

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 66.047

КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПОДРІБНЕНИХ
СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА
KINETICS OF GRINDED SUNFLOWER STALKS FILTRATION
DRYING

Кіндзера Д.П., канд. техн. наук, доц., Атаманюк В.М., д-р техн. наук, проф.,
Госовський Р.Р., аспірант
Національний університет «Львівська політехніка»
Kindzera D.P., Atamaniuk V.M., Hosovskyi R.R.
National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

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

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



В матеріалах статті обґрунтовано актуальність вибору об'єкту дослідження – подрібнених стебел соняшника, з метою виготовлення паливних брикетів. Встановлено, що результати експериментальних та теоретичних досліджень, які наводяться у науковій літературі неможливо застосувати для прогнозування кінетики сушіння такого виду сировини, внаслідок складної клітинної будови стебел соняшника, розподіл вологості у яких є нерівномірним, наявності як вільної вологості, так і зв'язаної, яка міститься у клітинах та міжклітинному просторі. Показано вплив температури теплового агента, швидкості його фільтрування крізь стаціонарний шар різної висоти вологих подрібнених стебел соняшника на кінетику сушіння. Наведена графічна залежність швидкості фільтраційного сушіння від біжучої вологості матеріалу для досліджуваних параметрів теплового агента та висот стаціонарного шару. Представлені результати дослідження динаміки видалення вологості за різних параметрів теплового агента та висот стаціонарного шару подрібнених стебел соняшника. Встановлено, що інтенсивність видалення вологості в період повного та часткового насичення теплового агента не залежить від висоти шару матеріалу, а визначається лише сушильним потенціалом теплового агента та кількістю теплоти, яка вноситься в шар вологого матеріалу. Підтверджено зональний механізм фільтраційного сушіння подрібнених вологих стебел соняшника. Запропоновано оптимальні технологічні параметри, за яких енерговитрати на реалізацію процесу фільтраційного сушіння є мінімальними.

In the article the actuality of the choice of the object for research - chopped stalks of sunflowers, in order to manufacture fuel briquettes, was substantiated. It was found that the results of experimental and theoretical studies that are cited in the scientific literature can not be used for predicting the drying kinetics of this type of material, due to the complex cellular structure of the stalks of sunflower, distribution of moisture in which is uneven, because of the presence of free and connected moisture that is contained in the cells and intercellular space. The influence of temperature of the heat agent, rate of filtration through a stationary layer in varying heights of wet chopped sunflower stalks on kinetics of drying was shown. The graphic dependence of the rate of filtration drying of runny moisture of the material for investigated parameters of heat agent and heights of stationary layer was given. The results of the study of the dynamics of moisture removal at the different parameters of the heat agent and heights of stationary layer of chopped sunflower stalks were presented. It was defined that the intensity of moisture removal in a period of full and partial saturation of heat agent does not depend on the height of the material but is determined only by potential of drying agent and the amount of heat that is introduced into the layer of moist material. Zonal mechanism of filtration drying of wet chopped stalks of sunflowers was confirmed. The optimum process parameters under which energy consumption for the implementation of filtration drying process is minimal were offered.

Ключові слова: біопаливо, подрібнені стебла соняшника, вологовміст, кінетика, динаміка, швидкість сушіння, зональний механізм сушіння.

Keywords: biofuel, grinded sunflower stalks, moisture content, kinetics, dynamics, drying velocity, zonal drying mechanism.

Вступ. В умовах енергетичної та економічної кризи, для розвитку теплової енергетики України, перспективним є використання альтернативних видів палива, виготовлених з рослинної сировини, значну кількість з

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

яких складають грубостеблові сільськогосподарські відходи. Технологія виробництва твердого палива з такого виду сировини передбачає стадії попереднього подрібнення та сушіння останньої до вологості 4-12 %, що сприяє забезпеченню необхідних раціональних умов брикетування та якісних характеристик отриманих брикетів. Доля затрат на сушіння, в собівартості виготовлення палива, є значною, оскільки сушарки, якими оснащують технологічні лінії виробництва твердого біопалива в даний час, є енергоємними, великогабаритними та потребують встановлення очисного обладнання [1-3], що відповідно, підвищує собівартість готової продукції.

