

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



ОДЕСА
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 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
Я.О. Масельська

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 |
| Сухий
<i>Константин Михайлович</i> | – ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., 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, 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 |

СЕКЦІЯ 3.

**ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

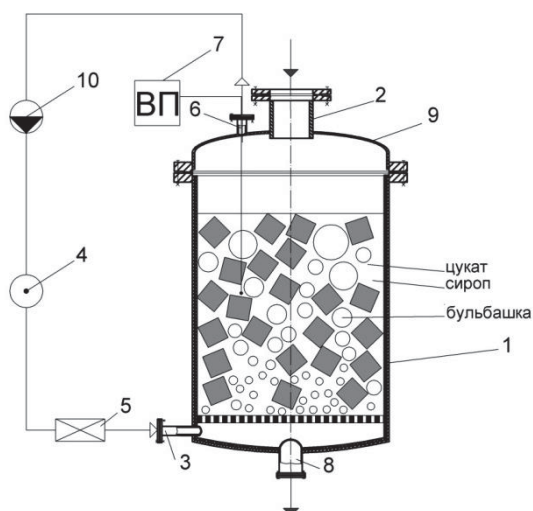


Рисунок 2. Схема установки насичення частинок гарбуза цукром

1 – корпус циліндра; 2 – штуцер для подачі цукрового сиропу та частинок гарбуза; 3 – патрубок подачі стиснутого повітря; 4 – вентилятор; 5 – калорифер; 6 – патрубок для виходу повітря; 7 – прилад для вимірювання температури; 8 –штуцер для зливу сиропу; 9 – кришка; 10 – краплевдбійник.

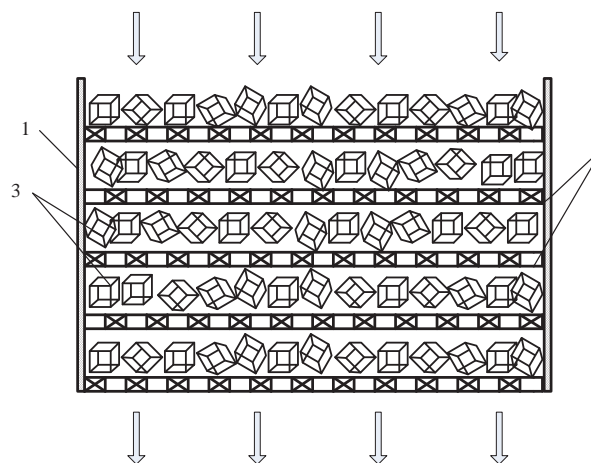


Рисунок 3. Пакетне формування цукатів в процесі сушіння

1 – пакет, 2 – решета, 3 – цукати

Отже, в результаті дослідження основних процесів та проектування енергоощадного обладнання для виробництва цукатів високої якості можливо отримати основні параметри перебігу процесів, таких як температура, концентрація, час насичення та час сушіння для виробництва продукту.

УДК 66.047

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВНУТРІШНЬОДИFUZІЙНОГО МАСОПЕРЕНОСЕННЯ ТА НАСИЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО АГЕНТУ ВОЛОГОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

Кіндзера Д.П., к.т.н. доц., Госовський Р.Р., к.т.н., Атаманюк В.М., д.т.н. проф.
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

THE INTRADIFFUSION MASS TRANSFER INTENSIFICATION AND COMPLETE SATURATION OF THE THERMAL AGENT AS METHODS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE DRYING PROCESS

PhD, assosiate Kindzera D.P., PhD Hosovskyi R.R., PhD, professor Atamanyuk V.M.
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Анотація. В роботі обґрунтовано доцільність проведення наукових досліджень, спрямованих на інтенсифікацію внутрішньодифузійного масоперенесення процесів сушіння рослинної біомаси з високими значеннями початкової вологості, зокрема стебел соняшника, а також динаміки насичення відпрацьованого теплового агенту вологою. Зважаючи на складність механізму фільтраційного сушіння, доказано необхідність визначення ефективного коефіцієнта дифузії, який сумарно враховує швидкість усіх видів дифузії вологи, що мають місце під час реалізації процесу і дає змогу опису процесу масоперенесення згідно законів Фіка. Досліджено залежність ефективного коефіцієнта дифузії від температури та отримано залежності для розрахунку значень ефективного коефіцієнта дифузії вологи з подрібнених зовнішніх та внутрішніх тканин стебел соняшника в межах зміни температур теплового агенту 293 – 373 К.

В роботі представлено результати експериментальних досліджень динаміки насичення відпрацьованого теплового агенту вологою у процесі фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних початкових температур теплового агенту, що дає змогу рекомендувати оптимальні умови проведення процесу.

