

УДК 66.047

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СУШІННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ВУГІЛЛЯ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ**Кіндзера Д.П., Ханик Я.М.****Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів**

79020, м. Львів, вул. Підголюско, 19

E-mail: uad@poligraf.lviv.ua

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований сушки мелкодисперсной смеси угля после флотации, а также расчётные зависимости, позволяющие прогнозировать процесс сушки в первом и втором периодах.

Ключевые слова: мелкодисперсная смесь, флотация, процесс сушки.

In the given article shown the results of experimental research of drying polydispersive coal mixtures after floatation. Present computation dependences for prognostication of process of drying in the first and second periods.

Keywords: polydispersive coal, floatation, process of drying.

Вступ. За рівнем забруднення довкілля Україна знаходиться на 110 місці із 122 держав світу, оскільки лише в повітряний басейн щорічно викидається від 60 до 100 мільйонів тонн шкідливих речовин. Значною мірою на забруднення довкілля впливає стан паливно-енергетичного комплексу нашої держави, оскільки темпи виробництва енергії на базі невідновних джерел зберігаються (близько 70 % усієї енергії отримують за рахунок спалювання вугілля, нафти й газу). В результаті спалювання вуглеводневого палива в топках ТЕС в атмосферу викидається вуглекислий газ, окиси сірки й азоту, які є причиною виникнення кислотних дощів. Повітря забруднюється також дрібними твердими частками золи, шлаку, неповністю згорілого палива (сажею). Шлакові відвали, терикони пустих порід, відпрацьовані кар'єри відібрали в країні понад 160 тисяч гектарів земель, водночас забруднюючи підземні та поверхневі води шкідливими речовинами.

Значна частина вугілля, що видобувається, характеризується низькою якістю – високою зольністю (до 40 %) та вмістом сірки (до 6 %). З метою покращання якості палива видобуте вугілля відділяють від негорючої маси на вуглезбагачувальних фабриках шляхом подрібнення та гідросепарації, після чого різнофракційну вугільну суміш висушують. Промислове сушіння – стадія виробництва, від ефективної організації якої залежить якість та собівартість готового вугілля. Однак саме вона спричиняє значною мірою забруднення робочої зони та довкілля тепловими викидами, дрібнодисперсною фазою матеріалу.

Результати дослідження фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів наведено у багатьох наукових працях [1 - 5], з яких зрозуміло, що саме частинки найменших розмірів істотно впливають на гідродинаміку та кінетику процесу сушіння полідисперсної суміші у щільному шарі.

Оскільки вугілля після збагачення є сумішшю різнофракційного складу з розмірами частин від 0,01 до 20 мм, то висушування його дрібних фракцій є існуючою проблемою, яка потребує наукового вирішення.

Мета роботи. Вивчення закономірностей процесу сушіння дрібнодисперсної фракції збагаченого вугілля в щільному шарі, коли теплоносії рухається в напрямку "шар матеріалу → перфорована решітка", який має багато істотних переваг над існуючими методами зневоднення, а саме: затрати енергії на організацію процесу та фазове перетворення вологи, що міститься у матеріалі, зменшуються завдяки видаленню значної її кількості рухомим теплоносієм у період механічного витіснення та винесення; завдяки руху теплоносія в напрямку "шар матеріалу ® перфорована перегородка" практично відсутнім є винесення дрібнодисперсної фази матеріалу з сушильного агрегата, відпрацьований теплоносії характеризується низькими температурами, що дає змогу зменшити техногенне навантаження на атмосферу. Цей метод сушіння відповідає вимогам, які ставлять до сучасних новітніх технологій, тому його впровадження у виробництво сприятиме модернізації останнього.

Матеріал та результати досліджень. Вміст вільної вологи, втримуваної шаром матеріалу після процесу збагачення, підвищується (залежить від структури та фракційного складу останнього), що зумовлює потребу зневоднення матеріалу. У промислових умовах сушіння вугілля проводять у стаціонарному шарі, обертових сушильних барабанах та сушарках киплячого шару [6 - 8].