Формулювання проблеми. Важливим напрямом підвищення показників економічної діяльності підприємств з виробництва твердого біопалива, є впровадження новітніх енерго- та ресурсозберігаючих технологій виробництва продукції. Реалізація такого завдання потребує технічного переоснащення підприємств шляхом часткової чи повної заміни існуючого обладнання на нове, більш прогресивне. Зневоднення рослинних матеріалів є одним з найважливіших технологічних етапів, який визначає питомі енергетичні затрати процесу виробництва твердого палива та якість готової продукції.

Стебла соняшника складаються з кількох видів відмінних за своєю будовою тканин. Внаслідок подрібнення стебел соняшника, з зовнішніх тканин стебла – епідерми, первинної кори (коленхіми та хлоренхіми), склеренхіми, паренхіми, первинної та вторинної флоєми та ксилеми, міжпучкового камбію утворюються частинки призматичної форми, що мають волокнисту структуру, а з серцевини стебел – паренхімної тканини – частинки кулястої форми. Тому подрібнені стебла соняшника, як об'єкти сушіння, є складними за своєю структурою, фізико-хімічним та біохімічним складом. В загальному випадку, кожному окрему частинку можна розглядати як систему, утворену великою кількістю клітин, об'єднаних між собою міжклітинним простором. Клітинна стінка разом з плазматичною мембраною утворюють замкнений напівпроникний об'єм клітини, в якому міститься рідина, міжклітинний простір також заповнений рідиною. Вологість грубостеблової рослинної біомаси є значною і може становити понад 60%, тому її промислове сушіння характеризується великою тривалістю процесу та, відповідно, значними енергетичними витратами.

Застосування методу фільтраційного сушіння дасть змогу інтенсифікувати процес зневоднення такого виду рослинної сировини та зменшити енергетичні витрати на реалізацію останнього. Створення енергозберігаючої технології виробництва твердого біопалива з подрібнених стебел соняшника є можливим з врахуванням раціональних режимів роботи технологічного обладнання, зокрема установки фільтраційного сушіння, що забезпечить мінімальну тривалість процесу та найменшу витрату теплоти. Для розрахунку основних конструктивних розмірів установки фільтраційного сушіння необхідної продуктивності та обґрунтування раціональних технологічних параметрів процесу, необхідним є проведення експериментальних досліджень кінетичних закономірностей процесу за різних технологічних параметрів теплового агента (температури та швидкості профільтровання крізь матеріал), а також висоти шару матеріалу, зміни швидкості сушіння залежно від біжучого вологовмісту матеріалу, динаміки видалення вологи із шару матеріалу та їх узагальнення.

Аналіз джерел літератури. Дослідженню кінетики фільтраційного сушіння присвячено ряд наукових праць. В роботах [4 – 7], авторами досліджена кінетика фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів, та на основі експериментальних даних зроблені висновки про вплив висоти шару, швидкості руху, температури теплового агента, розміру частинок на швидкість сушіння. Проте, отримані авторами залежності можна використовувати лише для прогнозування кінетики фільтраційного сушіння досліджуваних у цих роботах матеріалів, які характеризуються певною формою та структурною будовою частинок.

Автором [8], наведено результати досліджень кінетики сушіння кускової полідисперсної глини та глини, сформованої у вигляді частинок циліндричної форми у стаціонарному шарі конвективним і радіаційним методами. В роботі встановлено, що сушіння відбувається у першому та другому періодах, а тривалість першого періоду є меншою, ніж другого, однак у першому періоді видалається ~ 50 % вологи. Визначено тривалість першого та другого періоду сушіння та отримано розрахункову залежність для визначення вологості матеріалу у періоді падаючої швидкості сушіння. Проте, автором не досліджено впливу параметрів теплового агента на динаміку та швидкість видалення вологи по висоті шару досліджуваного матеріалу.

Авторами робіт [9 – 11] досліджено кінетику та динаміку фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів та проаналізовано залежність зміни швидкості фільтраційного сушіння від технологічних параметрів теплового агента (сушильного потенціалу) і висоти шару матеріалу. Проте, наведені в цих роботах дослідження стосуються конкретних матеріалів і застосувати їх для інших матеріалів, відмінних за структурною будовою і формою частинок є неможливо внаслідок великої похибки між експериментальними і теоретично розрахованими значеннями.

