

Вдячні учні

У жовтні 2006 р. в Національному університеті “Львівська політехніка” відбудеться міжнародна науково-технічна конференція „Вібрації в техніці та технологіях”, присвячена 80-літтю професора Володимира Олександровича Повідайла.

Бажаючим взяти в ній участь звертатися в Інститут інженерної механіки та транспорту Національного університету “Львівська політехніка”, на кафедру автоматизації та комплексної механізації машинобудівної промисловості або ж за тел. (0322) 258-21-54; 80677156739 та електронною адресою gavr@lviv.farlep.net.

Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вип. 39. 2005.

УДК 66.047

В.М. АТАМАНЮК, Я.М. ХАНИК

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної інженерії

РОЗРАХУНОК УСТАНОВКИ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ВУГІЛЛЯ ПІСЛЯ ФЛОТАЦІЇ

© Атаманюк В.М., Ханик Я.М., 2005

Проведено комплексне дослідження гідродинаміки безперервного фільтраційного сушіння дрібнодисперсного вугілля після флоатації. Наведені у статті залежності дають можливість за відомими технологічними параметрами процесу розрахувати основні конструктивні розміри барабанної сушильної установки.

Complex research was held in hydrodynamics of continuous filtration drying of semi dispersed coal after flotation. The dependences presented in the article enable to calculate the main structural sizes of the drum drying setting after the known technological parameters of the process.

Постановка проблеми. У виробництві електричної енергії тепловими електростанціями частка вугілля в паливному балансі становить понад 50%. Якість вугілля визначає ефективність роботи енергоблоків, дає змогу скоротити обсяги споживання імпортного природного газу. Через підвищення ступеня механізації операцій з видобутку вугілля та невелику товщину вугільних пластів викопне вугілля характеризується великим вмістом мінеральних домішок (FeS₂, ZnS, CaCO₃, PbCO₃ тощо), які становлять негорючу частину, що знижує якість вугілля і підвищує забруднення довкілля. Тому енергетичне вугілля сортують і збагачують на вугільнозбагачувальних фабриках. Основним методом збагачення вугілля є подрібнення і розділення подрібненої маси гравітаційним методом у водній суспензії піску або оксидів заліза, густина якої є меншою ніж мінеральних домішок, але більшою, ніж густина вугілля. Загальна вологість збагаченого таким методом вугілля сягає 25–70% залежно від гранулометричного складу. Тому збагачене вугілля зневоднюють за допомогою похилих грохотів або центрифуг до вологості 17–22%, після чого висушують в обертових сушильних барабанах, трубах-сушарках, сушарках киплячого шару або вихорових камерах до вологості 8–10% [1]. Громіздкість і велика металоємність обладнання, невисокий коефіцієнт корисної дії, невисокий ступінь використання теплової енергії, необхідність використання дорогого очисного обладнання збільшують собівартість енергетичного вугілля. Вартість однієї тонни умовного палива вітчизняного збагаченого вугілля – приблизно 204 грн., що на 15,9 – 33,9% більше коштує, ніж одна тонна умовного палива якіснішого вугілля на світовому

ринку – 176 грн [2]. Тому покращення якості вугілля шляхом зменшення його зольності і вологості з одночасним зменшенням собівартості є актуальною задачею сьогодення.

Фільтраційне сушіння є одним із високоінтенсивних методів [3] та характеризується високим ступенем використання теплової енергії, виключає попереднє зневоднення дрібнодисперсного вугілля, суттєво інтенсифікує процес, зменшує забруднення довкілля та покращує умови праці обслуговувального персоналу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кінетику сушіння дисперсних матеріалів у зваженому шарі досліджено у [1, 4, 5], фільтраційним методом – у [6–8]. Однак у цих роботах досліджено кінетику періодичного процесу фільтраційного сушіння дрібнодисперсного вугілля, що для багатотоннажного виробництва збагачувальних фабрик є неприйнятним. Застосувати подані в цих роботах розрахункові залежності для проектування нового сушильного обладнання без додаткових експериментальних досліджень неможливо.

