

кості $W_{\tau} = W_{\text{вх}} = 20$ м/с, то $Fr = 200$. Тобто вплив сил тяжіння на рух потоку незначний, і критерій Fr теж можна виключити з системи (1) визначальних критеріїв.

Таким чином, система (1) визначальних критеріїв скорочується з шістьох до трьох. Критерії Δ і R характеризують співвідношення в газопилових потоках інерційних сил і сил в'язкості, що діють на частинки з боку потоку. Наявність критерію R серед визначальних обумовлено відхиленням дійсного характеру обтікання частинок потоком від чисто стоксівського (в'язкого), або чисто інерційного (ньютонівського).

З метою подальшого скорочення числа визначальних критеріїв будемо користуватись похідним критерієм

$$Stk = \Delta R = \frac{d^2 V \rho_2}{L \mu_1}, \quad (2)$$

який також, як і критерій R і Δ , характеризує співвідношення інерційних сил і сил в'язкості.

Таким чином, коефіцієнт корисної дії циклону можна визначити як функцію двох критеріїв – Stk і v :

$$\eta = f_1(Stk, v). \quad (3)$$

Але для зручності ефективність визначалась по величині парціальних виносів, тобто $\varphi(d)$ ($\eta + \varphi = 1$). Тому отримані експериментальні результати досліджень були оброблені у вигляді залежності (3) із заміною η на $\varphi(d)$:

$$\varphi(d) = f(Stk, v) \quad (4)$$

В критерії Стокса (Stk) за характерну швидкість V приймали величину:

$$V = V_0(1 - q) \quad (5)$$

де: V_0 – осереднена швидкість повітря (фіктивна), що розраховується як для базового циклону по заданих витратах; $q = Q_2 / Q_1$ – співвідношення витрат відсмоктування і загальних витрат.

Таким чином, якщо циклон працює без відсмоктування, тобто $q=0$, критерій Stk має звичайний вираз. Якщо $q \neq 0$ (циклон працює в режимі з відсмоктуванням через прорізи в циліндричній частині) критерій Стокса враховує вплив на процес очищення фактора проміжного відведення осажденного пилу разом з частиною газового потоку.

В результаті обробки дослідних даних отримані рівняння:

- для циклону з ПВП, який працює без відсмоктування повітря ($q=0$)

$$\varphi(d) = 2.5 Stk^{-0.77} v^{-0.3} \quad (6)$$

- для циклону з ПВП, який працює при різних величинах відсмоктування ($q \neq 0$)

$$\varphi(d) = 2.88 Stk^{-1.96} v^{-0.3} \quad (7)$$

Або в розгорнутому вигляді рівняння (6) і (7):

$$\varphi(d) = 2.5 \left(\frac{d^2 V \rho_2}{D \mu} \right)^{-0.77} v^{-0.3}, \quad (6 \text{ а})$$

$$\varphi(d) = 2.88 \left(\frac{d^2 V \rho_2}{D \mu} \right)^{-1.96} v^{-0.3}. \quad (7 \text{ а})$$

Порівняння (6) і (7) показує, що за однакових умов в циклоні з відсмоктуванням φ буде меншим, ніж у випадку без відсмоктування. Рівняння (7) має зміст в межах $0 < q < 0.07$.

Для циклона з коаксіальною конічною вставкою в рівняння (7) додатково введений геометричний симплекс λ/D , що враховує зменшення впливу радіального стоку на виніс тонкодисперсного пилу з очищенням повітрям. В цьому випадку узагальнене критеріальне рівняння приймає вигляд:

$$\varphi(d) = f(Stk, v, \lambda/D) \quad (8)$$

Після узагальнення дослідних даних отримано рівняння:

$$\varphi(d) = 2.88 Stk^{-1.96} v^{-0.3} \left(52 \left(\lambda/D \right) \right)^{(\lambda/D)^{-0.08}} \quad (9)$$

За величиною $\varphi(d)$ і фракційним складом пилу, що надходить в циклон з ПВП і виноситься з нього, можна визначити ефективність очищення даного пиловловлювача за формулою:

$$\eta = 1 - \frac{\varphi(d) \cdot R_{d1}}{R_{d2}}, \quad (10)$$

де R_{d1} , R_{d2} – відповідно процентний вміст частинок з розмірами d в пилу на вході в пиловловлювач і у винесеному пилу.

