

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"**

на правах рукопису

**БІЛЕЦЬКА**  
**ЛЮБОВ ЗЕНОНІВНА**

УДК 66.047.45

**КОМБІНОВАНЕ ФІЛЬТРАЦІЙНЕ СУШННЯ ЛИСТОВИХ**  
**КАПЛЯРНО-ПОРИСТИХ КОЛОЇДНИХ МАТЕРІАЛІВ**

05.17.08 - процеси, машини та апарати хімічних  
та нафтопереробних виробництв

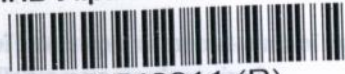
**А в т о р е ф е р а т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Львів - 1996**

10.36.330

Д

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00743911 (P)

Робота виконана на кафедрі  
Державного університету

Науковий керівник –

доктор технічних наук, професор  
ХАНИК Ярослав Миколайович

Офіційні опоненти –

доктор технічних наук, професор  
МАЛЕЖИК Іван Федорович

доктор технічних наук, професор  
БІЛЕЙ Петро Васильович

Провідна установа –

ВАТ "Інститут ГІРХІМПРОМ",  
м.Львів

Захист відбудеться " 17 " січня 1996р. о 15<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.08 при Державному університеті "Львівська політехніка" за адресою: 290646, Львів-13, пл. Св.Юра 3/4, корпус 8, ауд. 339.

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

Автореферат розіслано " 4 " грудня 1996р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 04.06.08  
доктор хімічних наук, професор

В.М.Жизневський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Важливою стадією виробництва багатьох продуктів хімічної та нафтопереробної промисловості є складний тепломасообмінний процес сушіння, який споживає до 30% всіх енергетичних витрат на одержання готового продукту і характеризується низьким коефіцієнтом використання теплової енергії.

Традиційні методи сушіння – конвективний, кондуктивний, струмами високої частоти та інші – не дозволяють досягнути високих показників ефективності процесу через обмежені можливості інтенсифікації зовнішнього та внутрішнього тепломасообміну. Вони вимагають також значних питомих енергетичних затрат, що приводить до зростання собівартості продукту та має негативний вплив на навколишнє середовище.

Застосування нових методів сушіння дозволяє деякою мірою інтенсифікувати процес, зменшити питомі енергетичні затрати, зменшити металоємність та розв'язати багато екологічних проблем. До таких методів належить фільтраційне сушіння, в якому конвективне підведення тепла до зовнішньої поверхні матеріалу замінюється підведенням теплоносія до внутрішньої поверхні пористої структури об'єкту. Поверхнею тепломасообміну виступає поверхня всіх каналів та капілярів твердого скелету висушуваного матеріалу.

В той же час нагрівання теплоносія (повітря), яке здійснюється за допомогою обладнання з низьким к.к.д., веде до значних перевитрат паливо-енергетичних ресурсів.

Поєднання інфрачервоного нагріву (ІЧ-нагріву) з фільтраційним процесом сушіння - комбінований метод – дозволяє значно інтенсифікувати сушіння в порівнянні з конвективним та фільтраційним методами. Однак цей процес не досліджувався, тому вивчення закономірностей комбінованого фільтраційного процесу сушіння є актуальним як з точки зору створення енергозберігаючих, високоінтенсивних технологій, так і з екологічної точки зору.

Дисертаційна робота виконувалась згідно плану науково-дослідної роботи кафедри хімічної інженерії та промислової екології Державного університету "Львівська політехніка" з проблеми "Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології" у відповідності з науково-технічною програмою Міністерства освіти України (№ держреєстрації 0194U029586).

**Мета роботи.** Інтенсифікація процесів сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів комбінованим методом (поєднанням фільтраційного методу з ІЧ-нагрівом) і створення високоефективних малогабаритних сушильних агрегатів з ефективним використанням теплової енергії.

**Об'єкти досліджень.** При комбінованому фільтраційному сушінні об'єктами досліджень є капілярно-пористі колоїдні матеріали різної структурної модифікації (азбестові тканини, листові азбести, целюлоза та інші).

Дані матеріали мають високу ступінь поглинання ІЧ-випромінювання і характеризуються великою енергією зв'язку вологи з матеріалом та низькою фільтраційною здатністю. При звичайному фільтраційному сушінні процес є тривалим та вимагає значних енергетичних витрат на створення перепаду тисків, характеризується низькою інтенсивністю підведення тепла до матеріалу, причиною якої є значний гідравлічний опір шару. Проблема сушіння таких матеріалів є дуже актуальною.

**Наукова новизна.** Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено основні закономірності протікання безперервного і періодичного комбінованих фільтраційних процесів і їх переваги перед звичайним фільтраційним та ІЧ-сушінням. Вивчено гідродинамічні та кінетичні характеристики комбінованого сушіння. Визначено кінетичні коефіцієнти для різних матеріалів та розроблена математична модель процесу.

