovy I.I.¹, Ph.D. Katasonov O.V.²

Abstract: The next generation dryers should use in their work not convective but a new, innovative way of supplying heat energy. The most promising is the use of ultrahigh-frequency radiation.

Using as an energy source MW field one can solve one of the main problems of modern convection drying technology. The problem is that heat is transferred to the moisture of the material through several agents - intermediaries. At each of the stages of this sequence there are unproductive losses, and the amount of heat should be brought to the moist material to heat up all material to a temperature at which intense evaporation of moisture will take place. In a detailed analysis, such a drying scheme looks far from optimal.

Drying using the MW field in the convection background looks like an almost perfect alternative. This method of drying allows you to generate heat by acting directly on the moisture contained in the material, without intermediaries, minimally heating the material itself.

The rate of heating and damp removal in the MW drying chamber is much higher than that of a convection heating dryer. Each of the drying chambers provides removal of moisture from the stream of moist material. The drying chambers themselves can be combined in sequential and parallel groups, and the intelligent control of the operation mode of each of the cameras will ensure the implementation of flexible drying scenarios.

Equipment using MW heating can be easily integrated into modern designs of current dryers and other process equipment. Of particular interest is the possibility of creating a drying MW module with a vertical arrangement of working areas.

The study of the dynamics of material heating by the MW field, in the volume of the sample at different distances (depth) relative to the source of radiation was carried out. In most experiments, there was a linear dependence of the temperature of the layer on the radiation power and depth of the layer. Experiments have shown a high dynamics of the heat of the moisture in the material. So with 80% of the magnetron power (0.6 kW) at a depth of about 0.1 m, the temperature increased by 25 grams. With just 250 s. It is such a "fast" heating that provides high performance of MW devices.

Given the ultrahigh, compared with the existing methods, the heating rate, the technology of using the energy of the microwave electromagnetic field to process the flow of plant material will undoubtedly find its place in modern technological processes.

Анотація Сушарки наступного покоління мають використовувати в роботі не конвективний а новий, інноваційний спосіб підводу теплової енергії. Найбільш перспективним виглядає використання надвисокочастотного випромінювання.

Використовуючи в якості енергопідводу МХ поле можна вирішити одну з основних проблем сучасних конвективних сушильних технологій. Проблема в тому, що тепло передається волозі матеріалу через декілька агентів – посередників. На кожному з етапів цієї послідовності є непродуктивні втрати, а до вологого матеріалу слід підвести скільки тепла, щоб нагріти увесь матеріал до температури при якій

буде проходити інтенсивне випарювання вологи. При детальному аналізі, така схема сушіння виглядає далекою від оптимальної.

Сушка з використанням МХ поля на фоні конвективної виглядає майже ідеальною альтернативою. Даний спосіб сушіння дозволяє генерувати тепло впливаючи безпосередньо на вологу, що міститься в матеріалі, без посередників, мінімально нагріваючи сам матеріал.

Швидкість нагрівання та вологовидалення у МХ сушильній камері значно вища, ніж у сушарки з конвективним способом нагрівання. Кожна з сушильних камер забезпечує видалення з потоку вологого матеріалу деякої кількості вологи. Самі сушильні камери можуть комбінуватись у послідовні та паралельні групи, а інтелектуальне керування режимом роботи кожної з камер забезпечить реалізацію гнучких сценаріїв сушіння.

Обладнання з використанням МХ нагріву може бути легко інтегроване у сучасні конструкції поточних сушарок та інших технологічних апаратів. Особливо цікавою виглядає можливість створення сушильного МХ-модуля з вертикальною компоновкою робочих зон.

Проведено дослідження динаміки нагріву матеріалу МХ полем, в об'ємі зразка на різних відстанях (глибині) відносно джерела динаміки випромінювання. У більшості дослідів спостерігалась лінійна залежність температури шару від потужності випромінювання та глибини залягання шару. Досліди продемонстрували високу динаміку нагріву вологи в матеріалі. Так при 80% потужності магнетрону (0,6 кВт) на глибині близько 0,1 м температура зростала на 25 гр. С всього за 250 с. Саме такий «швидкий» нагрів забезпечує високі показники продуктивності МХ апаратів.

Зважаючи на надвисоку, порівняно з існуючими способами, швидкість нагріву, технологія використання енергії мікрохвильового електромагнітного поля для обробки потоку рослинної сировини безперечно знайде своє місце у сучасних технологічних процесах.

