УДК 674.04

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ СОРБЦІЇ ДЕРЕВИНОЮ ВОЛОГИ З ПОВІТРЯ

Шевченко С.А., к.т.н., доцент; Соколенко У.М., к.б.н.;
Котляров М.В., магістрант;
(Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка)

Запропоновано методику визначення щільності потоку маси при сорбції деревиною вологи з повітря. Наведено опис обладнання для експериментальних досліджень. Наведені результати дослідів з визначення щільності потоку маси при сорбції вологи через торцеві та бічні поверхні зразків деревини (на прикладі заболонної деревини сосни звичайної).

Постановка проблеми. Дослідження впливу вологи на матеріали є важливими для багатьох галузей промисловості. Зазначені властивості характеризуються рівноважною вологістю матеріалу (усталеним значенням при тривалій витримці в певних температурі та вологості повітря) або показниками, що характеризують кінетику процесу. Дослідження гігроскопічних властивостей розподіляються за різновидами матеріалів, які можуть бути неорганічними чи органічними, структурованими (зокрема, волокнистими) чи неструктурованими, однорідними чи композитними. Що стосується деревини, то її гігроскопічні властивості є суттєвими при оцінці відповідності заходів з захисту виробів з умовам експлуатації, Дослідження процесу сорбції деревиною вологи дають змогу передбачити та мінімізувати дефекти, з цим пов’язані. Визначення гігроскопічних властивостей є необхідним і при проектуванні технологічних процесів тепловологообробки деревини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженні [1] одержано ізотерми сорбції вологи з повітря деревиною сосни звичайної, обробленої смолою (на основі меламіну, карбаміду, фенолу та формальдегіду) використовуваною при виготовленні плит OSB. Здійснено ідентифікацію параметрів відповідних двопараметричної та трипараметричної моделей, а також одержані залежності, що характеризують гістерезис сорбції-десорбції.

У роботі [2] досліджено вплив гістерезису сорбції-десорбції на буферну здатність деревини щодо вологості шляхом аналізу балансу вологості в кімнаті. Зокрема, наведено результати експериментальних досліджень з визначення взаємозв’язку коливань відносної вологості повітря в кімнаті та вмісту вологи в поверхневому шарі деревини. Тривалість досліду становила п’ять діб, а коливання вологості мали як добову складову, так і коливання з періодами в кілька годин. Ці коливання, загалом, відбувались в діапазоні вологості від 60% до більш ніж 80% і мали як детерміновану, так і випадкову складові. У роботі [2] також наведено результат дослідження впливу на деревину циклічних змін

відносної вологості за синусоїдальним законом (середнє значення 40%, амплітуда добових коливань 25%). Визначено профіль коливань вологості внутрішніх шарів деревини (залежно від глибини) та обчислено глибину проникнення (як глибину, де амплітуда коливань вологості зменшується в *e* разів).

У роботі [3] наведено емпіричний метод прогнозування зміни вологісного стану дерев'яних конструкцій у процесі експлуатації в умовах нестаціонарного температуровологісного режиму. Запропонований метод ґрунтується на графічному представленні та апроксимації аналітичним рівнянням змін вологості зовнішніх і внутрішніх шарів зразка дерев'яного елемента. Цей зразок витримується в тих самих умовах, що і елемент дерев'яної конструкції, для якої прогнозується зміна вологості.

В досліджені [4] експериментально визначено поглинання вологи при зануренні у воду зразків деревини тропічних порід (тривалість дослідження становила 19 діб). За результатами періодичного зважування отримано залежності поглинання води від часу та розраховано відповідні коефіцієнти абсорбції води.

В роботі [5] розглянуто вплив температури на коефіцієнт поглинання води будівельними матеріалами (деревиною східної білої сосни, червоною цеглою та бетоном). Експерименти з визначення поглинання вологи та коефіцієнтів абсорбції води проводилися відповідно до проекту стандарту CEN/TC 89/WG10 N70 (1994) при температурі води від 3°C до 35°C.

За результатами дослідження [6] створено водно-абсорбційні моделі для трьох деревних генотипів. Поглинання вологи зразками визначали, поміщуючи зразки деревини в дистильовану воду при температурі 25°C при тривалостях занурення від кількох хвилин до 22 діб.

В [7] обґрунтовано методику експериментального визначення поглинань вологи за певний проміжок часу через торцеві і бічні поверхні зразків деревини мішаного розпилювання. На цій основі одержані залежності для визначення відповідних коефіцієнтів абсорбції вологи, що характеризують кінетику зазначених процесів.

