

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КАВОВОГО ШЛАМУ
ПРИ ЗМІННІЙ ВИСОТІ ШАРУ**

Наведені експериментальні дослідження по кінетиці фільтраційного сушіння показують, що зональне видалення сухого матеріалу із зони сушіння дозволяє інтенсифікувати процес, зменшивши при цьому енергетичні затрати.

I. Guzova, prof. Ya. Hanyk, doc. V. Atamanuk – NU "Lviv'ska Politehnika"

**Intensification filtration drying process of grain material during the changed
height of lay**

Results of experimental studies, provided in the article, have shown that on zoned removing a dry material from the area of drying allows intensify process and reduce herewith energy expenses.

Процес виробництва розчинної кави являє собою екстрагування розчинених речовин з кавових зерен. Після вилучення екстракту лишаються відходи (кавовий шлам), що становлять 70 % від вихідної сировини.

Кавовий шлам є цінним компонентом для вилучення жирів, що застосовуються в медичній та харчовій промисловості. Також він може бути використаний як тверде паливо, добриво. Для подальшого використання відходів кавового виробництва їх необхідно сушити (початкова вологість кавового шламу становить коло 450 %).

Запропонований нами фільтраційний метод сушіння сприяє зменшенню енергетичних затрат, викидів у навколишнє середовище відпрацьованого високо-температурного теплоносія і дрібнодисперсної фракції. Однак при фільтраційному сушінні зона тепломасообміну рухається у напрямку руху теплоносія і в процесі постійно зростає товщина сухого матеріалу а зменшується товщина вологого, що веде до перевитрат теплової енергії.

Для збільшення продуктивності сушарок для зневоднення матеріалів в щільному шарі необхідно збільшити вихідну товщину шару на перфорованій перегородці. Однак, як відомо, із збільшенням висоти шару дисперсного матеріалу зростають його гідралічний опір і, відповідно, питомі затрати енергії на створення перепаду тисків при забезпеченні певної швидкості руху теплоносія через пористу структуру об'єкту. Відомо, що гідралічний опір вологого матеріалу є значно вищий за гідралічний опір сухого матеріалу. Однак, в процесі сушіння в щільному шарі, як показали наші дослідження, має місце зональне переміщення фронту тепломасообміну і висушена ділянка шару, хоча і має менший гідралічний опір, ніж ділянка вологого матеріалу, що залишилася, створює додатковий гідралічний опір. Особливо негативно це відбувається в кінці процесу сушіння, коли товщина шару сухого матеріалу значно перевищує шар вологого. У зв'язку з цим виникає необхідність не тільки збільшувати продуктивність сушарки, але й одночасно зменшувати витрати на реалізацію процесу сушіння. Така мета може бути досягнута шляхом безперервного зниження загальної висоти шару висушуваного дисперсного матеріалу в процесі безперервного фільтраційного сушіння. Зменшення загальної висоти шару відбувається за рахунок видалення шару сухо-

го матеріалу. Конструкція для видалення сухого матеріалу може бути різноманітною. Однак, швидкість переміщення ріжучого пристрою по товщині матеріалу мусить бути тісно пов'язана з механізмом сушіння і зокрема зі швидкістю переміщення зони тепломасообміну в напрямку руху теплоносія. Для забезпечення необхідних умов в роботі сушарки швидкість зони сушіння повинна дорівнювати швидкості переміщення "ножа" по товщині матеріалу.

Для кількісної оцінки впливу товщини шару на кінетику сушіння було проведено серію досліджень з впливу товщини шару на швидкість протікання процесу при різних параметрах сушіння. Кінетичні залежності при ($T=45^{\circ}\text{C}$; $\Delta p_{\text{сх}} = 3200 \text{ Па}$) представлені на рис. 1.

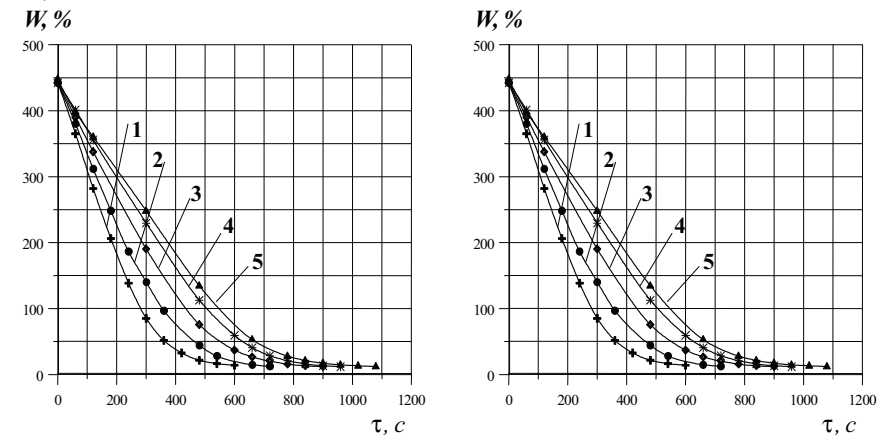


Рис. 1. Зміна вологості в часі для різних висот матеріалу: 1 – 30 мм; 2 – 40 мм; 3 – 45 мм; 4 – 55 мм; 5 – 60 мм