Keywords - drying, vegetable raw material, microwave electromagnetic field, tape drying, innovative way of power transmission.

Ключові слова – сушіння, рослинна сировина, мікрохвильове електромагнітне поле, стрічкова сушарка, інноваційний спосіб енергопідводу.

Сушарки наступного покоління мають використовувати в роботі не конвективний а новий, інноваційний спосіб підводу теплової енергії до оброблюємої сировини для нагрівання та випарювання вологи.

В якості середовища енергопідводу найбільш перспективним виглядає використання направленої потоку надвисокочастотного випромінювання (електромагнітне поле мікрохвильового діапазону). Між тим вплив мікрохвильового (МХ) поля на вологі матеріали є досить специфічним. МХ поле, при достатній його потужності, інтенсивно впливає на молекули води, тобто на вологу, що міститься у матеріалі, змушуючи молекули (які за їх природою є полярними) переорієнтуватись у просторі відповідно до зміни напруженості поля та полярності електромагнітних хвиль. Чим більшою є потужність та частота МХ поля тим інтенсивніше рухаються молекули води. Внаслідок такого «тремтіння» молекул, пропорційно його інтенсивності, виділяється тепло, а вже внаслідок виділення вологою тепла нагрівається вологий матеріал. Даний фізичний ефект взаємодії МХ поля з молекулами води називають «молекулярним тертям», ефект відомий досить давно і широко використовується у мікрохвильових побутових печах.

Таким чином використовуючи в якості енергопідводу тільки МХ поле можна вирішити одну з основних проблем сучасних конвективних сушильних технологій. Проблема полягає в тому, що тепло 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 видалається випарюванням. На кожному з етапів цієї послідовності передачі тепла є непродуктивні втрати, а в кінці ланцюга перетворень до вологого матеріалу (суха частка якого складає чималі відсоток) слід підвести скільки тепла, щоб нагріти увесь матеріал до такої температури при якій буде проходити інтенсивне випарювання вологи. При детальному аналізі, така схема вологовидалення виглядає далекою від оптимальної.

Сушка з використанням МХ поля на фоні конвективної виглядає майже ідеальною альтернативою, даний спосіб сушіння дозволяє генерувати тепло впливаючи безпосередньо на вологу, що міститься в матеріалі, без посередників, мінімально нагріваючи сам оброблюємий матеріал. Різницю в механізмах взаємодії з матеріалом сушильного агента та електромагнітного МХ поля детально описано та проаналізовано в роботах проф. О.Г. Бурдо [1] та інших науковців кафедри ПОіЕМ академії [2].

МХ сушіння має багато переваг порівняно з традиційною конвективною сушкою:

- для роботи МХ сушарки використовується лише електроенергія, в роботі відсутні будь які інші впливи на об'єкт сушіння окрім електромагнітного випромінювання дозованої потужності та помірного термічного впливу (значно меншого порівняно з конвективним технологіями), тобто МХ сушіння є повністю екологічно чистим;

-нагрівання під впливом МХ поля проходить інтенсивно, швидко і безінерційно (при правильно створених умовах), що забезпечує продуктивність на порядок більшу порівняно з конвективним технологіями;

-процес сушіння проходить при значно менших температурах та добре піддається керуванню, внаслідок чого набагато повніше зберігаються якісні характеристики сировини (що дуже важливо для харчових продуктів);

-матеріал, що піддається обробці (його суха частка) нагрівається менше ніж волога яку він вміщає, відповідно непродуктивні витрати енергії при МХ сушінні є меншими;

-нагрівання буде більш інтенсивним у вологих ділянках і зменшуватись по мірі випаровування вологи, тобто воно саморегулюється в процесі сушки;

-конструктивно МХ сушарка це відносно простий та компактний апарат, складається з системи генерування МХ випромінювання та сушильної камери, при необхідності може легко масштабуватись до заданої продуктивності;

-внаслідок універсальності технології МХ нагрівання, така сушарка може додатково виконувати функцію стерилізації сировини, готової продукції або передпосівної активації зерна, простим вибором відповідного режиму на пульті керування (змінюючи програму роботи МХ генератора).

