

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
82 НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ВИКЛАДАЧІВ УНІВЕРСИТЕТУ**

Одеса 2022

Наукове видання

Збірник тез доповідей 82 наукової конференції викладачів університету
26 – 29 квітня 2022 р.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами.
За достовірність інформації відповідає автор публікації.

Рекомендовано до друку та розповсюдження в мережі Internet Вченою радою
Одеського національного технологічного університету,
протокол № 13 від 24.05.2022 р.

Під загальною редакцією Заслуженого діяча науки і техніки України,
Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки,
д-ра техн. наук, професора Б.В. Єгорова

Укладач Т.Л. Дьяченко

Редакційна колегія

Голова

Єгоров Б.В., д.т.н., професор

Заступник голови

Поварова Н.М., к.т.н., доцент

Члени колегії:

Безусов А.Т., д-р техн. наук, професор
Бурдо О.Г., д-р техн. наук, професор
Віннікова Л.Г., д-р техн. наук, професор
Гапонюк О.І д-р техн. наук, професор
Жигунов Д.О., д-р техн. наук, професор
Іоргачова К.Г д-р техн. наук, професор
Капрельянц Л.В., д-р техн. наук, професор
Коваленко О.О., д-р техн. наук, професор
Косой Б.В., д-р техн. наук, професор
Крусір Г.В., д-р техн. наук, професор
Мардар М.Р., д-р техн. наук, професор
Мілованов В.І., д-р техн. наук, професор
Павлов О.І., д-р екон. наук, професор
Плотніков В.М., д-р техн. наук, професор
Станкевич Г.М., д-р техн. наук, професор
Савенко І.І., д-р екон. наук, професор
Тележенко Л.М., д-р техн. наук, професор
Ткаченко Н.А., д-р техн. наук, професор
Ткаченко О.Б., д-р техн. наук, професор
Хобін В.А., д.т.н., професор
Хмельнюк М.Г., д-р техн. наук, професор
Черно Н.К д-р техн. наук, професор

СУШІННЯ ЩІЛЬНОГО ШАРУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ

**Бошкова І. Л., д.т.н., професор, Волгушева Н. В., к.т.н., доцент,
Потапов М.Д., к.т.н., доцент
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Сипкі матеріали широкого класу поширені у багатопланових теплотехнічних процесах. До них відноситься сушіння зернових матеріалів, підготовка хімічних каталізаторів, сушіння цеолітів [1], нагрівання композитних матеріалів [2]. Метод нагрівання матеріалів у мікрохвильовому електромагнітному полі зарекомендував себе як високоефективний щодо швидкості, енерговитрат та якості кінцевої продукції у процесах термообробки та сушіння, про що свідчать результати аналізу експериментальних даних. Подальше вивчення процесу мікрохвильового нагріву доцільно доповнити аналітичними дослідженнями, серед яких найбільш важливі дані щодо температури матеріалу, що є базовими для оцінки ефективності дії мікрохвильового поля та впливу вхідних характеристик на технологічний процес.

При побудові математичної моделі реального об'єкта приймається ряд припущень, що спрощують, з метою виключення громіздких виразів, які важко використовувати в подальшому. Аналітичне дослідження мікрохвильового нагрівання дає можливість ще на стадії проектування технологічного об'єкта отримати узагальнені характеристики, виражені через конструктивні та технологічні параметри.

Одним з найважливіших процесів у промисловості, а також одним з найчастіше досліджуваних тем у харчовій інженерії, є сушіння [3]. Оптимізація цього процесу призведе до зниження собівартості та підвищення якості продукції. Вологоперенесення в неоднорідних матеріалів є складним процесом, у якому може мати місце кілька механізмів переносу. Процес сушіння є одним із основних способів консервування харчових продуктів [4]. На сьогодні велика увага приділяється вивченню комбінованих способів сушіння, так як їх застосування призводить до збільшення рушійної сили, скорочення часу та енергоємності процесу, а також дозволяє отримати якісний продукт.

Особлива увага приділяється сушінню зернових матеріалів за використання мікрохвильового поля [5]. Згідно [6], якщо стоїть завдання висушити зерно пшениці і знизити вологість з 20 % до 14 %, енергоспоживання конвективного сушіння більше 5000 кДж на 1 кг вологи, що випаровується, а для конвективно-мікрохвильового сушіння становить до 3500 кДж/кг, що свідчить про доцільність застосування мікрохвильової енергії при сушінні. Мікрохвильове сушіння (або в інших термінах – сушіння в полі надвисокої частоти НВЧ) може використовуватися як альтернативний метод для більш швидкого сушіння сільськогосподарських культур з ефективним використанням часу та енергії.