Abstract. In Ukraine the most common types of biomass are waste raw materials from crop fields. Sunflower biomass, especially sunflower stems as lignocellulosic by-products, are of interest because they are not currently

exploited but they can be successfully used as a raw material for solid bio-fuel production. Taking into account the high initial humidity of sunflower biomass as a raw material for the production of solid biofuel, which is about 60%, and the energy intensity of the drying equipment, the cost of drying process is significant in technological line of fuel production.

The expediency of conducting the scientific research that aimed to intensify the intradiffusive mass transfer during the drying process of plant biomass with high initial humidity values as well as to increase the dynamics of the thermal agent saturation with moisture was justified in the article. Due to the complexity of the filtration drying mechanism, the necessity of the effective diffusion coefficient determination has been proved, which totally takes into account all kinds of moisture diffusion speeds and gives an opportunity to describe the process of mass transfer according to the Fick's laws. The temperature effect on the effective diffusion coefficient has been examined and graphs for effective diffusion coefficients determination have been obtained. Equations which allow to calculate theoretically the effective diffusion coefficients for the grinded outer and inner sunflower stem tissues within the temperature range of 293–373 °K have been deduced. Experimental results of the thermal agent saturation with moisture at different temperature range during grinded sunflower stems drying which allows to recommend optimal process conditions in view of reducing energy costs also have been presented in the work

Ключові слова: біомаса соняшника, біопаливо, внутрішньодифузійне масоперенесення, фільтраційне сушіння, ефективний коефіцієнт дифузії, зональний механізм, динаміка насичення теплового агенту.

Keywords: sunflower biomass, solid biofuel, intradiffusive mass transfer, filtration drying, effective diffusion coefficient, zonal mechanism, dynamics of the thermal agent saturation.

Вступ. Високоврожайною та високорентабельною олійною культурою України є соняшник, який дає змогу забезпечити потреби внутрішнього ринку насінням соняшнику – унікальною сировиною для отримання соняшникової олії, яка характеризується високою харчовою цінністю, зумовленою значним вмістом рослинних жирів, поліненасиченої лінолевої кислоти, вітамінів А, D, Е, К та інших, а також харчових та кормових видів білка з особливими біологічними та функціональними властивостями, високим вмістом біологічно активних речовин та широким набором макро-, мікро- та ультрамікроелементів [1]. Продукти на основі соняшникової переробки користуються сталим попитом на зовнішньому ринку.

За останні роки, в Україні спостерігається збільшення площ сільськогосподарських угідь, відведених під посіви соняшнику та зростання врожайності культури, спричиненого появою нових сортів. Однак, зважаючи на те, що соняшник є високо- та грубостебловою рослиною, він є також високоврожайним по «зеленій біомасі». Кількість відходів соняшнику по біомасі (стебла, листя, кошики, лузга), у післязбиральний період сягає, в середньому, 300-600 ц/га, тому проблема утилізації відходів переробки соняшника стоїть особливо гостро і вимагає розроблення раціональних способів утилізації «зеленої біомаси» з отриманням корисних продуктів [2].

Результати проведеного аналізу компонентного складу стебел соняшника та порівняння з вербою, яка вважається класичною енергетичною культурою, показують близькість значень показників компонентного складу стебел соняшника та енергетичної верби, що підтверджує можливість використання останніх в якості сировини для виробництва низькозольного, екологічнобезпечного твердого біопалива з достатньо високою теплотворною здатністю [3, 4].

Збільшення обсягів виробництва твердого біопалива з рослинної сировини, значну кількість з яких складають сільськогосподарські відходи є актуальним завданням для більшості європейських держав. Переробка та утилізація сільськогосподарських відходів, з одержанням твердого біопалива, як цільового продукту, є актуальними завданнями в умовах енергетичної кризи в Україні. Частковий перехід на альтернативне паливо в державному та приватному секторах дасть змогу зменшити частку застосування традиційних джерел енергії, що сприятиме підвищенню енергоефективності економіки держави.

Узагальнені результати розробки та систематизації технологічних основ виготовлення твердого біопалива з рослинних відходів та композитів на їх основі представлені у роботах [5, 6], авторами яких вказується, що вологість подрібненої рослинної біомаси після процесу сушіння повинна становити 6-12%. За вищої вологості біомаси відбувається «розривання» брикетів після реалізації процесу ущільнення, зумовлене внутрішнім тиском вологи, отже рекомендована вологість рослинної сировини у вказаних межах сприяє забезпеченню якісних характеристик отриманих брикетів.