Література

1. Дубинін А.І., Майструк В.В. Циклонний апарат з проміжним відведенням твердої фази// Вісник ДУ "Львівська політехніка": Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 1997, № 333. – С. 196-197.

2. Ушаков С.Г., Зверев Н.И. Инерционная сепарация пыли. – М.: Энергия, 1974. – 168 с.

УДК 66.045

Аспір. Д.П. Кіндзера; проф. Я.М. Ханік *д-р техн. наук*;

доц. В.М. Атаманюк, *канд. техн. наук* – НУ "Львівська політехніка"

ВПЛИВ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ВУГІЛЛЯ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ

Вивчений вплив дисперсного складу вугілля на кінетику сушіння у щільному шарі під час руху теплоносія в напрямку "шар матеріалу → перфорована перегородка".

*Doctorate D.P. Kindzera; Prof. Ya.M. Hanyk;
Doc. V.M. Atamanuk – NU "Lviv'ska Politekhnikha"*

The influence of the disperse structure of the coal on the kinetic of drying in the dense layer

The influence of the disperse structure of the coal on the kinetic of drying in the dense layer was investigated.

Енергетична проблема в Україні є однією з найбільших і від розв'язання якої, значною мірою, залежить розвиток інших галузей народного господарства. У багатьох випадках після видобування вугілля, його необхідно відділити від негорючої інертної маси. Тому, енергетична проблема, частково, може бути вирішена шляхом глибокого вилучення вугілля із вугільної маси на збагачувальних фабриках. Однак, після флотаційних процесів, для отримання готового продукту, який є полідисперсною сумішшю частинок із розмірами від $0,31 \cdot 10^{-3}$ м до $20 \cdot 10^{-3}$ м, вугілля необхідно сушити. Існує ряд методів обезводнення дрібнодисперсних матеріалів, до яких належить вугілля після флотації [1]. Найпоширенішим, згідно аналізу джерел літератури, є сушіння у киплячому шарі, але цей метод має ряд недоліків, які пов'язані із значними енергетичними затратами на організацію процесу та фазове перетворення вологи, оскільки вона виділяється лише за рахунок випаровування. Крім цього, мають місце нерівномірності процесу сушіння в шарі і наявність частин різної вологості у висушеному продукті, стирання матеріалу, яке призводить до забруднення навколишнього середовища, зменшення продуктивності і необхідності встановлення системи пилоочисних установок.

Для розв'язання проблеми сушіння вугілля, з метою інтенсифікації, зниження енергетичних затрат і збільшення виходу сухого матеріалу, нами запропоновано процес обезводнення у щільному шарі, коли теплоносій рухається в напрямку "шар матеріалу → перфорована перегородка". Аналізуючи фізичний зміст даного процесу на прикладі сушіння листових капілярно-пористих матеріалів [2], можна констатувати той факт, що при запропонованому методі, матиме місце механічне витіснення і винесення вологи без її фазового перетворення. Таке сушіння також забезпечить відсутність стирання матеріалу і, відповідно, необхідність створення пилоочисної системи, рівномірність процесу обезводнення, отримання матеріалу з однаковою кінцевою вологістю та значні швидкості теплоносія відносно нерухомого шару матеріалу, що має дуже велике значення для кінетики процесу та зменшення енергетичних затрат.

Нами проведені дослідження кінетики сушіння як загальної фракції вугілля, так і окремих його фракцій. Для вивчення впливу фракційного складу на кінетику сушіння у щільному шарі, ми розділили подрібнене вугілля на шість фракцій:

Фракція, $\times 10^{-3}$ м	0,31-0,63	0,63-1,25	1,25-2,5	2,5-5,0	5,0-6,0	>6,0
% вміст	9,79	10,97	8,12	23,9	7,56	39,66

Результати дослідження кінетики сушіння фракції вугілля $>6,0 \cdot 10^{-3}$ м подані на рис. 1, із якого видно, що кінетична крива характеризується незначним в часі першим умовним періодом і значним за часом та за кількістю випаровуваної вологи другим умовним періодом.

