

Державний університет "Львівська політехніка"

Аль-Ашкар Ясер

УДК 66.047.45

*Фільтраційне сушіння дисперсних матеріалів в щільному шарі
при ІЧ-нагріванні*

05.17.08

Спеціальність 05.05.13 - машини та апарати хімічних виробництв

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів — 1997

66.02



00373800 (L)

Дисертація є рукописом
Робота виконана в Державному університеті "Львівська політехніка"

Міністерства освіти України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Ханик Ярослав Миколайович,
Державний університет "Львівська політехніка", професор кафедри хімічної інженерії та промислової екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Білей Петро Васильович, Український Державний Лісотехнічний Університет, завідувач кафедрою гідротермічної обробки дерев'яних та клеяних матеріалів;
кандидат технічних наук, доцент Топчій Вячеслав Іванович, Державний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки

Провідна установа: Інститут геології і геохімії горючих копалин, відділ проблем геотехнології горючих копалин, НАН України, м.Львів.

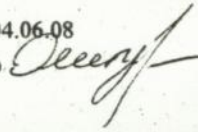
Захист відбудеться "19" грудня 1997 р. о 15⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.08 при Державному університеті "Львівська політехніка" за адресою 290646, Львів-13, пл.св.Юра, 3/4, аудиторія 339.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Державного університету "Львівська політехніка" (м.Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "15" листопада 1997 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради, Д 04.06.08

доктор хімічних наук, професор  Жизневський В.М.

ДБ 38.844

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з найважливіших стадій багатьох виробництв хімічної, нафтопереробної та інших галузей промисловості є процес сушіння, на реалізацію якого в багатьох випадках використовують понад 30% усіх енергетичних затрат на одержання готового продукту. Крім того, ступінь використання теплової енергії в традиційних методах дуже низький.

Фільтраційне сушіння зернистих матеріалів різної структурної модифікації при русі теплоносія в напрямку від поверхні шару до перфорованої перегородки практично не досліджувалось. Крім того, з метою інтенсифікації процесу, при вивченні кінетики фільтраційного сушіння зернистих матеріалів застосовувалося високоінтенсивне ІЧ-нагрівання, організоване безпосередньо в зоні процесу шляхом спалювання газу в ІЧ-випромінювачах з одночасним використанням продуктів згоряння.

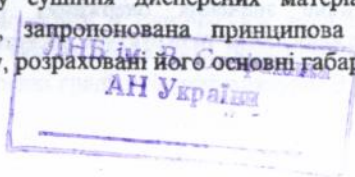
У зв'язку з сказаним, вивчення закономірностей протікання фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів різної структурної модифікації в щільному шарі з застосуванням ІЧ-нагрівання є актуальним як з точки зору інтенсифікації, так і з точки зору створення енергозбе-рігаючої технології.

Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри хімічної інженерії та промислової екології Державного університету "Львівська політехніка" з проблеми "Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології" згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти України, N держреєстрації 0194 U 029586.

Мета і задачі дослідження. Створення високоефективних малогабаритних сушарок; сушіння дисперсних матеріалів (суперфосфат, кварцовий пісок) в щільному шарі з ІЧ-нагріванням для зниження питомих енергетичних витрат на проведення процесу і усунення забруднення довкілля. Дослідження гідродинаміки та кінетики фільтраційного процесу сушки досліджуваних матеріалів для створення раніше вказаних агрегатів (сушарок).

Наукова новизна. Теоретично обгрунтовані та експериментально підтверджені основні кінетичні закономірності протікання фільтраційного процесу сушіння дисперсних матеріалів різної структурної модифікації і природи зв'язку з вологою в щільному шарі при ІЧ-нагріванні. Детально вивчені гідродинамічні і кінетичні характеристики фільтраційного сушіння шару піску та шару суперфосфату, визначені кінетичні коефіцієнти.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена методика розрахунку фільтраційного процесу сушіння дисперсних матеріалів в щільному шарі при ІЧ-нагріванні, запропонована принципова схема сушарки для реалізації даного методу, розраховані його основні габарити.



Одержані математичні залежності дають можливість прогнозувати протікання процесу сушіння і розраховувати основні кінетичні параметри сушіння.

Розроблена конструкція агрегату для фільтраційного сушіння піску в щільному шарі, яка передана для впровадження у виробництво на Львівське АТЗТ "Райдуга" (акт додається). Результати досліджень суперфосфату передані до Сумського науково-дослідного проектного інституту хімічної промисловості з метою створення промислової установки фільтраційного сушіння суперфосфату.

