

**ОЦІНКА ЕНЕРГОВИТРАТ ПРОЦЕСУ СУШКИ ДЕРЕВИННОЇ СИРОВИНИ****Актуальність задачі та формулювання цілей статті**

Одним з основних чинників, які впливають на продуктивність підприємства з піролізу деревини та собівартість отриманої продукції, є вологість сировини, яка йде на переробку. Саме тому процесу сушки необхідно інтенсифікувати задля підвищення ефективності роботи таких виробництв.

Конвективна сушка – це процес видалення вологи з матеріалу, який відбувається за рахунок підводу тепла нагрітим повітрям або продуктами згоряння [1].

Сушка сировини є початковим етапом для процесу піролізу. Головна мета сушки полягає у перетворенні деревини з природної сировини на промисловий матеріал з покращеними технологічними властивостями. Задля отримання вірної картини протікання усього комплексу процесів, пропонується розглянути цю початкову стадію.

Під час камерної сушки терміни висихання деревини порівняно невеликі (декілька годин), крім того при кваліфікованому проведенні процесу є можливість отримати технологічну сировину з будь-якою кінцевою вологістю [2].

Процес випаровування вологи з деревини потребує підводу певної кількості зовнішнього тепла. За методом передачі тепла розрізняють наступні основні види сушки: конвективна (камерна), кондуктивна (контактна), радіаційна, сублимаційна та високочастотна. Кожен з цих видів може мати декілька різновидів у залежності від типу теплоносія та особливостей обладнання, яке використовується [2].

Мета даної роботи полягає у тому, щоб дати оцінку енерговитрат на реалізацію процесу сушки. Це дозволить виробити правильний підхід до процесу у цілому за рахунок диференціації порід, їхніх властивостей та початкової вологості деревини. Принципи сушки матеріалів, існуючі на сьогоднішній день, є економічно недоцільними через кількісну та якісну однаковість характеристик апаратів у процесах сушіння для усіх типів сировини. Пересушування деревини тягне за собою одночасно зміну властивостей кінцевого продукту та зайві витрати. Недосушена сировина потребуватиме декількох перезапусків процесу, що також відіб'ється на якості та собівартості продукції [3].

**Опис процесу**

Конвективна газова сушка – це процес видалення води з деревини шляхом нагрівання для перетворення вологи з рідкого у газоподібний стан. При цьому об'єм вологи збільшується у сотні разів і вона виділяється у навколишнє середовище у вигляді пари. Маса видаленої з деревини вологи відповідає величині підведеного до неї тепла. Наразі це основний промисловий спосіб сушки технологічної деревини на піролізних підприємствах, який здійснюється у сушильних камерах різних конструкцій [2, 4].

За допомогою підводу до матеріалу теплоти, яка отримана у результаті спалювання палива, здійснюють комбіновану сушку. Через те, що об'єм пари, яка виділилася, прямує з нагрітої деревини у навколишнє середовище та відводиться ним, для сушки необхідно з повітрям підводити тепло та видаляти пароподібну вологу, тобто здійснювати загальну циркуляцію повітря у матеріалі [1].

**Матеріали та результати досліджень.**

Для дослідження було обрано зразки п'яти порід дерев: бук, береза, дуб, сосна та червоне дерево. Надалі будуть наведені загальні дані щодо одного зразку листвяної породи та одного зразку хвойної (берези та сосни відповідно).

Оброблялися зразки цехового технологічного матеріалу, який пройшов первинну підготовку для столярних цілей та матеріалу, який попередньо був штучним чином максимально насичений вологою. Було досліджено обсяги енергії, необхідні для здійснення сушки заданого зразку деревини до досягнення цільової вологості.

Проведене вивчення процесу сушки визначило необхідність доповнити класичну формулу  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  наступними елементами: енергією, яка витрачається на розігрів деревини, енергією для нагріву вологи до температури кипіння та енергією власне випаровування води зі зразку.

$$Q = c_d \cdot m_d \cdot \Delta T_d + c_v \cdot m_v \cdot \Delta T_v + r_v \cdot m_v, \quad (1)$$

де  $c_d$  та  $c_b$  – питомі теплоємності деревини та води відповідно, кДж/(кг·К);  $m_d$  та  $m_b$  – маса деревини та води відповідно, кг;  $\Delta T_d$  та  $\Delta T_b$  – різниця температур між кінцевим та початковим станом деревини та води відповідно, К;  $r_b$  – питома теплота пароутворення, Дж/кг.