При такому солідному списку переваг виникає логічне запитання: чому ця технологія поширена лише в мікрохвильових печах? Відповідь достатньо проста. Ключовим елементом мікрохвильових печей є той самий магнетрон (генератор МХ поля), це досить складний прилад (фактично вакуумна лампа) гарантований термін роботи якого (для моделей, що використовуються в МХ печах) складає всього одну – дві тисячі годин. Для побутової техніки це відповідає декільком рокам експлуатації, а для промислового застосування – всього пару місяців нормальної роботи, та й потужність магнетронів такого класу складає близько 0,8 – 1,0 кВт, що недостатньо для установок з високою продуктивністю. Найвні на ринку промислові рішення для МХ сушки використовують МХ генератори зовсім іншого класу, які вартістю та складністю на порядки відрізняються від їх побутових аналогів.

Однак прогрес не стоїть на місці і сьогодні промисловість пропонує все більше відносно недорогих МХ генераторів з високими показниками надійності та потужністю достатньою для промислового використання. Поширення та здешевлення таких магнетронів дозволяє розробити на їх основі принципово нові сушильні апарати – ті самі сушарки третього покоління.

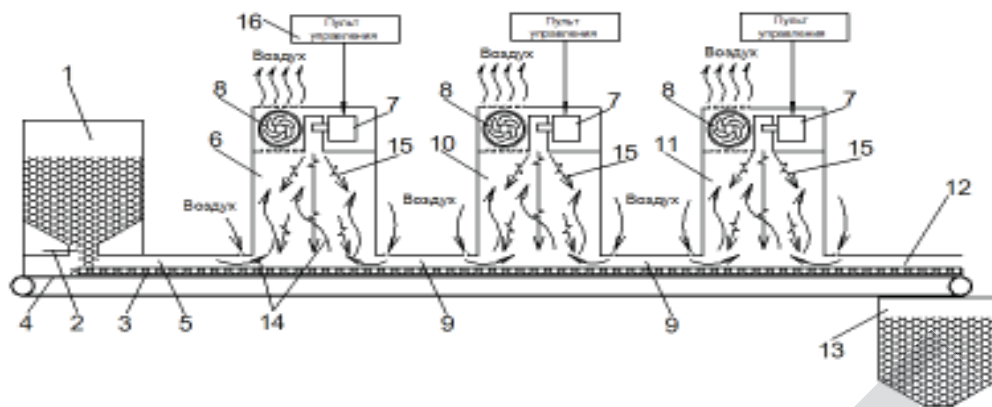
Розглянемо принципи роботи сушарок третього покоління. Нагрівання вологого матеріалу, наприклад зерна пшениці, здійснюється в середовищі МХ електромагнітного поля яке діє на потік вологого зерна в межах добре екранованої від витоків МХ випромінювання сушильної камери.

Так як швидкість нагрівання та вологовидалення у МХ сушильної камери значно вища, ніж у сушарки з конвективним способом нагрівання, продуктивність однієї камери може складати від декількох десятків кілограм до декількох тон на годину. Продуктивність однієї сушильної камери, як і її розміри, залежать від режиму роботи та характеристик використаного в конструкції камери магнетрона.

Кожна з сушильних камер в залежності від обраного для неї режиму роботи забезпечує видалення з потоку вологого матеріалу деякої кількості вологи. Самі сушильні камери можуть комбінуватись у послідовні та паралельні групи, а інтелектуальне керування режимом роботи кожної з камер забезпечить реалізацію гнучких сценаріїв обробки вологої сировини.

В МХ сушарках повітря не виконує функцію теплоносія а використовується лише для транспортування видаленої з матеріалу вологи. Це дає можливість значно зменшити втрати енергії, так як в такій системі нагрівати повітря для перенесення тепла не потрібно.

Детально аналізуючи принципи дії МХ сушарки можна дати відповідь на ще одне важливе питання: чи обов'язково видаляти вологу з зерна саме у вигляді пари? Особливості взаємодії МХ поля з вологою, що знаходиться в капілярах та внутрішніх шарах вологої зернівки, дозволяють розраховувати на можливість створення такого режиму роботи МХ поля при якому випаровування води в капілярах зернівки буде протікати у вигляді імпульсів заданої періодичності, спричиняючи при цьому «витискання» води з капілярів без повного її випарювання. Такий ефект, названий «бародифузійною» вже реалізовано у лабораторних дослідах, а при його відтворенні у промисловому обладнанні дозволить будувати установки з енергоефективністю недосяжною для конвективних способів сушки [3]. Звісно «бародифузійний» режим роботи сушарки потребує тонкого налаштування керуючої системи і глибокого знання процесів, що протікають у внутрішніх шарах зерна при його обробці потужним МХ полем.