Особистий внесок здобувача. Автором роботи особисто проведені дослідження з гідродинаміки та кінетики сушіння суперфосфату та піску, зроблені узагальнення отриманих результатів, одержані розрахункові залежності, які прогнозують гідродинаміку та кінетику процесу. В опублікованих роботах внесок автора дисертації є основним.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались і обговорювались на IX Міжнародній конференції "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв" (Одеса, 1996), науковій конференції "Львівські хімічні читання" (Львів, 1997), науковій конференції до 150-річчя "Львівської політехніки" "Стан і перспективи розвитку хімічної науки та промисловості в Західному регіоні України" (Львів, 1994), на 49-ій науково-технічній конференції викладачів, аспірантів та співробітників Українського Державного лісотехнічного університету (Львів, 1997) та науково-технічних конференціях Державного університету "Львівська політехніка" (1994-1997).

Публікації. За матеріалами роботи опубліковано 5 статей у фахових журналах, одні тези доповіді на конференції.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури, додатків.

Матеріали дисертаційної роботи викладені на 146 стор. машинописного тексту, ілюстрації включають 70 рисунків та займають 41 стор. В бібліографії наведено 115 джерел на 2 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми сушіння дисперсних матеріалів різними методами та цінність фільтраційного способу при 14-нагріванні як ефективного методу, наведена мета роботи, наукова новизна, практичне значення одержаних результатів, апробація результатів досліджень, обсяг та структура дисертації.

В першому розділі наведений огляд літератури, в якому проаналізовані існуючі методи сушіння і апарати, в яких вони протікають, показано недоліки їх роботи. Приводиться критичний аналіз процесів сушіння дисперсних матеріалів в киплячому та стаціонарному шарах. Проаналізовано особливості та механізм протікання фільтраційного сушіння листових газопроникних матеріалів, обґрунтовано доцільність його застосування і при сушінні зернистих матеріалів в щільному шарі з одночасним його ІЧ-нагріванням. Аргументовано вибір об'єктів досліджень фільтраційного процесу сушіння зернистих матеріалів в щільному шарі, якими служать пісок та суперфосфат. Ці матеріали характеризуються високим ступенем поглинання енергії, але відрізняються один від одного структурою частинок; структура їхніх шарів також різна. Пісок - кристалічний продукт, який має, в основному, поверхневу вологу, частинки якого не володіють внутрішньою структурою та утворюють щільний шар зі значним гідравлічним опором. Частинки суперфосфату мають різну пористу структуру і характеризуються наявністю в них різних видів зв'язку вологи з матеріалом. Такий шар має чітко виражену з якісної та кількісної точки зору подвійну структуру шару і частинок. Останнє буде визначати закономірності протікання процесів сушіння. Проблема сушіння обох матеріалів є дуже актуальною.

На основі такого аналізу була поставлена мета та визначено завдання роботи.

Другий розділ розкриває закономірності фільтрації теплового агенту в процесі сушіння. Описана його фізична картина, в якій розглянуті механізм та особливості як фільтраційного масообміну, так і процесу сушіння ІЧ-променями.

При ІЧ-випромінюванні тепло, необхідне для випаровування вологи та нагрівання матеріалу передається проміневою енергією, яка всередині матеріалу переходить в теплову. Густина теплового потоку ІЧ-випромінювання дуже значна в порівнянні з конвективним сушінням. Однак, сушіння ІЧ-променями має суттєвий недолік, пов'язаний з явищем термічної дифузії, яка домінує над концентраційною. Отже, волога переміщається з поверхні матеріалу всередину.

Фільтраційний процес характеризується двома особливостями: примусовим рухом теплоносія та парів вологи під дією різниці тисків по обидва боки матеріалу та механічним витісненням вологи на початку процесу.

Комбінація фільтраційного способу сушіння з ІЧ-нагріванням дозволяє значно інтенсифікувати масообмін з одночасним зменшенням питомих енергетичних затрат. Такий процес може бути реалізований при періодичному або неперервному створенні градієнтів температури. В цьому

розділі описані методи дослідження гідродинаміки та кінетики процесу, наведена схема експериментальної установки, яка показана на рис. 1.

Згідно з методикою проведення процесу контейнер з сухим матеріалом різної товщини шару встановлювався в камеру сушіння 1. Під контейнером 1 з допомогою насоса 4 створювалося розрідження, з допомогою газових вентилів 7 та 8 змінювалась витрата повітря, яке профільтовувалося через сухий матеріал. Зміна перепаду тисків фіксувалась вакууметром 9. Вивчення гідродинамічних характеристик процесу сушіння (гідралічного опору шару, швидкості руху теплоносія) проводилось при нагріванні матеріалу ІЧ-променями, що випромінює газовий паливник 2.