Залежність втрат напору у перфорованій перегородці від живого перерізу, фіктивної і дійсної швидкості в отворах перегородки подано в [9] у вигляді графічних залежностей $\Delta P = f(\omega_0)$, і $\Delta P = f(\omega)$, $\xi = f(\text{Re})$ для $S=1, 2, 3, 5, 10, 15\%$. Однак для застосування в інженерній практиці зручніше було б користуватися розрахунковими залежностями виду $\Delta P = f\left(S, \frac{\rho \cdot \omega_0^2}{2}\right)$.

Метою роботи є дослідження залежності втрат напору в шарі дрібнодисперсного вугілля залежно від його вологості і на основі узагальнень експериментальних досліджень отримати залежності для розрахунку основних конструктивних розмірів барабанної установки фільтраційного сушіння дрібнодисперсного вугілля після флотаційних процесів.

Відомо, що під час безперервного фільтраційного сушіння в робочій зоні одночасно знаходиться вологий матеріал, який надходить у зону сушіння, та сухий матеріал, який з неї виходить. Гідравлічний опір шару вологого і сухого матеріалу є різним внаслідок різної його пористості. У шарі вологого зернистого матеріалу частину вільного об'єму між частинками займає волога, яка у процесі сушіння видаляється, і при цьому вільний об'єм зростає, а гідравлічний опір зменшується. У такому випадку тепловий агент в основному буде фільтруватися крізь сухі ділянки матеріалу, що призведе до зростання загального часу сушіння і, як наслідок, до перевитрат теплової енергії і зменшення продуктивності сушильного обладнання.

Відомий метод вирівнювання швидкості фільтрування теплового агента вздовж зони сушіння, шляхом збільшення гідравлічного опору перфорованої перегородки в напрямку від входу вологого матеріалу до його виходу із зони сушіння [10].

Загальні втрати тиску в системі "шар матеріалу – перфорована перегородка" розраховують за формулою:

$$\Delta P_{\text{заг.}} = \Delta P_{\text{ш.}} + \Delta P_{\text{пер.}}, \quad (1)$$

де $\Delta P_{\text{заг.}}$, $\Delta P_{\text{ш.}}$, $\Delta P_{\text{пер.}}$ – відповідно загальні втрати тиску у вологому шарі і перфорованій перегородці, Па.

$$\Delta P, \text{ кПа}$$

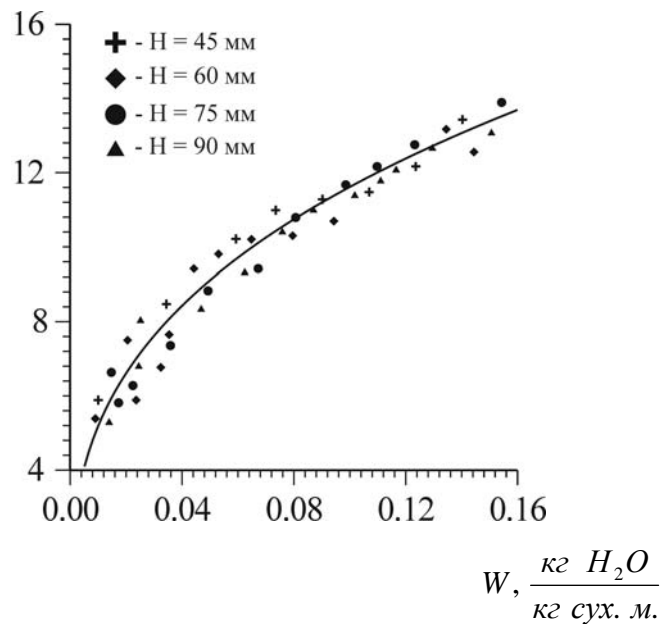


Рис. 1. Залежність втрат тиску від вологості шару вугілля фракції $(0,31 \div 0,63) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $H = 45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\Delta P_c = 5886 \text{ Па}$, $T = 318 \text{ К}$

На рис. 1 наведено результати експериментальних досліджень втрат тиску в шарі дрібнодисперсного вугілля залежно від його вологості. Ця залежність має нелінійний характер, що пояснюється зміною інтенсивності видалення вологи в процесі сушіння

