

УДК 66.047

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ ШАРУ ВОЛОГОЇ МЕТАТИТАНОВОЇ КИСЛОТИ**Ханик Я.М., Станіславчук О.В.****Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів**

79020, м. Львів, вул. Підголюско, 19

E-mail: uad@poligraf.lviv.ua

В данной статье показаны результаты исследования гидродинамики влажного слоя метатитановой кислоты в зависимости от параметров процесса, геометрических параметров и структуры слоя, а также показаны особенности, характерные для пастообразных материалов.

Ключевые слова: гидродинамика, геометрические параметры, и структура слоя.

In the given article shown the results of research of hydrodynamics of the moist layer MTA depending on the parameters of process, geometrical parameters and structure of layer and shown features characteristic for paste-like materials.

Keywords: hydrodynamics, geometrical parameters, structure of layer

Вступ. Пігментний двоокис титану є необхідним у лакофарбовому виробництві, а також виробництві високоякісного паперу, пластмас і хімічних волокон, полімерів, феноло-формальдегідних смол, у виготовленні пластмасового посуду і дитячих іграшок, гумово-технічних виробів, штучної шкіри, силікатних емалей тощо. Експорт пігментного двоокису титану у 2005 році становив 5,3 % від загального обсягу хімічної і нафтохімічної продукції з України [1]. З метою збільшення енергоощадності виробництва в його технологічну схему необхідно включити стадію сушіння метатитановою кислотою (МТК) (проміжного продукту).

Мета роботи. Вивчення гідродинаміки вологого шару МТК, оскільки гідравлічний опір шару матеріалу є важливим параметром енергетичної оцінки, ефективності та економічної доцільності процесу зневоднення.

Матеріал та результати досліджень. Шар вологої пастоподібної МТК характеризується високою щільністю, оскільки він утворений частинками кристалічної структури голкоподібної форми розміром 0,2 мкм. За такої будови шару та структури досліджуваного матеріалу процес сушіння пов'язаний із видаленням води з каналів між частинками матеріалу, які й є поверхнею тепломасообміну.

Оскільки фільтраційне сушіння має зональний характер і під час руху теплоносія під дією перепаду тиску через матеріал волога переміщується від верхніх шарів до нижніх, то в структурі шару відбуваються зміни: внаслідок усадження верхніх сухих шарів в матеріалі створюється об'ємно-напружений стан, за перевищення гранично допустимих значень якого утворюються тріщини. Збільшення пористості шару під час його зневоднення та утворення сітки тріщин є причиною зменшення гідравлічного опору і збільшення швидкості руху теплоносія.

Для сприяння впорядкованому утворенню тріщин (і зменшенню їхніх розмірів) та для зменшен-

ня гідравлічного опору в шарі матеріалу створювали штучну пористість (5, 10 та 15%).

Результати досліджень впливу величини штучної пористості на зміну гідравлічного опору в часі показано на рис. 1. Між початковими значеннями гідравлічного опору шару та величиною його пористості спостерігається обернена залежність. Кінцеве значення гідравлічного опору шару є тим меншим, чим більшою є величина його штучної пористості. Внаслідок утворення великої кількості тріщин у перфорованому шарі матеріалу і частково через вивільнення води з каналів відбувається збільшення пористості та еквівалентного діаметра шару МТК, що є причиною зростання фіктивної швидкості руху теплоносія через шар.

