

При аналітичному дослідженні коротких повітроводів приймаються такі припущення:

- коефіцієнт витрат по всій довжині щілини, яка розраховується або для всіх отворів повітроводу приймається постійним;
- поля швидкостей у поперечних перетинах повітроводу приймаються рівномірними (коефіцієнти Кореоліса та Буссінекса рівні одиниці);
- втрати на тертя дорівнюють нулю.

Основу загального алгоритму синтезу локальних систем повітроподачі його становлять незалежні блоки розрахунку окремих ланок. Вибір конкретної ланки для розрахунку здійснюється користувачем, виходячи з принципу, описаного вище. Вихідні дані по розрахунку кожної ланки накопичується і одночасно стають вхідними даними для розрахунку наступної ланки. Результатом роботи алгоритму є конструктивні параметри всіх складових ланок локальної системи та її сумарний аеродинамічний опір. Останній визначає величину статичного тиску який необхідно створити на вході системи повітророзподілу. По величині тиску, проводиться вибір необхідного типу вентилятора чи групи вентиляторів.

Запропоновані процедури прийняття рішень надали змогу проводити моделювання і аналіз теплових режимів ЕЗ на різних рівнях конструкторської ієрархії з врахуванням способу охолодження без логічного обмеження на кількість рівнів при теплофізичному проектуванні електронного технологічного обладнання та складних електронних комплексів. та показали їх високу ефективність.

Література

1. Дульнев Г.Н., Парфенов В. Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 346 с.
2. Стоян Ю.Г., Путятин В.Н. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. – К.: Наук. думка, 1988. – 264 с.
3. Фишберн П. Теория полезности для принятия решения. – М.: Наука, 1978. – 764 с.

УДК 66.045

Доц. В.М. Атаманюк, канд. техн. наук;

проф. Я.М. Ханик, д-р. техн. наук;

доц. В.П. Дулеба, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

КОМБІНОВАНЕ СУШІННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Представлені експериментальні дослідження сушіння дрібнодисперсного вугілля фільтраційним методом і у киплячому шарі. На основі узагальнення результатів експериментальних досліджень запропоновано комбінований метод сушіння дрібнодисперсних матеріалів.

Doc. V.M. Atamanyuk, prof. Ya.M. Hanyk,

doc. V.P. Duleba – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

Combined drying of semi dispersed materials

Represented experimental researches of drying of semi dispersed coal by a filtration method and in a boiling layer. On the basis of generalization of results of experimental researches offered combined method of drying of semi dispersed materials.

Великі запаси кам'яного вугілля в Україні, зумовили його широке використання в енергетиці і коксохімічній промисловості. При виробництві електроенергії доля вугілля становить понад 50 % [1]. Тому якість вугілля, як палива, має важливе значення для підвищення ккд електростанції, економії природного газу і мазуту, зменшення негативного впливу на екологію довкілля. Враховуючи велику зольність викопного вугілля, його збагачують шляхом подрібнення і гравітаційного розділення у водних суспензіях. Завершальною стадією збагачення вугілля є його сушіння до вологості 10 %. Спочатку подрібнене вугілля зневоднюють на похилих рухомих або нерухомих грохотах, далі у відстійних шнекових центрифугах і кінцево в обертових сушильних барабанах. При цьому затрати на зневоднення дрібнодисперсного вугілля є настільки значні, що собівартість енергетичного вугілля в Україні є вищою, а якість є значно нижчою порівняно з енергетичним вугіллем, яке пропонується на світовому ринку [2].