Технологічні лінії для виробництва твердого біопалива оснащують стрічковими (прямо- та протитечійними; одноярусними та багатоярусними), барабаними сушарками, а також апаратами киплячого шару, однак вони є громіздкими, часто характеризуються низькою інтенсивністю перебігу тепло- і масообмінних процесів, потребують встановлення очисного обладнання [7-9]. Тому, зважаючи на високу початкову вологість біомаси соняшника, як сировинного матеріалу для виготовлення твердого біопалива, що становить близько 60%, та енергоємність сушильного обладнання технологічних ліній, доля затрат на сушіння, в собівартості виготовлення палива, є значною. Таким чином, зневоднення подрібненої біомаси соняшника є одним з найважливіших технологічних етапів, який визначає питомі енергетичні затрати процесу виробництва твердого палива та якість готової продукції з вказаного типу сировини.

Аналіз проблематики та останніх досліджень. На даний час виникла потреба у дослідженнях, спрямованих на зниження енергоємності процесу сушіння рослинних матеріалів, що характеризуються високими значеннями початкової вологості. Під час реалізації процесів сушіння грубостеблової рослинної сировини, внутрішньодифузійні процеси перенесення вологи є тривалими, оскільки практично вся волога є внутрішньою і зосереджена в середині рослинних клітин та у міжклітинному просторі [10]. Дифузія молекул вологи з середини клітин через мікропори клітинної стінки є найповільнішою стадією процесу, що лімітує загальну швидкість дифузійних процесів під час реалізації процесу сушіння, однак дещо інтенсифікується за збільшення температури процесу.

Встановлено, що фільтраційний метод сушіння, який полягає у профільтовуванні теплового агенту крізь канали, утворені між частинками дисперсного матеріалу, дає змогу інтенсифікувати процес сушіння подрібненої грубостеблової рослинної сировини, у порівнянні з іншими промисловими методами сушіння [11]. Інтенсифікація внутрішньодифузійних процесів перенесення вологи з одночасним зменшенням енергозатрат на реалізацію фільтраційного сушіння відбувається за рахунок внесення в стаціонарний шар подрібненої рослинної біомаси значної кількості теплоти за короткий період часу завдяки розвиненій поверхні тепло- та масообміну.

Фільтраційне сушіння також дає змогу використовувати тепловий агент з порівняно невисокою початковою температурою та досягати практично повного насичення відпрацьованого теплового агенту вологою в кінці процесу, що сприяє збільшенню енергоощадності методу. Фільтраційне сушіння подрібненої біомаси відбувається згідно складного зонального механізму, який характеризується періодами повного та часткового насичення теплового агенту вологою, тому динаміка насичення відпрацьованого теплового агенту вологою має свої особливості, у порівнянні з іншими методами зневоднення [12]. Окрім цього, на динаміку насичення відпрацьованого теплового агенту вологою має вплив початкова температура, з якою агент подається у зону сушіння.

З врахуванням вищесказаного, можна зробити висновок про те, що вивчення закономірностей внутрішньодифузійних процесів перенесення вологи та динаміки насичення відпрацьованого теплового агенту вологою у процесі фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних початкових температур теплового агенту є актуальними завданнями. Вирішення вказаних завдань дасть змогу розрахувати тривалість сушіння та встановити оптимальні параметри процесу з метою інтенсифікації та забезпечення енергоощадності. Отримані, в наслідок узагальнення результатів досліджень, розрахункові та графічні залежності матимуть практичне використання на стадії проектування сушарок фільтраційного типу для реалізації сушіння подрібненої біомаси соняшника.

Аналіз джерел літератури. Зважаючи на складність механізму фільтраційного сушіння, представленого автором роботи [12], процеси внутрішньодифузійного та зовнішньодифузійного перенесення вологи існують паралельно один до одного на протязі тривалого часу. Авторами робіт [11, 13], вказується на важливість визначення ефективного коефіцієнта дифузії, який сумарно враховує швидкість усіх видів дифузії вологи, що мають місце під час реалізації процесу фільтраційного сушіння і дає можливість опису процесу масоперенесення згідно законів Фіка.