В третьому розділі подані результати дослідження гідродинаміки шару матеріалу. Результати досліджень гідродинаміки шару кварцевого піску наведені на рис. 2 та 3.

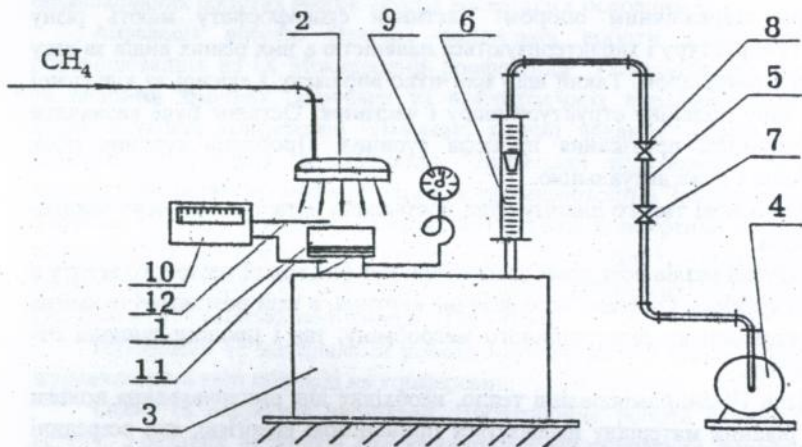


Рис. 1. Схема експериментальної установки. 1 -- камера сушіння; 2 -- газові ІЧ-паливники; 3 -- ресивер; 4 -- вакуум насос; 5 -- система трубопроводів; 6 -- ротаметр; 7, 8 -- газові вентиля; 9 -- вакууметр; 10 -- потенціометр; 11, 12 -- термопары.

Узагальнення результатів можна представити у вигляді розрахункових рівнянь в залежності від значення критерію Сліхтера. Нами встановлено, що чисельне значення критерія Sl дозволяє прогнозувати характер гідродинамічних кривих:

$$Sl = \frac{\omega \cdot \mu \cdot H}{\Delta P \cdot d^2} \quad (1)$$

Так, при $Sl \leq 2.5 \cdot 10^{-7}$ гідродинамічні криві мають параболічний характер та повернуті випуклістю до осі абсцис і описуються рівнянням:

$$\frac{\Delta P}{H \cdot \omega_0} = 394000 + 51000 \cdot \omega_0 - 10^6 \cdot H \cdot (3.3 + 1.7 \cdot \omega_0); \quad (2)$$

- при $3 \cdot 10^{-7} \geq Sl \geq 2.5 \cdot 10^{-7}$ гідродинамічні залежності мають лінійний характер і для їх опису використовували наступне рівняння:

$$\frac{\Delta P}{H \cdot \omega_0} = 394000 - 3.3 \cdot 10^6 \cdot H; \quad (3)$$

- при $Sl \geq 3 \cdot 10^{-7}$ гідродинамічні криві повернуті випуклістю до осі ординат та описуються рівнянням:

$$\Delta P^2 = P_2^2 - P_1^2 = \frac{2 \cdot \mu \cdot A \cdot H \cdot G}{\rho_1 \cdot F \cdot K_1} = A \cdot G; \quad E = \frac{2 \cdot \mu \cdot A \cdot H}{\rho_1 \cdot F \cdot K_1} \quad (4)$$

На основі експериментальних даних отримано рівняння, яке має вигляд:

$$\Delta P^2 = P_2^2 - P_1^2 = (2.2 \cdot 10^{13} \cdot H + 20 \cdot 10^{10}) \cdot G, \quad (5)$$

де: ΔP - гідравлічний опір матеріалу, Па; H - товщина шару сухого матеріалу, м; ω_0 - фіктивна швидкість фільтрації, м/с; G - масова витрата газу, кг/с; μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; F - поверхня фільтрації, м²; K_1 - коефіцієнт проникності, м²; ρ - густина газу над матеріалом, кг/м³.

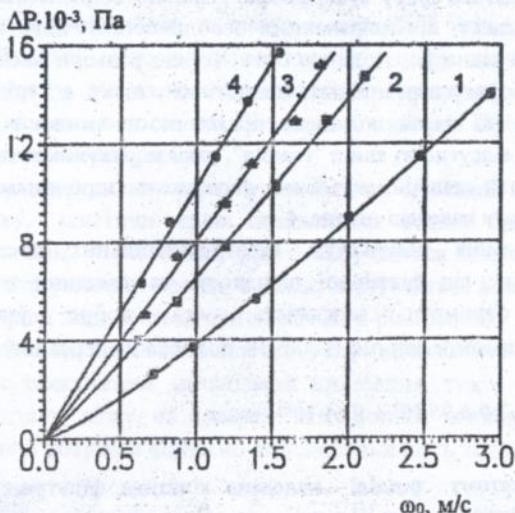


Рис. 2. Залежності гідравлічного опору шару сухого піску від швидкості фільтрації теплоносія при температурі 293 К та висотах: 1 - $H=10$; 2 - $H=20$; 3 - $H=30$; 4 - $H=40 \cdot 10^{-3}$ м