Узагальненням цих результатів можна подати розрахункову залежність для визначення зміни втрат тиску в шарі дисперсного матеріалу у вигляді:

$$\Delta P_{ш.} = 26 \cdot 10^3 \cdot W^{0,35}, \text{ якщо } W > W_p \quad (2)$$

$$\Delta P_{ш.} = \Delta P_c, \text{ якщо } W = W_p, \quad (3)$$

де W , W_p – відповідно поточний і рівноважний вологовміст вугілля, $\frac{\text{кг } H_2O}{\text{кг сух. м.}}$.

За залежністю (2) можна розрахувати втрати тиску в шарі дисперсного матеріалу в межах $W_p \leq W \leq 0,14 \frac{\text{кг } H_2O}{\text{кг сух. м.}}$, тобто без врахування втрат тиску на етапі механічного витіснення і винесення вологи.

Втрати тиску у перфорованій перегородці у загальному випадку подають у вигляді:

$$\Delta P_{пер.} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (4)$$

де ξ – коефіцієнт опору перфорованої перегородки; ρ – густина теплового агента, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; ω – дійсна швидкість руху теплового агента крізь шар дисперсного матеріалу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

На рис. 2 наведено результати експериментальних досліджень втрат тиску від швидкісного напору для перфорованих перегородок з різними живими перерізами. Експериментальні дані задовільно апроксимуються лінійними залежностями.

$$\Delta P, \text{ Па}$$

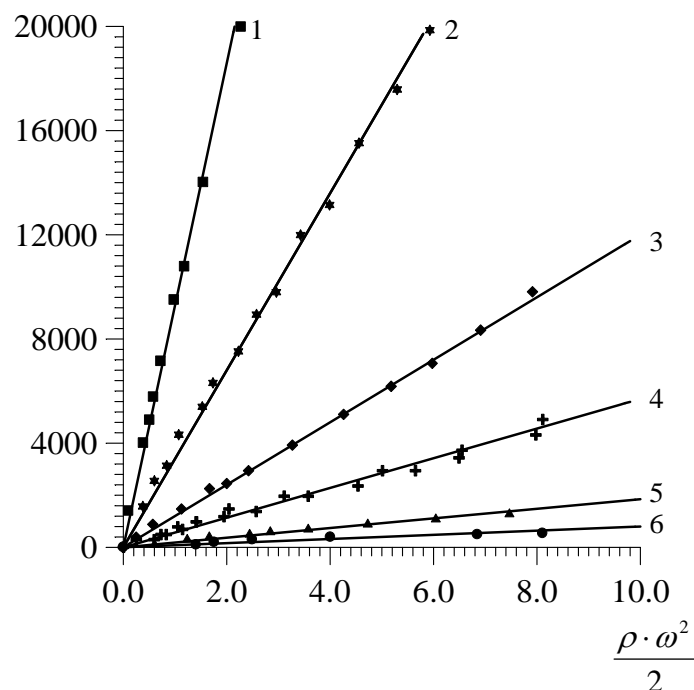


Рис. 2. Залежність втрат тиску від швидкісного напору і живого перерізу перфорованої перегородки:
1 – 1%, 2 – 2%, 3 – 3%, 4 – 5%, 5 – 10%, 6 – 15%

Втрати тиску в перфорованій перегородці (а отже, і коефіцієнт опору ξ) залежать від живого перерізу перегородки. На рис. 3 наведено цю залежність.