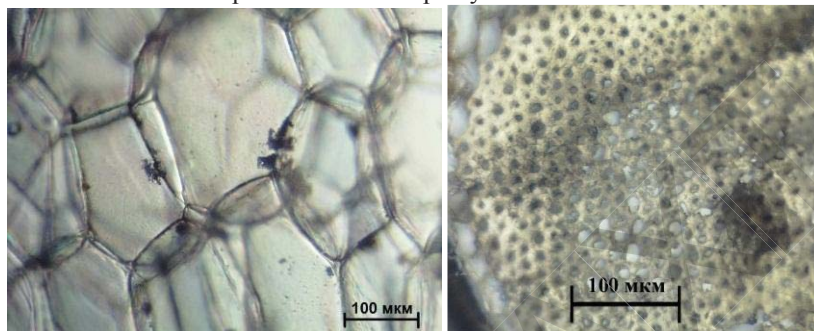
Незначна кількість наукових праць містить відомості щодо методів розрахунку ефективного коефіцієнту дифузії для процесів сушіння матеріалів рослинного походження. В роботах [14 - 15] представлені аналітичні рішення рівняння Фіка для частин рослинного матеріалу у формі пластин та куль. Отримані залежності є справедливими лише для частин досліджуваних матеріалів, що характеризуються особливістю внутрішньої структури з притаманною їм пористістю, розмірами, формою. Їх застосування для розрахунку коефіцієнта внутрішньої дифузії вологи під час фільтраційного сушіння подрібненої біомаси соняшника даватиме велику розбіжність між експериментальними і розрахованими даними. Відомостей щодо дифузійного масоперенесення під час сушіння частин, утворених внаслідок подрібнення зовнішніх та внутрішніх тканин стебел соняшника, що становлять значну частину «зеленої біомаси» рослини, не знайдено. Тому, актуальним завданням є дослідження внутрішньодифузійних процесів, які відбуваються під час реалізації фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника і спрямовані на визначення коефіцієнту ефективної внутрішньої дифузії вологи з середини частин матеріалу до їх поверхні.

Як вказується автором роботи [16], за реалізації процесу сушіння рослинної сировини конвективним методом, в зону сушіння подаються значні об'єми високотемпературного сушильного агента в межах температур 200 – 350°C, що є енергозатратним з точки зору організації процесу. Відповідно, відпрацьований тепловий агент викидається в атмосферу з температурою 70 – 150°C, що вказує на значні втрати теплової енергії і, часто, є лише частково насичений парами вологи. Реалізація сушіння рослинної сировини за використання фільтраційного методу має змогу використати тепловий агент з нижчим температурним потенціалом 40 – 120°C, що зменшує енергозатратність процесу, на виході з шару матеріалу насиченість вологою є значно вищою, ніж за конвективного методу. Окрім цього, на динаміку насичення відпрацьованого теплового агенту вологою має вплив початкова температура, з якою агент подається у зону сушіння. Отже, важливим завданням є встановлення параметрів процесу, за яких досягається щонайповніше насичення теплового агенту вологою під час реалізації сушіння.

Метою роботи є дослідження внутрішньодифузійних процесів перенесення вологи та динаміки насичення відпрацьованого теплового агенту вологою у процесі фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних початкових температур теплового агенту.

Результати досліджень.

Стебла соняшника складаються з кількох видів відмінних за своєю будовою тканин. Серцевину стебел формує паренхімна тканина (рис. 1а), утворена великими тонкостінними клітинами. Зовнішні тканини стебла формує епідерма, первинна кора (коленхіма та хлоренхіма), склеренхіма, первинна та вторинна флоєми та ксилема, міжпучковий камбій, утворені з товстостінних клітин невеликих розмірів (рис. 1б). Внаслідок подрібнення внутрішньої тканини стебел утворилися частинки кулястої форми, а із зовнішніх тканин – частинки призматичної форми, які є дещо відмінними за своєю структурою, фізико-хімічним та біохімічним складом. Середній початковий вологовміст подрібнених стебел соняшника становив 60% і обумовлений наявністю зв'язаної вологи, зосередженої в середині рослинних клітин та у міжклітинному просторі та незначної кількості вільної вологи на поверхні частин матеріалу.



а) внутрішня тканина б) зовнішня тканина

Рисунок 1. Поперечні перерізи стебла соняшника

Попередньо, нами були досліджені кінетичні особливості фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних температур теплового агенту, що свідчили про наявність тривалого періоду внутрішньодифузійних процесів в частинках матеріалу під час реалізації фільтраційного сушіння [17]. Для дослідження внутрішньодифузійних процесів, контейнер з шаром матеріалу висотою $H = 20 \cdot d_{\text{час}}$ (де $d_{\text{час}}$ – визначальний розмір частин кулястої форми) та $H = 40R$ (де R – визначальний розмір частинки призматичної форми) поміщали в установку фільтраційного сушіння та крізь стаціонарний шар вологого матеріалу профільтровували тепловий агент зі сталою витратою, нагрітий до температури 293, 313, 333, 353, 373 К. Температура теплового агенту контролювалася за допомогою електронного терморегулятора SESTOS D1S. Зміну маси матеріалу фіксували ваговим методом. Дослідження проводили до встановлення сталої маси матеріалу.