**Практична цінність роботи.** На основі отриманих теоретичних і експериментальних досліджень створено методичку розрахунку комбінованого фільтраційного процесу сушіння, розроблена принципова схема сушильного агрегату для реалізації запатентованого способу сушіння, розраховані основні габаритні розміри. Отримані математичні залежності дозволяють прогнозувати та розраховувати процес, визначати оптимальні умови сушіння. На основі результатів досліджень розроблена конструкція агрегату для комбінованого фільтраційного сушіння, яка передана на ВАТ "Львівкартонопласт" та ВАТ "Світанок" для впровадження у виробництво.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на міжнародних конференціях: XV Ogólnopolska konferencja naukowa inżynierii chemicznej i procesowej (Польща, м.Гданьск, 1995), Тепломассообмен ММФ-96 (м. Мінськ, 1996), "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв" (м.Одеса, 1996) та на науково-технічних конференціях Державного університету "Львівська політехніка" (1994 – 1996р).

**Публікації результатів досліджень.** Основні результати досліджень викладено в трьох статтях та в трьох тезах доповідей на наукових конференціях, отримано патент України №10879а.

**Основні положення, що виносяться на захист:**

- результати досліджень гідродинаміки матеріалів нерівномірної структури;
- результати досліджень кінетики безперервного комбінованого фільтраційного сушіння матеріалів різної структурної модифікації;
- результати дослідження кінетики періодичного комбінованого фільтраційного сушіння;
- розрахункові залежності по гідродинаміці і кінетиці процесу;
- обґрунтування доцільності застосування комбінованого сушіння;
- розрахункові залежності визначення оптимальних параметрів процесу;
- методика розрахунку сушарок;
- конструктивна схема сушильного агрегату.

**Обсяг та структура дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку цитованої літератури та додатків.

Матеріали дисертаційної роботи викладені на 132 сторінках машинописного тексту. Ілюстрації включають 32 рисунки. В бібліографії приведено 125 джерел. Додатки складають 20 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми сушіння листових капілярно пористих колоїдних матеріалів та доцільність застосування комбінованого методу сушіння, мета роботи, наукова новизна та практична цінність. Наведено основну інформацію про апробацію роботи, публікації, структуру та основні положення, що виносяться на захист.

В першому розділі викладено огляд літератури, що стосується різних методів сушіння газопроникних матеріалів, закономірностей протікання конвективного, кондуктивного, конвективно-кондуктивного та комбінованих методів сушіння, показано їх недоліки і шляхи інтенсифікації. Приведений аналіз механізму сушіння як за допомогою ІЧ-випромінювання, так і фільтраційного сушіння. Вказано на проблеми, які виникають при сушінні газопроникних матеріалів різної товщини, що зумовлені різною внутрішньою будовою пористої структури матеріалу. На

основі такого аналізу визначена мета досліджень комбінованого фільтраційного сушіння.

**Другий розділ** розкриває фізичні основи процесу комбінованого фільтраційного сушіння листових капілярно-пористих колоїдних матеріалів. Детально описана фізична картина процесу сушіння об'єктів як за допомогою ІЧ-променів, так і особливості протікання фільтраційного сушіння без ІЧ-нагріву. Показано, від яких факторів залежить ефективність радіаційного сушіння об'єктів досліджень.

При попаданні ІЧ-променів на матеріал випромінювання проникає всередину матеріалу, перетворюючись в теплову енергію. Густина теплового потоку ІЧ-випромінювання в десятки раз перевищує відповідну складову конвективного сушіння.

Однак саме ІЧ-сушіння як процес має суттєві недоліки, пов'язані з зміною поглинальної здатності матеріалу при зменшенні вологості і наявності протилежної дії явища термічної і концентраційної дифузії.

Поєднання фільтраційного методу сушіння з ІЧ-нагрівом вологого матеріалу дозволяє досягнути інтенсифікації процесу тепло- та масообміну.

При профільтовуванні повітря через шар вологого матеріалу значна частина вологи виноситься механічно. Одночасно відбувається інтенсивне випаровування та винесення повітрям парів вологи, утворених всередині матеріалу завдяки дії ІЧ-випромінювання.

Аналіз енергетичної складової витрат на процес сушіння радіаційним методом показує, що застосування газового ІЧ-нагріву має значні переваги в порівнянні з електричним: більш низька вартість теплової енергії, висока швидкість нагрівання, гнучкість та безпечність процесу, мала виробнича площа, яку займають установки. Цей спосіб нагрівання забезпечує економію паливо-енергетичних ресурсів, високу якість кінцевого продукту та підвищення продуктивності праці.

**В третьому розділі** подається опис методики досліджень гідродинаміки та наводиться схема експериментальної установки, що зображена на рис.1. Згідно методики взірець сухого матеріалу різної товщини розміщувався в камері сушіння 1. Під решіткою 11 за допомогою насоса 4 створювалося розрідження. За допомогою газових вентилів 7 та 8 змінювалась витрата повітря, що профільтовувалося через сухий матеріал, та фіксувалась зміна перепаду тисків манометром 9. Вивчення гідродинамічних характеристик процесу сушіння проводилось при нагріванні матеріалу ІЧ-променями, що випромінює газовий паливник 2.

