ХІМІЯ. ХІМІЧНА, БІОЛОГІЧНА ТА ХАРЧОВА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 66. 067

К.Луняка, докт. техн. наук; С.Кривенко; Г.Глухов, канд. техн. наук
Херсонський державний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАРАБАННОГО ВАКУУМ-ФІЛЬТРА З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДОЇ ФАЗИ СУСПЕНЗІЙ ЯК ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

Проведено розрахунки швидкості обертання барабана вакуум-фільтра, площі фільтрувальної стрічки при "чорній" і "білій фільтрації" у виробництві двоокису титану, а також продуктивності, яка досягається при впровадженні запропонованого способу фільтрування з використанням твердої фази суспензій як допоміжного фільтрувального матеріалу.

Умовні позначення

$V_{сусп}$ – продуктивність фільтра по суспензії, м^3/год.;
$V_{вол.ос}$ - об'єм вологого осаду, м^3/год.;
$V_ф$ - об'єм фільтрату, м^3/год.;
V' - об'єм фільтрату, що проходить через 1 м^2 фільтру, м^3/м^2;
τ - час фільтрування, с;
n - кількість обертів барабана, об./хв.;
ω - швидкість обертання барабана, 1/с;
L_1 і L_2 - довжини натури і моделі, м;
D_1 і D_2- діаметри натури і моделі, м;
F – площа фільтру, м^2;
B - ширина стрічки, м;
$m_л$ - маса 1 м^2 фільтрувальної стрічки, кг;
k_1 – коефіцієнт геометричної подібності;
δ - товщина шару осаду, м;
інші позначення наведені в таблиці 3.

При виробництві двоокису титану, який використовується як пігмент для отримання лакофарбувальних матеріалів, процес фільтрування займає особливе місце. У цій технології фільтрування проводиться двічі – при отриманні розчину титанової кислоти (так звана "чорна фільтрація") і при відокремленні готового продукту ("біла фільтрація").

Результати дослідження процесу "чорної фільтрації", де використовується тверда фаза суспензії, що поступає на фільтрування, наведені в [1, 2]. Ці дослідження показали принципову можливість заміни деревного борошна, яке в наш час використовується як допоміжний фільтрувальний матеріал, на тверду фазу суспензії, а також встановлення низки важливих технологічних параметрів процесу і визначення режиму проведення процесу фільтрування. Заміна фільтрувального матеріалу сприяє підвищенню якості кінцевого продукту – двоокису титану, зменшенню кількості відходів виробництва і зниженню собівартості продукції.

У зв'язку зі сказаним, заміна деревного борошна як при "чорній", так і при "білій фільтрації" у виробництві двоокису титану є нагальною для виробництв, які випускають цю продукцію. Тому метою даної роботи є визначення основних технічних хара-

ктеристик процесу фільтрування з використанням як допоміжного фільтрувального матеріалу твердої фази суспензій.

Відзначимо відмінність процесу фільтрування при існуючому способі та пропонованому.

Існуючий спосіб фільтрування суспензій виробництва двоокису титану

1. Перед проведенням процесу фільтрування проводять намивання на фільтрувальну тканину шару деревного борошна (товщина шару 60-70 мм), для чого в корито фільтра подають суспензію борошна і вмикають вакуум.

2. Потім корито заповнюють суспензією і проводять фільтрування. Одночасно відбувається зрізання шару осаду суспензії разом з частиною шару деревного борошна.

При "чорній фільтрації" цей твердий осад викидають у відвали, а далі використовують фільтрат. При "білій фільтрації" зрізаний шар деревного борошна разом з осадом суспензії гідратованого двоокису титану (ГДТ) поступає на ділянку прожарювання. При термічній обробці у печі деревне борошно згоряє, а залишок є основним продуктом виробництва. Далі його ще піддають розмелюванню, поверхневій обробці і завершальним операціям – фільтруванню, сушінню та пакуванню [3].

Пропонований спосіб фільтрування

1. В корито фільтра подають суспензію, вмикають вакуум і намивають на фільтрувальній тканині шар осаду такої товщини, яка забезпечує отримання прозорого фільтрата. Лабораторні дослідження дозволили нам встановити залежність між товщиною шару осаду і такими параметрами процесу фільтрування, як величина вакууму, що створюється, продуктивність і щільність фільтрувальної тканини. Оскільки утворення потрібного шару осаду потребує певного часу, а до цього фільтрат містить тверді частинки, використовується зворотний технологічний зв'язок, який передбачає повернення каламутного фільтрату назад на фільтр. Для контролю якості фільтрата фільтрувальна установка має відповідний вузол автоматичного контролю прозорості. Після того, як в барабан починає поступати прозорий фільтрат, відбувається власне фільтрування.