У першому умовному періоді відбувається випаровування поверхневої і адсорбційно зв'язаної вологи полімолекулярного шару та має місце механічне її винесення рухомих потоком теплоносія з поверхні частин внаслідок тертя. Вологість вугілля змінюється від 0,11 кг/кг до критичної вологості 0,045 кг/кг. Відповідно, вологість вугілля у другому умовному періоді змінюється від критичної вологості до кінцевої (0,01 кг/кг).

Другий умовний період і його тривалість обумовлені випаровуванням моноадсорбційно зв'язаної вологи з поверхні частин, вологи мікротріщин, а також вологи застійних зон між частинками та екранованих поверхонь між ними.

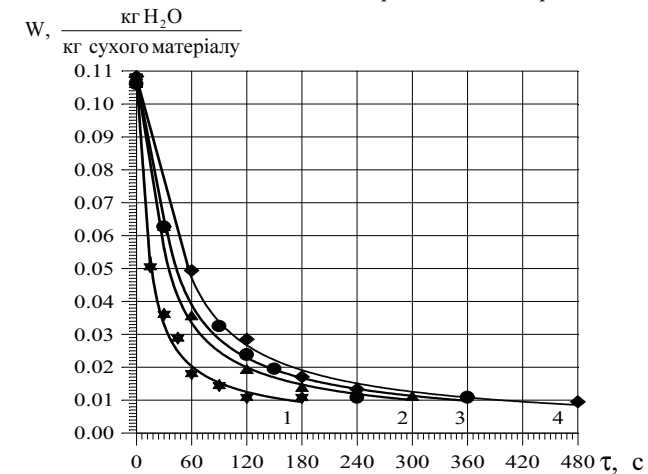


Рис. 1. Кінетика фільтраційного сушіння вугілля (фракція $>6,0 \cdot 10^{-3}$ м):
($T=318$ К; $\Delta P_c=5886$ Па. Товщина шару: 1 – $H=45 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $H=60 \cdot 10^{-3}$ м;
3 – $H=75 \cdot 10^{-3}$ м; 4 – $H=90 \cdot 10^{-3}$ м

Загальний час сушіння фракції вугілля $>6,0 \cdot 10^{-3}$ м становить 180 сек для висоти шару $45 \cdot 10^{-3}$ м і 480 сек – для вугілля, висотою $90 \cdot 10^{-3}$ м.

Необхідно зазначити, що для шару вугілля, який складається із частин, розміром $>6,0 \cdot 10^{-3}$ м, відсутній період механічного витіснення, тому що кількість вологи у вільному об'ємі є незначною через наявність великих каналів. На рис. 2 і 3 наведені результати досліджень зміни вологості вугілля в часі, відповідно, для фракцій $(6,0-5,0) \cdot 10^{-3}$ м та $(0,63-1,25) \cdot 10^{-3}$ м.

Першою відмінністю кінетики сушіння вугілля дрібніших фракцій $((6,0-5,0) \cdot 10^{-3}$ м та $(0,63-1,25) \cdot 10^{-3}$ м) від кінетики процесу для фракції $>6,0 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 1), є те, що початкова вологість є значно вищою, ніж у шарі з максимальним розміром частин і вона збільшується із зменшенням розміру фракції.

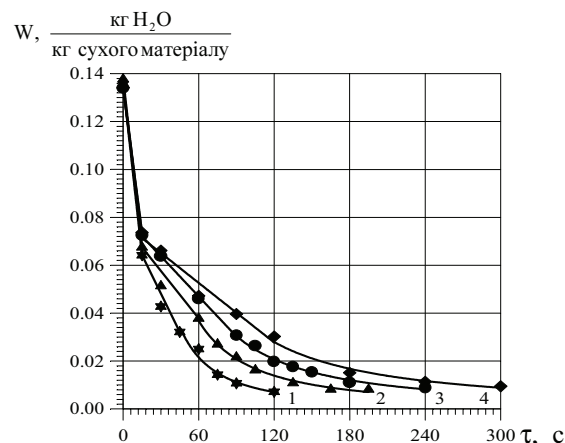


Рис. 2. Кінетика фільтраційного сушіння вугілля (фракція $(5,0-6,0) 10^{-3} \text{ м}$):
 $T=318 \text{ К}$; $\Delta P_c=5886 \text{ Па}$. Товщина шару: 1 – $H=45 10^{-3} \text{ м}$; 2 – $H=60 10^{-3} \text{ м}$;
 3 – $H=75 10^{-3} \text{ м}$; 4 – $H=90 10^{-3} \text{ м}$.