Постановка проблеми. Відомо [3], що фільтраційне сушіння є одним із високоінтенсивних методів, який дає змогу у декілька разів знизити тривалість сушіння вологого матеріалу та енергетичні затрати, за невисоких капіталовкладень на переоснащення виробництва. Інтенсивність фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів визначається структурною будовою шару матеріалу та окремих частинок, формою зв'язку води із твердим скелетом і звичайно гідродинамікою, тобто швидкістю підведення теплоти до вологого матеріалу. Швидкість руху теплового агенту крізь дисперсний шар матеріалу визначає втрати тиску у шарі вологого матеріалу та енергетичні затрати на процес сушіння. Однак, щоби забезпечити фільтрування теплового агенту крізь стаціонарний шар вологого матеріалу необхідно протягом всього процесу підтримувати перепад тисків, який залежить від швидкості фільтрування, висоти шару та його структурної будови. Якщо дисперсний матеріал є дрібнодисперсним, здатним до самоущільнення, то втрати тиску можуть бути настільки значні, що застосування фільтраційного методу може стати економічно невигідним. У такому випадку вигідно поєднати переваги методу фільтраційного сушіння у стаціонарному шарі для механічного витіснення води, яка утримується між частинками, а досушування внутрішньої води проводити, наприклад, у киплячому шарі, коли втрати тиску у псевдозрідженому шарі будуть значно меншими, ніж у стаціонарному, при однаковій швидкості теплового агенту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчить аналіз літературних джерел [4-6] на втрати тиску у шарі дисперсного матеріалу крім швидкості фільтрування теплового агенту визначальне значення має форма, розміри та структурна будова частинок і шару. Із зменшенням розмірів частинок втрати тиску в шарі вологого матеріалу, а відповідно і енергетичні затрати на процес сушіння, зростають. З іншого боку, із зменшенням розмірів частинок зростає кількість поверхневої води та води, яка механічно утримується між частинками, і під час фільтраційного сушіння ця вода (приблизно 60-70 %) витісняється із шару потоком теплового агенту за 10-20 с [7].

Для сушіння дисперсних матеріалів широко застосовуються сушарки киплячого шару з активними гідродинамічними режимами, фонтануючі су-

шарки, вихорові сушарки і труби-сушарки [8]. Однак у всіх вище перелічених апаратах зневоднення дисперсного матеріалу відбувається за рахунок випаровування. Тому, як вказують автори, з метою зменшення енергетичних затрат на процес сушіння, поверхневу вологу і вологу, яка механічно утримується між частинками варто видаляти будь-яким механічним методом, шляхом відтискування, центрифугування, тощо. Використання попереднього зневоднення дисперсного матеріалу вимагає застосування складного в обслуговуванні і дорогого обладнання, що призводить до зростання собівартості готової продукції.

Мета роботи. На основі експериментальних досліджень гідродинаміки і кінетики фільтраційного сушіння та у киплячому шарі дрібнодисперсного вугілля визначити оптимальні параметри комбінованого методу сушіння дрібнодисперсних матеріалів, який дозволив би скоротити тривалість сушіння та знизити питомі енергетичні затрати на процес.

Для дослідження вибрано дрібнодисперсне вугілля, яке є продуктом гідросепарації на вугільнозбагачувальних фабриках, з початковим вологовмістом $0,63 \text{ кг H}_2\text{O/кг сух. мат.}$, висота шару $90 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, фракція $0,63 \div 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Для порівняння вологий матеріал сушили фільтраційним методом і у зважальному стані. Вологовміст у процесі сушіння визначали ваговим методом.

Фільтраційне сушіння. Вугілля сушили шляхом профільтровування теплового агенту в напрямку сипкий матеріал – перфорована перегородка, при перепаді тиску $\Delta P_c = 5886 \text{ Па}$ по сухому матеріалові і температурі $T=318 \text{ К}$ біля поверхні зернистого матеріалу. Температура під решіткою (на виході із матеріалу) протягом експерименту складала $T=294 \text{ К}$ і після 440 с зростала до $T=306 \text{ К}$ у кінці експерименту.