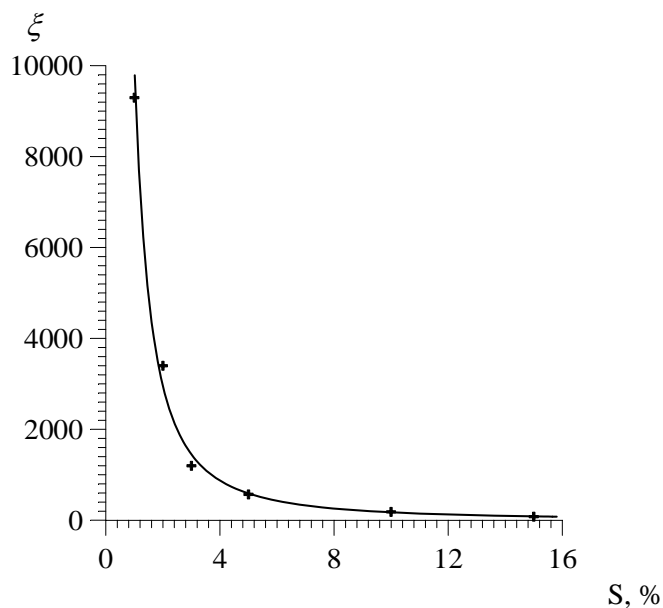


Рис. 3. Залежність коефіцієнта опору перфорованої перегородки від її живого перерізу

Узагальненням цих даних подамо втрати тиску у перфорованій перегородці у вигляді залежності:

$$\Delta P_{\text{пер.}} = 10^4 \cdot S^{-1.76} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (5)$$

звідки $\xi = 10^4 \cdot S^{-1,76}$.

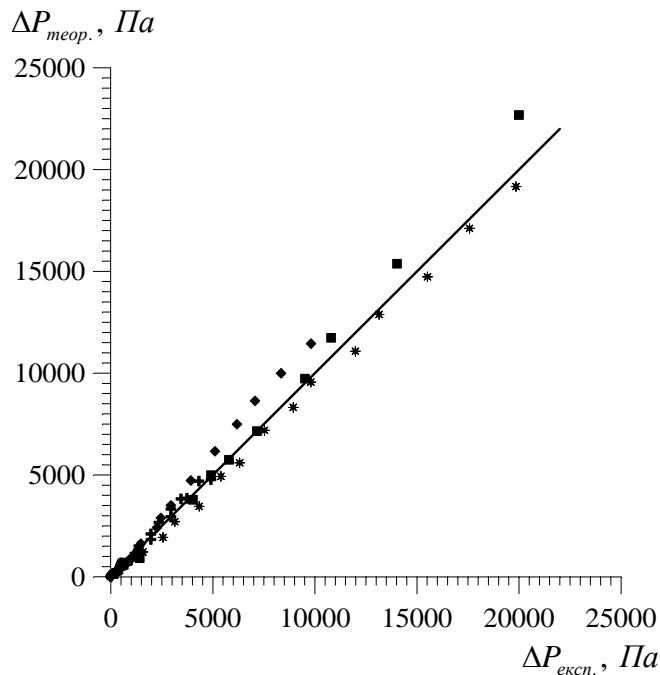


Рис. 4. Кореляційна залежність між розрахованими за формулою (5) та експериментальними значеннями втрат тиску

За залежністю (5) можна розрахувати втрати тиску у перфорованій перегородці, коли її живий переріз лежить в межах від 1% до 15% з достатньою для інженерних розрахунків точністю. На рис. 4 наведено кореляційну залежність між експериментальними і розрахованими за формулою (5) значеннями. Максимальна відносна похибка не перевищує 17,6 %, що є прийнятним для використання в інженерній практиці.

Для забезпечення однакової інтенсивності сушіння дисперсного матеріалу, вологість якого змінюється від максимального значення на вході у сушарку до мінімального на виході необхідно, щоби вздовж зони сушіння виконувалась умова $\Delta P_{заг.} = const$.

Тобто формулу (1) з врахуванням (2) і (5) можна записати у вигляді:

$$\Delta P_{заг.} = 26 \cdot 10^3 \cdot W^{0,35} + 10^4 \cdot S^{-1,76} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = const. \quad (6)$$