Метою роботи є дослідження кінетики фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, швидкості сушіння залежно від біжучого вологовмісту, динаміки видалення вологи із шару матеріалу.

Результати досліджень. Для проведення досліджень шар подрібнених стебел соняшника був сформований насипом з частинок кулястої та призматичної форми і являв собою полідисперсну суміш частинок капілярно-пористої структури. Середній початковий вологовміст подрібнених стебел соняшника становив 60% і обумов-

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

лений наявністю вільної та зв'язаної води. Пористість такого шару становила $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$, тому, вважали що тепловий агент рівномірно омиває частинки з усіх боків.

Дослідження кінетики фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, швидкості сушіння залежно від біжучого вологовмісту матеріалу, динаміки видалення води із шару проводили на експериментальній установці за розробленими методиками [4]. Дослідження проводили за різних висот шару матеріалу H (рис. 1), а також за різних параметрів процесу (температури T (рис. 2) та швидкості фільтрування теплового агента v_0 (рис. 3)). Процес фільтраційного сушіння досліджувався до досягнення матеріалом кінцевого вологовмісту, який становив $4 - 6 \text{ кг H}_2\text{O}/\text{кг сух. м.}$ Вибраний діапазон температур теплового агента обумовлювався фізико-хімічними властивостями матеріалу (здатністю до самозаймання), а діапазон зміни швидкості профільтрування теплового агента крізь шар матеріалу був вибраний із врахуванням продуктивності промислових вентиляторів та виходячи із того, що в промислових установках загальна площа зони сушіння може становити $4 - 6 \text{ м}^2$. Діапазон зміни висоти стаціонарного шару матеріалу був вибраний згідно рекомендацій, представлених у роботі [4], де мінімальна висота шару повинна бути не меншою, ніж $20d_{\text{ус.част}}$ та із міркувань забезпечення максимально можливого рівномірного прогрівання шару.

Результати досліджень впливу висоти шару матеріалу у діапазоні зміни від 30 до 160 мм на час сушіння (за однакової температури та швидкості фільтрування теплового агента) представлені у вигляді графічних залежностей на рис. 1, з яких видно, що зростання висоти шару подрібнених стебел соняшника приводить до збільшення тривалості сушіння, що пояснюється зростанням шляху переміщення фронту масообміну до перфорованої перегородки.

Оскільки одним із визначальних параметрів, який впливає на кінетику процесу фільтраційного сушіння, є температура теплового агента, були проведені дослідження у діапазоні зміни температури від 313 до 373 К, а результати досліджень представлені у вигляді графічних залежностей на рис. 2. Зростання температури теплового агента (за однакової висоти шару матеріалу та швидкості фільтрування теплового агента) приводить до інтенсифікації внутрішньодифузійних процесів перенесення води в матеріалі, що сприяє інтенсифікації процесу фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника в цілому.