Рис. 2. Кінетика сушіння суцільного шару вологого кавового шламу, умовно розділеного на п'ять рівних частин: 1 – перший шар зернистого матеріалу, 2 – другий шар, 3 – третій, 4 – четвертий, 5 – п'ятий. ($T=45^{\circ}\text{C}$; $\Delta p_{\text{сх}} = 4905 \text{ Па}$; $m_{\text{в.матер.}} = 325 \text{ г}$)

З рис. 1 випливає, що збільшення висоти шару дисперсного матеріалу від 30 мм до 60 мм призводить до збільшення часу сушіння від 1000 с до 500 с (вологість зменшується від 450 % до 15 %). Це підтверджує той факт, що висота шару значно впливає на тривалість процесу та його гідралічний опір.

З метою інтенсифікації процесу сушіння і зменшення енергетичних затрат на процес, як було вже сказано вище, необхідно безперервно зменшувати товщину шару висушеного матеріалу залишаючи на перфорованій перегородці тільки шар вологого матеріалу, що дозволить організувати зональне сушіння шляхом створення різних перепадів тисків. З метою визначення швидкості переміщення зони тепломасообміну були проведені дослідження з динаміки процесу сушіння в щільному шарі, тобто експериментально визначено зміну вологості в часі та в координатах при загальній висоті шару матеріалу. Результати таких досліджень представлені на рис. 2, який підтверджує загальний механізм сушіння.

Проведемо перпендикуляр до осі ординат на відмітці 15 % і знаходимо час переміщення зони масообміну по товщині шару. Аналогічну операцію робимо з графіком наведеним на рис. 3, де наведена кінетика сушіння вологого кавового шламу з пошаровим видаленням сухого матеріалу.

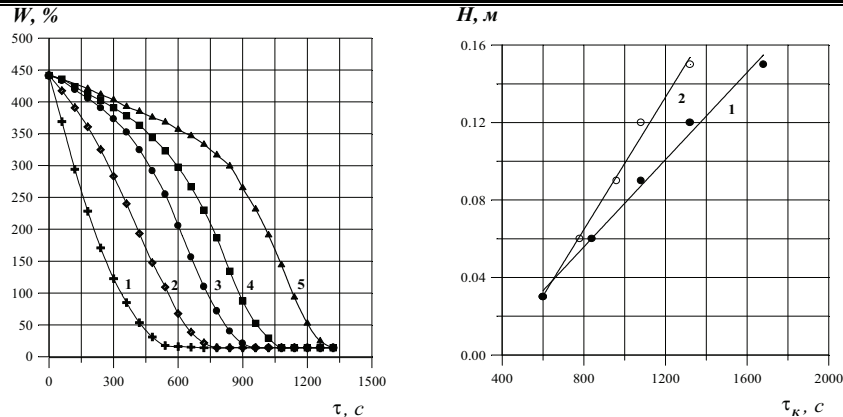


Рис. 3. Кінетика сушіння вологого кавового шламу, умовно розділеного на п'ять рівних частин з пошаровим видаленням сухого шару: 1 – перший шар зернистого матеріалу, 2 – другий шар, 3 – третій, 4 – четвертий, 5 – п'ятий. ($T = 45^{\circ}\text{C}$; $\Delta P_{\text{сух}} = 4905 \text{ Па}$; $m_{\text{в матерію}} = 325 \text{ г}$)

Рис. 4. Графічне визначення швидкості зони переміщення масообміну: 1 – суцільний шар; 2 – пошарове видалення сухого матеріалу

Дані дослідження дозволяють побудувати графічну залежність в координатах $H=f(\tau)$, яка представлена на рис. 4.

Тангенс кута нахилу отриманих залежностей є швидкістю переміщення зони теплообміну. Під час сушіння шару без видалення сухого матеріалу із зони масообміну швидкість переміщення дорівнює $1.1 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$, коли сухий матеріал видаляється – швидкість переміщення дорівнює $1.7 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$. Отже бачимо, що процес видалення сухого дисперсного матеріалу із зони масообміну істотно інтенсифікує сушіння. Отримані результати взяті за основу створення сушильного агрегату безперервної дії із змінною висотою висушуваного матеріалу.