За результатами огляду літератури можна зробити висновок, що переважна більшість досліджень з поглинання вологи деревиною стосується поглинання води при безпосередньому контакті з нею. Дослідження з поглинання вологи з повітря переважно стосуються усталених значень вологості, яких набуває деревина при витримці в певних умовах. Значно менш дослідженою є кінетика процесу поглинання деревиною вологи з повітря.

Невирішеною частиною проблеми є визначення показників, які характеризують інтенсивність процесу сорбції вологи деревиною, та їх залежність від температури.

Метою даної статті є розробка методики дослідження кінетики процесу сорбції вологи з повітря і визначення щільності потоку маси при сорбції вологи через бічні та торцеві поверхні зразків деревини (на прикладі деревини сосни звичайної).

Обладнання для експериментальних досліджень. Під час досліджень процесів сорбції і десорбції вологи деревиною використовують кліматичні камери, оснащені системами стабілізації температури і вологості повітря, однак є потреба у значно простішому обладнанні для використання у виробничих умовах.

В даному дослідженні застосовувалася методика підтримання певної вологості повітря, яка ґрунтується на встановленні рівноваги між процесом випаровування вологи з вільної поверхні води (за практичної відсутності руху повітря в контейнері) та процесом дифузії вологого повітря з контейнеру в менш насичене вологою зовнішнє середовище через отвори в кришці (отвір для передавальної ланки та вентиляційний отвір). Інтенсивність дифузії, а, отже, і вологість повітря в контейнері, регулювали, змінюючи площу вентиляційного отвору в кришці контейнера.

При дослідженні кінетики процесу сорбції вологи деревиною виникає потреба періодичного зважування зразків. Для цього було використано обладнання, показане на рис. 1. В пластиковий контейнер, частково заповнений водою, поміщували зразок деревини, який утримувався над поверхнею води за допомогою передавальної ланки, яка, проходячи через отвір у кришці, опирається на електронні ваги. Ваги розташовували над контейнером (на підставці). Це дало змогу періодично заважувати зразок, не виймаючи його з контейнера і не піддаючи ваги впливу повітря з високою вологістю. Комбінований датчик температури і вологості повітря розташовували над поверхнею води через спеціальний отвір в кришці контейнера.

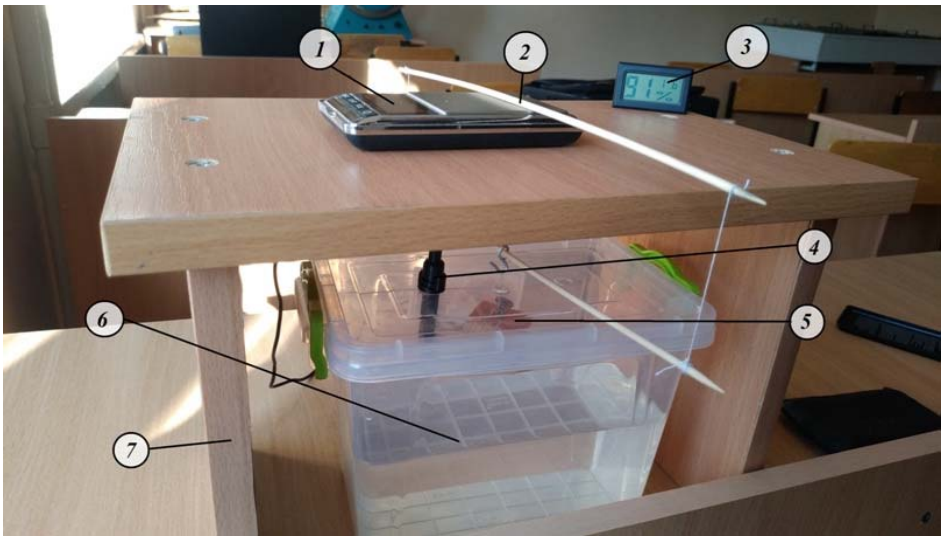

Рисунок 1 – Обладнання для експериментальних досліджень: 1 – електронні ваги, 2 – передавальна ланка, 3 – вимірювач температури і вологості повітря, 4 – датчик температури і вологості повітря, 5 – пластиковий контейнер, 6 – зразок деревини, 7 – підставка

Матеріали. Для проведення досліджень були виготовлені зразки із заболонної деревини сосни звичайної. Їх розміри становили: довжина – 50 мм,

ширина – 30 мм, товщина – 20 мм. Для порівняльного дослідження поглинання вологи деревиною через бічні та торцеві поверхні в частини зразків були покриті алкідним глянцевим лаком торцеві поверхні, а в іншої частини – бічні поверхні – див. рис. 2.