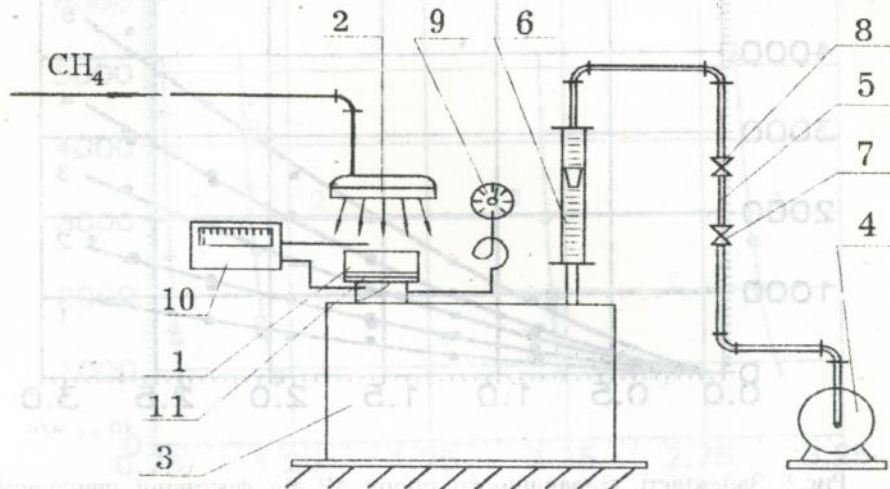


Рис.1. Схема дослідної установки

1 – камера сушіння, 2 – газовий пальник ІЧ випромінювання, 3 – ресивер, 4 – вакуумний насос, 5 – система трубопроводів, 6 – ротаметр, 7 і 8 – газові вентилі, 9 – манометр, 10 – потенціометр з термопарами, 11 – металічна решітка.

Результати експериментальних досліджень гідродинамічних характеристик, що проводились з сухим матеріалом, представлено на рис.2.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень (відносна похибка не перевищує  $\pm 10\%$ ) залежності зміни гідравлічного опору від величини швидкості фільтрування та товщини шару сухого матеріалу (азбестовий листовий матеріал нерівномірної структури) представлені у вигляді:

$$\frac{\Delta P}{H} = 6.8 \cdot 10^4 \cdot \omega_0 + 3.1 \cdot 10^4 \cdot \omega^2 \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – гідравлічний опір матеріалу, Па;  $H$  – товщина шару сухого матеріалу, м;  $\omega_0$  – фіктивна швидкість фільтрування, м/с.

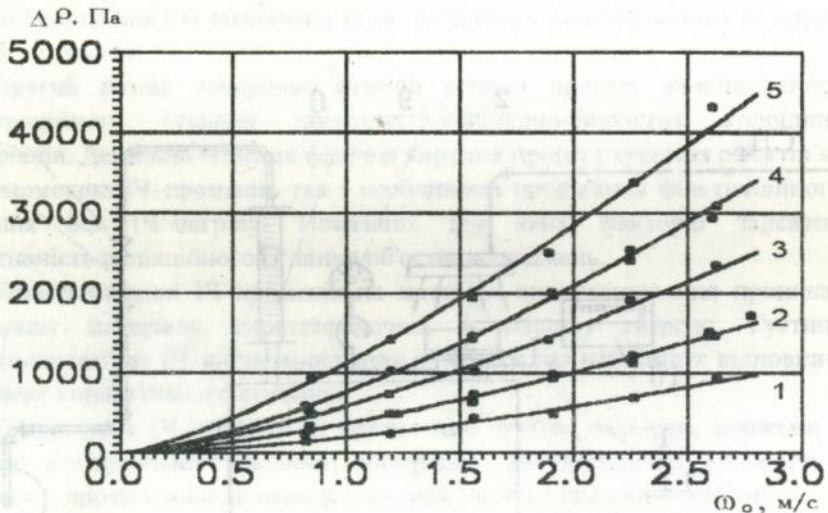


Рис.2. Залежність гідравлічного опору  $\Delta P$  від фіктивної швидкості фільтрування  $\omega_0$  для різних товщин (азбестовий листовий матеріал нерівномірної структури) при  $T=293K$

1 –  $H = 2 \cdot 10^{-3}m$ ; 2 –  $4 \cdot 10^{-3}m$ ; 3 –  $6 \cdot 10^{-3}m$ ; 4 –  $8 \cdot 10^{-3}m$ ; 5 –  $10 \cdot 10^{-3}m$ .

Гідродинаміка вологого шару носить нестационарний характер та значно відрізняється від гідродинаміки сухого матеріалу. На початку процесу сушіння гідравлічний опір вологого об'єкту значно перевищує аналогічну величину, встановлену для сухого шару. В процесі сушіння одночасно зі зменшенням вологості матеріалу зменшується його гідравлічний опір та зростає величина фіктивної швидкості фільтрування.