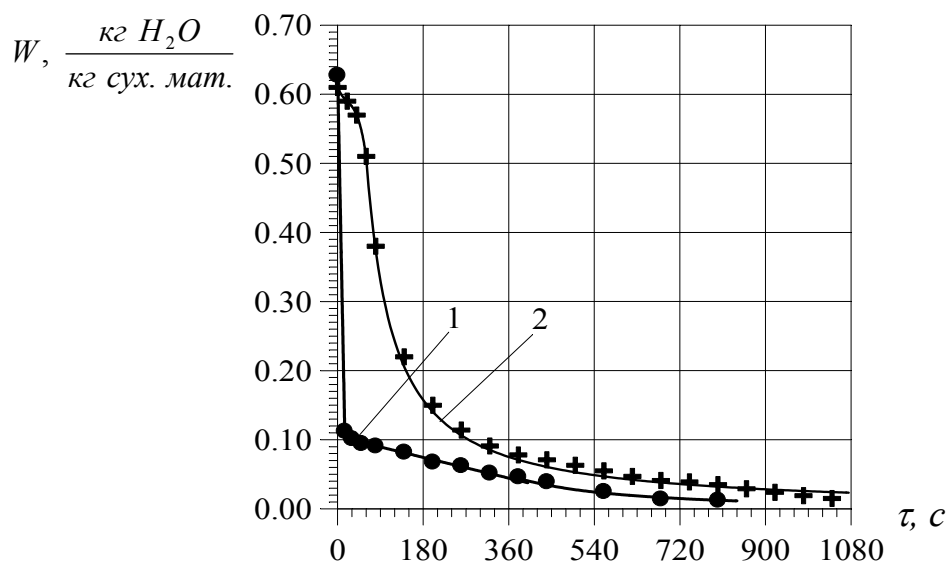


Рис. 1. Кінетика сушіння дрібнодисперсного вугілля:
 1 – фільтраційне сушіння, 2 – сушіння у киплячому шарі

На рис. 1 (крива 1) зображена кінетична крива сушіння при профільтровуванні теплового агенту в напрямку сипкий матеріал – перфорована перегородка. Як видно із рис. 1 (крива 1) у процесі сушіння вугілля, за перших 30 с внаслідок механічного витіснення і винесення вологи вологовміст матері-

алу зменшується з 0,63 до 0,11 кг H₂O/кг сух. мат., тобто у 5,7 рази, при цьому видаляється 85 % всієї вологи, яку містить вологий матеріал. Втрати тиску при цьому зменшувалися з 13000 до 12000 Па, а швидкість руху теплового агенту складала 1,04 м/с. Загальна тривалість сушіння до вологості 0,013 кг H₂O/кг сух. мат. становив 800 с. Втрати тиску в шарі дисперсного матеріалу по мірі зменшення вологості плавно зменшувалися і вкінці становили 5984 Па.

Сушіння у киплячому шарі. Сушіння проводили при профільтовуванні теплоносія в напрямку "перфорована перегородка – сипкий матеріал" в умовах киплячого шару. У зв'язку з тим, що шар є полідисперсним, критичну швидкість псевдозрідження розраховували для найбільших частинок, а швидкість вільного витання для найменших частинок фракції. Результати розрахунків представлені у табл. 1.

Табл. 1. Параметри псевдорідженого шару

$d_{\min} \cdot 10^3, \text{ м}$	$d_{\max} \cdot 10^3, \text{ м}$	$Ar_{\min}$	$Ar_{\max}$	$Re_{п.з.}$	$Re_{в.в.}$	$v_{п.з.}$	v	$v_{в.в.}$	$\rho_{в.м.}$
0,63	1,25	12669	98955	32,5	146,2	0,4	2,8	3,6	1769

Для забезпечення стабільного режиму псевдозрідження і високої інтенсивності процесу сушіння приймаємо коефіцієнт псевдозрідження $K=7$. При цьому повинна виконуватися умова:

$$v < v_{в.в.}$$

Процес проводили при температурі теплового агенту $T=358 \text{ К}$ під перфорованою перегородкою, а на виході із киплячого шару на початку експерименту складала $T=308 \text{ К}$ і зростала до $T=338 \text{ К}$ у кінці експерименту, втрати тиску становили 1600 Па, тривалість сушіння до вологості 0,022 кг H₂O/кг сух. мат. складав 1040 с. Кінетична крива сушіння наведена на рис. 1 (крива 2).