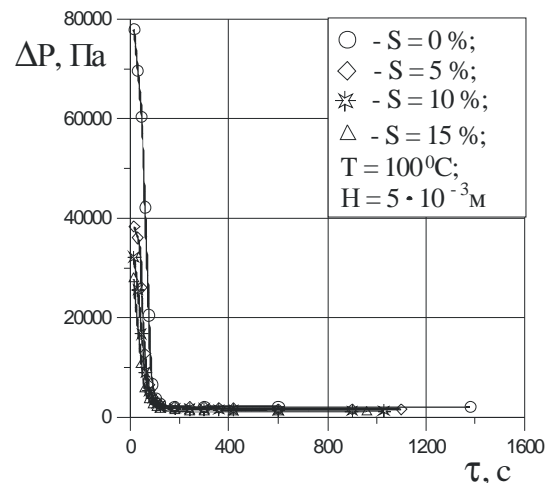


Рис. 1 Зміна гідравлічного опору вологого шару МТК в часі для різних значень штучної пористості

Під час сушіння суцільного шару матеріалу невелика кількість утворених в ньому тріщин ділить його на декілька частин. Із збільшенням величини штучної пористості шару кількість тріщин зростає і утворення їх є впорядкованим. Оскільки інтенсивність сушіння у другому періоді лімітується шви-

дкістю дифузії вологи із внутрішніх шарів матеріалу до поверхні тепломасообміну, то зрозуміло, що інтенсивніше процес зневоднення відбувається у матеріалі зі штучною пористістю.

Нами були проведені також дослідження впливу перепаду тисків за сухим матеріалом на характер зміни фіктивної швидкості руху теплоносія (рис. 2) та гідравлічного опору шару вологого матеріалу під час сушіння.

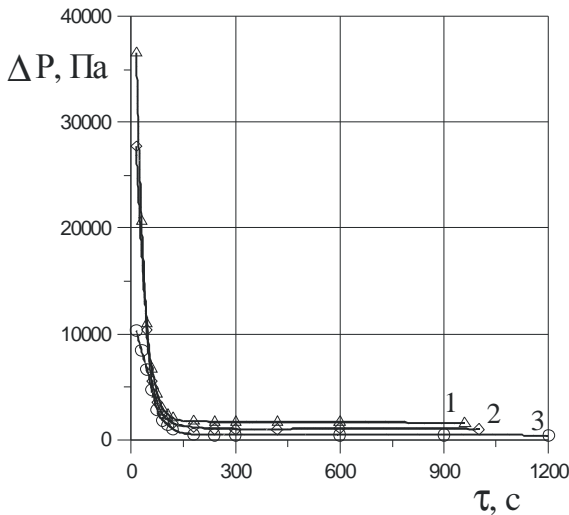


Рис. 2 Зміна фіктивної швидкості руху теплоносія через шар вологої МТК в часі за різних перепадів тиску за сухим матеріалом, $T = 100^{\circ}\text{C}$; $H = 5 \cdot 10^{-3}$ м; $S = 15\%$: 1 - $P_c = 399$ Па; 2 - $P_c = 981$ Па; 3 - $P_c = 1570$ Па

Із збільшенням перепаду тисків від 399 до 1570 Па за сухим матеріалом гідравлічний опір шару вологого матеріалу зростає. Фіктивна швидкість руху теплоносія змінюється від 0,56 до 1,16 м/с (у 2,1 раза) через шар вологого матеріалу і від 0,6 до 1,36 м/с (у 2,27 раза) через шар сухого матеріалу. Отже, між гідравлічним опором шару сухого матеріалу і швидкістю руху теплоносія через нього існує прямо пропорційна залежність, що описується рівнянням Дарсі-Вейсбаха [2].

На рис. 3 наведено результати досліджень гідродинаміки вологої МТК за різних температур сушіння. Шар матеріалу під час сушіння за вищої температури характеризується більшими значеннями швидкості руху теплоносія через нього, інтенсивнішим винесенням вологи з каналів та пор матеріалу, і внаслідок цього меншим гідравлічним опором.

В результаті досліджень зміни гідравлічного опору в часі залежно від висоти шару матеріалу (рис. 4) виявлені деякі особливості, характерні для пастоподібних матеріалів.