2. При фільтруванні збільшується товщина шару осаду, гідравлічний опір зростає, тому для забезпечення потрібної продуктивності фільтра треба створювати більший вакуум, що пов'язане зі збільшенням витрат. Для запобігання цього зайвий шар осаду знімається; таким чином, підтримується така товщина шару осаду, яка забезпечує потрібну продуктивність фільтра при заданому вакуумі; цю величину ми розраховуємо за виведеним нами рівнянням [1].

При "чорній фільтрації" осад є відходом, він викидається в шламонакопичувач. При пропонованому способі маса твердих відходів різко скорочується, оскільки вони не містять деревного борошна. При "білій фільтрації" твердий осад направляється на прожарювання. Оскільки при пропонованому способі він не містить деревного борошна, яке при згорянні утворює забарвлені продукти, які залишаються разом з двоокисом титану, то якість кінцевого продукту поліпшується.

Умови фільтрування при проведенні процесів "чорної" і "білої фільтрації" відрізняються, оскільки відрізняються між собою тверді фази суспензій, що використовуються у цих двох процесах. Досліджені у роботах [1, 2] закономірності та отримані рівняння дають змогу визначити параметри вказаних процесів. Ці параметри розраховані для продуктивності виробничих вакуум-фільтрів з врахуванням розмірів величини їхньої поверхні фільтрування. Наводимо приклад розрахунку швидкості обертання барабана фільтра і площі фільтрувальної тканини при фільтруванні суспензії ГДТ.

Продуктивність фільтра по суспензії складає $V_{\text{усп.}}$ =10 м^3/год. (дані виробництва), або G_c = 14500 кг/год. при густині суспензії 1450 кг/м^3.

З урахуванням вмісту твердої фази в суспензії, який складає 11% (мас.), маємо масу сухого осаду 1595 кг/год. При вологості осаду 31% (мас.) маса вологого осаду складає 1595/(1-0,31)=2311 кг/год.

Вологий осад має густину 1580 кг/м^3; об'єм вологого осаду складає

$$V_{вол.ос.} = \frac{G_{вол.ос.}}{\rho_{вол.ос.}} = 1{,}46 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (1)$$

Маса фільтрату дорівнює $G_{сусп.} - G_{вол.ос.} = 14500 - 2311 = 12189$ кг, а його об'єм

$$V_{ф.} = \frac{G_{ф.}}{\rho_{ф.}} = 9{,}75 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2)$$

при густині 1250 кг/м^3.

Відношення

$$\frac{V_{вол.ос.}}{V_{ф.}} = \frac{1{,}46}{9{,}75} = 0{,}15 \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (3)$$

При заданій товщині шару осаду необхідна поверхня зони фільтрування на 1 м^3 фільтрата складає

$$\frac{V_{вол.ос.}}{V_{ф.}\delta} = \frac{0{,}15}{0{,}006} = 25{,}0 \text{ м}^2/\text{м}^3. \quad (4)$$

Тоді через поверхню зони фільтрування в 1 м^2 пройде об'єм фільтрата

$$V' = 1/25 = 0{,}04 \text{ м}^3/\text{м}^2. \quad (5)$$

Використовуючи отримане нами рівняння фільтрування для "білої фільтрації", яке має вигляд

$$\tau = 920V' + 1760(V')^2, \quad (6)$$

отримуємо час фільтрування, який складає 190 с або 3,16 хв.

Зона знімання осаду на барабанному вакуум-фільтрі складає $\varphi = 70^0$, тому швидкість обертання барабана повинна бути

$$n = \frac{360 - \varphi}{\tau} = \frac{360 - 70}{3{,}16} = 91{,}77 \text{ град./хв.}, \quad (7)$$

загальний час складе

$$\tau = \frac{360}{n} = 3{,}92 \text{ хв.}, \quad (8)$$

кількість обертів барабана

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{3{,}92} = 0{,}254 \text{ об./хв.} \quad (9)$$

або 15,29 об./год., що близько до технічних показників виробничого фільтра.