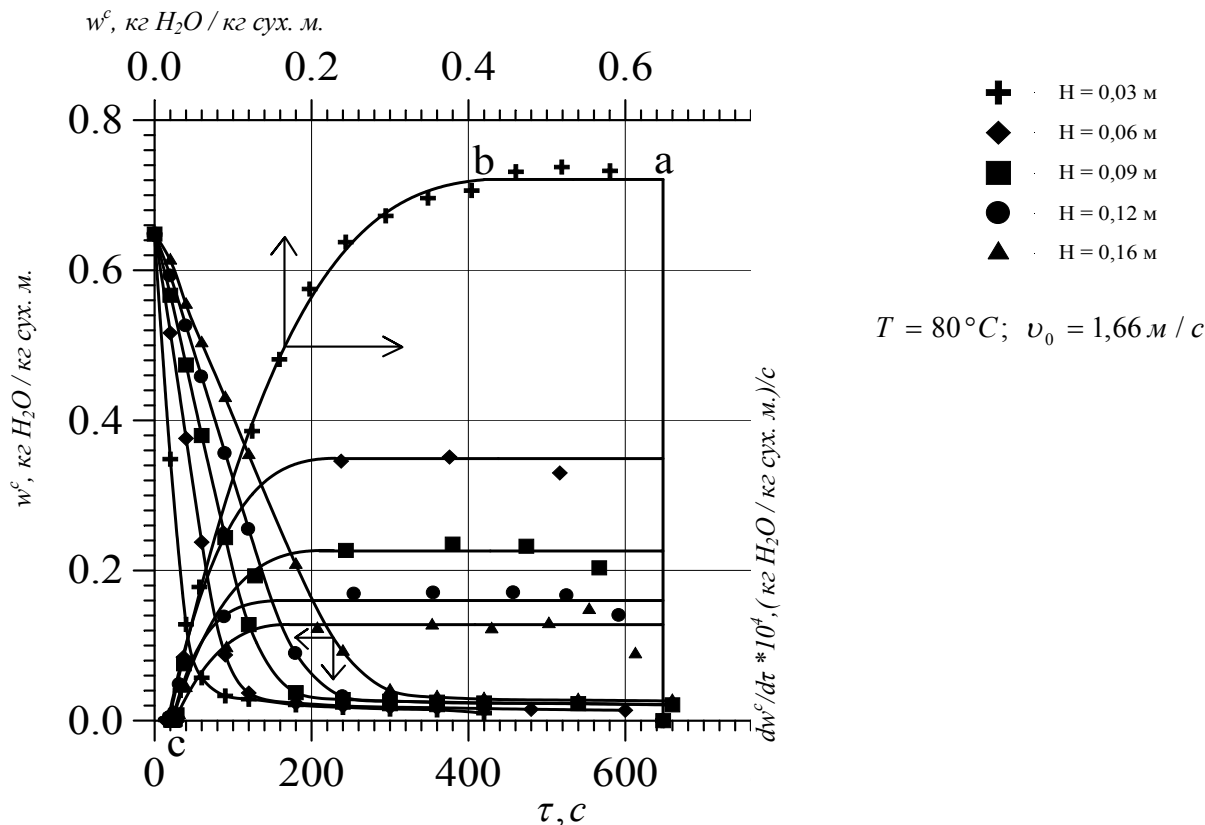


Рис. 1 – Кінетика та швидкість сушіння біомаси соняшника за різних висот шару матеріалу

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

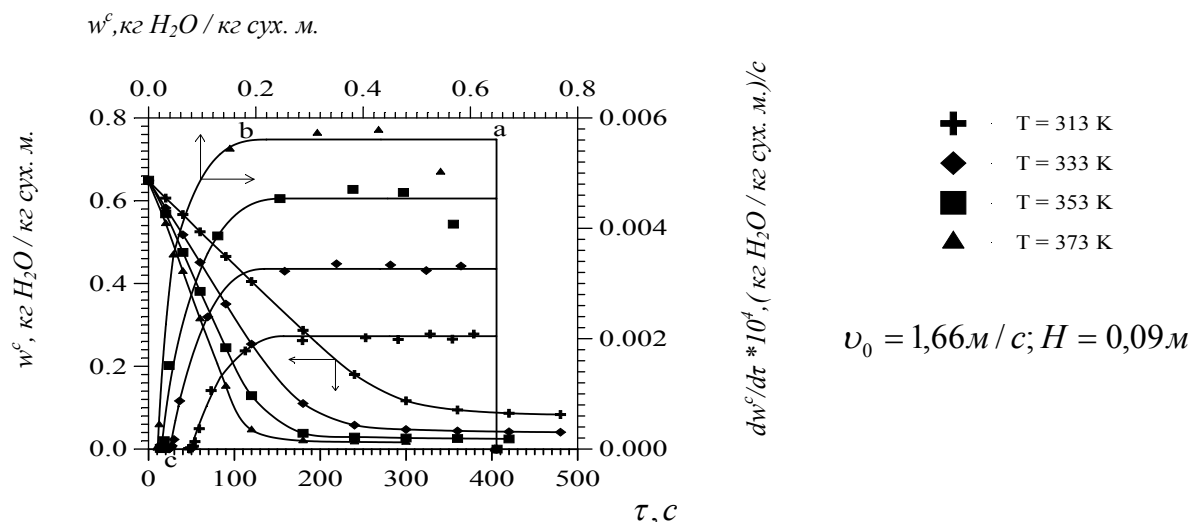


Рис. 2 – Кінетика та швидкість сушіння біомаси соняшника за різної температури теплового агента