На початку сушіння гідравлічний опір є тим більшим, а швидкість руху теплоносія через шар тим меншою, чим більшою є висота шару матеріалу. Внаслідок утворення у шарі тріщин гідравлічний опір швидко зменшується протягом приблизно 150 с. Час досягнення $\Delta P_{\text{сух}}$ зростає із збільшенням

висоти матеріалу. Однак кінцеве значення гідравлічного опору є тим більшим, чим меншою є H шару. В результаті досліджень встановлено, що в шарі з меншою висотою кількість утворених тріщин є більшою, а отже більшою є і швидкість руху теплоносія через шар, що спричиняє збільшення його гідравлічного опору (згідно з рівнянням Дарсі-Вейсбаха [2]).

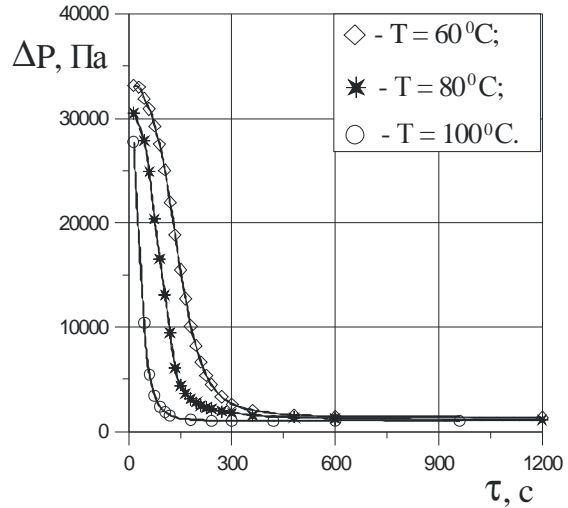


Рис. 3 Зміна гідравлічного опору вологого шару МТК в часі для різних температур теплоносія, $H = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $S = 15\%$

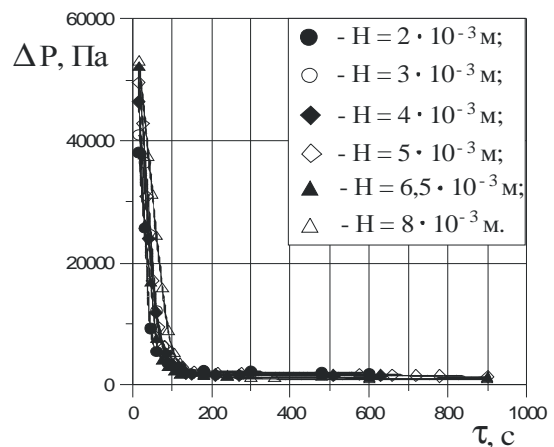


Рис. 4 Зміна гідравлічного опору вологого шару МТК в часі за різних висот шару матеріалу, $T = 100^{\circ}\text{C}$, $S = 15\%$

Для підведення додаткового тепла в шар матеріалу в ньому розміщали металеву об'ємну сітку. Характер зміни гідравлічного опору залежно від висоти шару матеріалу за її наявності показано на рис. 5. Гідравлічний опір шару вологого матеріалу є тим вищим, чим більша його висота, однак через деякий час ця залежність змінюється і стає обернено пропорційною: найбільшому шару матеріалу відповідають найменші значення ΔP . Ця зміна прямої залежності $\Delta P = f(H)$ на обернену спричи-

нена зменшення вологості матеріалу і внаслідок цього - змінами в структурі шару, описаними вище. Підведення в шар матеріалу додаткового тепла призводить до збільшення його початкового гідравлічного опору до 80000 Па порівняно із сушінням матеріалу без об'ємної сітки (20 000 - 40 000 Па), однак тривалість сушіння в цьому випадку зменшується від 900 до 480 с (майже удвічі).