Знаючи площу фільтра S=20 м^2, визначаємо продуктивність фільтрувальної установки при використанні твердої фази суспензії як допоміжного фільтрувального матеріалу:

$$V_{ф.} = S \cdot V' \cdot n^{-1} = 20 \cdot 0{,}04 \cdot 15{,}29 = 12{,}2 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (10)$$

Порівнюючи цю продуктивність з продуктивністю при використанні деревного борошна, можна дійти висновку, що на одному фільтрувальному барабані при пропонованому способі можна отримати у 5 разів більшу продуктивність, ніж при тому, що використовується в наш час на виробництві.

Аналогічні розрахунки були проведені для процесу “чорної фільтрації”. Ці дані наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики процесу фільтрування, отримані при проведенні лабораторних дослідів

Операція або параметр	“Чорна фільтрація”	“Біла фільтрація”
Артикул фільтрувальної тканини, який відповідає оптимальній щільності	ТППФ арт. 56306	ТППФ арт. 56306
Величина вакууму, МПа	0,04-0,05	0,04-0,05
Швидкість обертання барабана, об./хв.	0,28	0,25
Товщина потрібного шару осаду для отримання прозорого фільтрата, мм	2	4
Час, необхідний для намивання потрібного для отримання прозорого фільтрата шару осаду для виробничих умов, с	360	380
Власне фільтрування, с	830	1140
Максимальна товщина шару осаду при фільтруванні, мм	4	6
Продуктивність фільтрувальної установки, $м^3$/год	9,7	12,2

Отримані в лабораторних умовах дані щодо параметрів процесу фільтрування перед перенесенням на виробничий апарат повинні бути підтверджені шляхом випробування на установці проміжного масштабу. Тому наступним етапом дослідження було створення моделі вакуум-фільтра проміжного масштабу. Цю задачу вирішували з використанням теорії моделювання [4,5]. При цьому вирішувалась задача масштабування як *k*-кратне зменшення розмірів виробничого апарата при збереженні отриманої експериментальним шляхом і шляхом математичного моделювання швидкості фільтрування, яка досягається при використанні запропонованого технічного рішення.

Геометрична подібність зберігається при рівності відношень усіх подібних лінійних розмірів натури і моделі:

$$L_1/L_2=D_1/D_2=\ldots=const=k_1. \qquad (11)$$

Розрахунки виконувались для “чорної фільтрації”, а для “білої”, користуючись розрахованою площею поверхні барабана, визначали продуктивність.

Співвідношення між довжиною барабана і його діаметром

$$\frac{L_1}{D_1}=\frac{4,75}{3,14}=1,51, \quad \text{або } L_1=1,51D_1. \qquad (12)$$

Обов’язковою умовою збереження однакових умов роботи моделі і натури є рівність швидкості фільтрування, тобто $\frac{V}{F}=const$. Виконуючи перетворення і підставляючи відомі величини для натури (витрата суспензії при “чорній фільтрації” 9,7 $м^3$/год. і площа фільтрувальної поверхні 20 $м^2$), отримаємо:

$$\frac{V_1}{F_1}=\frac{V_1}{\pi D_1 L_1}=\frac{9,7}{20}=0,48 \text{ м/год.}, \qquad (13)$$

або $$\frac{V_1}{D_1 L_1} = \frac{V_1}{1{,}51 \cdot D_1^2} = 0{,}48 \cdot \pi = 1{,}51 \text{ м/год.}, \quad (14)$$

або $$\frac{V_1}{D_1^2} = 2{,}28 \text{ м/год.} \quad (15)$$

При виготовленні моделі був взятий барабан діаметром 0,41 м. З урахуванням коефіцієнта геометричної подібності, k_l, довжина барабана складе

$$L_2 = 1{,}51 \cdot 0{,}41 = 0{,}62 \text{ м},$$

а продуктивність моделі по фільтрату зі співвідношення $\frac{V_2}{D_2^2} = 2{,}28$ буде дорівнювати:

$$V_2 = 2{,}28 \cdot 0{,}41^2 = 0{,}38 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Геометричні розміри і продуктивність моделі і натури зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Геометричні розміри натури і моделі

Показник	Геометричні розміри			
	"чорна фільтрація"		"біла фільтрація"	
	натура	модель	натура	модель
Довжина барабана, м	4,75	0,62	4,75	0,62
Діаметр барабана, м	3,14	0,41	3,14	0,41
Площа фільтрування, $м^2$	20	0,80	20	0,80
Продуктивність, $м^3$/год.	6	0,38	10	0,47

Оскільки продуктивність моделі складає близько 5% від виробничого апарата, розроблена модель є середньою між напіввиробничою і дослідною промисловою установкою.