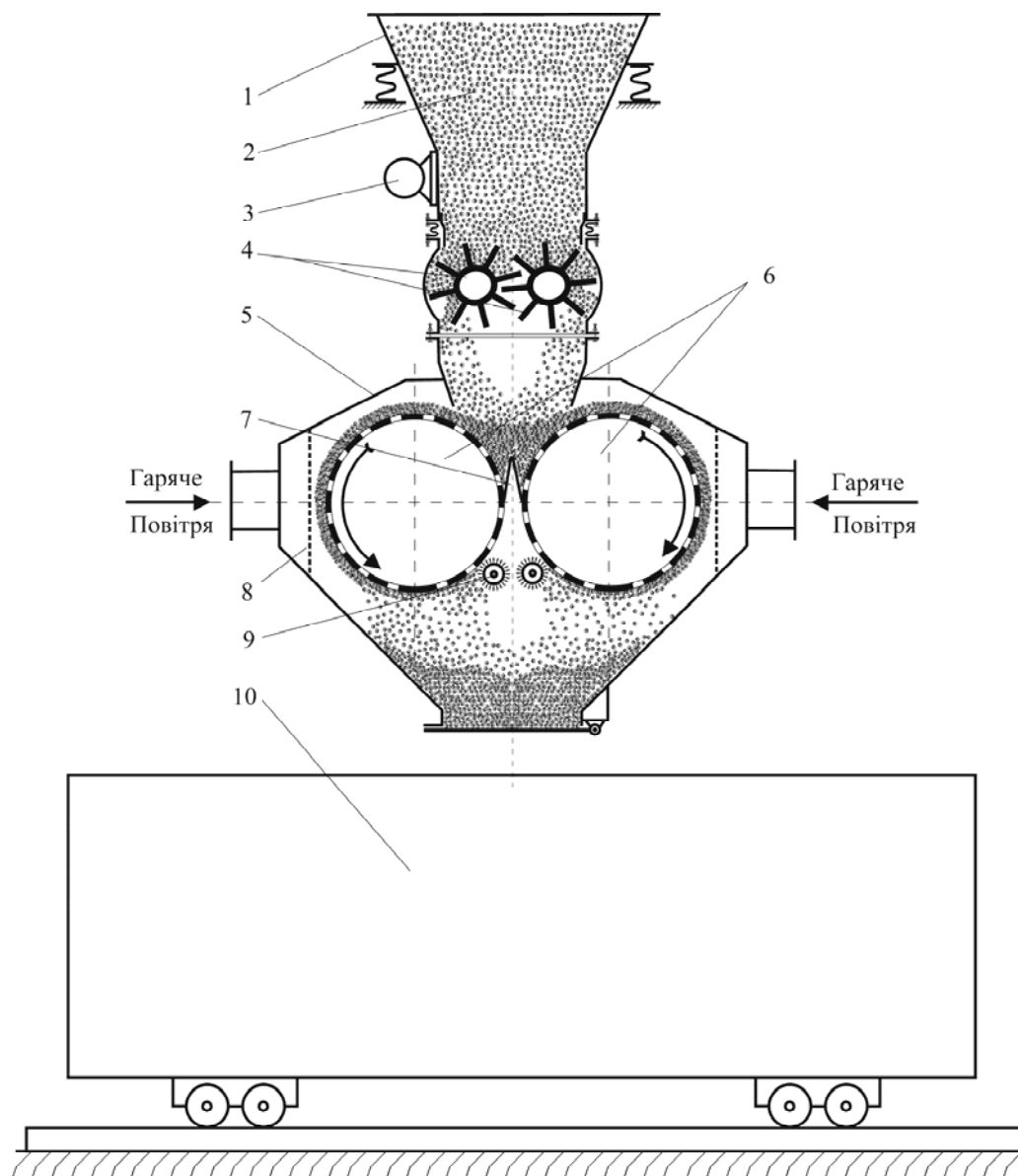


Рис. 5. Схема установки фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів:

- 1 – бункер, 2 – зернистий матеріал, 3 – вібратор, 4 – дозатор,
5 – сушильна камера, 6 – перфорований барабан, 7 – перегородка,
8 – сітка, 9 – щітка, 10 – вагонетка

За залежністю (6) можна розрахувати зміну живого перерізу перфорованої перегородки вздовж зони сушіння як для стрічкових сушарок, так і сушарок барабанного типу.

Для прикладу наведемо методику розрахунку основних конструктивних розмірів установки барабанного типу [11] для фільтраційного сушіння вологого дисперсного матеріалу, яка зображена на рис. 5.