Сушильний апарат RADWAG розігріває камеру обробки матеріалу до необхідної температури (в нашому випадку, 150 °С) за декілька секунд і саме тому цим часом можна знехотити. Зразок деревинної сировини розігрівається поступово, а отже його температура «запізнюється» відносно температури у камері. Таким чином утворюється градієнт температур. Для того, щоб визначити його рамки у зразки деревини різних порід однакової ваги були поміщені термометри, які заміряли температури всередині деревини у різних її шарах.

Результати показали, що для досліджуваного зразку будь-якої породи деревини внутрішня температура досягає 90 °С через дві хвилини від початку процесу.

Впродовж наступних 3,5 хвилин температура стабільно, але повільно піднімається до 110 °С, а до десятої хвилини зразок підходить з температурою у 125 °С. Саме з цього місця починається найстабільніший фрагмент процесу безпосередньої сушки деревини з майже невідчутними коливаннями в обидва боки, які зумовлені переходом вологи з одного шару деревини до іншого.

Знаючи температури у товщі зразку, є можливість обчислити енергетичні значення процесу. Маючи певні набори точок замірів температури та кількості вологи у зразку, зроблені через рівномірні проміжки часу, перейдемо від формули вище до формули наступного виду:

$$Q = c_d \cdot m_d \cdot (T_i - T_{i-1}) + c_b \cdot (W - W_i) \cdot (T_i - T_{i-1}) + r_b \cdot (W - W_i). \quad (2)$$

Щоб обрахувати енергію для кожного інтервалу, просумуємо отримані енергетичні значення та продемонструємо загальний вигляд кривої на прикладі зразків сосни та берези, рис. 1 та 2. Вертикальна вісь відображає  $Q$ , кДж, а горизонтальна – масу води, яка залишається у матеріалі з плином часу, грамів. Для даних прикладів обраховане значення енергії, яка була витрачена на нагрів зразку з водою та повне випаровування з нього вологи, дорівнює 0,425 кДж для сосни та 0,439 кДж для берези.

Процеси сушки усіх матеріалів відбувалися за однакових умов однієї й тієї ж установки. Кількість часу, що була необхідною для повного висушування зразку, відрізняється для кожного типу порід та серій експериментів. На наведених рисунках вперше запропоновано енергетичні криві для хвойної та листвяної порід дерева.

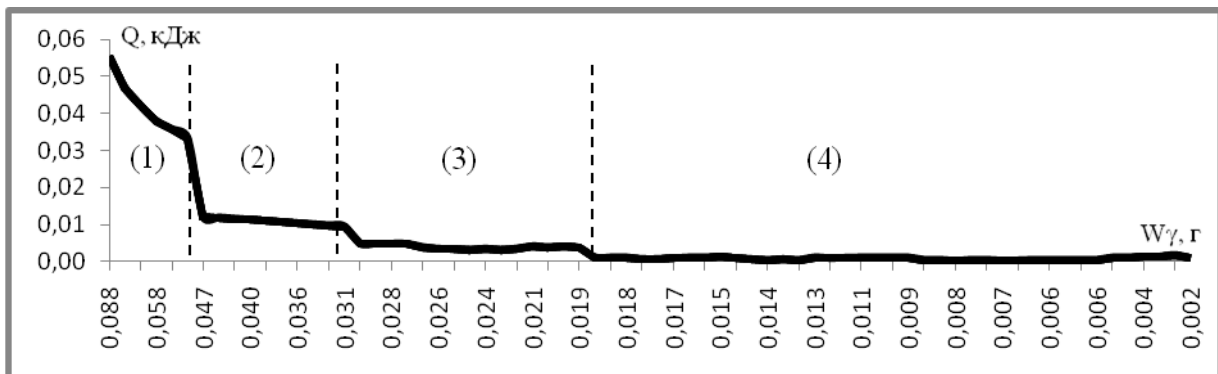


Рисунок 1 – Енергетична крива процесу сушки, характерної для хвойних порід, на прикладі сосни