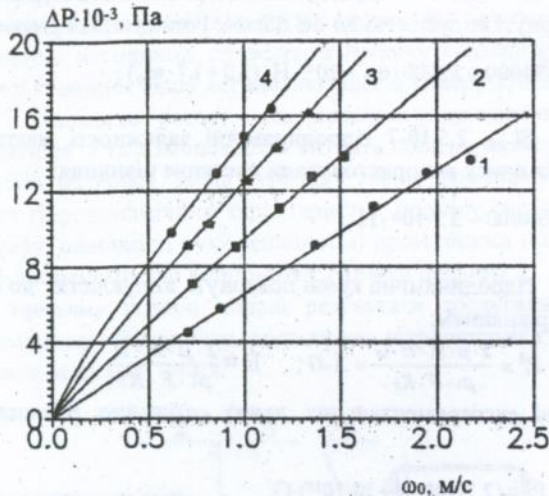


Рис. 3. Залежності гідравлічного опору сухого піску від швидкості фільтрації теплоносія при висотах:
 1 - $H=10$; 2 - $H=20$; 3 - $H=30$; 4 - $H=40 \cdot 10^{-3}$ м
 Фракція $0.1+0.2 \cdot 10^{-3}$ м; $t=293$ К.

Гідродинаміка шару суперфосфату значно відрізняється від гідродинаміки шару піску, що пояснюється особливостями його структури, до яких потрібно віднести, з одного боку, те, що розміри наскрізних каналів шару суперфосфату перевищують аналогічні у піску, а з іншого боку, шар суперфосфату, на відміну від піску, практично не змінює вільного об'єму, як за рахунок відсутності явищ "усадки", так і за рахунок зміни вологості.

Результати експериментальних досліджень гідродинаміки сухого шару суперфосфату наведені на рис. 4.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень зміни перепаду тиску від фіктивної швидкості та товщини шару матеріалу дозволило отримати залежність, яка добре узгоджується з експериментальними даними (відносна похибка не перевищує $10 \pm 12\%$):

$$\Delta P / (H \cdot \omega_0) = 6.95 \cdot 10^7 + 9.61 \cdot 10^{10} \cdot \omega_0. \quad (6)$$

В четвертому розділі наведена кінетика фільтраційного сушіння об'єктів дослідження при ІЧ-нагріванні. Описані теоретичні основи процесу та показані результати дослідів.

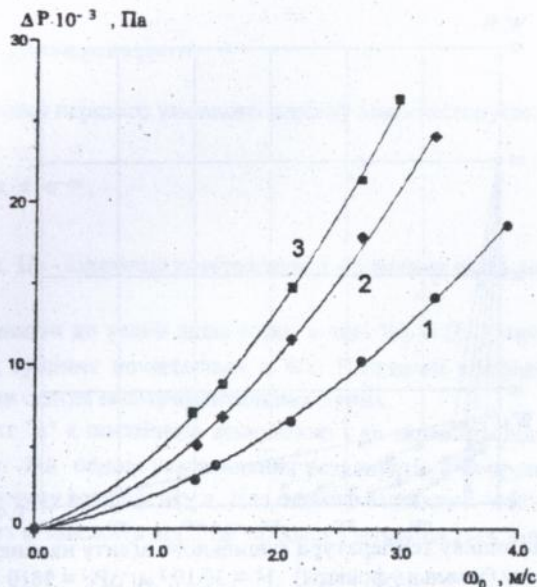


Рис. 4. Гідродинаміка сухого шару суперфосфату при висотах:
 1 -- $H=10 \cdot 10^{-3}$ м; 2 -- $H=20 \cdot 10^{-3}$ м; 3 -- $H=30 \cdot 10^{-3}$ м.
 $t = 293$ К.

Дослідження проводились на експериментальній установці, зображеній на рис.1. Вологий матеріал різної товщини шару завантажувався на перфоровану ґратку, під якою створювалось розрідження, а нагрівання здійснювалось газовим пальником ІЧ-випромінювання. Профільтрування шару проводилось безперервно.