Установка містить бункер 1, у який засипається вологий дисперсний матеріал 2, і на якому встановлено вібратор 3 і дозатор 4. Нижня частина бункера кріпиться до сушильної камери 5, у якій встановлюють перфоровані барабани 6. Перфоровані барабани розділені між собою перегородкою 7, а від системи подачі теплового агента – щільною металевою сіткою 8. На барабані 6 у зоні вивантаження сухого матеріалу встановлені щітки 9. Сухий матеріал вивантажується у вагонетку 10.

Принцип роботи є таким. Вмикають вібратор 3, подачу гарячого повітря, вакуум-лінію, обертання барабанів 6 і щіток 9. Вологий матеріал надходить у бункер 1 і за допомогою дозаторів 4 подається у сушильну камеру 5 на два перфорованих барабани 6, між якими встановлено перегородку 7 і які обертаються у протилежні боки. Перегородка 7 слугує для формування рівномірного шару дисперсного матеріалу. За рахунок розрідження вологий матеріал міцно притискується до перфорованої поверхні барабану і обертається разом з ним у напрямку, зображеному на рис. 5. Гаряче повітря подається у сушильну камеру через щільну металеву сітку 8, яка запобігає потраплянню дрібнодисперсної фракції до системи нагрівання і подачі теплового агента. Щітки 9 очищують перфоровану перегородку від частинок сухого матеріалу. Щоби запобігти зависанню вологого матеріалу внаслідок злежування або ущільнення та утворення так званої лійки, на бункері 1 встановлено вібратор 3. Амплітуду та частоту коливання бункера 1 встановлюють експериментальним шляхом залежно від вологості та адгезійних властивостей дисперсного матеріалу.

Щоби розрахувати конструктивні розміри сушильного барабана, спочатку визначають час сушіння вологого дисперсного матеріалу для заданих умов. Для цього необхідно задатися всіма технологічними параметрами процесу (висотою шару дисперсного матеріалу H , початковим W_0 , кінцевим W_k і критичним $W_{кр.}$ вологовмістом дисперсного матеріалу, температурою теплового агента T , перепадом тиску по сухому матеріалові ΔP_c).

1. Визначаємо час сушіння до кінцевого вологовмісту дрібнодисперсного вугілля в першому умовному та другому періодах за залежностями, які наведені в [7]:

$$\tau_I = \frac{1 - \frac{W}{W_0}}{2,5 \cdot 10^{-23} \cdot T^{6,13} \cdot \Delta P \cdot H^{-1} \cdot e^{-22,18 \cdot H}} \quad (7)$$

$$\tau_{II} = \tau_{кр.} + \frac{\ln\left(\frac{W_{кр.} - W_p}{W_k - W_p}\right)}{22,2 \cdot N} \quad (8)$$

де, $N = \frac{W_0 - W_{кр.}}{\tau_{кр.}}$, швидкість сушіння у першому умовному періоді, $\frac{\text{кг } H_2O}{\text{кг сух. м.} / \text{с}}$;

$\tau, \tau_I, \tau_{II}, \tau_{кр.}$ – час сушіння, відповідно загальний, в першому, другому періоді і до критичної вологості, с.

Враховуючи, що $\tau_{кр.} = \tau_I$ загальний час сушіння матеріалу до W_k дорівнює:

$$\tau = 2 \cdot \tau_I + \frac{\ln\left(\frac{W_{кр.} - W_p}{W_k - W_p}\right)}{22,2 \cdot N} \quad (9)$$

2. Задаються коловою швидкістю обертання барабана і визначають довжину зони сушіння.

3. Поверхню барабана розбивають на окремі сектори по $10 - 30^\circ$, живий переріз яких буде різним, щоби гідравлічний опір перегородки змінювався поволі. Чим більша кількість таких секторів, тим рівномірніше можна вирівняти швидкість фільтрування, тим менший час сушіння, але складніша конструкція барабана.