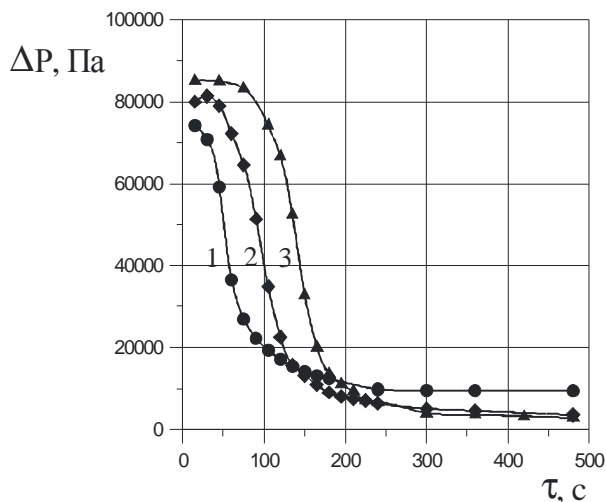


Рис. 5 Зміна гідравлічного опору вологого шару МТК в часі за різних висот шару матеріалу, $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ з розміщеною в ньому металеву об'ємною сіткою: 1 - $H = 2 \cdot 10^{-3}$ м; 2 - $H = 5 \cdot 10^{-3}$ м; 3 - $H = 8 \cdot 10^{-3}$ м

Дослідження вологості гідродинаміки пастоподібної МТК вказує на те, що процес сушіння здійснюється за високого гідравлічного опору шару досліджуваного матеріалу, навіть за порівняно невеликої його висоти. Крім того, утворення тріщин призводить до руйнування цілісності шару та утворення різних за розмірами шматків. В цьому разі процес сушіння лімітується підведенням вологи із внутрішніх шарів найбільших шматків до їхньої поверхні. Штучне перфорування шару дає змогу уникнути нерівномірного утворення тріщин, однак існують труднощі з його створенням, на відміну від легкості підведення в шар матеріалу додаткового тепла розміщенням у ньому об'ємної металеві сітки, що дає певний негативний (значний гідравлічний опір шару) і позитивний (скорочення тривалості сушіння майже удвічі) ефекти.

В промисловості пастоподібні матеріали часто піддають сушінню як у щільному, так і в рухомому шарі матеріалу, сформованому у вигляді вермішелі. Нами було проведено дослідження гідродинаміки вологості МТК, коли теплоносій рухається під дією перепаду тиску через шар висушувачого матеріалу у напрямку поверхні матеріалу → перфорована перегородка і контактує з його розвиненою поверхнею.

Результати дослідження зміни гідравлічного опору шару "вермішелі" вологості МТК в часі від його висоти показано на рис. 6.

У разі сушіння шарів матеріалу заввишки $H = 6 \cdot 10^{-2}$ м та $H = 8 \cdot 10^{-2}$ м (криві 3 і 4) на початку сушіння спостерігається різке збільшення гідравлічного опору, яке відбувається внаслідок стиснення шару вологості МТК під дією перепаду тиску. Подальше зменшення ΔP , яке спостерігається для всіх кривих на рис. 6, пояснюється наявністю навколо кожної частинки матеріалу полімолекулярного шару адсорбованої води [3].

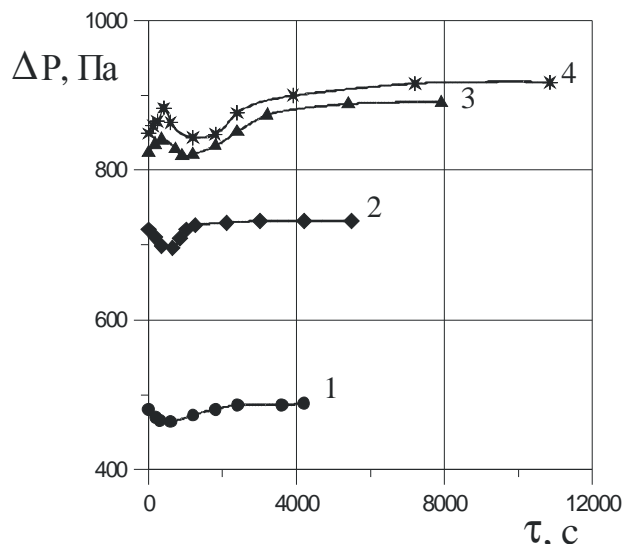


Рис. 6 Зміна гідравлічного опору вологого шару сформованої МТК в часі для різних висот шару матеріалу, $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 - $H = 2 \cdot 10^{-3}$ м; 2 - $H = 4 \cdot 10^{-3}$ м; 3 - $H = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 4 - $H = 8 \cdot 10^{-3}$ м