УДК 674. 047

Проф. П.В. Білей; д.т.н.; доц. Н.Д. Довга, к.ф.–м.н.;
доц. В.М. Павлюст, к.т.н.; доц. С.Г. Сеник, к.ф.–м.н. – УкрДЛТУ

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛООВОЛОГООБРОБКИ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто фізичні аспекти тепловоловообробки при сушінні деревини. Описано вплив основних факторів на процес зволоження і умови створення різних видів адсорбції.

Prof. P.V. Bilej, doc. N.D. Dovga, doc. V.M. Pavliust, doc. S.G. Senyk – USUFWT

Principal physics annealing heat treatments of timber

The physical aspects annealing neat treatments in the process drying of timber are reviewed. Influencing major factors on the process of humidifying of timber and condition of creation of different sorts of an adsorption is reviewed.

Зволоження деревини при вологотеплообробці є складним процесом сорбції води в поверхневих шарах, переміщення води у вигляді пари і рідини в глибину, що супроводжується розбуханням деревини і виділенням теплоти. Сор-

бція на зовнішній поверхні абсолютно сухої деревини протікає дуже швидко. Приблизно за 1 мкс при відносній вологості $0 < \varphi < 0.2$ на поверхні утворюється мономолекулярний шар. При $0.2 < \varphi < 0.7$ утворюється суцільна плівка мономолекулярної води, що є умовою полімолекулярної адсорбції на поверхні. При $0.7 < \varphi \leq 1$ проявляє себе третій вигляд адсорбції – капілярна конденсація.

Якщо в процесі сорбції $\varphi = \text{const}$, то кількість молекулярних шарів води на зовнішній поверхні також збережеться постійним, незважаючи на подальшу конденсацію пари на ній. Швидкість адсорбції (конденсації) визначається (лімітується) швидкістю дифузії води з зовнішньої поверхні всередину деревини [1]. Сорбція на внутрішній поверхні проходить за типами моно- і полімолекулярної адсорбції. Оскільки між процесами тепло- і вологообміну визнається аналогія, як граничну умову (1 роду) прийняте значення масообмінного критерію Біо $Bi' = \infty$ (теоретично), практично $Bi' \geq 70$. Фізично ця умова означає, що процес сорбції водяної пари деревиною лімітується не зовнішнім, а внутрішнім вологообміном (дифузією). Вологість на поверхні деревини зберігається постійною протягом усього процесу сорбції і дорівнює рівноважній вологості в повітрі із заданими параметрами t і φ .

Основні фактори, які впливають на процес зволоження, – параметри середовища, розміри перетину і вологості деревини, глибина зволоження (x/R). Ці параметри пов'язані з тривалістю процесу зволоження (τ) системою критеріальних рівнянь:

$$1 - E = f(F'_0, x/R), \quad (1)$$

$$1 - E = (W_p - W_x) \cdot W_p, \quad (2)$$

$$F'_0 = a \cdot \tau / R^2, \quad (3)$$

де E – безрозмірна вологість в точці сортименту;

$$E = (W_p - W_x) / (W_p - W_0), \quad (4)$$

W_p, W_0 – рівноважна і початкова вологість, %; W_x – вологість в точці x в момент часу τ , %; F'_0 – масообмінний критерій Фур'є.

В роботах [1, 2] показано, що сорбція поверхнею деревини водяної пари при високих значеннях вологості ($\varphi > 0.7$) супроводжується полімолекулярною адсорбцією (яка компенсує кількість води, що дифундує всередину матеріалу) і капілярною конденсацією. Інтенсивність капілярної конденсації на початку процесу зволоження є нижчою від адсорбції на зовнішній поверхні деревини, але є вищою від адсорбції на її внутрішніх поверхнях. Тому радіус менісків в мікрозаглибинах поверхні матеріалу майже протягом усієї сорбції менший, ніж при рівноважній вологості поверхні деревини. Оскільки швидкість дифузії всередину матеріалу зменшується, то зменшується і різниця радіусів менісків, що веде до зниження інтенсивності капілярної конденсації пари. Таким чином, капілярна конденсація на поверхні залежить від дифузії води всередину деревини.

Умови вологообміну на поверхні деревини при вологотеплообробці визначаються масообмінним критерієм Біо. Якщо $a' \rightarrow \infty$, то можна очікувати, що $Bi' \rightarrow \infty$, тоді вологообмін відноситься до нескінченно інтенсивного. Причому, уже при значенні $Bi' \geq 70$ вологообмін відноситься до інтенсивного, оскільки процес зволоження лімітується не зовнішнім, а внутрішнім вологообміном.