а)



б)

а) конструкція; б) загальний вигляд;

Рис. 1. Мікрохвильова стрічкова сушильна установка ОНАХТ: а) конструкція; б) загальний вигляд.

Протягом декількох останніх років на кафедрі обладнання, процесів, апаратів і енергетичного менеджменту ОНАХТ реалізується дослідницька програма з проблематики сушіння рослинної сировини з використанням технологій мікрохвильового нагріву.

Досвід, отриманий при проведенні досліджень, доводить, що через велику кількість факторів, процес взаємодії МХ поля з вологою 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. Для дослідження процесу МХ сушіння, на кафедрі створена мікрохвильова сушильна установка (рис. 1).

Установка складається з: бункера для вологого матеріалу 1, з дозуючим пристроєм 2, стрічкового конвеєра 4, для транспортування шару матеріалу 3, через зони сушки, вхідного 5 і вихідного 12 шлюзових тунелів. Основою установки є камери мікрохвильової сушки матеріалу 6, 10 і 11, кожна з яких обладнана магнетроном (генератором мікрохвильового випромінювання) 7 і вентилятором 8. Камери з'єднані між собою шлюзовими тунелями 9. Також сушарка має бункер для обробленого матеріалу 13 і систему управління потужністю магнетронів сушильних камер 16.

Однією з наукових проблем, яка ще не має повного вирішення сьогодні, є режими обробки різних видів вологої сировини (наприклад зерна) в середовищі МХ поля. Наступною перспективою у розвитку технологій сушки є створення комбінованих способів вологовидалення, одним з найцікавіших варіантів є поєднання МХ способу сушіння з інфрачервоною (ІЧ) сушкою. Обидва способи дозволяють створити інтенсивний потік вологи в межах вологої зернівки, різниця полягає у глибині шарів на які здійснюється вплив. Якщо МХ випромінювання дозволяє створити інтенсивний (в ідеалі «бародифузійний») 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 вологих матеріалів, при економічних режимах впливу може бути рекордно енергоефективним при збереженні високої продуктивності процесу сушки.

Досягнутий рівень питомих витрат енергії при ІЧ сушінні становить 3,6 МДж на 1 кг випареної вологи. Використання мікрохвильових технологій в поєднанні з фільтраційним зневодненням може дати значення питомих витрат енергії менші, ніж 2,7 МДж на 1 кг видаленої вологи. Результати комбінованого, енергоефективного режиму сушіння можуть бути меншими ніж 2,0 МДж на 1 кг видаленої вологи, що в 3-4 рази нижче порівняно з існуючими сьогодні кращими зразками конвективних сушильних технологій [4].

В даний час в Україні виробників високоякісної сушеної продукції, отриманої за допомогою технологій МХ сушіння, практично немає. Прогнозувати практичні переваги використання МХ сушіння можна спираючись на досвід отриманий при впровадженні близької за показниками технології інфрачервоної сушки. Досвід ІЧ - сушіння в молочній, кондитерській та хлібопекарській промисловостях показує, що висушений продукт не критичний до умов зберігання, стійкий до розвитку мікрофлори. До одного року сухопродукти можуть зберігатися без спеціальної тари, при цьому втрати вітамінів залишається в межах 15%. Процес сушіння ведуть при температурах 40 ... 60 °С. Це гарантує високу якість готового продукту: відсутня деструкція клітинних оболонок, зберігаються вітаміни, не карамелізується цукор [5].

Не гірші результати від впровадження МХ сушіння (порівняно з ІЧ способом) може забезпечити той факт, що при аналогічній або вищій продуктивності, температура продукту виявляється нижчою ніж при ІЧ – сушінні, що може стати вирішальним фактором, наприклад для обробки термолабільної сировини.

Обладнання з використанням МХ нагріву може бути легко інтегроване у сучасні конструкції поточних сушарок та інших технологічних апаратів. Особливо цікавою виглядає можливість створення сушильного МХ-модуля з вертикальною компоновкою робочих зон і обробкою гравітаційно - рухомого шару сировини (рис. 2.).