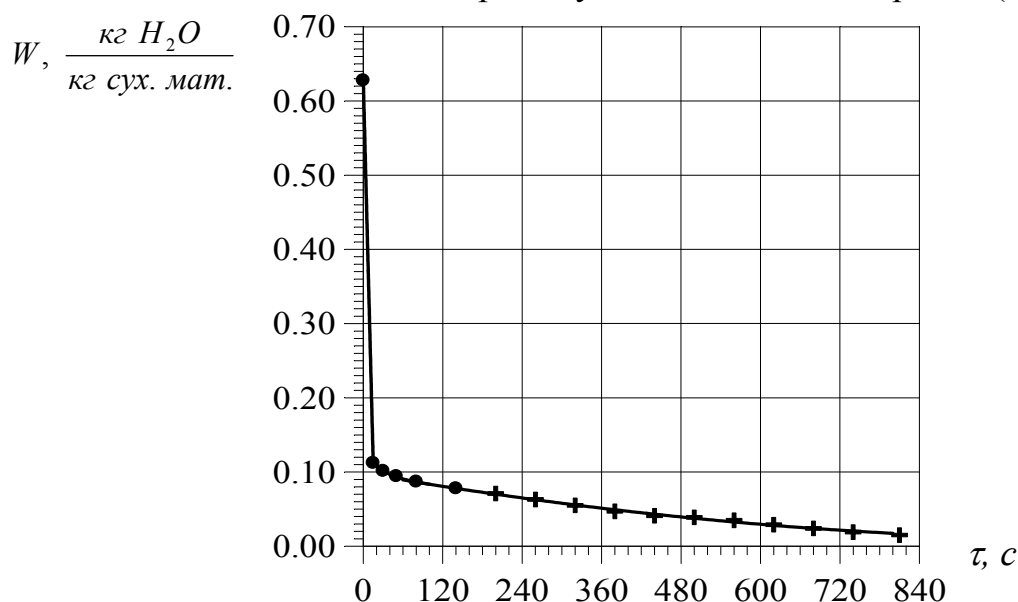


Рис. 2. Кінетика комбінованого сушіння дрібнодисперсного вугілля

Як видно із рис. 1 (криві 1 і 2) після 420 с інтенсивність сушіння в обох випадках практично однакова, про це свідчить те, що кінетичні криві є паралельними. Однак втрати тиску у киплячому шарі протягом всього процесу сушіння становлять 1600 Па, що є у 4-8 разів менше ніж під час фільтраційного сушіння.

Якщо видалити вільну вологу шляхом фільтраційного сушіння, а внутрішню вологу, яка міститься у порах і тріщинах видаляти за рахунок сушіння у киплячому шарі то враховуючи те, що втрати тиску в шарі киплячого матеріалу є меншими, можна зменшити енергетичні затрати на процес сушіння.

Комбіноване сушіння. На рис. 2 наведено результати експериментальних досліджень комбінованого методу, під час якого спочатку дрібнодисперсне вугілля сушили профільтровуючи теплоносієм з температурою $T=318\text{ K}$ у напрямку "дисперсний матеріал – перфорована перегородка" і через 200 с вологість вугілля становила $0,074\text{ кг H}_2\text{O/кг сух. мат.}$. Досушували вугілля до кінцевої вологості шляхом фільтрування теплового агента в напрямку перфорована перегородка – сипкий матеріал в умовах киплячого шару при температурі $T=358\text{ K}$. При цьому загальна тривалість сушіння до вологості $0,013\text{ кг H}_2\text{O/кг сух. мат.}$ становив 810 с, приблизно стільки ж, як і під час фільтраційного сушіння. Результати розрахунку питомих затрат наведені у табл. 2.