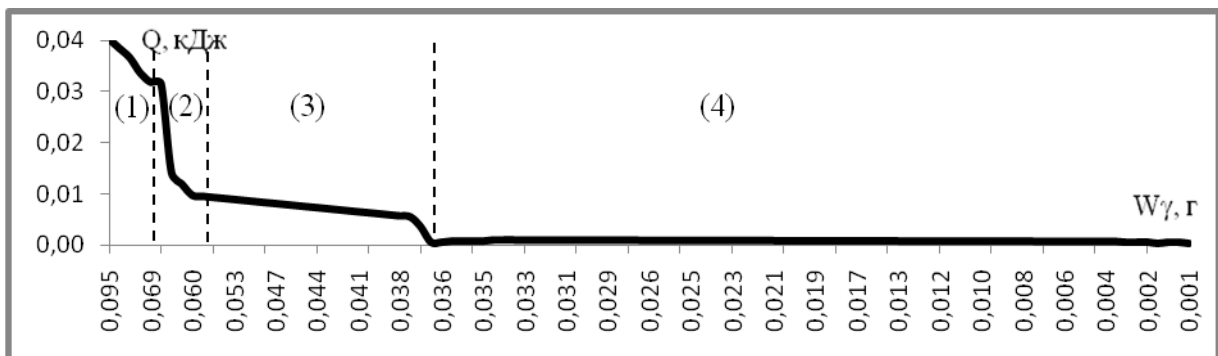


Рисунок 2 – Енергетична крива процесу сушки, характерної для листвяних порід, на прикладі берези

Спільність вигляду кривих полягає у тому, що на рис. 1, 2 ясно простежується послідовність етапів, характерних для сушки деревини.

Першим йде етап підйому температури зразку з випаровуванням вологи поверхневих шарів та початковим прогріванням внутрішніх (1). Волога видаляється з найбільш легкодоступних для потоку повітря ділянок зовнішньої поверхні. За рахунок розкриття проходів для повітря тепло проникає вглиб зразків, завдяки чому матеріали поступово нагріваються зсередини.

Далі слідують два етапи рівномірного та інтенсивного випаровування. Це відбувається за рахунок переміщення вологи з середини матеріалу до його поверхні. Волога внутрішніх шарів приблизно однаковими порціями піднімається догори та виходить назовні. У першій (2) з цих двох етапів за малий проміжок часу видаляється невелика кількість рідини, проте після його закінчення енерговитрати на наступний рівень суттєво зменшуються. В той же час останній з них (3) поступово видаляє вологу, не потребуючи значних витрат енергії.

Етап стабільної сушки зразку закінчує процес, повільно видаляючи залишки вологи з деревини (4). Досягнувши певного значення вологості, сушіння уповільнюється та за умови малого енергоспоживання з товщі деревини поступово витягуються останні об'єми рідини.

Проведені дослідження продемонстрували стабільність процесу сушки та дозволили обрахувати цільові енергетичні значення для заданих умов.

Наведений аналіз дозволяє класифікувати породи за часом сушки та енерговитратами на її реалізацію, порівнявши максимальну та цехову вологості порід деревини наступним чином – таблиці 1 та 2.

Таблиця 1 – Класифікація порід деревини за початковою (максимальною) вологістю

Порода дерева	Умовна відносна вологість, %
Береза	57,7
Червоне дерево	43,9
Дуб	42,5
Бук	39,8
Сосна	20,7

Таблиця 2 – Класифікація порід деревини за кінцевою (цеховою) вологістю

Порода дерева	Умовна відносна вологість, %
Червоне дерево	21,1
Бук	16,8
Береза	9,5
Сосна	8,8
Дуб	6,9

Дані, які наведені у табл. 1, 2 свідчать про те, що найбільш вологосприйнятливою породою серед досліджених зразків є береза, а найменш – сосна. Однак при цьому висихання берези відбувається швидше та інтенсивніше, а отже для її сушки необхідно витратити менший обсяг енергії, аніж для сосни. Задля сушки деревини дуба доведеться застосувати рівномірну температурну сушку, оскільки вона має властивість добре накопичувати вологу та довго від неї позбавлятися. Деревину бука слід сушити за умов інтенсивної подачі тепла на першому етапі сушки та поступового зменшення теплового навантаження одразу після його закінчення. Найбільш повільно висихає червоне дерево, потребуючи майже однакових витрат на кожному з етапів енергетичної кривої.