Результати дослідження при сушінні піску наведені на рис. 5. Як видно з рисунку, кінетичні криві складаються з двох прямих ділянок: механічне витіснення, в результаті якого вилучається більше 80 % всієї вологи та перший умовний період, в якому вилучається волога, яка залишилась. Цей період закінчується при досягненні рівноважної вологості матеріалу (0.5 %). Значне зниження вологості в періоді механічного витіснення пояснюється як ефективним механізмом винесення, так і кристалічною структурою частинок піску, на поверхні яких волога зв'язана механічно, і для вилучення якої потрібна відносно незначна кількість теплової енергії.

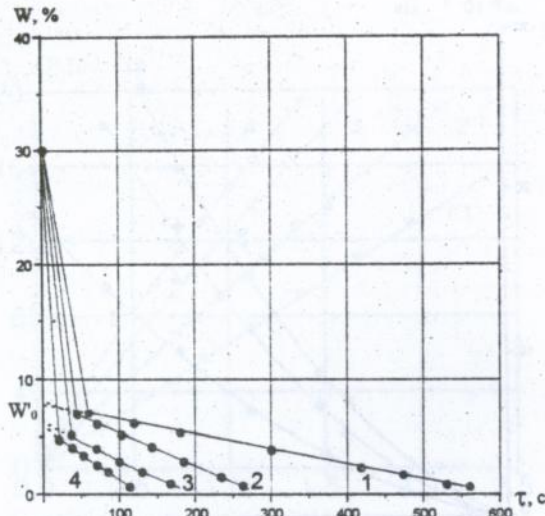


Рис. 5. Криві впливу температури сушильного агента на кінетику сушіння піску (загальна фракція). $H = 30 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta P_C = 9810$ Па; 1 -- $t = 313$ К; 2 -- $t = 333$ К; 3 -- $t = 353$ К; 4 -- $t = 373$ К.

Узагальнення результатів дослідження кінетики сушіння піску подано відповідною математичною моделлю, яка ґрунтується на розв'язку системи диференціальних рівнянь кінетики сушіння та матеріального балансу в шарі.

Механічне витіснення розглядається окремо і може бути подано у вигляді рівняння:

$$W = W_0 - K_0 \tau, \quad (7)$$

$$K_0 = \text{const} = 0.44 \%/\text{с},$$

до досягнення вологості: $W \geq W_0$,

де: W , W_0 , W_0 - біжуча, початкова і початкова умовна вологість, %; K_0 - коефіцієнт, рівний тангенсу кута нахилу прямої; τ - час сушіння, с.

В зв'язку з тим, що $W_{\text{кр}}$ (критична вологість, яка відповідає переходу періоду механічного витіснення в період безпосередньо фільтраційного сушіння) залежить від параметрів процесу, а визначення її ускладнене, тому за початкову вологість умовно прийнята вологість W_0 , яку визначають шляхом перетину кінетичної кривої з віссю ординат. Отже, W_0 також залежить від гідродинамічних та теплових параметрів та визначається на основі експериментальних даних і описується залежністю:

$$W_0 = 680 \cdot \Delta P^{0.166} \cdot t^{-0.573} \cdot H^{0.176} \quad (8)$$

Для описання першого умовного періоду використовуємо рівняння:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-\alpha z} \quad (9)$$

де: α , $1/m$; α , $1/c$ - кінетичні коефіцієнти; z - товщина шару матеріалу, m .

Не приймаючи до уваги деякі зсуви в часі $W_0 = f(\tau_0)$, приймаємо, що перший період сушіння починається з W_0 . Кінетичні коефіцієнти "а" і α визначаються на основі експериментальних даних.

Коефіцієнт "а" є постійною величиною і не залежить від параметрів (ΔP і t) процесу. На основі узагальнення результатів в координатах $\lg y - z$ визначено величину коефіцієнту а. Для нашого випадку $a=45.6 \text{ м}^{-1}$.

Коефіцієнт α залежить від t , ΔP процесу і визначається залежністю:

$$\alpha = A \cdot t^a \cdot \Delta P^b \quad (10)$$

де: A - коефіцієнт; t - температура теплоносія, $^{\circ}\text{C}$; ΔP_c - величина перепаду тиску, встановлена для сухого матеріалу, Па .

Узагальнення результатів дослідження дозволило одержати рівняння для розрахунку α :

$$\alpha = 8.5 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta P^{0.43} \cdot t^{1.86} \quad (11)$$

Таким чином, кінетичне рівняння, яке описує зміну вологості в першому умовному періоді буде мати вигляд:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-45.6z} \quad (12)$$

Рівняння (5) та рівняння (10) з врахуванням рівнянь (6) та (9) дають можливість прогнозувати кінетику сушіння в широкому інтервалі зміни параметрів і добре узгоджуються з дослідними даними (відносна похибка не перевищує 10 %).