Табл. 2. Питомі затрати на сушіння вугілля фракції $0,63 \div 1,25 \cdot 10^{-3}\text{ м}$

Спосіб сушіння	Тривалість процесу $\tau, \text{ с}$	Питомі затрати тепла на випаровування води $Q_T, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}}$	Питомі затрати на створення перепаду тисків $Q_{\Delta P}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}}$	Сумарні питомі затрати $Q_{\Sigma}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}}$
Фільтраційний	800	907	4571	5478
У киплячому шарі	1040	3390	2971	6361
Комбінований	810	2150	2886	5036

Висновок. Як видно із табл. 2, питомі затрати теплоти на випаровування води комбінованим методом сушіння є у 1,6 рази менші, ніж для сушіння у киплячому шарі і у 3,7 разів більші порівняно з фільтруванням теплоносія в напрямку сипкий матеріал – перфорована перегородка, зате енергетичні затрати на створення перепаду тисків є приблизно у 1,6 разів менші, і менші, ніж у киплячому шарі. Крім цього, як видно із таблиці, сумарні питомі затрати на процес сушіння для комбінованого сушіння є найменшими. Якщо врахувати, що на вугільнозбагачувальних фабриках як тепловий агент використовують відхідні гази від спалювання "попутного палива" (сухого вугілля), а електрична енергія є покупним енергоносієм і набагато дорожчим за власне вугілля, то поєднання фільтраційного сушіння і сушіння у киплячому шарі, або фільтраційного сушіння і сушіння в обертовому барабані буде значно вигіднішим для використання на вугільнозбагачувальних фабриках, що приведе до зменшення собівартості та зростання конкурентності вугілля на внутрішньому та зовнішньому ринках. На вказаний метод сушіння подано заявку на видачу деклараційного патенту на корисну модель та отримано позитивне рішення [9].

Умовні позначення:

- $d_{\max}, d_{\min}$ – максимальний і мінімальний розмір частинок фракції, м;
- g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;
- C – питома теплоємність теплового агента, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;

- m – масова витрата теплового агента, кг/с;
- N – потужність приводу вакуум-насосу або вентилятора, кВт;
- $Q_T = C \cdot m \cdot \Delta t \cdot \tau$ – питомі затрати енергії на нагрівання теплового агента, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot H_2O}$;
- $Q_{\Delta P} = N \cdot \tau$ – питомі затрати енергії на створення перепаду тисків під тривалість сушіння, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot H_2O}$;
- $Q_{\Sigma} = Q_{\Delta P} + Q_T$ – сумарні питомі затрати енергії, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot H_2O}$;
- W_0, W_{κ} – початкова і кінцева вологість дисперсного матеріалу, $\frac{\text{кг} H_2O}{\text{кг сух. м.}}$;
- $v_{n.з.} = \frac{Re_{n.з.} \cdot \nu}{d_{\max}}$ – швидкість псевдозрідження найбільших частинок, м/с;
- $v_{в.в.} = \frac{Re_{в.в.} \cdot \nu}{d_{\min}}$ – швидкість вільного витання дрібних частинок, м/с;
- ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;
- $\rho_{в.м.}, \rho_{с.м.}, \rho_{т.а.}$ – питома густина вологого, сухого матеріалу і теплового агента, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- $\rho_{в.м.} = \rho_{с.м.} \cdot \left(1 + \frac{W_0 + W_{\kappa}}{2}\right)$ – середня питома густина вологого матеріалу, кг/м³;
- τ – тривалість сушіння, с;
- Δt – середня різниця температур між температурою доквілля і тепловим агентом, °C;
- $Ar_{\min} = \frac{g \cdot d_{\min}^3 \cdot (\rho_{в.м.} - \rho_{т.а.})}{\nu^2 \cdot \rho_{т.а.}^2}$ – критерій Архімеда для найдрібніших частинок;
- $Ar_{\max} = \frac{g \cdot d_{\max}^3 \cdot (\rho_{в.м.} - \rho_{т.а.})}{\nu^2 \cdot \rho_{т.а.}^2}$ – критерій Архімеда для найбільших частинок;
- $Re_{n.з.} = \frac{Ar_{\max}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar_{\max}}}$ – критерій Рейнольдса для режиму псевдозрідження найбільших частинок;
- $Re_{в.в.} = \frac{Ar_{\min}}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar_{\min}}}$ – критерій Рейнольдса для режиму вільного витання найдрібніших частинок.