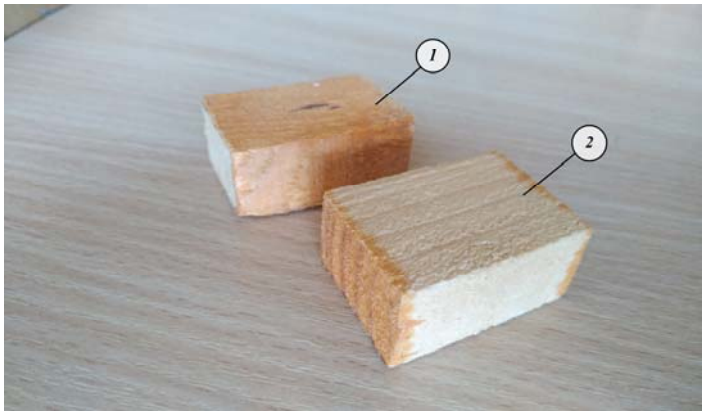

Рисунок 2 – Приклади зразків деревини: 1 - зразок для дослідження сорбції вологи через торцеві поверхні; 2 - зразок для дослідження сорбції вологи через бічні поверхні

Методика дослідження. Перед початком випробування площу вентиляційного отвору в кришці контейнера регулюють так, щоб у контейнері встановилась необхідна вологість повітря. Потім вимірюють початкову масу зразка та масу передавальної ланки

Масу зразка періодично визначають за формулою:

$$m_З(t) = m_{ЗП}(t) - m_П\,, \tag{1}$$

де $m_З$ – маса зразка, г; t – час, хв; $m_{ЗП}$ – маса зразка та передавальної ланки, г; $m_П$ – маса передавальної ланки, г.

Масу вологи, сорбованої зразком за певний проміжок часу з початку випробування, обчислюють за формулою:

$$\Delta m(t) = m_З(t) - m_{З0}\,, \tag{2}$$

де Δm – маса сорбованої вологи, г; $m_{З0}$ – початкова маса зразка, г.

За результатами періодичних обчислень маси сорбованої вологи визначають лінійну регресійну залежність, яка характеризується коефіцієнтом регресії:

$$\Delta m(t) = k\,t\,, \tag{3}$$

де k – швидкість поглинання вологи зразком, г/с.

Приклади залежностей маси вологи, сорбованої через торцеві та бічні поверхні зразків деревини, від часу витримки, та відповідні регресійні залежності наведені на рис. 3 та рис. 4 відповідно.