Метод визначення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії базувався на математичному розв'язку диференційних рівнянь внутрішньої дифузії (другого закону Фіка) з відповідними початковими та граничними умовами, а також з прийнятими допущеннями: всі частинки подрібнених стебел соняшника мають призматичну (або кулясту) форму та однакові (співрозмірні) розміри; поверхня кожної частинки у шарі рівномірно омивається тепловим агентом; значення вологості на поверхні частинки відповідають значенням вологовмісту у тепловому агенті; початкова волога рівномірно розподілена по всьому об'єму кожної частинки. Визначені значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії D_w^* вологи з частинок утворених внаслідок подрібнення зовнішніх тканин стебел соняшника, визначені за різних температур теплового агенту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії за різних температур теплового агенту для частин утворених із зовнішніх тканин стебел соняшника

T, K	293	316	333	353	373
$D_w^* \cdot 10^8, m^2/c$	1,056	4,156	6,749	9,291	13,474

Як видно з таблиці 1, значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії зростають за збільшення температури теплового агенту. Явище пояснюється наступним чином: при збільшенні температури теплового агенту зростає температура всередині частинок та тиск насиченої пари над поверхнею рідини, внаслідок чого відбувається інтенсифікація дифузійних процесів.

За результатами таблиці 1, побудована графічна залежність $D_w^* = f(T)$ (рис. 2), яка є зручною для практичного використання, оскільки дає змогу визначати значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії для частинок утворених внаслідок подрібнення зовнішніх тканин стебел соняшника в межах зміни температур теплового агенту від 293 до 373 К.

Внаслідок апроксимації отриманих експериментальним шляхом значень коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії лінійною функцією, отримали розрахункову залежність, яка дає змогу теоретично розрахувати значення вказаних коефіцієнтів в межах зміни температури $293 \leq t \leq 373$ К:

$$D_w^* = D_w^{293} + 1,45 \cdot 10^{-9} \cdot (T - 293) \quad (1)$$

Визначені значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії D_w^* вологи з частинок подрібнених стебел соняшника кулястої форми, визначені за різних температур теплового агента наведені в таблиці 2.

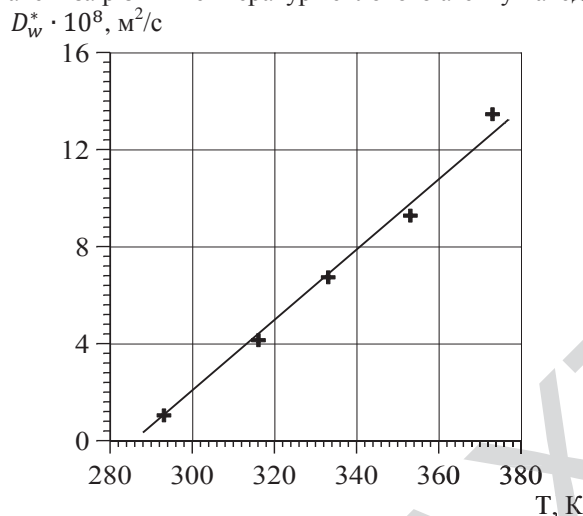


Рисунок 2. Залежність коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії D_w^* від температури T теплового агента для частинок утворених внаслідок подрібнення зовнішніх тканин стебел соняшника

Таблиця 2.

Значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії за різних температур теплового агента для частин утворених із внутрішніх тканин стебел соняшника

T, K	293	316	333	353	373
$D_w^* \cdot 10^{10}, m^2/c$	0,396	3,211	5,641	8,872	11,103

За результатами представленими в таблиці 2 побудована графічна залежність $D_w^* = f(T)$ (рис. 3).

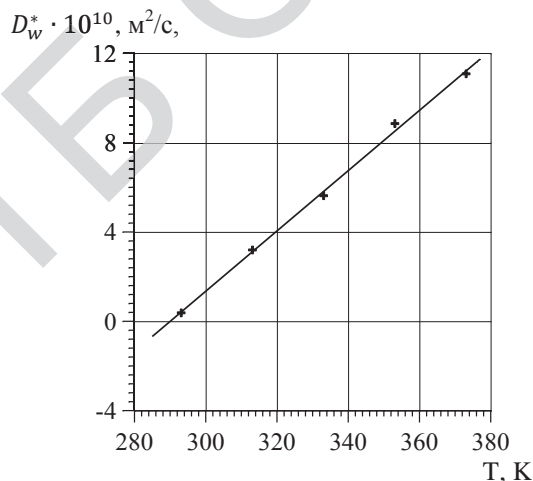


Рисунок 3. Залежність коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії D_w^* від температури T теплового агента для частинок утворених внаслідок подрібнення внутрішніх тканин стебел соняшника

Отримана залежність для розрахунку коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії D_w^* для подрібнених внутрішніх тканин стебел соняшника в межах зміни температури теплового агента $293 \leq t \leq 373$ К має вигляд:

$$D_w^* = D_w^{293} + 1,35 \cdot 10^{-11} \cdot (T - 293) \quad (2)$$

З метою забезпечення високого насичення відпрацьованого теплового агента під час реалізації фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, нами проведені дослідження зміни динаміки насичення останнього в часі за різних початкових температур теплового агента. За результатами експериментальних досліджень, побудовано графічні залежності зміни кількості вологи G , кг у тепловому

агенті (рис. 4) та зміни вологовмісту x , кг H_2O /кг сух.пов. (рис. 5) в часі за різних початкових температур теплового агента.