### **Висновки**

Деякі прийоми сушки матеріалів, які існують на сьогоднішній день, є економічно недоцільними. В роботі дана оцінка енерговитрат на реалізацію процесу сушки. За допомогою цього параметру можна визначити більш виправданий підхід до процесу сушки деревини у цілому за рахунок диференціації порід, їхніх властивостей та початкової вологості сировини. Проведення процесу сушки дозволяє

обирати один з варіантів підготовки сировини в залежності від потреби виробника: або отримати повністю суху деревину, на яку доведеться витратити максимальну кількість енергії, або проводити процес до стадії, яка є найбільш вигідною економічно та забезпечує необхідну якість кінцевої продукції.

Література

1. Кречетов И.В. Сушка древесины. Издание 3-е, переработанное / И.В. Кречетов – М.: Издательство «Лесная промышленность», – 1980. – 432 с.
2. Ковернинский И.И. Комплексная химическая переработка древесины: Учебник для вузов / И.И. Ковернинский, В.И. Комаров, С.И. Третьяков, Н.И. Богданович, О.М. Соколов и др. – Архангельск: Издательство АГТУ, – 2002. – 347 с.
3. Ведь В.Е. Краткий обзор технологий углежжения и пиролиза древесного сырья / В.Е. Ведь, А.Н. Миронов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції. Частина III – Харків: НТУ «ХПІ», – 2014. – С. 11.
4. Выродов В.А. Технология лесохимических производств: Учебник для вузов / В.А. Выродов, А.Н. Кислицын и др. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 352 с.

Bibliography (transliterated)

1. Krechetov I.V. Sushka drevesinyi. Izdanie 3-e, pererabotannoe. I.V. Krechetov – M.: Izdatelstvo «Lesnaya promyshlennost», – 1980. – p. 432.
2. Koverninskiy I.I. Kompleksnaya himicheskaya pererabotka drevesinyi: Uchebnik dlya vuzov I.I. Koverninskiy, V.I. Komarov, S.I. Tretyakov, N.I. Bogdanovich, O.M. Sokolov i dr. – Arhangelsk: Izdatelstvo AGTU, – 2002. – p. 347.
3. Ved V.E. Kratkiy obzor tehnologiy uglezhzheniya i piroliza drevesnogo syirya. V.E. Ved, A.N. Mironov. Informatsiyni tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya. Tezi dopovidey XXII mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi. Chastina III – Harkiv: NTU «HPI», – 2014. – p. 11.
4. Vyirodov V.A. Tehnologiya lesohimicheskikh proizvodstv: Uchebnik dlya vuzov V.A. Vyirodov, A.N. Kislitsyin, M.I. Gluharyova i dr. – M.: Lesnaya promyshlennost, 1987. – p. 352.

УДК 674.8

Ведь В.Е., Миронов А.Н., Ровенский А.И.

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ ДЛЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

В рамках выработки правильной методологии процесса сушки древесного сырья проведены исследования касательно объёмов энергии, необходимых для достижения целевых характеристик образцов. Дана оценка энергозатрат на реализацию процесса сушки с дифференциацией пород древесины, их свойств и начальной влажности сырья.

Ved V.E., Mironov A.N., Rovenskiy A.I.

**ESTIMATION OF ENERGY CONSUMPTION FOR THE DRYING PROCESS OF WOOD RAW MATERIAL**

Within the framework of developing the correct methodology for the drying process of wood raw material researches on the amount of energy needed to achieve the performance targets of the samples is conducted. The estimation of the energy consumption for the implementation of the drying process with differentiation of wood species, its properties and the initial moisture content of raw materials is given.