Вплив швидкості фільтрування теплового агента крізь шар матеріалу на процес фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника досліджувався в області її зміни від 0,66 м/с до 1,68 м/с, а результати досліджень представлені у вигляді графічних залежностей на рис. 3. Збільшення швидкості фільтрування теплового агента (за однакової висоти шару і температури теплового агента) приводить до скорочення тривалості сушіння, оскільки збільшується кількість внесеної теплоти в пористий шар подрібнених стебел соняшника, а також приводить до зростання коефіцієнтів тепло- і масовіддачі, тобто збільшення швидкості фільтрування теплового агента сприяє зменшенню товщини гідралічного, теплового та дифузійного шарів, що приводить до інтенсифікації процесу тепло- та масоперенесення і дає змогу випарувати більше вологи внаслідок інтенсифікації процесу.

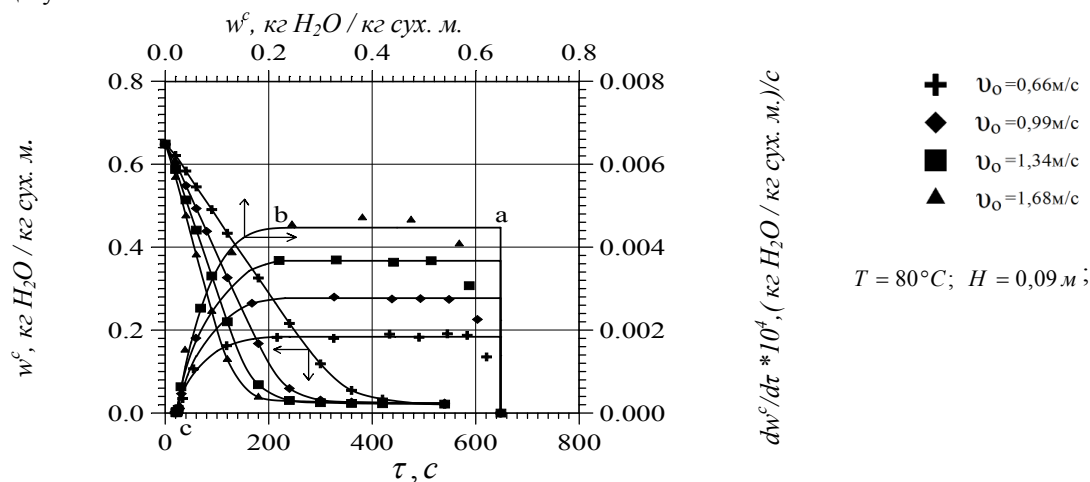


Рис. 3 – Кінетика та швидкість сушіння біомаси соняшника за різної швидкості фільтрування теплового агента

З представлених кінетичних кривих (рис. 1 – 3) можна також зробити висновок про переміщення фронту масоперенесення у шарі матеріалу, що є важливим для встановлення механізму фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника. Представлені кінетичні криві характеризуються наявністю періодів повного та часткового насичення теплового агента вологою. Період повного насичення теплового агента парами вологи існує до моменту досягнення фронту масообміну перфорованої перегородки і на кінетичних кривих вказаному періоду відповідає пряма лінія, тангенс кута нахилу якої визначає швидкість переміщення зони масообміну. Тангенс кута нахилу прямолінійних ділянок кінетичних кривих зменшується із ростом висоти шару подрібнених стебел соняшника (рис. 1), що свідчить не про зменшення швидкості переміщення фронту масообміну, а пояснюється

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

зростанням шляху його переміщення до перфорованої перегородки. Із зростанням температури (рис. 2) та швидкості фільтрування (рис. 3) теплового агента тангенс кута нахилу прямих зростає, що пояснюється ростом сушильного потенціалу. Період часткового насичення настає після досягнення фронтом масообміну перфорованої перегородки, внаслідок цього кількість вологого матеріалу зменшується, тепловий агент лише частково насичується парами води та його температура на виході із шару зростає. Цьому періоду відповідає криволінійна ділянка на кінетичних кривих фільтраційного сушіння.