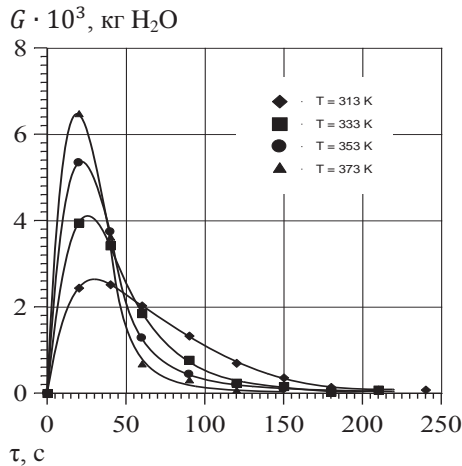


Рисунок 4. Динаміки насичення відпрацьованого теплового агента: залежність зміни маси води у теплому агенті від часу за різних початкових температур

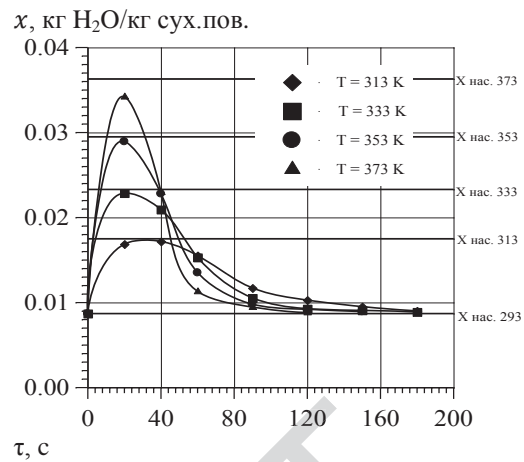


Рисунок 5. Динаміки насичення відпрацьованого теплового агента: зміна вологовмісту теплового агента в часі за різних початкових температур

З представлених графічних залежностей видно, що у загальному випадку криві характеризуються двома ділянками, які відповідають періодам повного та часткового насичення теплового агента вологою. Від початку процесу сушіння до досягнення фронтом масообміну перфорованої перегородки кількість води, що переходить у відпрацьований тепловий агент та, відповідно, вологовміст останнього зростають і у момент досягнення фронтом масообміну перфорованої перегородки досягають максимальних значень. Насичення теплового агента максимальною кількістю води за даних умов характеризується піками на відповідних кривих. Після досягнення фронтом масообміну перфорованої перегородки, починається період часткового насичення теплового агента вологою, що характеризується поступовим зменшенням кількості води, що переходить у тепловий агент та, відповідно, вологовмісту останнього аж до моменту припинення сушіння.

Збільшення початкової температури теплового агента від 313 до 373К приводить до зростання маси води, що переходить у відпрацьований тепловий агент в момент його повного насичення від $2,6 \cdot 10^{-3}$ до $6,5 \cdot 10^{-3}$ кг H_2O та вологовмісту останнього, відповідно, від 0,0175 до 0,0365 кг H_2O /кг сух.пов. у період повного його насичення вологою (рис. 4, 5). Це пояснюється інтенсифікацією процесу сушіння за рахунок зростання швидкостей дифузійного переміщення води в матеріалі, а, отже, і збільшенням кількості вивнесеної води з зони сушіння. Вплив початкової температури теплового агента на вміст води у відпрацьованому теплому агенті та його вологовміст у момент повного насичення представлено у таблиці 3.

Таблиця 3

Вплив початкової температури теплового агента на вміст води у відпрацьованому теплому агенті та його вологовміст у момент повного насичення

Початкова температура, К	313	333	353	373
Маса води, $G \cdot 10^3$, кг H_2O	2,6	4,1	5,4	6,5
Вологовміст, x , кг H_2O /кг сух.пов	0,0175	0,0234	0,0298	0,0365

Висновки.

1. Визначено значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії води з подрібнених зовнішніх та внутрішніх тканин стебел соняшника за різних температур теплового агента під час фільтраційного сушіння (таблиці 1 та 2).

2. Отримані графічні залежності $D_w^* = f(T)$ (рис. 2, 3), які є зручними для практичного використання, оскільки дають змогу визначати значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії для частинок утворених внаслідок подрібнення зовнішніх та внутрішніх тканин стебел соняшника в межах зміни температур теплового агента від 293 до 373К.