На розробленій і виготовленій моделі фільтра були проведені випробування. Вони довели працездатність запропонованого способу фільтрування.

Цей спосіб потребує очищення фільтрувальної стрічки, для чого передбачений вузол регенерації тканини, який включає в себе додаткові в порівнянні з існуючим фільтром спрямовуючі ролики. У зв'язку з цим виникає потреба в розрахунку потужності приводу на пересування фільтрувальної тканини і обертання барабану з метою виявлення необхідності встановлення додаткового приводу або збільшення потужності існуючого.

Розрахунки велись за методикою, запропонованою в [6,7].

Дані, потрібні для проведення розрахунків:

ширина стрічки $B = 4750$ мм;

міцність по основі 10,74 Н/мм; по утоку 32,37 Н/мм;

маса 1 $м^2$ $m_л = 0{,}1$ кг;

швидкість стрічки

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}25}{30} = 0{,}026 \text{ 1/с} = 0{,}026 \cdot 3600 = 93{,}6 \text{ 1/год.} \quad (16)$$

Отримані при розрахунках дані наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Основні розрахункові технічні характеристики барабанного вакуум-фільтра, в якому як допоміжний фільтрувальний матеріал використовується тверда фаза суспензій

Параметри	"Чорна фільтрація"	"Біла фільтрація"
Тягове зусилля приводу, W, Н/м	1136	1013
Потужність привідного двигуна на транспортування тканини, N_1, кВт	0,047	0,038
Потужність, що витрачається на обертання барабана фільтра, N_2, кВт	1,24	1,01
Загальна потужність електродвигуна, N, кВт	1,29	1,05
Натяг стрічки, S, Н	1524	1359
Необхідна міцність тканини, $S_{пр}$, Н/мм	4,16	3,7
Потужність встановленого на установці двигуна, кВт	4,5	4,5

Проведені розрахунки показали, що потужність, що витрачається на транспортування фільтрувальної тканини, дуже мала у порівнянні з потужністю двигуна, який приводить в обертання барабан, тому для транспортування стрічки додаткового двигуна не потрібно.

Таким чином, визначені технічні характеристики барабанного вакуум-фільтра, в якому як допоміжний фільтрувальний матеріал використовується тверда фаза суспензій, – швидкість обертання барабана, продуктивність вакуум-фільтра, потужність приводу. Визначені геометричні розміри моделі і виготовлений напіввиробничий барабанний вакуум-фільтр. Проведені на ньому випробування запропонованого способу фільтрування показали придатність цього способу фільтрування у виробництві двоокису титану. Перспективи подальших розвідок в даному напрямку полягають у вдосконаленні вузла знімання осаду з фільтрувальної тканини.

The accounts of speed of rotation of a drum of the vacuum - filter, area filtrating of a tape are carried out(spent) at "black" and " white kill " in manufacture of titanium oxide, and also productivity, which is reached (achieved) at introduction of the offered way of filtering with use of a firm phase suspension as auxiliary of a material filtrate.

Література

1. Луняка К.В., Кривенко С.В. Використання математичного моделювання при дослідженні процесу "чорної фільтрації" у виробництві двоокису титану // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы.- № 2 (9).- 2001.- С. 11-14.
2. Луняка К., Кривенко С., Глухов Г. Отримання рівняння "чорної фільтрації" у виробництві двоокису титану при використанні твердої фази суспензії, що поступає на фільтрування, як фільтрувального матеріалу //Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ. – 2001. – Т. 6. - № 4. – С.141-144.
3. Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов. – Л.: Химия, 1974. – 656 с.
4. 4. Касаткин. А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1960. – 831 с.; Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1974. – 752 с.
5. Общие основы химической технологии / С.Бретшнайдер, В.Кавецкий, Я.Лейко, Р.Марцинковский: пер. с польск. - Л.: Химия, 1977.- 504 с.
6. Машины и аппараты химических производств /И.И. Чернобыльский, А.Г.Бондарь, Б.АГаевский, С.А.Городинская, Р.Я.Ладиев, Ю.М.Тананайко, В.Т.Миргородский / Под. ред. И.И.Чернобыльского. Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1974.- 456 с.
7. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

Одержано 20.01.2003 р.