Результати досліджень, приведені на рис.3, свідчать про різний характер зміни залежностей  $\Delta P_c = f(\omega)$  в порівнянні з  $\Delta P_b = f(\omega)$  для різних товщин в процесі сушіння. Це можна пояснити тим, що в процесі сушіння при зменшенні вологості збільшуються розміри (діаметр) каналів і капілярів матеріалу, зростає висота зони сухого матеріалу, що приводить до зменшення його гідравлічного опору. Одночасно зменшення гідравлічного опору матеріалу приводить до збільшення швидкості фільтрування, що в свою чергу веде до збільшення гідравлічного опору. Однак домінуючий вплив на характер зміни гідродинамічного опору має збільшення діаметру, що й приводить до зменшення  $\Delta P$ . Такий характер зміни величин  $\Delta P_b$  та  $\omega$  відбувається до досягнення матеріалом рівноважної вологості.

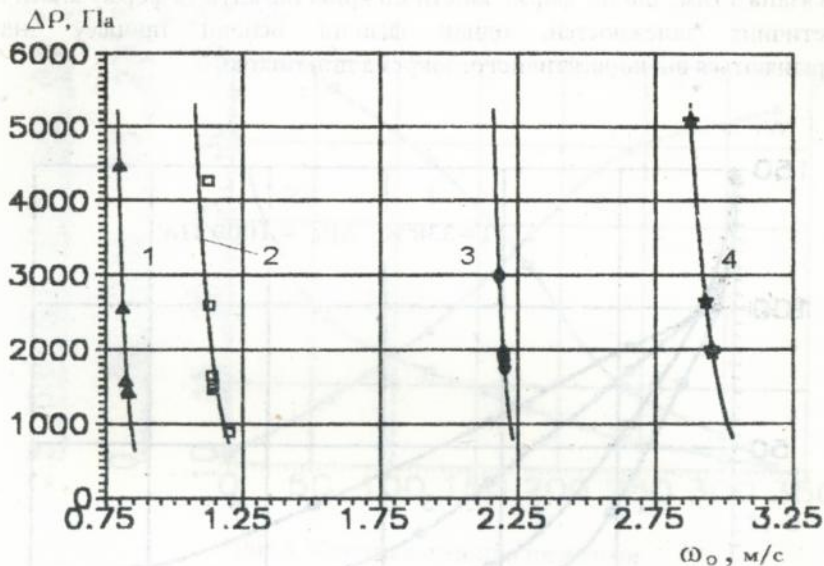


Рис.3. Залежність зміни гідравлічного опору та фiktивної швидкості в процесі сушіння азбестового листового матеріалу нерівномірної структури при  $T=338\text{K}$ ,  $\Delta P_C=1000\text{ Па}$ .

1 -  $H=10 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ ; 2 -  $8 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ ; 3 -  $6 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ ; 4 -  $4 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ .

В четвертому розділі наведені результати як теоретичних, так і експериментальних досліджень кінетики процесу комбінованого фільтраційного сушіння з ІЧ-нагрівом різних листових капілярно-пористих колоїдних об'єктів. Описано методику проведення досліджень.

Дослідження кінетики комбінованого фільтраційного сушіння проводилось на експериментальній установці, зображеній на рис.1. Вологий матеріал різної товщини розміщувався на перфорованій решітці, під якою створювалося розрідження, а нагрівання здійснювалося газовим пальником ІЧ-випромінювання. Профільтрування повітря проводилося як в безперервному, так і періодичному режимах.

Результати досліджень при сушінні листового азбестового матеріалу нерівномірної структури показані на рис.4. Як свідчать результати, процес сушіння протікає як в першому, так і другому умовному періодах. Останній є досить значним як в часі, так і по величині вологовмісту висушаного матеріалу. Назва перший та другий умовний період

пов'язана з тим, що по формі кінетичні криві нагадують форму класичних кінетичних залежностей, однак фізичні основи процесу значно відрізняються від конвективного, зокрема динамікою.

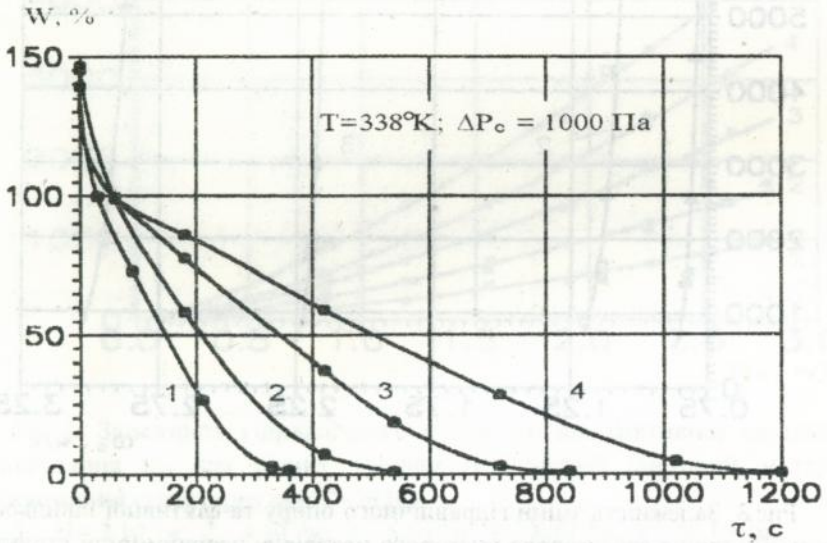


Рис.4. Кінетика сушіння листового азбестового матеріалу нерівномірної структури

1 -  $H=4 \cdot 10^{-3}$  м; 2 -  $6 \cdot 10^{-3}$  м; 3 -  $8 \cdot 10^{-3}$  м; 4 -  $10 \cdot 10^{-3}$  м.