В якості моделі використання такої конструкції можна запропонувати: окремі високопродуктивні сушильні модулі в складі конструкцій сушарок третього покоління, модулі надшвидкого нагріву потоку сировини, модулі для досушування сипучих матеріалів після обробки у традиційних сушарках, модулі для розігріву матеріалу перед основним процесом вологовидалення та модулі для стерилізації сировини в потоці.

Подібні конструкції МХ апаратів вже виробляються промисловістю і використовуються в апаратах для передпосівної активації зерна. Проте використання у подібній конструкції магнетронів високої потужності змусить переглянути механіку процесу, і ускладнити конструкцію для отримання більш контрольованого процесу взаємодії МХ поля та вологої сировини.

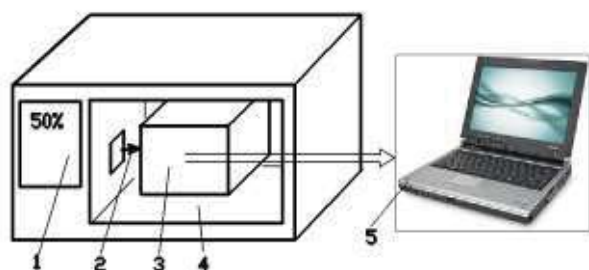


Рис. 2. Принципова схема однопоточного модуля МХ нагріву сипучої сировини.

Як і будь який складний процес технологія МХ – сушіння має недоліки, проте більшість з них є технічними проблемами, які обов'язково будуть вирішені в ході «доведення» технології на дослідних та промислових установках. Наприклад, одним з найбільш суттєвих недоліків МХ сушки вважається відносна нерівномірність температурного градієнту у об'ємі шару вологого матеріалу. Даний ефект пов'язують з перевідбиттями електромагнітних хвиль від стінок камери нагріву, внаслідок чого в об'ємі камери утворюються локальні «вузли» напруженості поля або зони з невисокою напруженістю. Такі «локалі» і приводять до місцевих «перегрівів» та «недогрівів» матеріалу. Уникнути таких «локалей» складно, проте їх вплив на матеріал можна мінімізувати шляхом перемішування шарів матеріалу під час

проходження потоку продукту через МХ камеру, а також підбором величини потоку матеріалу у відповідності до заданого режиму роботи сушарки.

Для експериментального дослідження процесів МХ нагріву сипучої сировини в щільному об'ємі виготовлено стенд (рис.3)



а)

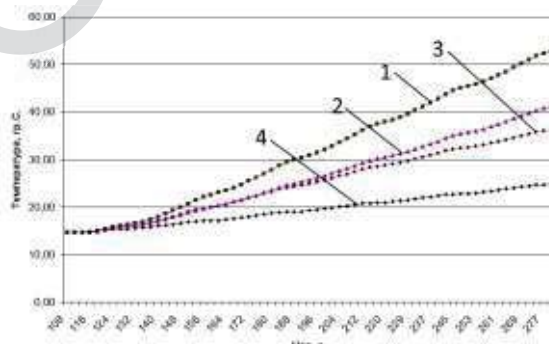
б)

а) Структурна схема: 1-панель керування МХ камери; 2-напрямок випромінювання; 3-касета з матеріалом; 4-МХ камера; 5-ПК для реєстрації параметрів. б) Загальний вид дослідного стенду;

Рис. 3. Стенд для дослідження процесу об'ємного нагріву рослинного матеріалу в МХ полі.

Так за результатами проведених експериментів можна зафіксувати наявність нерівномірності температурного поля при нагріві об'ємного зразка у вигляді касети з зерном пшениці, що проявляється у перевищенні температури окремих точок на 5-15 % від усереднених показників. Нерівномірність нагріву не перевищує 2-4 °С, і має бути значно меншою для рухомого шару матеріалу, за умови використання декількох послідовно розташованих зон нагріву та при умові перемішування потоку.

Більш цікавою є інформація про динаміку нагріву матеріалу в об'ємі зразка на різних відстанях (глибині) відносно джерела випромінювання. Схема одного з дослідів та відповідна термограма контрольних точок об'єму, при потужності магнетрона на рівні 0,6 кВт, приведені на рис. 4.