3. Отримані розрахункові залежності, які дають змогу теоретично розрахувати значення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії для подрібнених зовнішніх тканин стебел соняшника (1) та внутрішніх тканин стебел соняшника (2) в межах зміни температури теплового агента $293 \leq t \leq 373$ К.

4. Досліджено динаміку насичення відпрацьованого теплового агента вологою у процесі фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних початкових температур теплового агента, що дає змогу рекомендувати оптимальні умови проведення процесу.

References

1. Zaitsev O.M. Vykorystannia yakisnoho nasinnia — naishvydshyi shliakh do pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva / O.M. Zaitsev // Propozytsiia. — 2002. — № 5. — 48 s.
2. Lakiza O.V., Rudnieva L.L., Chursinov Yu.O., Demidov I.M. Zastosuvannia vidkhodiv pererobky nasinnia soniashnyku. Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnogo ahrarnoho universytetu №2, 2011. S.14-16.
3. Kindzera D.P. Zmenshennia enerhozatrata tekhnolohichnoi linii vyrobnytstva tverdoho palyva z biomasy soniashnyka /. // Seminar. Stalyi rozvytok – pohliad u maibutnie. Zbirnyk materialiv. Lviv, – 15 veresnia 2017. – S. 38.
4. Kindzera D.P. Vyznachennia optymalnykh parametriv sushinnia podribnenykh stebel soniashnyka dlia vyrobnytstva palyvnykh bryketiv / Kindzera D.P., Atamaniuk V.M., Hosovskyi R.R. // Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii, №47, Tom 2. - 2015. - S. 194-198.
5. Klymenko V. V., Kravchenko V. I., Bokov V. M., Hutsul V. I. Tekhnolohichni osnovy vyhotovlennia biopalyva z roslynnykh vidkhodiv ta yikh kompozytiv: Monohrafiia. /Za red. V.V. Klymenka – Kropyvnytskyi: PP «Ekskliuzyv-System», 2017. – 162 s.
6. Tverde biopalyvo: tekhnolohichni vymohy, vlastyivosti komponentiv ta tekhnolohiia vyrobnytstva. [Elektronnyi resurs] Hazeta "Ahrobiznes sohodni"№19(290) , 22 zhovtnia 2014, za red. O. Haidenko, K.- : vyd-vo TOV "Pres-media" 2014./ Rezhym dostupu: <http://www.agrobusiness.com.ua/ideii-i-trendy/2424-tverde-biopalyvo-hnologichni-vymogyvlastyivosti-komponentiv-ta-tekhnolohiia-vyrobnytstva.html>.
7. Troshin A. G. Razvitie protsessov i oborudovaniya dlya proizvodstva toplivnykh briketov iz biomassy / A. G. Troshin, V. F. Moiseev, I. A. Telnov, S. I. Zavinskiy // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 2010. – # 3/8 (45). – S. 36–41.
8. Bilei P. V. Analiz efektyvnosti konvektyvnoho sushinnia derevyny / P. V. Bilei, B. I. Prystavskiy // Naukovi visnyk NLTU Ukrainy. - 2012. - Vyp. 22.10. - S. 116-119.
9. Snezhkin Yu.F. Matematicheskoe modelirovanie dinamiki sushki kolloidnykh kapillyarno-poristykh tel v usloviyakh kipyaschego sloya / Yu.F. Snezhkin, N.N. Sorokovaya // Odeska natsionalna akademiya harchovykh tekhnologiy. Naukovi pratsi, Tom 80, Vipusk 1, 2016. S. 86-91.
10. Hosovskyi R.R. Vnutrishnodyfuziine masoperenesennia pid chas filtratsiinoho sushinnia perankhimnoi tkanyny stebel soniashnyka / Hosovskyi R.R., Kindzera D.P., Atamaniuk V.M. // Naukovi visnyk Natsionalnogo lisotekhnichnogo universytetu, №27.6, – 2017. – S. 112-116.
11. Hosovskyi R. Diffusive mass transfer during drying of grinder sunflower stalks / Roman Hosovskyi, Diana Kindzera, Volodymyr Atamanyuk // Chemistry & Chemical Technology. – 2016. – Vol.10, №4. – P. 194-198.
12. Atamaniuk, V. M. Naukovi osnovy filtratsiinoho sushinnia dyspersnykh materialiv [Tekst]: monohrafiia / V. M. Atamaniuk, Ya. M. Humnytskyi // Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2013. – 276 s.
13. Atamaniuk V.M., Huzova I.O., Hnativ Z.Ia., Patrii N.O. Doslidzhennia dyfuzii molekul sakharozy v chastynkakh plodu harbuza u vyrobnytstvi tsukativ. Khimichna tekhnolohiia ta inzheneriia. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia. Zbirnyk tez dopovidei. Ukraina, Lviv, 26 – 30 2017 r. C. 107 - 108.....
14. Mirtes Aparecida da Conceição Silva, Zaqueu Ernesto da Silva, Viviana Cocco Mariani, Sébastien Darche. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. LWT - Food Science and Technology 45 (2012), pp. 246-252.
15. Raquel P.F. Guiné and Maria João Barroca. Estimation of the diffusivities and mass transfer coefficients for the drying of D. Joaquina pears. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol II, WCE 2013, July 3 - 5, 2013, London, U.K.
16. Shandyba N. O. Strukturnyi analiz vtrat v tekhnolohichnykh protsesakh pererobky silskohospodarskoi produktsii / N. O. Shandyba, M. P. Yukhymenko // Problemy enerhoefektyvnosti ta yakosti v protsesakh sushinnia kharchovoi syrovyny : zbirnyk tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. – Kharkiv, 2011. – S. 101–102.
17. Kindzera D.P. Kinetyka filtratsiinoho sushinnia podribnenykh stebel soniashnyka / Kindzera D.P., Atamaniuk V.M., Hosovskyi R.R. // Naukovi pratsi. Odeska natsionalna akademiia kharchovykh tekhnolohii, Tom 80. №1, – 2016. – S. 32 – 37.