Аналогічні дослідження проводились при вивченні кінетики сушіння суперфосфату. Результати цих досліджень наведені на рис. 6. Кінетичні криві показують, що на відміну від піску, сушіння проходить в

основному в другому періоді. Це пов'язано з тим, що частинки суперфосфату мають пористу структуру з наявністю як капілярної, так і

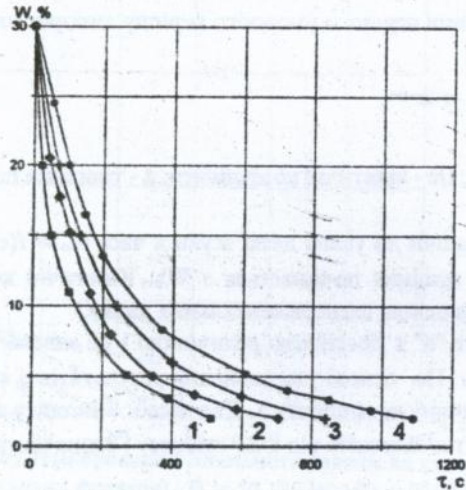


Рис. 6. Вплив зміни температури на кінетику сушіння суперфосфату.

$$\Delta P_c = 3430 \text{ Па}; H = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

1 -- $t = 393 \text{ К}$; 2 -- $t = 363 \text{ К}$; 3 -- $t = 343 \text{ К}$; 4 -- $t = 323 \text{ К}$.

осмотичної та адсорбційно зв'язаної вологи. Для випаровування цієї вологи необхідно затратити більше енергії, ніж при сушінні піску, що приводить до росту тривалості часу сушіння.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень кінетики сушіння суперфосфату подані рівняннями кривої сушіння в другому періоді.

$$-\frac{dW}{d\tau} = K(W - W_p). \quad (13)$$

Після інтегрування рівняння має вигляд:

$$\frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = e^{-2.3K\tau}, \quad (14)$$

де: W , W_0 , W_p - відповідно значення біжучої, початкової та рівноважної вологості, %; K - коефіцієнт сушіння, $1/c$; t - час сушіння, c .

Коефіцієнт сушіння залежить від параметрів процесу та визначається з допомогою емпіричної залежності:

$$K = A_0 \cdot \Delta P^m \cdot t^n \cdot H^l, \quad (15)$$

де: A_0 - коефіцієнт; ΔP - величина перепаду тиску, встановлена для сухого матеріалу, Па; t - температура профільтовування, $^{\circ}\text{C}$; H - товщина шару, м.

Для суперфосфату рівняння (6) за експериментальними даними буде мати вигляд:

$$K = 8.21 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta P^{0.946} \cdot t^{0.75} \cdot H^{-1.23}. \quad (16)$$

Тоді, кінетичне рівняння сушіння суперфосфату (15) може бути представлено у вигляді:

$$\frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = \exp(-8.21 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta P^{0.946} \cdot t^{0.75} \cdot H^{-1.23} \cdot \tau). \quad (17)$$

Дане рівняння дозволяє прогнозувати процес кінетики сушіння суперфосфату.

П'ятий розділ включає розробку, на основі результатів дослідження, конструкції дослідно-промислової установки та методику її розрахунку.

Схематичне зображення установки для сушіння суперфосфату, піску та інших дисперсних матеріалів представлено на рис. 7.

Сушарка складається з перфорованої гумової стрічки 1, поверхня якої покрита металевою сіткою, привідного та натяжного барабанів 2 і 3, з допомогою яких здійснюється рух стрічки; камер розрідження 4,5,6 для забезпечення фільтрування теплоносія через шар матеріалу; пристосування для завантаження та вивантаження матеріалу 7 та 8; камери запалювання газу 9.

Вологий матеріал 10 подається на гумову стрічку з металевою сіткою. Сформований шар піску поступає в зону сушіння, піддається ІЧ-нагріванню. Одночасно, внаслідок створення розрідження різної величини в камерах 4,5,6 в зоні сушіння здійснюється фільтрація теплоносія через шар матеріалу з винесенням вологи. При змінюваному перепаді тисків вирівнюється швидкість фільтрації теплоносія і, відповідно, швидкість сушіння матеріалу по всій зоні.

В цьому розділі також наведені порівняльні результати досліджень фільтраційного процесу сушіння досліджуваних матеріалів та інших методів сушіння. Результати показують, що різниця в часі між фільтраційним та іншими методами сушіння дозволяє знизити енергетичні затрати і визна-

чає степінь інтенсифікації фільтраційного сушіння при ІЧ-нагріванні, знизити втрати тепла та зменшити викиди продуктів спалювання палива (CO_2 та інші гази) в оточуюче середовище в порівнянні з іншими методами. Результати зведені в таблиці 1 та 2.