Аналогічні дослідження комбінованого фільтраційного сушіння проводилися з листовими кашіарно-пористими колоїдними матеріалами різної структурної модифікації при різних температурних та гідродинамічних режимах. Результати цих досліджень для целюлози та макропористого кірголіну є представлені відповідно на рис.5 та рис.6.

На відміну від азбестового матеріалу нерівномірної структури приведені об'єкти характеризуються рівномірною мікрокапілярною структурою, що відповідно відзеркалюється на кривій кінетики сушіння, а саме відсутній умовний період механічного витіснення вологи при створенні перепаду тисків. Кінетика процесу характеризується наявністю значного першого умовного періоду. Другий умовний період має місце при досягненні вологості близько 40-45%.

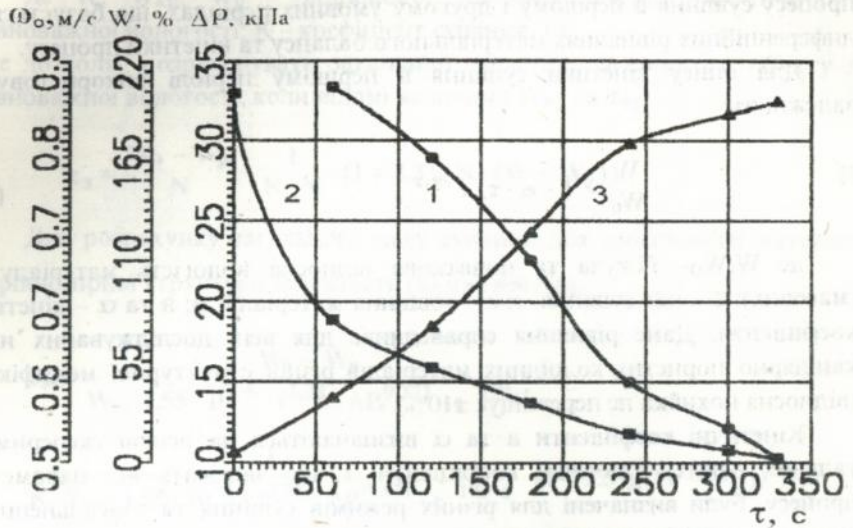


Рис.5. Кінетика сушіння целюлози  
 $T = 323\text{K}$ ,  $\Delta P_c = 10\text{kPa}$ ,  $H = 1.5 \cdot 10^{-3}$ , м;  
 1 -  $\Delta P=f(\tau)$ ; 2 -  $W=f(\tau)$ ; 3 -  $\omega=f(\tau)$ .

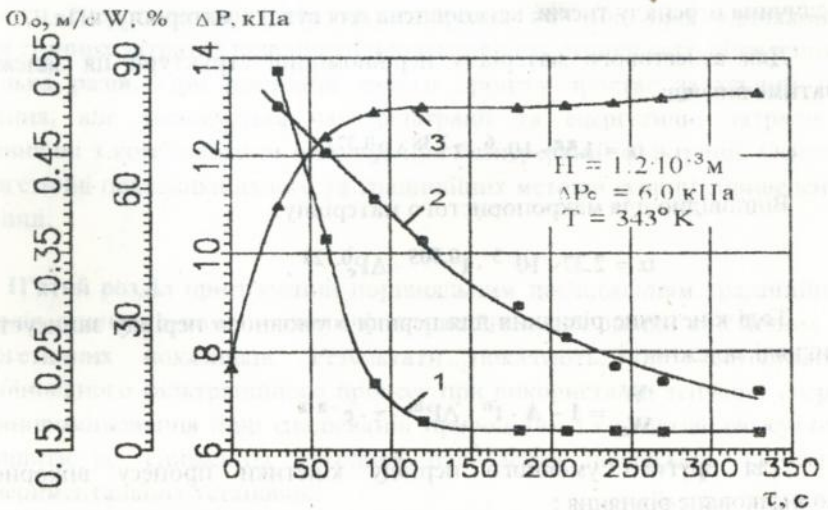


Рис.6. Кінетика сушіння макропористого кірколіну.  
 1 -  $\Delta P=f(\tau)$ ; 2 -  $W=f(\tau)$ ; 3 -  $\omega=f(\tau)$ .

Узагальнення досліджень проведено відповідно до моделі кінетики процесу сушіння в першому і другому умовних періодах, що базується на диференційних рівняннях матеріального балансу та кінетики процесу.