Для дослідження механізму фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, на рис. 1 – 3 представлені залежності швидкості сушіння залежно від вологовмісту останніх, тобто $dw^e/d\tau = f(w^e)$ за різних висот шару матеріалу, температур та швидкостей теплового агента. Аналіз графічних залежностей швидкості сушіння (рис. 1 – 3), підтверджує наявність зонального механізму фільтраційного сушіння, який був досліджений автором роботи [4]. Для усіх висот шару подрібнених стебел соняшника криві швидкості характеризуються наявністю кількох ділянок. Горизонтальна лінія (a-b) характеризує період повного насичення теплового агента вологою, тобто висота шару є достатньою для насичення теплового агента парами води. Як видно із рис. 1, довжина горизонтальної лінії залежить від висоти шару, тобто наявність періоду повного насичення теплового агента парами води та його тривалість визначається висотою шару вологого матеріалу та величиною рушійної сили процесу сушіння (різницею парціальних тисків водяної пари у теплому агенті і на поверхні частинок). З плином часу фронт масообміну переміщується в напрямку руху теплового агента і досягає перфорованої перегородки (точка b). Внаслідок неможливості розширення фронту масообміну, насичення теплового агента вологою зменшується і настає період часткового його насичення парами води (лінія b-c). З представленої графічної залежності (рис. 1) видно, що за однакових параметрів теплового агента із зростанням висоти шару матеріалу тангенс кута нахилу прямих змінюється. Таке явище пояснюється тим, що вологовміст подрібнених стебел соняшника визначали ваговим методом, за однакової кількості залишкової води в шарі, маса сухої біомаси була тим більшою, чим вищим був шар.

Для пояснення фізичної суті процесу фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, на рис. 4 – 6 представлено динаміку видалення води за різних температур та швидкостей профільтрування теплового агента та висот шару матеріалу. Для цього експериментальні дані представляли у вигляді залежності зміни залишкової маси води в шарі матеріалу від часу $G = f(\tau)$. Інтенсивність сушіння (кількість випареної води за одиницю часу) визначається за тангенсом кута нахилу прямолінійних частин кривих $G = f(\tau)$ до осі абсцис. Дослідження динаміки виділення води із шару матеріалу за різних швидкостей фільтрування теплового агента (рис. 4) та температур (рис. 5) показали, що зростання останніх приводить до збільшення кількості води, що видаляється з шару. Таким чином підтверджено, що динаміка видалення води не залежить від висоти шару, про що свідчить паралельність прямолінійних ділянок кривих (рис. 6), а визначається величиною сушильного потенціалу теплового агента, який залежить від температури і об'ємної витрати останнього та, відповідно, з їх зростанням кількість води, що видаляється з шару збільшується.

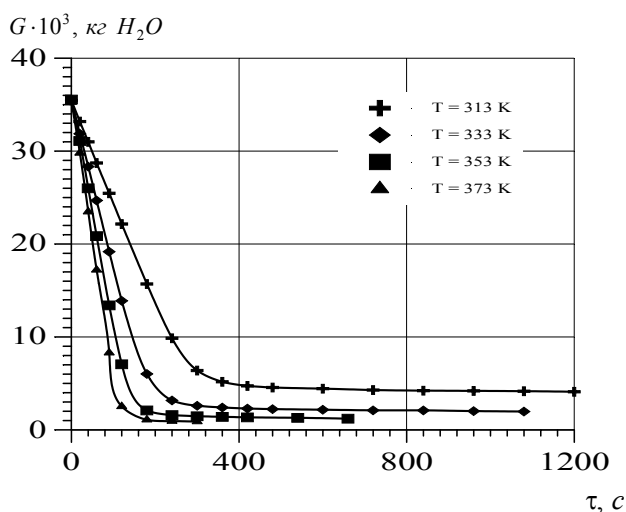


Рис. 4 – Динаміка видалення води із шару подрібнених стебел соняшника
 $v_0 = 1,66 \text{ м/с}; H = 0,09 \text{ м}$

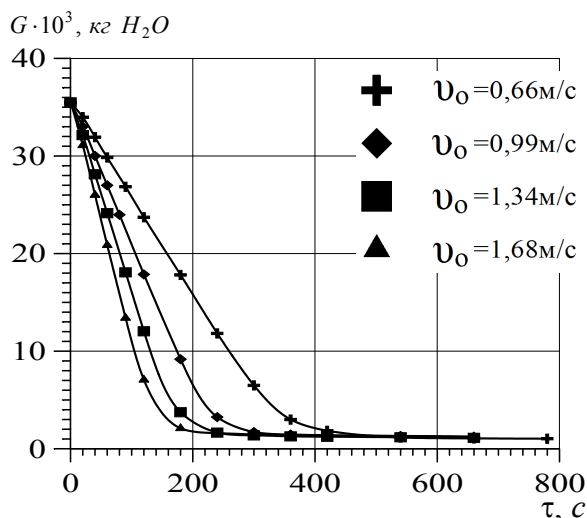


Рис. 5 – Динаміка видалення води із шару подрібнених стебел соняшника
 $T = 80^\circ\text{C}; H = 0,09 \text{ м}$