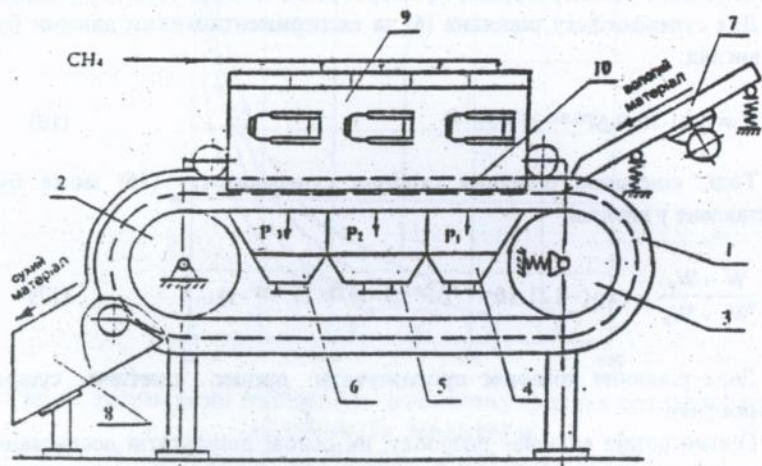


Рис. 7. Схема дослідно-промислової установки. 1 – перфорована гумова стрічка; 2,3 – привідний та натяжний барабани; 4,5,6 – камери розрідження; 7,8 – пристосування для завантаження та вивантаження матеріалу; 9 – камери запалювання газу; 10 – вологий матеріал.

Таблиця 1.

Порівняння результатів досліджень кінетики сушіння кварцового піску різними методами

№	Фільтраційне сушіння з ІЧ нагріванням				Конвективне сушіння				Порівняльні показники	
	t_1 , К	ω_1 , м/с	τ_1 , с	Q_{01} , Дж/кг	t_2 , К	ω_2 , м/с	τ_2 , с	Q_{02} , Дж/кг	$\frac{\tau_2}{\tau_1}$	$\frac{Q_{02}}{Q_{01}}$
1	333	0.9	590	$1.5 \cdot 10^6$	373	0.9	2300	$10 \cdot 10^6$	4	7
2	333	1.2	390	$1.3 \cdot 10^6$	373	1.2	1800	$11 \cdot 10^6$	5	8
3	333	2.2	320	$1.9 \cdot 10^6$	373	0.5	5350	$13 \cdot 10^6$	--	--
4	373	3.2	120	$1.9 \cdot 10^6$	353	0.5	3300	$7 \cdot 10^6$	--	--

Таблиця 2.

Порівняння результатів досліджень кінетики сушіння суперфосфату різними методами

№	Фільтраційне сушіння з ІЧ-нагріванням					Конвективне сушіння					Порівняльні показники		
	T ₁ , К	ω ₁ , м/с	τ ₁ , с	Q ₀₁ , Дж/кг	V _{1CO₂} , м ³ CO ₂ /кг в'язг	T ₂ , К	ω ₂ , м/с	τ ₂ , с	Q ₀₂ , Дж/кг	V _{2CO₂} , м ³ CO ₂ /кг в'язг	τ ₂ /τ ₁	Q ₀₂ /Q ₀₁	V _{2CO₂} /V _{1CO₂}
1	393		320	8.15·10 ⁶	0.23						14	3	4
2	363	2	420	7.2·10 ⁶	0.2	1073	2	4500	2.7·10 ⁷	0.784	11	4	4
3	343		550	7.0·10 ⁶	0.12						8	4	7

ВИСНОВКИ

1. Створені нові високопродуктивні сушильні агрегати з високоефективним використанням теплової енергії, розроблено новий підхід при сушінні зернистих матеріалів різної структурної модифікації фільтраційним методом в щільному шарі зі складним підводом тепла, який дозволяє значно інтенсифікувати процес, знизити енергетичні затрати і створити нові високопродуктивні сушильні агрегати з високоефективним використанням теплової енергії, які виключають попадання твердих частинок в навколишнє середовище.

2. Фільтраційний метод сушіння піску та суперфосфату в щільному шарі при складному підводі тепла дозволяє інтенсифікувати процес сушіння в порівнянні з конвективним методом в 10-30 разів при одночасному зниженні питомих енергетичних затрат в 7+8 разів для піску та 3+4 разів для суперфосфату.

3. Одержані гідродинамічні залежності фільтраційного процесу сушіння піску, які показують, що їхні характеристики змінюються в залежності від зміни критерія Сліхтора, а також гідродинамічні характеристики фільтраційного процесу сушіння суперфосфату.