Друга відмінність полягає в тому, що має місце чітко виражений період механічного витіснення та винесення вологи, який відбувається без затрат теплової енергії.

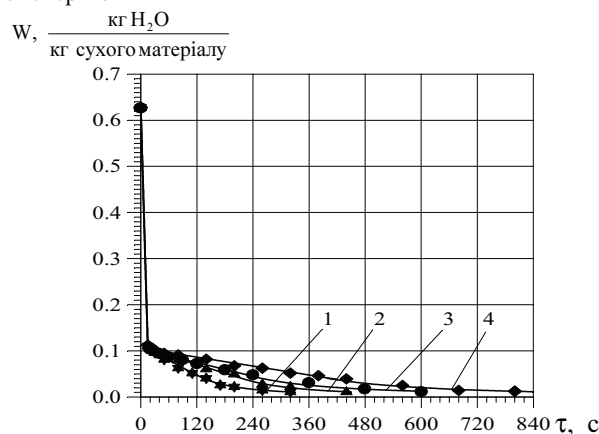


Рис. 3. Кінетика фільтраційного сушіння вугілля (фракція $(0,63-1,25) 10^{-3} \text{ м}$):
 $T=318 \text{ К}$; $\Delta P_c=5886 \text{ Па}$. Товщина шару: 1 – $H=45 10^{-3} \text{ м}$; 2 – $H=60 10^{-3} \text{ м}$;
 3 – $H=75 10^{-3} \text{ м}$; 4 – $H=90 10^{-3} \text{ м}$.

Третьою відмінністю є те, що перший умовний період є значним в часі та за кількістю випаровуваної вологи, а тривалість процесу у другому умовному періоді зменшується (рис. 1 та рис. 2, 3).

Загальна тривалість сушіння, при однаковій швидкості фільтрування теплоносія, скорочується із зменшенням розміру частин шару вугілля.

Зростання інтенсивності сушіння, зменшення загальної його тривалості, наявність періоду механічного витіснення пояснюється тим, що при одній і тій самій кількості вологого вугілля, яке припадає на одиницю площі перфорованої перегородки, із зменшенням розміру частин шару збільшується поверхня контакту фаз (поверхня сушіння), зменшуються розміри мікротріщин заповнених водою, і відповідно їх дифузійний опір, що призводить до незначного в часі другого умовного періоду.

Зростання рівномірності структури шару, при зменшенні розміру частин, незважаючи на високу початкову вологість, зумовлює інтенсивне механічне витіснення, а потім винесення вологи. Із наведених результатів досліджень видно, що процес сушіння вугілля у щільному шарі згідно з кінетичними, технологічними і економічними показниками стає ефективнішим із зменшенням фракційного складу. Однак, для повної оцінки обезводнення вугілля, необхідно врахувати і гідродинаміку процесу, що, в кінцевому результаті, дозволить обґрунтовано розробити технологію сушіння. Потрібно мати на увазі, що гідродинаміка та кінетика сушіння полідисперсного шару вугілля буде дещо відрізнятися від гідродинаміки та кінетики обезводнення окремих фракцій, що враховано, виходячи із результатів досліджень як окремих фракцій, так і загальної фракції.

Література

1. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. – М.: Химия, 1988. – 352 с.
2. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов. – Диссертация доктора техн. наук – Львов. – 1992. – 401 с.

УДК 674.047

Аспір. А.І. Мацьків¹ – УкрДЛТУ

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто можливість застосування енергії сонячного випромінювання для сушіння деревини, проведено аналіз літературних джерел і конструкцій геліосушарок.

Doctorate A.I. Matskiv – USUFWT

About use solar energy for drying timber

In article the possibilities of use energy of solar radiation for timber drying, parsed references and solar kiln design have been considered.

Сушіння деревини є найбільш енергомістким процесом деревообробки. Тому особливо перспективними є дослідження, спрямовані на пошуки нових енергоощадних способів сушіння, одним з яких є сушіння деревини з використанням сонячної енергії.

До перших спроб використання енергії сонячного випромінювання для сушіння деревини слід віднести дослідження К. Швальбе і Ю. Бартельса

¹ Наук. керівник: доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук – УкрДЛТУ