а)

б)

а) Варіант розміщення датчиків; б) Термограми контрольних точок: 1-шар 30 мм; 2-шар 50 мм; 2-шар 90 мм; 4-шар 130 мм;

Рис. 4. Схема проведення та результати дослідів.

У більшості дослідів спостерігалась лінійна залежність температури шару від встановленої потужності магнетрона та глибини залягання даного шару. Досліди продемонстрували високу динаміку нагріву матеріалу. Так при 80% потужності магнетрона (0,6 кВт) на глибині близько 0,1 м температура зростала на 25 °С всього за 250 с. Саме такий «швидкий» нагрів забезпечує високі показники продуктивності МХ апаратів.

За результатами експериментального моделювання процесів МХ сушіння можна стверджувати, що навіть наявні на ринку магнетрони побутового класу (потужністю до 1,0 кВт.), можливо використовувати для обробки вертикального гравітаційно-рухомого шару рослинної сировини з вхідною вологістю в

межах 20 – 50 %. При зазначеній потужності, об'єм ефективної обробки складатиме близько 8000 см³., при цьому час обробки для розігріву об'єму до температури інтенсивного вологовидалення складатиме до 300 с., після чого потужність генератора може дозуватись відповідно до обраного режиму обробки.

Зважаючи на надвисоку, порівняно з існуючими способами, швидкість нагріву, технологія використання енергії мікрохвильового електромагнітного поля для обробки потоку рослинної сировини безперечно знайде своє місце у сучасних технологічних процесах.

Література

1. О. Г. Бурдо, “Эволюция сушильных установок”
2. О.Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, И.И. Яровой, А.А. Борщ, «Электромагнитные технологии обезвоживания сырья», 2012, Журнал «Проблемы региональной энергетики», издатель: Институт энергетики Академии наук Молдовы.
3. О. Г. Бурдо, С. Г. Терзиев, В. Н. Бандура, И. И. Яровой, «Механодиффузионный эффект – новое явление в теплопереносе», ММФ, Минск, Беларусь, 2016, с. 224-228.
4. О. Г. Бурдо, «Энергетический мониторинг пищевых производств», - Одесса: Полиграф, 2008.
5. О.Г. Бурдо, «Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях», 2005, Инженерно-физический журнал. Минск (*Досвід ІЧ - сушіння в молочній, кондитерській та хлібопекарській промисловостях*)

УДК 66.974.434:66.048.5-982:536.248

EXPERIMENTAL STUDIES OF BOILING HEAT TRANSFER OF FOOD SOLUTIONS

Zykov A.V. Ph.D; Reznichenko D.N. postgraduate student; Bezbah I.V. Ph.D.
Odessa National Academy of Food Technology; Odessa; Kanatnaya Street, 112

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ПИЩЕВЫХ РАСТВОРОВ

Зыков А.В. к.т.н, доцент; Резниченко Д.Н. аспирант; Безбах И.В. к.т.н, доцент.

Abstract. Vacuum evaporation is widely used in the food technologies. The equipment for this process is well known and methods of calculation and design of vacuum evaporators are described in literature as well. However, in some cases the accuracy of existing methods is not enough. The problem of designing the new, more efficient apparatuses that work in regimes, which are not usual, needs to clarify some dependencies. It concerns the problem of boiling heat transfer coefficient determination for such solutes as food products because of the high or sometimes extremely high viscosity of many food staffs is. To take into account properties of products many authors use the Prandtl number. However, determination of these properties exact values is not always possible especially it concerns the viscosity of Non-Newtonian fluids, which are the most of food staff. For experimental verification of heat transfer coefficient values, an apple juice was chosen. At first, the theoretical value was obtained with Tolubinskiy dependency using. The vapor bulbs grows rate and surface tension coefficient were solved as for water. The dependencies between the heat transfer coefficient and heat flux for apple juice with concentration from 15 to 50 Brix were obtained as result. There are several different equations to calculate the properties of apple juice depending on temperature and concentration and several resulting dependencies that differ from each other were obtained. The comparison with the experimental data that was obtained by authors made possible to choose the right equations for apple juice viscosity determination when the heat transfer calculation error did not exceed 20% that is standard error for used dependency and for many others. To reduce this error on the base of obtained experimental data the correction coefficient was calculated. Therefore, the equation to calculate the heat transfer coefficient for boiling apple juice where maximum error did not exceed 5% was obtained. The experimental research was conducted under atmospheric pressure. To obtain the value of heat transfer coefficient in vacuum condition the Tolubinskiy dependency can be used or addition experiments should be conducted. It depends of required accuracy level.