Цей шар вологи знаходиться під дією силового поля, дія якого зменшується у напрямку від частинки матеріалу до периферії. Під час сушіння під дією перепаду тиску волога, що найменше утримується частинкою матеріалу, виноситься із шару, що спричиняє зменшення гідравлічного опору. Зростання ΔP після цього пояснюється зростанням фіктивної швидкості руху теплоносія через шар висушувачого матеріалу внаслідок вивільнення вологи з його каналів і пор.

Фіктивна швидкість руху теплоносія через найменший шар матеріалу залишається незмінною під час сушіння, оскільки зміна гідравлічного опору є дуже незначною – менше ніж 8 Па.

Результати досліджень зміни гідравлічного опору та фіктивної швидкості руху теплоносія через шар матеріалу залежно від перепаду тиску за сухим матеріалом показано на рис. 7. Спостерігається прямо пропорційна залежність: із збільшенням перепаду тиску фіктивна швидкість та гідравлічний опір шару змінюються (зростають) незначно. Тому графічна залежність гідравлічного опору шару вологості МТК ("вермішелі") від фіктивної швидкості руху теплоносія для різних перепадів тиску за сухим матеріалом має вигляд коротких прямих, розміщених на відстані одна від одної – в межах заданого перепаду тиску.

Нами було досліджено також вплив температури теплоносія на характер зміни гідравлічного опору та фіктивної швидкості теплоносія в часі. Результати досліджень показано на рис. 8.

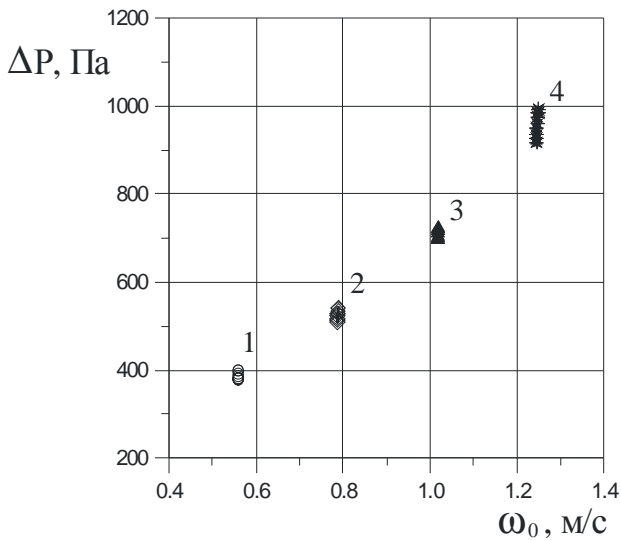


Рис. 7 Залежність гідравлічного опору шару вологої МТК (вермішелі) від фіктивної швидкості руху теплоносія для різних перепадів тиску за сухим матеріалом, $T = 100^\circ\text{C}$, $H = 4 \cdot 10^{-2}$ м: 1 - $P_c = 279$ Па; 2 - $P_c = 462$ Па; 3 - $P_c = 732,8$ Па; 4 - $P_c = 1065,67$ Па