У разі сушіння у стаціонарному шарі, коли теплоносії подається під решітку, на якій міститься вологий матеріал, вся волога з останнього виділяється шляхом фазового перетворення, на що затрачається значна кількість енергії. Процес характеризується винесенням

дрібнодисперсної фракції разом з високотемпературними викидами теплоносія, нерівномірністю сушіння з частим перегріванням матеріалу.

У випадку киплячого шару за наявності внутрішньої пористості частин матеріалу сушіння стає енергомістким та неефективним. Під час сушіння полідисперсних матеріалів високої вологості у КШ виникають певні труднощі, пов'язані з гідродинамічною нестійкістю шару (винесення, залягання, грудкування). В обертових сушильних барабанах та сушарках киплячого шару відбувається стирання матеріалу, винесення частинок потоком теплоносія, що зумовлює встановлення очисної апаратури та призводить до втрат готового продукту і підвищення його собівартості.

Для висушування полідисперсного шару вугілля та окремих його фракцій запропоновано застосовувати метод сушіння у щільному шарі під час профільтовування теплоносія в напрямку "шар матеріалу ® перфорована перегородка", під час якого, як уже згадувалось, зменшуються затрати енергії на організацію процесу та фазове перетворення води [9], оскільки значна її кількість видаляється рухомим теплоносієм у період механічного витіснення та винесення.

З метою вивчення впливу фракційного складу на гідродинаміку та кінетику сушіння у щільному шарі вугілля після процесу збагачення було розділено на шість фракцій, визначено вміст кожної із них у загальній масі, розраховано умовний діаметр частинок, побудовано діаграму дисперсного складу (рис. 1).

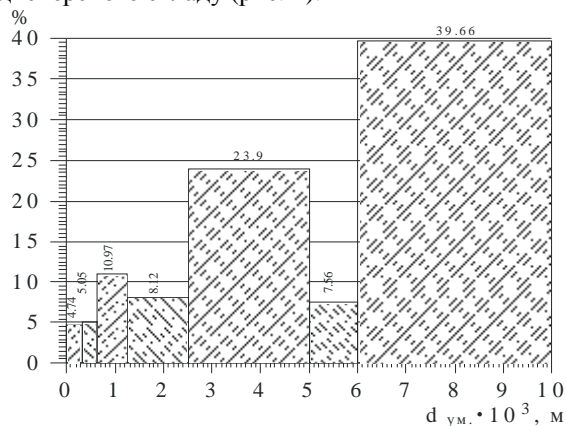


Рис. 1. Дисперсний склад збагаченого вугілля

З діаграми, показаної на рис. 1, зрозуміло, що частка фракцій вугілля з розмірами частинок, менших за 1 мм, у загальній масі становить приблизно 10 %. Після процесу збагачення найвищим вмістом води характеризуються найдрібніші фракції вугілля, вологість яких становить близько 0,66 кг/кг.

За результатами досліджень гідродинаміки руху теплоносія крізь шари сухого вугілля побудовано порівняльний графік (рис. 2) для

окремих досліджуваних фракцій та полідисперсної суміші.

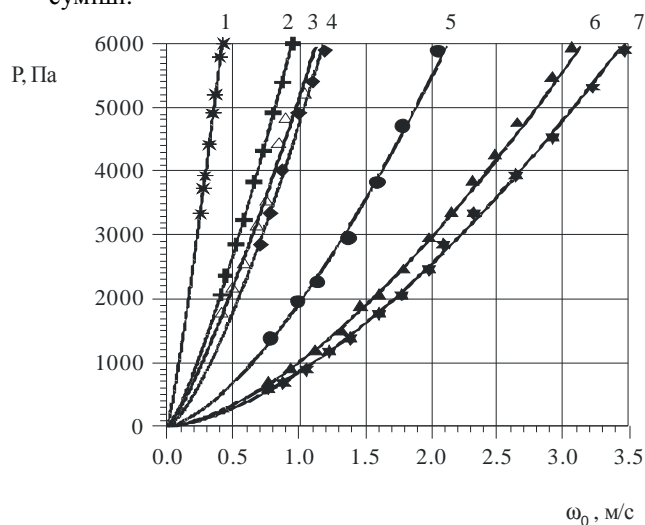


Рис. 2. Залежність гідравлічного опору шару від фіктивної швидкості руху теплоносія для різних фракцій, $H = 75 \cdot 10^{-3}$ м; $T = 318$ К:

- 1 - $d = (0,31 - 0,63) \cdot 10^{-3}$ м;
- 2 - $d = (0,63 - 1,25) \cdot 10^{-3}$ м;
- 3 - полідисперсна суміш;
- 4 - $d = (1,25 - 2,5) \cdot 10^{-3}$ м;
- 5 - $d = (2,5 - 5,0) \cdot 10^{-3}$ м;
- 6 - $d = (5,0 - 6,0) \cdot 10^{-3}$ м;
- 7 - $d = (6,0 - 10,0) \cdot 10^{-3}$ м

На основі графічних залежностей (рис. 2) можна зробити висновок, що на зростання гідравлічного опору матиме вплив не лише збільшення висоти шару вугілля, але й зменшення розміру частин фракції. Так, для фракції $d = (0,63 - 0,31) \cdot 10^{-3}$ м гідравлічний опір шару заввишки $75 \cdot 10^{-3}$ м становить 6000 Па за фіктивної швидкості руху теплоносія 0,4 м/с, в той час, коли опір такого самого шару найбільшої фракції становить лише 200 Па. В результаті експерименту також встановлено, що фракція $d < 0,31 \cdot 10^{-3}$ м має надзвичайно великий опір, який сягає 70000–80000 Па. Найдрібніша фракція під час сушіння в щільному шарі, коли теплоносієм подається в напрямку "шар матеріалу ® перфорована перегородка" потоком теплоносія, переміщується в нижню частину шару.

В результаті створення перепаду тисків відбувається ущільнення вологого матеріалу і утворення щільного прошарку останнього поблизу перегородки та закупорювання її отворів. Це стає причиною різкого зростання гідравлічного опору матеріалу та решітки, на якій розміщено матеріал, що призводить до зменшення швидкості руху теплоносія крізь шар та зниження ефективності сушіння загалом. Гідравлічний опір полідисперсного шару вугілля залежить від процентного вмісту окремих фракцій у ньому і зростатиме із збільшенням фракцій з найменшим розміром частин у його складі. Тому нами запропоновано попереднє відмивання дрібнодисперсної фракції з подальшим її сушінням контактним методом, в той час, коли сушіння

частинок основних розмірів, включаючи фракцію $d=(0,63 - 0,31) \cdot 10^{-3}$ м, рекомендується проводити у щільному шарі.

Результати сушіння вугілля з розмірами частин $d=(0,63 - 0,31) \cdot 10^{-3}$ м показали, що час сушіння зростає із збільшенням висоти шару матеріалу

(рис. 3), скорочується із підвищенням температури теплоносія та збільшенням швидкості його руху (табл. 1). Під час сушіння вугілля існує виражений період механічного витіснення та винесення вологи, який відбувається без затрат теплової енергії.

Таблиця 1 –

Зіставлення тривалості сушіння за умов:

$\tau = f(T)$ при $\Delta P_{\text{сух}} = 5886 \text{ Па}$ та $\tau = f(\Delta P_{\text{сух}})$ при $T=318 \text{ К}$ для $H=75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Фракція, 10^{-3} м	$\tau, \text{ с}$ $T=303\text{К}$	$\tau, \text{ с}$ $T=318\text{К}$	$\tau, \text{ с}$ $T=333\text{К}$	$\tau, \text{ с}$ $T=348\text{К}$	$\tau, \text{ с}$ $\Delta P=1962\text{Па}$	$\tau, \text{ с}$ $\Delta P=392\text{Па}$	$\tau, \text{ с}$ $\Delta P=5886\text{Па}$
0,63 ÷ 0,31	1400	1275	910	695	1860	1590	1275