4. Одержані кінетичні залежності фільтраційного сушіння піску і суперфосфату доводять залежність механізму процесу від структури шару і структурних модифікацій окремих його частинок, які необхідні для розрахунку часу сушіння і енергетичних затрат.

5. Розроблені математичні моделі процесу сушіння піску і суперфосфату і виконані перевірки їх адекватності.

6. Створена методика розрахунку сушильних агрегатів і запропонована конструкція установки для сушіння піску. Матеріали передані для впровадження на Львівському виробничому об'єднанні "Райдуга" та до Сумського науково-дослідного інституту Хімічної промисловості.

Основний зміст дисертаційної роботи викладений в наступних публікаціях:

1. Ханик Я.М., Аль-Ашкар Ясер. Гідродинаміка фільтраційного процесу сушіння піску // Хімічна промисловість України. -1996.-№6.-С.33-37.
2. Ханик Я.М., Аль-Ашкар Ясер. Кінетика процесу фільтраційного сушіння піску в щільному шарі при ІЧ-нагріванні // Хімічна промисловість України.-1997.-№2 - С.22-25.
3. Аль-Ашкар Ясер. Ханик Я.М. Гідродинаміка і кінетика фільтраційного сушіння гранульованого суперфосфату // Хімічна промисловість України.-1997.-№2.-С.20-22.
4. Ханик Я.М., Аль-Ашкар Ясер, Петрушка І.М. Гідродинаміка фільтраційного процесу сушіння піску // Вісник ДУ "Львівська політехніка". - 1997. - № 316. - С.157-158.
5. Ханик Я.М., Аль-Ашкар Ясер. Особливості сушіння дисперсних матеріалів у суцільному шарі // Збірник наукових праць, "Львівські хімічні читання". - Львів. - 1997. - С.196.
6. Ханик Я.М., Аль-Ашкар Ясер, Петрушка І.М. Гідродинаміка фільтраційного сушіння // Тези доповідей ІХ міжнар.конф. "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв". - Одеса. - 1996. - С.16.

Аль-Ашкар Ясер. Фільтраційне сушіння дисперсних матеріалів при ІЧ-нагріванні.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.13 - машини та апарати хімічних виробництв. Державний університет "Львівська політехніка". - Львів, 1997.

Дисертація присвячена питанням теоретичних та експериментальних досліджень процесу фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів при ІЧ-нагріванні. Наведені методики досліджень гідродинаміки та кінетики сушіння матеріалів. Представлені результати досліджень та встановлені розрахункові залежності для прогнозування як гідродинаміки сухого та вологого шару, так і кінетики процесу. Запропоновано конструкцію і метод розрахунку сушарки неперервної дії для реалізації даного методу і наведено порівняльну характеристику фільтраційного методу сушіння з іншими методами.

Ключові слова: фільтраційне сушіння, ІЧ-нагрівання, гідродинаміка, кінетика процесу сушіння.

Аль-Ашкар Ясер. Фильтрационная сушка дисперсных материалов при ИК-нагревании. -Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.13 - машины и аппараты химических производств. Государственный университет "Львовская политехника".-Львов, 1997.

Диссертация посвящена вопросам теоретических и экспериментальных исследований процесса фильтрационной сушки дисперсных материалов при ИК-нагревании. Приведены методики исследований гидродинамики и кинетики сушки материалов. Представлены результаты исследований и установлены расчетные зависимости для прогнозирования как гидродинамики сухого и влажного слоя, так и кинетики процесса. Предложена конструкция и метод расчета сушилки непрерывного действия для реализации данного метода и приведена сравнительная характеристика фильтрационного метода сушки с другими методами.

Ключевые слова: фильтрационная сушка, ИК-нагревание, гидродинамика, кинетика процесса сушки.

Al-Ashkar Yaser. Filtrational Drying of Disperse Materials Under IR-Heating.-Manuscript. The dissertation for Doctor of Philosophy in technical sciences with the specialization 05.05.13 -- Machines and Apparatus of Chemical Industry.-State University "Lvivska polytechnica".-Lviv, 1997.

The dissertation is devoted to the theoretical and experimental investigations of the infrared drying of disperse materials. The experimental results are presented and the computation dependencies for predicting both the hydrodynamics of the dry and wet layers and the process kinetics are established. The design and method of calculating a continuous drier are proposed for the realization of the given method and the comparative characteristics of the filtration drying technique with other methods are given.

Key words: Filtrational Drying, Infrared-Heating, Hydrodynamics, Drying Process Kinetics.

100

Підписано до друку 04.11.97 р. Формат 60х84/16
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 1.0. Тираж 100. Зам 783.
Друк ПТУ № 58. 290008, Львів, вул. Ів. Федорова, 9.

AB 38.877