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

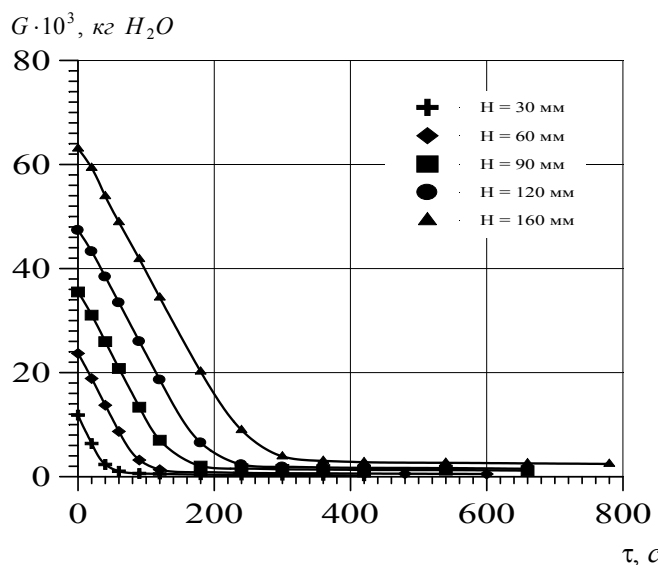


Рис. 6 – Динаміка видалення води із шару подрібнених стебел соняшника $T = 80^{\circ}\text{C}$; $v_0 = 1,66\text{ м}$

Варіювання параметрами дає можливість змінювати енергозатрати на процес сушіння, тобто керувати інтенсивністю тепломасообміну, тим самим впливаючи на якість продукції. Оскільки процес сушіння є енергоємним, то оптимальний режим фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника повинен характеризуватися такими параметрами агенту сушіння (температурою і швидкістю руху), а також висотою шару матеріалу, за яких енерговитрати на реалізацію процесу були б мінімальними, тривалість сушіння була б незначною, якість висушеного матеріалу задовольняла технологічні регламенти виготовлення твердого біопалива. На основі проведених розрахунків енергозатрат на реалізацію процесів фільтраційного сушіння за різних параметрів теплового агенту та висот шару матеріалу запропоновано оптимальні параметри, за яких енерговитрати є мінімальними, а саме: $H=120\text{ мм}$; $v_0 = 1,34\text{ м}$; $T=353\text{ К}$.

Висновки. Експериментально досліджено кінетику, швидкість сушіння та динаміку фільтраційного процесу зневоднення подрібнених стебел соняшника, на основі чого підтверджено зональний механізм фільтраційного сушіння такого матеріалу. Проаналізовано залежність потоку води $dG/d\tau$ від вологовмісту w^f , та доказано, що інтенсивність видалення води у період повного та часткового насичення теплового агента не залежить від висоти шару матеріалу, а визначається сушильним потенціалом теплового агента. На основі проведених розрахунків енергозатрат на реалізацію процесів фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних параметрів теплового агента та висот шару матеріалу запропоновано оптимальні параметри, за яких енерговитрати є мінімальними, а саме: $H=120\text{ мм}$; $v_0 = 1,34\text{ м}$; $T=353\text{ К}$.