Розрахунок вмісту вологи і температури на прикладі шару зерна пшениці проводився при декількох значеннях α , отриманих для діапазону різниці температур $\Delta t=0 \dots 60$ °С. Верхнє значення температур обмежувалося прийнятою допустимою температурою [7]. Коефіцієнти γ_1 і γ_2 визначалися емпірично, в результаті обробки експериментальних даних щодо сушіння різних видів сипких матеріалів. Виявлено, що γ_1 слабо залежить від часу сушіння, у той час як γ_2 змінюється суттєво. Це викликано наступними причинами. Коефіцієнт γ_1 враховує ослаблення дії внутрішніх джерел у процесі сушіння, що відбувається за рахунок зміни діелектричних характеристик вологого матеріалу внаслідок зменшення вмісту вологи. Однак діапазон зміни вмісту вологи невеликий для значної зміни діелектричних властивостей. На початковому етапі сушіння випаровування практично немає, вся енергія, що підводиться, йде на нагрівання матеріалу. Потім волога починає інтенсивно виходити з матеріалу та випаровуватися з його поверхні. Як показують експерименти, на певній ділянці (приблизно

до вмісту вологи $u=0,11$) швидкість сушіння монотонно зменшується. Ці особливості враховуються коефіцієнтом γ_2 .

Для знаходження γ_1 потрібно максимально виключити вплив випаровування вологи для зменшення похибки, т. к. потік вологи змінюється за складним законом і його внесок вносить велику похибку визначення корисного теплового потоку. Тому використовувалися дані по початковому періоду сушіння (періоду прогріву матеріалу) та дані додаткового експерименту, проведеного з тією ж масою зразка і при тій же вихідній потужності магнетрона, але при іншому, нижчому, вмісту вологи.

У ході експериментів визначалася температура матеріалу на початку мікрохвильового нагріву та наприкінці періоду, температура навколишнього середовища, розраховувалася площа відкритої поверхні матеріалу та його об'єм. Експеримент проводився з трикратним повторенням, за результатами їх розраховувалося середнє значення температур.

Після періоду нагрівання матеріалу та включення механізму випаровування вологи в тілі при теплових навантаженнях $q_v > 2,2 \cdot 10^3$ Вт/кг спостерігаються автоколивальні процеси, що виражаються у пульсаційній зміні температури. Імовірно це пов'язано зі зростанням тиску в матеріалі при перевищенні температури вище 50°C , а потім, після досягнення певного значення, властивості міцності матеріалу вже не дозволяють утримувати пар і він виринається назовні – тиск спадає, температура зменшується.

При подальшому підведенні потужності процес повторюється. На кривій вмісту вологи коливальний характер процесу виражений менш слабо, що пояснюється різними тепловими ефектами. Так, у періоді випаровування кількість теплоти, яке витрачається на випаровування, витрачається здебільшого на випаровування, і меншою – на зміну температури, у періоді нагрівання картина зворотна. Однак, оскільки відхилення в кількості теплоти, що витрачається на випаровування, виявляється у незначних коливаннях маси (внаслідок великого значення питомої теплоти пароутворення), то зміни температур будуть суттєво вищими.

Зіставлення розрахункових даних за отриманими залежностями та експериментальних даних показують хорошу збіжність, що дозволяє рекомендувати представлені аналітичні залежності для оцінки технологічних параметрів процесів перенесення теплоти та вологи при нагріванні шару матеріалу в мікрохвильовому полі.