Для опису кінетики сушіння в першому періоді використовуємо залежність:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot z}, \quad (2)$$

де  $W, W_0$  – бieżуча та початкова відносна вологість матеріалу, % (масових);  $\tau$  – час сушіння;  $z$  – товщина матеріалу, м;  $a$  та  $\alpha$  – кінетичні коефіцієнти. Дане рівняння справедливе для всіх досліджуваних нами капілярно пористих колоїдних матеріалів різної структурної модифікації (відносна похибка не перевищує  $\pm 10\%$ ).

Кінетичні коефіцієнти  $a$  та  $\alpha$  визначаються на основі експериментальних даних. Кінетичні коефіцієнти  $\alpha$ , що залежать від параметрів процесу, були визначені для різних режимів сушіння та узагальненні за допомогою емпіричної залежності:

$$\alpha = A \cdot t^n \cdot \Delta P_c^m, \quad (3)$$

де  $A$  – коефіцієнт,  $T$  – температура профільовування,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta P_c$  – величина перепаду тисків, встановлена для сухого матеріалу, кПа.

Для азбестового матеріалу нерівномірної структури ця залежність матиме вигляд:

$$\alpha = 1.55 \cdot 10^{-6} \cdot t^{2.38} \cdot \Delta P_c^{0.371}. \quad (4)$$

Відповідно для макропористого матеріалу:

$$\alpha = 2.37 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0.505} \cdot \Delta P_c^{0.124}. \quad (5)$$

Тоді кінетичне рівняння для першого умовного періоду записується у вигляді залежності:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - A \cdot t^n \cdot \Delta P_c^m \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot z}. \quad (6)$$

Для другого умовного періоду кінетики процесу використано модифіковане рівняння:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = \exp(-K \cdot \tau) = \exp(-N \cdot N \cdot \tau), \quad (7)$$

де  $W$ ,  $W_{кр}$ ,  $W_p$  відповідно значення біжучої, критичної та рівноважної вологості;  $K$  – коефіцієнт сушіння,  $1/c$ ; яке дозволяє розраховувати загальний час сушіння вологого об'єкту до рівноважної вологості, коли відомі величини  $W_{кр}$  та  $\tau_{кр}$ :

$$\tau_z = \frac{W_0 - W_p}{N} - \frac{1}{K \cdot N} \cdot (1 + 2.3 \lg K \cdot (W - W_p)) . \quad (8)$$

Для розрахунку загального часу сушіння для азбестового матеріалу нерівномірної структури залежність (8) має вигляд:

$$\tau_z = \frac{W_0 - W_p}{W_0 \cdot 1.55 \cdot 10^{-6} \cdot t^{2.38} \cdot \Delta P_c^{0.371} \cdot e^{-193 \cdot z}} \cdot \frac{1}{K \cdot W_0 \cdot 1.55 \cdot 10^{-6} \cdot t^{2.38} \cdot \Delta P_c^{0.371} \cdot e^{-193 \cdot z}} \cdot (1 + 2.3 \lg(W - W_p)) . \quad (9)$$

Дане рівняння забезпечує розрахунок загального часу сушіння  $\pm 10\%$ . Наводяться результати досліджень кінетики сушіння азбестових матеріалів нерівномірної та рівномірної структури комбінованим фільтраційним методом при періодичному режимі фільтрування. Такий метод дозволяє знизити енергетичні затрати на створення  $\Delta P$  або при однакових енергетичних затратах підвищити продуктивність сушильного відділення у декілька разів. При реалізації такого процесу зростає загальний час сушіння, але зменшується час фільтрації та енергетичні затрати в порівнянні з комбінованим методом при безперервній фільтрації. Основні енергетичні показники даного та традиційних методів сушіння приведені в таблиці.

**П'ятий розділ** присвячений порівняльним дослідженням традиційних методів сушіння з комбінованим фільтраційним для оцінки кінстичних та енергетичних показників. Результати показують, що застосування комбінованого фільтраційного процесу при використанні теплової енергії ІЧ випромінювання (при спалюванні природного газу) дозволяє суттєво зменшити їх. Приведена методика проведення досліджень та схеми експериментальних установок.

На основі результатів досліджень розроблена конструкція сушарки, що схематично зображена на рис.7.