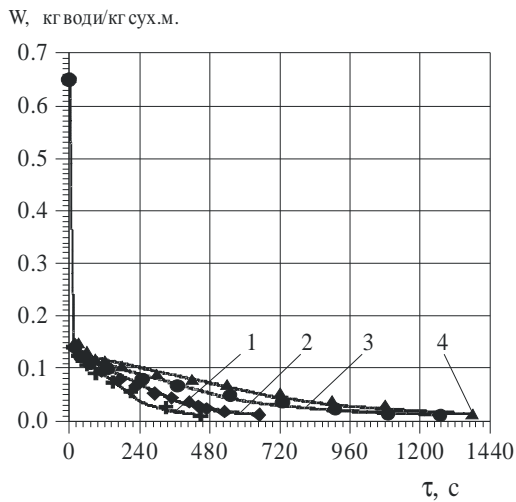


Рис. 3. Кінетика сушіння фракції вугілля $d = (0,63 - 0,31) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ($T = 318 \text{ К}$; $P_c = 5886 \text{ Па}$).
1 - $H = 45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 2 - $H = 60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
3 - $H = 75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 4 - $H = 90 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Отримані кінетичні рівняння, які дають змогу прогнозувати сушіння вугілля в першому та другому умовних періодах:

$$W^I = W_0 \cdot (1 - 2,5 \cdot 10^{-23} \cdot T^{6,13} \cdot \Delta P \cdot H^{-1} \cdot \tau \cdot e^{-22,2H}); \quad (1)$$

$$W^{II} = (W_{\text{кр}} - W_p) \cdot e^{-22,2N \cdot (\tau \frac{W_0 - W_{\text{кр}}}{N})} + W_p, \quad (2)$$

де $W, W_0, W_{\text{кр}}, W_p$ – поточне, початкове, критичне та рівноважне значення вологості, кг/кг; τ – час сушіння, с; N – швидкість сушіння у першому умовному періоді, кг/(кг·с).

Висновки. Для висушування дрібних фракцій вугілля запропоновано метод сушіння у щільному шарі під час профільтрування теплоносія в напрямку “шар матеріалу ® перфорована перегородка”, який дає можливість скоротити енергетичні затрати на організацію процесу та фазове перетворення вологи, і, як наслідок, зменшити використання первинних енергоресурсів та негативний антропогенний вплив на довкілля. Разом з тим, вказаний метод сушіння дає можливість зменшити собівартість та якість

вугілля. Запропоновані сушильні агрегати є високоефективними, займають невеликі виробничі площі.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Гузьова І.О., Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Фільтраційне сушіння сипких зернистих матеріалів / Восьма наукова конференція “Львівські хімічні читання – 2001” 24 – 25 травня.: Збірник наукових праць – Львів, 2001. С. Ф72.
2. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Вплив фракційного складу вугілля на гідродинаміку і кінетику сушіння у щільному шарі // Вісник ДУ „ЛП” 2002 „Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2002. – №461. – С. 245 – 252.
3. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Вплив дисперсного складу вугілля на кінетику сушіння у щільному шарі // Науковий вісник “Розробка сучасних технологій деревообробки”. – УкрДЛТУ, 2002. – Вип.12.5. – С. 111 – 115.
4. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Особливості сушіння вугілля у щільному шарі // Вісник ДУ „Львівська політехніка”, „Хімія, технологія речовин та їх застосування”. 2003. – №488. – С. 195 – 200.
5. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Сушіння полідисперсної суміші вугілля після флотації. // Науковий вісник: Зб. Наук.-техн. праць. УкрДЛТУ. 2004. - Вип. 14.1. – С. 43 - 48.
6. Хаджиогло А.В., Степаненко А.М. Сушка угля в киплящем слое. – М.: Металургия, 1971. – 208 с.
7. Курочкин Ю.П., Верба М.И. Сушка топлива. – М., 1961. – 88 с.
8. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. – М.: “Химия”, 1988. – 352 с.
9. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Сушіння у щільному шарі як метод інтенсифікації та енергозбереження. Міжнародна науково-технічна конференція “Енергоефективність – 2002”, 29 – 30 жовтня. Київ. – С. 93.

Стаття надійшла 15.02.2007
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Бахаревим В.С.