Література

1. Huang H., Ito S., Watanabe F., Hasatani M., Kobayashi N. Microwave Irradiation Effect in Water-vapor Desorption from Zeolites // *Part of the book: Microwave Heating*. – 2011. – P. 335-350.
2. Калганов Д.А., Бычков И.В., Анзулевич А.П., Федий А.А., Пенг Дж., Лупицкая Ю.А. Микроволновый нагрев композитных материалов на основе оксидов железа // *Известия РАН. Серия физическая*. – 2019. – Т. 83. – № 12. – С. 1718-1721.
3. Srikiatden J., Roberts J. S. Moisture transfer in solid food materials: A Review of mechanisms, models, and measurements // *International Journal of Food Properties*. – 2007. – Vol. 10. – С. 739-777.
4. Burdo O., Bezbakh I., Shyshov S., Zыkov A., Yarovy I., Gavrillov A. Research of wheat drying in a microwave and combined filter-microwave dryer // *Food Science and Technology. «EUREKA: Life Sciences»*. – 2019. – No. 5. – С. 70-79.
5. Vasilyev A. A., Vasilyev A. N., Budnikov D., Bolshev V., Jasinski M., Leonowicz Z., Gono R., Jasins L. Effect of Dynamic Bridging on Homogeneous Grain Movement in a Microwave Processing Zone // *Agronomy*. 2021. – № 11. – С. 2-16.
6. Malin N.I.; Kanatnikov Y.A. Energy and resource saving when drying grain // *In Actual Problems of the Agro-Industrial Complex Energy; Saratov State Agrarian University: Saratov, Russia*. – 2016. – P. 124–131.
7. Roland W.L., Seetharamu K.M. Heat and mass transfer in food processing // *IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry*. – 1995. – № 5. – P. 303-324.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ, ЩО ПРАЦЮЄ НА ЗЕОТРОПНІЙ СУМІШІ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ	
Кравченко М.Б., Кокул С.В.	268
ТУРБОДЕТАНДЕРНА УСТАНОВКА З РЕГЕНЕРАЦІЙНИМ ПІДГРІВОМ ПАЛИВНОГО ГАЗУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ	
Ярошенко В.М., Никифоров Д.Р.	270
БАГАТОЦІЛЬОВИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОТРИМАННЯ РІДКОГО НЕОНУ ТА ПАРАВОДНЮ	
Грудка Б.Г.	272
КОМПАКТНА КРІОГЕННА УСТАНОВКА ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ КРИПТОНУ	
Чигрін А.О., Меркулов М.Ю.	273

СЕКЦІЯ «НАФТОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	
Березовська Л.В.	274
СУШІННЯ ЩІЛЬНОГО ШАРУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ	
Бошкова І.Л., Волгушева Н.В., Потапов М.Д.	276
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБЦІ ФІЛЬДА ПРИ ОПРІСНЕННІ ВОДИ ВИМОРОЖУВАННЯМ	
Вовченко А.І., Василів О.Б.	278
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ	
Волчок В.О.	279
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЛУЧЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВОГО КОНДЕНСАТУ	
Волчок В.О., Світлицький В.М.	280
ОГЛЯД ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКОЇ НАФТИ	
Георгієш К.В.	281
РОЗРОБКА КОМБІНОВАНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ	
Гратій Т.І.	282
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ	
Капауз К.О., Бондаренко О.С., Фелонюк О.І.	283
ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ҐРУНТОВОГО РЕГЕНЕРАТОРА В НАТУРНИХ УМОВАХ	
Мукмінов І.І.	285
РОЗРОБКА СИСТЕМ ПЕРВИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА	
Петушенко С.М., Тітлов О.С.	287
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛО-МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО	
Пономарьов К.М.	289
РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРІСНЕННЯ ВОДИ	
Проць Б.М., Василів О.Б.	290
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МАГІСТРАЛЬНОГО НАФТОПРОВОДУ	
Кологривов М.М., Бузовський В.П.	292
МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОФАЗНИХ ТЕЧІЙ У НАФТОПРОВОДАХ	
Тітлов О.С., Альтман Е.І., Арику А.В.	294
ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ВАЖКОЇ ФРАКЦІЇ, ЩО ВИНИКАЄ У ПРОЦЕСІ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	
Дьяченко Т.В.	296

СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ»

СИСТЕМНИЙ ВПЛИВ ОЗОНУВАННЯ НА СТІЧНІ ВОДИ	
Бондар С.М., Чабанова О.Б., Шевченко О.І.	300
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ НАФТОЮ І НАФТОПРОДУКТАМИ	
Гаркович О.Л., Шевченко Р.І., Мадані М.М.	301
ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ КОНСЕРВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Крусір Г.В., Шевченко Р.І., Мадані М.М., Гаркович О.О.	303
ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ М. ОДЕСИ	
Крусір Г.В., Шевченко Р.І., Мадані М.М., Гаркович О.О.	305