BIOTECHNOLOGY	
Nisha Kesari	100
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВИПАРОВУВАННЯ І СУШІННЯ ОДИНИЧНИХ КРАПЕЛЬ БАКТЕРІАЛЬНОГО ПРЕПАРАТУ «ФГ-5»	
Переяславцева О.О.	102

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

ПЕКТИНОВМІСНИЙ ПРОДУКТ У ВИГЛЯДІ ЧИПСІВ	
Шапар Р.О., Гусарова О.В.	108
ДОСВІД СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКТІВ З ГІДРОЛІЗОВАНИМ БІЛКОМ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ	
Авдєєва Л.Ю., Декуша Г.В., Жукотський Е.К.	113
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА СОНЯШНИКУ У ВІБРОСУШАРЦІ НА ОСНОВІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПРОМІНЕННЯ	
Бандура В.М., Ярошенко Л.В.	116
ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ ГІДРАТАЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЇ	
Осадчук П. І.	123
РОЗРОБКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ З ФІТОЕСТРОГЕННОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	
Петрова Ж.О., Слободянюк К.С.	129
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ХЛАДОНОВЫХ ЭКСТРАКТОВ ЛАВРОВОГО ЛИСТА	
Потапов В.А., Евлаш В.В., Белый Д.В.	136
РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ОЛІЙНО-ЖИРОВОЇ ГАЛУЗІ	
Скляр В. Ю., Крусір Г. В., Коваленко І. В., Кузнєцова І. О.	139
ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ МОНОГРАНУЛІРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИМИТИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	
Басок Б.И., Давыденко Б.В., Тимошенко А.В.	145
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРУЮЧОЇ ДОБАВКИ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ	
Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.	149
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКАТІВ З ГАРБУЗА	
Атаманюк В.М., Гузьова І.О.	152
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВНУТРІШНЬОДИFUЗИЙНОГО МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ ТА НАСИЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО АГЕНТУ ВОЛОГОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ	
Кіндзера Д.П., Госовський Р.Р., Атаманюк В.М.	153
ВЫПЕЧКА РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПАРОКОНВЕКЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ	
Кирик И.М., Кирик А.В., Гуринова Т.А.	160
ІННОВАЦІЙНІ ТА ЕФЕКТИВНІ СОНЯЧНІ СУШАРКИ ДЛЯ ЦІЛДОБОВОЇ СУШКИ	
Мусій Р.Й., Заборовський А.Б., Желєзко О.П.	161
ІННОВАЦІЙНІ СОНЯЧНІ СУШАРКИ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ КОЛЕКТОРІВ	
Мусій Р.Й., Заборовський А.Б., Желєзко О.П.	162

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССУ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РИШЕНЬ У ВАКУУМНОМУ ТА МІКРОВОГО ОБЛАСТІ	
Бурдо О.Г., Гарвилов О.В., Мординський В.П., Сиротюк І.В., Серєда О.О.	167
РОЗРОБКА КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	
Соколова В. І., Крусір Г. В., Шпирко Т. В., Кузнєцова І. О., Коваленко І. В.	172
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ АДСОРБЕНТІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ	
Беляновська О.А., Литовченко Р.Д., Сухий К.М., Прокопенко О.М., Еремін О.О., Суха І.В.	179