Література

1. Снежкин Ю.Ф., Корінчук Д.Н., Хавин А.А. Интенсификация сушки фрезерного торфа в торфобрикетном производстве // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т.25, № 4. – С.196-198.
2. Кіндзера Д.П., Атаманюк В.М., Госовський Р.Р. Визначення оптимальних параметрів сушіння подрібнених стебел соняшника для виробництва паливних брикетів Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса: 2015. – Вип. 47, т.2. – С. 194 – 198.
3. Корінчук Д.М. Розробка композиційного палива на основі торфу і рослинної біомаси [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Корінчук Дмитро Миколайович. – К., 2010. – 20 с.
4. Атаманюк, В. М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів [Текст]: монографія / В. М. Атаманюк, Я. М. Гумницький. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 276 с.
5. Гузьова І.О. Гідродинаміка та тепломасообмін при фільтраційному сушінні матеріалів кристалічної та аморфної структури [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / І.О. Гузьова; [НУ Львівська політехніка]. – Львів: 2001, - 19 с.
6. Кіндзера Д.П. Сушіння паливних матеріалів різнодисперсного складу у щільному шарі [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Д.П. Кіндзера; [НУ Львівська політехніка]. – Львів: 2003, - 20 с.
7. Дулеба В.П. Фільтраційне сушіння осажденного поліакриламідом [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / В.П. Дулеба; [НУ Львівська політехніка]. – Львів, 1997. – 20с.

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

8. Рymar Т.І. Сушіння глини у нерухомому шарі [Текст]: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.08. / Т.І. Рymar; [НУ Львівська політехніка]. –Львів, 2008. – 19с.
9. Атаманюк В.М. Масовіддача у першому періоді фільтраційного сушіння дрібнодисперсних матеріалів [Текст] /Д.М. Симак, В.М. Атаманюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Харків: – 2011, – 6/6 (54), – С. 14-22.
10. Мосюк М.І. Гідродинаміка і тепломасообмін під час сушіння подрібненої "енергетичної" верби в стаціонарному шарі [Текст]: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.08. / М.І. Мосюк; [НУ Львівська політехніка]. – Львів, 2012. – 22с.
11. Атаманюк В.М. Кінетика фільтраційного сушіння шлаку теплових електростанцій [Текст] / В.М. Атаманюк, І.Р. Барна // Збірник наукових праць ОНАХТ. – Одеса. – 2012, – Т.2, Вип.41, – С. 89-93.

References

1. Snezhkyn, Y.F., Korinchuk, D.N., Havun, A.A. (2003), "Intensification of drying of milled peatin peat briquette production", *Promyslova teplotekhnika*, vol.25, no 4, pp.196-198.
2. Kindzera, D.P., Atamanyuk, V.M., Gosovskiy, R.R. (2015), "Determining the optimum parameters of drying the crushed stalks of sunflower for the production of fuel pellets", *Odes. nats. akad. harch. tehnologiy*, issue. 47, vol.2, pp. 194 – 198.
3. Korinchuk, D.M. (2010), Development of composite fuel from peat and biomass, Abstrakt of Ph.D. dissertation, Technical thermal physics and industrial combined heat and power, Kyiv, Ukraine.
4. Atamanyuk, V. M. and Gumnychuk Y.M. (2013), *Naukovi osnovy filtracijnogo sushinnya dyspersnyxmaterialiv* [Scientific basis filtration drying dispersed materials], Publisher "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine.
5. Huziova, I.O., (2001), Hydrodynamics and Heat and Mass Transfer in the filtration drying material crystal and amorphous structure, Abstrakt of Ph.D. dissertation, Processes and equipment of chemical technology, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine.
6. Kindzera, D.P. (2003), Drying fuels of different dispersed in a dense layer, Abstrakt of Ph.D. dissertation, Processes and equipment of chemical technology, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine
7. Duleba, V.P. (1997), Filtration drying precipitated polyacrylamide, Abstrakt of Ph.D. dissertation, Processes and equipment of chemical technology, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine
8. Rymar, T.I. (2008), Drying clay in fixed bed, Abstrakt of Ph.D. dissertation, Processes and equipment of chemical technology, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine
9. Atamanjuk, V.M., Symak D.M. (2011), "Mass transfer in the first period of filtration drying of fine materials", *Eastern-european journal of enterprise technologies*, issue. 6/6 (54), pp. 14-22.
10. Mosjuk, M.I. (2012), Hydrodynamics and Heat and Mass Transfer during drying chopped "energy" willow in a stationary bed, Abstrakt of Ph.D. dissertation, processes and equipment of chemical technology, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine.
11. Atamanjuk, V.M., Barna, I.R. (2012), "Kinetics of filtration drying slag thermal power" *Zbirnyk naukovych prac, ONACHT*, Issue. 41, vol. 2, pp. 89 – 93.