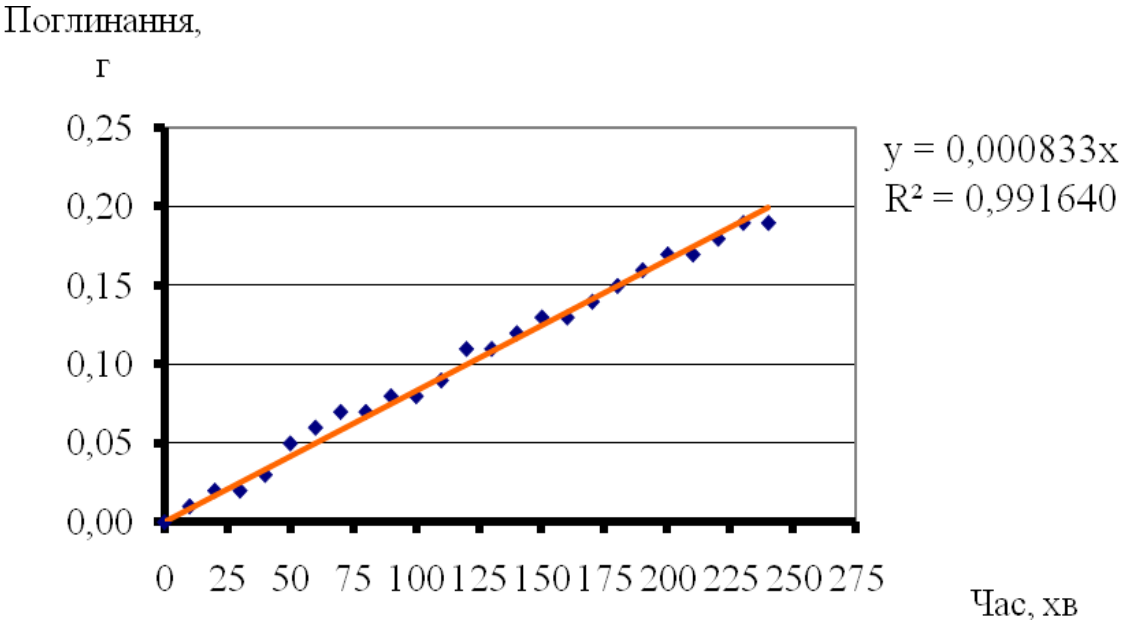

Рисунок 3 - Залежність маси вологи, сорбованої через торцеві поверхні, зразка, від часу.

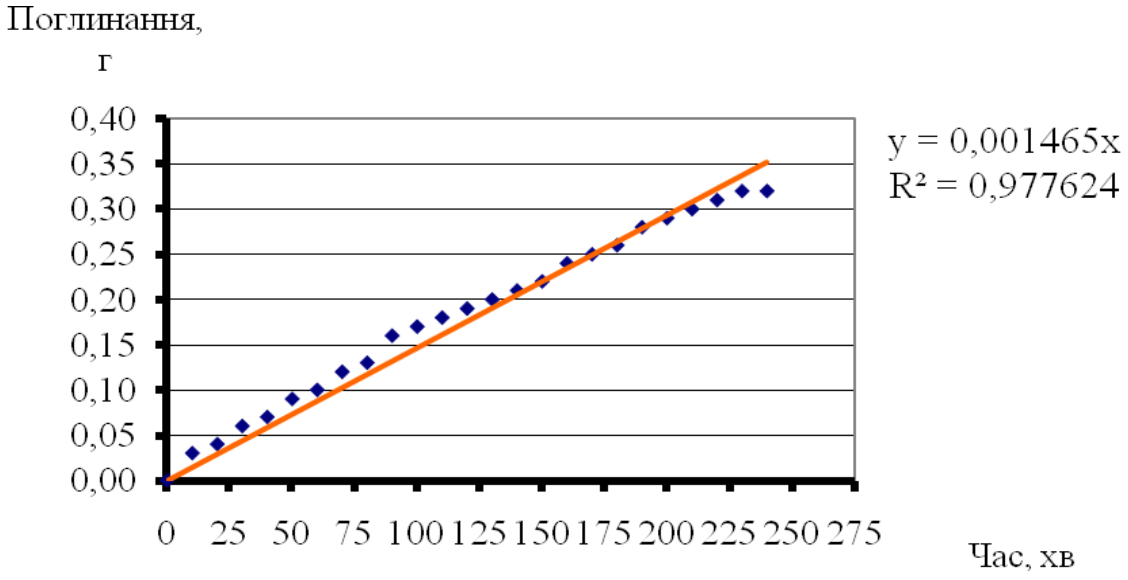

Рисунок 4 - Залежність маси вологи, сорбованої через бічні поверхні зразка, від часу.

Щільність потоку маси при сорбції вологи визначають, враховуючи, що площа поверхонь, через які відбувається поглинання вологи, є меншою, ніж площа відповідних граней зразка, внаслідок проникнення лаку вглиб деревини. Отже, щільність потоку маси при сорбції вологи через торцеві поверхні обчислюють за формулами:

$$S_T = 2 H_T B_T , \tag{4}$$

$$j_T = \frac{k}{S_T}, \tag{5}$$

де S_T - площа торцевих поверхонь зразка, через які відбувається сорбція вологи, м^2; H_T – висота ділянки торця зразка, через яку відбувається сорбція вологи, м; B_T – ширина ділянки торця зразка, через яку відбувається сорбція вологи, м. j_T – щільність потоку маси при сорбції вологи через торцеві поверхні, г/(м^2·с).

Щільність потоку маси при сорбції вологи через бічні поверхні визначають за формулами:

$$S_Б = 2 L_Б H_Б + 2 L_Б B_Б , \tag{6}$$

$$j_Б = \frac{k}{S_T}, \tag{7}$$

де $S_Б$ – площа бічних поверхонь зразка, через які відбувається сорбції вологи, м^2; $L_Б$ – довжина ділянок пласті і крайки зразка, через які відбувається сорбції вологи, м; $H_Б$ – висота ділянки крайки зразка, через яку відбувається сорбції вологи, м; $B_Б$ – ширина ділянки пласті зразка, через яку відбувається сорбції вологи, м; $j_Б$ - щільність потоку маси при сорбції вологи через бічні поверхні зразка, г/(м^2 с).