4. Крім зони сушіння в сушильній установці необхідно передбачити зону завантаження вологого матеріалу, зону вивантаження сухого матеріалу і зону обслуговування перфорованої поверхні, тобто очищення від частинок дисперсного матеріалу, які можуть залишитися в отворах і тим збільшувати її гідравлічний опір.

5. Виходячи із загальної довжини зони сушіння, визначають діаметр барабана.

6. На основі експериментальних даних будують графічну залежність $W = f(\ell)$ і визначають зміну вологості вздовж зони сушіння, а також середню вологість на кожному секторі.

7. Розраховують втрати тиску $\Delta P_{ш.}$ за формулою (2) на вході у зону сушіння і на кожному секторі.

8. Із залежності (1) з врахуванням (2) визначають необхідні втрати тиску у перфорованій перегородці на кожному секторі вздовж зони сушіння.

9. Із залежності (5) визначають живий переріз перфорованої перегородки кожного сектора вздовж зони сушіння.

У зоні завантаження вологого матеріалу втрати тиску у перфорованій перегородці повинні бути мінімальними, тому живий переріз має становити $S \geq 30\%$, а в зоні вивантаження сухого матеріалу перепад тисків дорівнюватиме нулю і відповідно $S = 0$.

Висновок. Узагальненням отриманих результатів комплексного дослідження гідродинаміки фільтрації теплового агента крізь шар дрібнодисперсного вугілля і перфоровану перегородку отримано розрахункові залежності, які дають змогу за відомими технологічними параметрами розрахувати основні конструктивні розміри установки фільтраційного сушіння. Вирівнюванням швидкості фільтрування вздовж зони сушіння можна уникнути втрат теплового агента крізь шар сухого матеріалу, підвищити ККД сушильної установки і отримати висушене дрібнодисперсне вугілля з рівномірною вологістю. Цю методику розрахунку можна також використати для сушіння інших дисперсних матеріалів. Для цього необхідно експериментально визначити залежність втрат напору у шарі дисперсного матеріалу залежно від його вологості, а також визначити оптимальні параметри процесу сушіння.

1. Хаджиогло А.В., Степаненко А.М. Сушка угля в кипящем слое. – М.: Металургия, 1971. – 208 с. 2. Синякевич Б.Г., Чернявский Н.В. Энергетический уголь Украины: соотношение цены и качества. Энергетика и электрификация. – №12. – 2004. – С.37–40. 3. Ханик Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов. – Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Львов, 1992. – 36 с. 4. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. М.: Наука, 1997. – 448с. 5. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. – М.: Химия, 1988. – 352 с. 6. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Вплив дисперсного складу вугілля на кінетику сушіння у щільному шарі // Науковий вісник УкрДЛТУ “Розробка сучасних технологій деревообробки”. – 2002. – Вип. 12.5. – С. 111–115. 7. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Особливості сушіння вугілля у щільному шарі. Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2003. – №48. – С. 195–200. 8. Кіндзера Д.П., Ханик Я.М., Атаманюк В.М. Сушіння полідисперсної суміші вугілля після флотації // Науковий вісник УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.1. – С. 43–48. 9. Атаманюк В.М. Гідродинаміка безперервного фільтраційного сушіння хімічного волокна // Вісник Нац. у-ту “Львівська політехніка”. – 2000. – №414. – С.175–178. 10. Атаманюк В.М. Гідродинаміка та масообмін в процесі фільтраційного сушіння хімічного волокна. Автореф. дис. ... канд.техн. наук. – Львів, 1995. – 17 с. 11. Деклараційний патент України №60587 А F26B3/03. Установка фільтраційного сушіння сипких матеріалів / В.М. Атаманюк, Я.М. Ханик, Д.П. Кіндзера, В.П. Дулеба / Опубл. 15.10.2003. Бюл. №10.

УДК 629.3.03:62-837:62-531.7

П.С. БЕРНИК, Р.В. ЧУБИК

Вінницький державний аграрний університет,
кафедра автоматизації та комплексної механізації технологічних процесів

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДЕБАЛАНСНОГО ПРИВОДУ РЕЗОНАНСНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ

© Берник П.С., Чубик Р.В., 2005