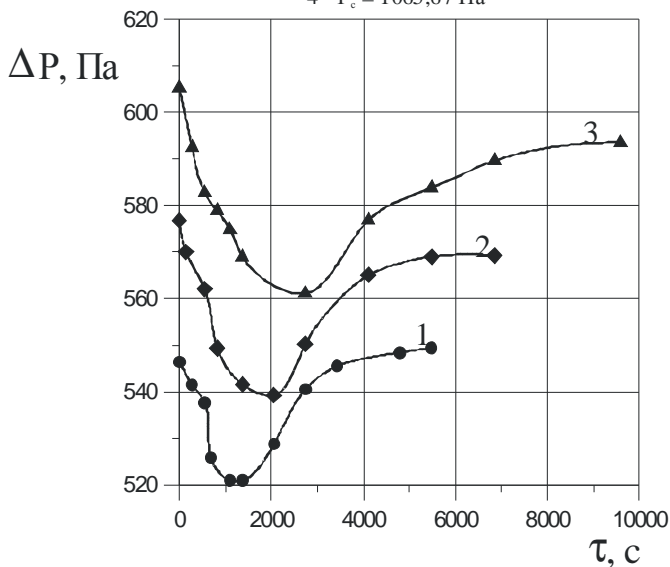


Рис. 8 Зміна гідравлічного опору вологого шару МТК в часі для різних температур теплоносія, $H = 4 \cdot 10^{-2}$ м: 1 - $T = 100^\circ\text{C}$; 2 - $T = 80^\circ\text{C}$; 3 - $T = 60^\circ\text{C}$

Зростання температури теплоносія приводить до зменшення гідравлічного опору шару матеріалу та збільшення фіктивної швидкості руху теплоносія. Падіння ΔP для кривої 1 є менш тривалим в часі, ніж для інших кривих, що свідчить про інтен-

сивне сушіння за температури теплоносія $T = 100^\circ\text{C}$.

Висновки. Аналіз зміни швидкості руху теплоносія та гідравлічного опору шару вологої МТК показує, що вони залежать від висоти шару матеріалу, його структурної модифікації, температури теплоносія та перепаду тиску за сухим матеріалом. Тому можна вважати, що зміною перелічених показників можна регулювати питомі витрати енергоносіїв на здійснення процесу зневоднення МТК залежно від необхідної потужності виробництва. З отриманих результатів досліджень гідродинаміки шару вологої МТК можна зробити попередній висновок, що доцільніше для зневоднення цього матеріалу використовувати фільтраційний метод сушіння з розміщеною в шарі матеріалу об'ємною сіткою.

Використання цього методу дає змогу зменшити тривалість сушіння, що в підсумку позитивно впливає на кінетику процесу, енергетичні показники та зменшує антропогенний вплив на довкілля. Впровадження його у виробництво полягає у підведенні теплоносія до барабанного вакуум-фільтра, на якому передбачена наявність об'ємної металевої сітки. Однак недоліком цього методу є високий гідравлічний опір шару висушуваного матеріалу.

Впровадження у виробництво стадії сушіння МТК у вигляді вермішелі ускладнене тим, що матеріалу за вологості, яку він має після фільтрування на барабанному вакуум-фільтрі (приблизно 73 %) надати форму вермішелі (і взагалі будь-яку) неможливо. Тільки після змішування його з сухим матеріалом для зменшення вологості до $\sim 43\%$ можливе формування та подальше сушіння. Тобто технологічна схема в цьому випадку значно ускладнюється додатковими етапами та обладнанням, що неодмінно вплине на енергетичні та капітальні затрати.

Остаточний висновок про доцільність використання першого чи другого методів зневоднення МТК можна буде зробити після узагальнення кінетики процесу і проведення енергетичного аналізу та аналізу якості готового продукту.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Филонов А.П. Мероприятия по реализации «Концепции развития химической промышленности Украины». //Хімічна промисловість України. 2002 р. №1, - С. 3-6.
2. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - М.: Химия, 1986. – 510 с.
3. Роговой М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов: Учебник для техникумов. -М.: Стройиздат, 1983. -367 с. ил.

Стаття надійшла 15.02.2007

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