Застосування розробленої методики проілюструємо на прикладі визначення сорбції вологи зразками деревини, наведеними на рис. 2 Дослідження сорбції вологи здійснювали при температурі 28-32°С і відносній вологості повітря 88-92%. Результати вимірювань та обчислень наведені в табл. 1.

Що стосується впливу вологості оточуючого повітря та температури на кінетику процесу сорбції вологи з повітря, то зазначимо наступне. Швидкість сорбції вологи деревиною лімітується швидкістю дифузії води з зовнішньої поверхні всередину деревини [8], і отже, вологопровідністю деревини (яка залежить від температури) та потенціалом перенесення вологи. В свою чергу, цей потенціал визначається різницею рівноважної вологості деревини поверхневого шару, визначеною відповідно температурі та відносній вологості повітря, і початкової вологості деревини.

Таблиця 1 – Результати вимірювань та обчислень

Параметр	Дослід	
	Визначення сорбції через торцеві поверхні	Визначення сорбції через бічні поверхні
Площа поверхонь, через які відбувається сорбція вологи, $м^2$	0,00092	0,041
Швидкість сорбції вологи зразком, г/хв	0,00112	0,00092
Щільність потоку маси вологи, $г/(м^2 с)$	20,3	3,7

Висновок. Запропонована методика дає змогу визначати щільність потоку маси при сорбції вологи з повітря через торцеві та бічні поверхні зразків деревини. Перспективним напрямком подальших досліджень є одержання залежностей щільності потоку маси при сорбції вологи від температури та відносної вологості повітря.

Список літератури

1. Derkowski Adam, Mirski Radosław, Majka Jerzy. Determination of Sorption Isotherms of Scots Pine (Pinus Sylvestris L.) Wood Strands Loaded with Melamine-urea-phenolformaldehyde (MUPF) Resin. *Wood research*. 2015. Vol. 60. No. 2. P. 201-210.

2. Carmeliet Jan, Martin H.D., Janssen Hans. Hysteresis and moisture buffering of wood. *Proceedings of the Nordic Symposium on Building Physics*. 2005. 8 p.

3. Ломакин А.Д. Прогнозирование эксплуатационной влажности деревянных конструкций. *Современные строительные конструкции из металла и древесины*. 2013. № 17. С. 133–139.

4. Emmanuel T. O. Water Absorption Properties of Some Tropical Timber Species. *Journal of Energy and Natural Resources*. 2014. Vol. 3. No 2. P. 20-24.

5. Mukhopadhyaya P., Kumaran, K., Normandin, N., Goudreau, P. Effect of Surface Temperature on Water Absorption Coefficient of Building Materials. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*. 2002. Vol. 26, No. 2, P. 179-195.

6. Khazaei J. Water Absorption Characteristics of Three Wood Varieties. *CercetariAgronomicein Moldova*. 2008. Vol. XLI. No. 2 (134). P 5-15.

7. Шевченко С. А., Автухов А. К., Дьяченко В. Ю, Грошиков В. В. Определение абсорбции жидкости при пропитке элементов конструкций и столярно-строительных изделий из древесины смешанной распиловки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. Вип. 167. С. 9-13.

8. Тепломасообмінні процеси деревообробки: підручник / Білей П.В., Петришак І.В., Соколовський І.А., Сорока Л.Я. Львів: ЗУКЦ, 2013. - 376 с.

Аннотация

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ ДРЕВЕСИНОЙ ВЛАГИ ИЗ ВОЗДУХА

Шевченко С.А., Соколенко У.М., Котляров М.В.

Предложена методика определения плотности потока массы при сорбции древесиной влаги из воздуха. Приведено описание оборудования для экспериментальных исследований. Приведены результаты опытов по определению плотности потока массы при сорбции влаги через торцевые и боковые поверхности образцов древесины (на примере заболонной древесины сосны обыкновенной).

Abstract

TECHNIQUE FOR STUDYING KINETICS OF PROCESS OF WOOD SORPTION OF MOISTURE FROM THE AIR

Shevchenko S.A., Sokolenko U.M., Kotliarov M.V.

The technique for determining the mass flux density during wood sorption of moisture from air is proposed. A description of the equipment for experimental studies is given. The results of experiments to determine the mass flux density during the sorption of moisture through the end and side surfaces of wood samples (from sapwood of Scots pine) are presented.