Таблиця

## ПОРІВНЯННЯ КІНЕТИЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

МАТЕРІАЛ	Звичайне фільтраційне сушіння		Сушіння при ІЧ-нагріванні		Конвективне сушіння		Комбіноване фільтраційне сушіння безперерв.		Комбіноване фільтраційне сушіння період.	
	$\tau$ , с	$\frac{\sum Q_0}{\text{кДж}} / \text{кг Н}_2\text{О}$	$\tau$ , с	$\frac{\sum Q_0}{\text{кДж}} / \text{кг Н}_2\text{О}$	$\tau$ , с	$\frac{\sum Q_0}{\text{кДж}} / \text{кг Н}_2\text{О}$	$\tau$ , с	$\frac{\sum Q_0}{\text{кДж}} / \text{кг Н}_2\text{О}$	$\tau$ , с	$\frac{\sum Q_0}{\text{кДж}} / \text{кг Н}_2\text{О}$
	T=338K, $\Delta P_c=1\text{кПа}$		T=338K		T=338K, $\omega=1\text{ м/с}$		T=338K $\Delta P_c=1\text{кПа}$		T=338K, $\Delta P_c=1\text{кПа}$ Кц=0.5	
Азбестова тканина Н=4 мм	400	6177	1260	14158	2100	345122	402	3606	520	3647
	T=338K $\Delta P_c=2\text{кПа}$		T=338K		T=338K, $\omega=1\text{ м/с}$		T=338K $\Delta P_c=2\text{кПа}$		T=338K, $\Delta P_c=2\text{кПа}$ Кц=0.25	
Азбестова тканина Н=10 мм	1080	63000	5000	463381	7200	500229	1100	35384	1300	14115
	T=338K $\Delta P_c=10\text{кПа}$		T=338K		T=338K, $\omega=1\text{ м/с}$		T=338K $\Delta P_c=40\text{кПа}$		T=338K, $\Delta P_c=40\text{кПа}$ Кц=0.5	
Азбестовий картон Н=8 мм	1500	19870	3000	13944	5300	380785	1260	10596	1140	7435
	T=338K $\Delta P_c=10\text{кПа}$		T=338K		T=338K, $\omega=1\text{ м/с}$		T=338K $\Delta P_c=10\text{кПа}$			
Целюлоза Н=0.5 мм	270	13580	1440	31081	1380	434789	270	7648	—	—

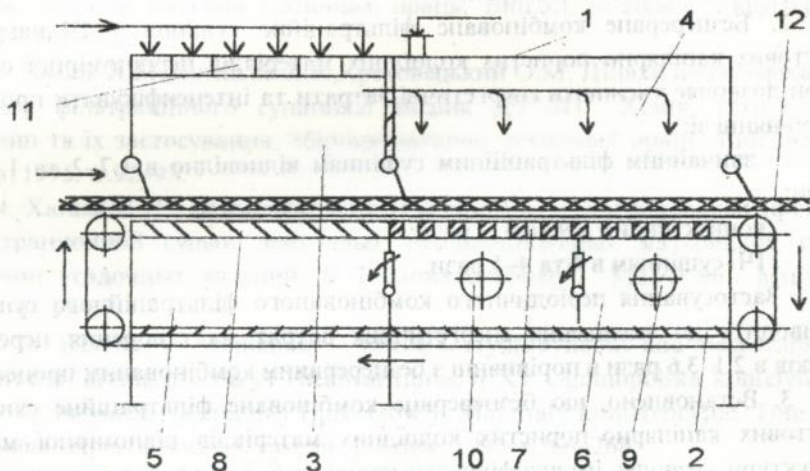


Рис. 7. Конструкція сушарки безнервної дії

1 - верхній, 2 нижній корпуси; 3,4 - верхні камери; 5,6 - нижні камери; 7 - перфорована плита; 8 - суцільна плита; 9,10 - патрубки; 11 - газові нальники; 12 - вологий матеріал.

Сушарка складається з двох частин: верхнього корпусу 1 та нижнього 2. Верхній корпус розділений на секцію 1Ч нагріву 3 з газовими нальниками 11 та секцію 4. Камера 5 нижнього корпусу перекрита суцільною плитою 8, а камера 6 - перфорованою плитою 7. Через патрубки 9 і 10 камера 6 під'єднується до системи розрідження.

Вологий матеріал 12, розміщений на металічній сітці, піддається 1Ч нагріву у першій секції сушарки та подається у другу, де нагрівається продуктами горіння. Одночасно відбувається профільгровування теплоносія через шар матеріалу з винесенням вологи завдяки системі розрідження. Наявність двох секцій дозволяє створювати різні перепади тисків в залежності від вологості матеріалу.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено новий спосіб комбінованого фільтраційного сушіння з 1Ч-нагрівом, який приводить до значної інтенсифікації тепломасообміну і

дозволяє створити малогабаритні сушильні агрегати з високоефективним використанням теплової енергії.

2. Безперервне комбіноване фільтраційне сушіння з ІЧ нагрівом листових капілярно-пористих колоїдних матеріалів нерівномірної структури дозволяє зменшити енергетичні затрати та інтенсифікувати процес в порівнянні зі:

– звичайним фільтраційним сушінням відповідно в 1.7–2 та 1.2–1.3 рази;

– конвективним в 9 та 4–7 рази;

ІЧ-сушінням в 4 та 4–5 рази.

Застосування періодичного комбінованого фільтраційного сушіння приводить до зменшення енергетичних затрат на створення перепаду тисків в 2.1–3.6 рази в порівнянні з безперервним комбінованим процесом.

3. Встановлено, що безперервне комбіноване фільтраційне сушіння листових капілярно-пористих колоїдних матеріалів рівномірної мікроструктури дозволяє інтенсифікувати процес в 5–7 раз з одночасним зменшенням енергетичних затрат в 1.4–20 раз порівнянши зі звичайним ІЧ та конвективним сушінням; періодичне сушіння дозволяє зменшити затрати в 2–3 рази та інтенсифікувати в 1.2–1.5 рази в порівнянні з безперервним.