Література

1. Давыдович К.Г., Снякевич Б.Г. О работе ТЭС в новых условиях// Энергетика и электрификация. – 2005, № 1. – С. 14-18.
2. Снякевич Б.Г., Чернявский Н.В. Энергетический уголь Украины: соотношение цены и качества// Энергетика и электрификация. – 2004, № 12. – С. 37-40.
3. Ханик Я.М. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов/ Дис. ... д-ра техн. наук. – Львов, 1992, 401 с.
4. Фільтраційне сушіння. Гідродинамічний опір полідисперсного шару зернистого матеріалу// Хімічна промисловість України. – 2004, № 6. – С. 47-51.
5. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Вплив фракційного складу вугілля на гідродинаміку і кінетику сушіння у щільному шарі// Вісник НУ "Львівська політехніка": Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів: НУ "ЛП". – 2004, № 461. – С. 245-252.

6. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Зернистий матеріал. Гідродинаміка полідисперсного шару// Хімічна промисловість України. – 2002, № 6. – С. 38-42.

7. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Вплив дисперсного складу вугілля на кінетику сушіння у щільному шарі// Наук. вісник УкрДЛТУ: Сучасні теоретичні розроблення в деревообробному і меблевому виробництвах. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5. – С. 111-115.

8. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997. – 448 С.

9. Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель. № 8700/1. Спосіб сушіння сипких зернистих матеріалів. Атаманюк В.М., Ханик Я.М., Дулеба В.П.

УДК 674.048

Аспір. О.І. Бринь – НЛТУ України

СПОСОБИ ПРОСОЧУВАННЯ ШПОНУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВОГНЕТРИВКОЇ ФАНЕРИ

Проаналізовано способи просочування шпону антипіренами у виробництві вогнетривкої фанери та розглянуто їх переваги.

Doctorate O.I. Bryn' – NUFWT of Ukraine

The methods of veneer impregnation in fireproof plywood production

The methods of veneer impregnation in fireproof plywood production are analyzed and their advantages are considered.

Створенню негорючих і важко спалюваних матеріалів і організації їх виробництва для заміни використовуваних горючих матеріалів приділяється велика увага. Одним з таких горючих матеріалів є фанера, яка широко застосовується в автобусо-, вагоно-, а також суднобудуванні, будівництві та інших галузях промисловості.

Пожежну безпеку підвищують покриттям матеріалів неорганічними плівками і фольгою, застосуванням неорганічних наповнювачів. Задовільний захист можна одержати завдяки оштукатурюванню поверхні дерев'яних елементів, нанесенням лаків і фарб, у склад яких входять вогнезахисні речовини. Однак надійніший захист досягається просочуванням готової фанери чи шпону у процесі її виробництва вогнезахисними речовинами, які називаються антипіренами.

Відомо багато способів просочування деревини, однак не всі вони підходять для просочування шпону. Всі способи просочування поділяються на наступні групи: способи капілярного просочування, способи дифузійного просочування і способи просочування під тиском, залежно від того, яке з цих трьох фізичних явищ процесу є визначальним. Процеси просочування у виробничих умовах звичайно відбуваються під дією двох чи усіх трьох перерахованих факторів, але відносна ефективність того чи іншого з них може бути різною при різних способах просочування [1]. У деревині, яка не містить вільної вологи, дифузійне переміщення просочувальних речовин відсутнє.

Використовують просочування в холодній ванні без попереднього прогріву деревини; в гарячій ванні; в холодній ванні з попереднім прогрівом деревини в гарячій ванні; в холодній ванні з попереднім підігрівом деревини в електричному полі високої частоти [2]. Просочування в гарячій ванні відбувається