Аннотація В статті розглянута проблема визначення коефіцієнтів теплообміну при кипінні концентрованих розчинів харчових продуктів. Проаналізовані можливості використання для цього відомих залежностей, які доступні в літературі і проведено порівняння отриманих результатів з результатами експериментальних досліджень при кипінні концентрованого яблучного соку, проведених авторами.

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

СПОСОБИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВОЛОГОВИДАЛЕННЯ ПРИ ЗНЕВОДНЕННІ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ	
Снежкін Ю.Ф., Гусарова О.В., Шапар Р.О.	182
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ФИТОЭСТРОГЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОРОШКОВ	
Петрова Ж. А., Слободянюк Е. С.	186
СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ПРЕБИОТИЧЕСКИМИ ПОРОШКАМИ	
Петрова Ж. О.	192
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ	
Гоженко Л. П., Коник А. В., Радченко Н. Л., Целень Б. Я., Недбайло А. Є.	195
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА МИКРОВОЛНОВОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ЭКСТРАКТОРА КОФЕ	
Левтринська Ю.О., Терзиев С.Г.	200
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕФЕКТИВ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ	
Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А.	209
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АЕРАЦІЙНО-ОКИСНЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ РОТОРНОГО ТИПУ НА ПРОЦЕС ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ	
Ободович О.М., Сидоренко В. В.	211
ВИКОРИСТАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО БЛАНШУВАННЯ СИРОВИНИ В ПРОЦЕСІ ЕКСТРАГУВАННЯ	
Чорний В. М., Прищепя Ю. Ю., Лапіна Н. В., Мисюра Т. Г., Попова Н. В.	215
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАСТОЮВАННЯ ПЛОДІВ КИЗИЛУ	
Степанчук М.С., Лапіна Н.В., Чорний В.М., Мисюра Т.Г., Попова Н.В.	219
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАСТОЮВАННЯ ПЛОДІВ ЖУРАВЛИНИ	
Бараловська О. В., Прищепя Ю. Ю., Чорний В. М., Мисюра Т. Г., Попова Н. В.	223
КІНЕТИКА СУШІННЯ НАСІННЯ СОЛЯШНИКУ ТА СОЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ	
Бандура В.М., Маренченко О. І., Пилипенко Є. О., Катасонов О. В.	226
СУШАРКИ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ	
Яровий І.І., Катасонов О.В.	232
ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ПИЩЕВЫХ РАСТВОРОВ	
Зыков А.В., Резниченко Д.Н., Безбах И.В.	242
БАЛАНСОВІ, ЕНЕРГЕТИЧНІ, КІНЕТИЧНІ ТА ФАЗОВІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ВИМОРОЖУВАННЯ СОКІВ	
Бурдо О.Г., Мординський В.П., Давар Ростами Пур	244
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКТИВНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНВЕСЕРНИХ ВІБРАЦІЙНИХ СУШАРОК ПРИ ОБРОБЦІ СИПКОЇ СИРОВИНИ	
Паламарчук І. П.	250
МАСООБМІН ПРИ ЕКСТРАГУВАННІ КАВИ АКТИВОВАНИМ ЕКСТРАГЕНТОМ	
Вігенько Т.М., Городиський Н.І.	254
БАЛАНСОВІ МОДЕЛІ ТА ФАЗОВІ РІВНОВАГИ ПРИ КРІОКОНЦЕНТРУВАННІ ГРАНАТОВОГО СОКУ	
Бурдо А.К., Давар Ростами Пур, Стоянова О. М., Драгні О. І.	260
МАШИНА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЕЗВОЖИВАННЯ ПЕРА ПТИЦЬ	
Всеволодов А.Н., Романов С.О.	266
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ВАКУУМНАЯ СУШИЛКА	
Бурдо О. Г., Мордынский В. П., Светличный П. И., Ананийчук Э. Ю.	270
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ОДИНИЧНИХ КРАПЕЛЬ КРОХМАЛЬНОЇ ПАТОКИ ИГ-30 ЯК ОБ'ЄКТУ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ	
Шаркова Н. О., Турчина Т. Я., Жукотський Е. К., Декуша Г. В., Костянець Л. О.	275
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВОГО СЫРЬЯ	279