4. Отримані гідродинамічні та кінетичні залежності безперервного і періодичного комбінованого фільтраційного методу для розрахунку часу сушіння та втрат напору на процес.

5. Розроблена математична модель процесу сушіння досліджуваних матеріалів та виконана її експериментальна перевірка на адекватність. Запропонована методика розрахунку апарату.

6. Запропонована схема конструкції промислової сушарки безперервної дії, яка реалізує комбінований фільтраційний метод, матеріали передані на ВАТ "Львівкартонопласт" та ВАТ "Світанок" для впровадження.

Основний зміст дисертаційної роботи викладений в наступних публікаціях:

1. Ханік Я.М., Білецька Л.З., Креховецький О.М. Особливості процесу фільтраційного сушіння у разі інфрачервоного нагріву матеріалу // Хімічна промисловість України, К., 1996, №3. С.19–21.

2. Ханік Я.М., Білецька Л.З., Креховецький О.М. Фільтраційне сушіння газопрошканих матеріалів з комбінованим підведенням тепла. // Науковий

вісник. Збірник науково-технічних праць. Вип.3.1. – Львів, УкрДЛТУ, 1995. С.101–103.

3. Ханік Я.М., Білецька Л.З., Креховецький О.М. Шляхи інтенсифікації процесу фільтраційного сушіння. // Вісник ДУ"ЛП". Хемія, технологія речовин та їх застосування. Збірник науково-технічних праць. Вип.285. – Львів, 1995. С.92–93.

4. Ханьк Я.Н., Атаманюк В.М., Билецкая Л.З. Непрерывный процесс фильтрационной сушки ленточных газопроницаемых материалов при наличии усадочных явлений. // Теплообмен – ММФ 96 Минск, 1996. – С.25–27.

5. Y. Khanik, V. Atamanuk, L. Biletska. Hydrodynamic and mass transfer in filtration drying process of chemical fibres. // XV Ogolnopolska konferencja naukowa inzynierii chemicznej i procesowej. Materiały konferencyjne. Tom II. Wymiana ciepła, adsorpcja, suszenie Gdansk, 1995, s.266–268.

6. Ханік Я.М., Білецька Л.З., Денис Р.В. Комбіноване фільтраційне сушіння // Тези доповідей ІХ міжнародної конференції "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв", м.Одеса, 1996, С.33.

7. Спосіб сушіння газопропускних матеріалів // Ханік Я.М., Білецька Л.З., Атаманюк В.М. // Патент України №10879а // Офіційний бюлетень "Промислова власність." К. 1996. – №4.

## SUMMARY

Biletska L.Z. The combination filtration drying of capillary porous colloidal materials.

The thesis for Cand. Tech. Sci. degree by specialization 05.17.08 – Processes, machines and apparatus of chemical and oil chemical productions, State university "Lviv politechnic", Lviv, 1996.

We presented seven articles where the theoretical and experimental investigation questions of the capillary-porous colloidal materials combination filtration drying were considered. The results of drying and humid layers hydrodynamics investigations and processes dynamic and kinetic were presented. It was found the analytical relations for the calculations the head lost and process time. The results of combination filtration drying investigation in periodical regime of filtration for uniformly porous materials were considered. It was compared the tradition methods drying and combination filtration drying method (continuous and periodical filtration regimes) energy expenditures. The

combination filtration drying apparat construction which works in continuous regime was proposed.

### АННОТАЦІЯ

Билецкая Л.З. Комбинированная фильтрационная сушка листовых коллоидных капиллярно-пористых материалов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы, машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Государственный университет "Львовская политехника", Львов, 1996.

Защищается семь работ, в которых рассмотрены вопросы теоретических и экспериментальных исследований процесса комбинированной фильтрационной сушки листовых капиллярно-пористых коллоидных материалов. Представлены результаты исследования гидродинамики сухого и влажного слоя, динамики и кинетики и установлены аналитические зависимости для расчета потерь напора и времени проведения процесса. Приведены результаты исследования комбинированной фильтрационной сушки материалов равномерной структуры в периодическом режиме фильтрации. Дается сравнение энергетических затрат на процесс сушки традиционными методами и комбинированным фильтрационным (непрерывный и периодический режимы фильтрования). Предложена конструкция сушарки непрерывного действия, которая реализует данный метод.

Ключові слова: комбіноване фільтраційне сушіння, фільтраційне сушіння, ІЧ нагрів, кінетика процесу сушіння.

Підп. до друку 28.11.96. Формат 60x84<sup>1</sup>/16  
Папір друк. № 2. Обс. друк. Умов. друк. арк. 125  
Умов. фарб.-відб. 1.25. Умовно-видав. арк. 1.11  
Тираж 100 прим. Зам. 469. Безплатно

ДУЛП 290646 Львів-13, Ст.Бандери, 12

Дільниця оперативного друку ДУЛП  
Львів, вул. Городоцька, 28Б

43758/

10 36 355  
**AB 36.355**

SECTION 36.355

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely representing the body of a bill or document.