

УДК 66-9:66.021.3

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІЬКОСТІ ПЕРЕГОРОДОК НА ТОВЩИНУ ЛАМІНАРНОЇ ПЛІВКИ ПРИ РОЗЧИНЕННІ ТВЕРДОЇ РЕЧОВИНИ

*Наведено результати експериментальних досліджень розчинення твердої речовини в кислоті в залежності від кількості обертів мішалки та вертикальних перегородок, встановлених у посудині, виявлено вплив кількості перегородок на товщину ламінарної плівки*

**К. В. Луняка**  
Доктор технічних наук, завідувача кафедрою\*

**Д. М. Вус**  
Аспірант\*

**С. А. Русанов**  
Кандидат технічних наук, старший викладач  
Контактний тел.: (0552) 36-34-57  
\*Кафедра "Обладнання хімічних виробництв і підприємств  
будівельних матеріалів"  
Херсонський національний технічний університет  
Бериславське шосе, 24, м. Херсон, Україна, 73008  
Контактний тел.: (0552) 32-69-24  
E-mail: ohvpbm@i.ua

## 1. Вступ

Розчинення твердих тіл – один з найбільш поширених масообмінних процесів хімічної технології. Найчастіше розчинення здійснюється при механічному перемішуванні речовин. Для багатьох процесів ефективне перемішування є однією з важливих стадій виробництва і визначає успіх технологічного процесу в цілому.

Розчиненню перешкоджає ламінарна плівка, що утворюється на поверхні твердої речовини, тому в даній роботі проводилось дослідження утворення і руйнування ламінарної плівки на поверхні частинок.

## 2. Основна частина

Вплив перемішування на швидкість масообмінного процесу, що протікає у гетерогенному середовищі, прикладом якого може бути розчинення дигідрофосфату кальцію у соляній кислоті, полягає у руйнуван-

ні ламінарної плівки продукту реакції на поверхні твердої речовини, яка перешкоджає доступу реагенту до твердої речовини [1]. На швидкість руйнування ламінарної плівки, а значить, і швидкість розчинення твердої речовини, впливає швидкість руху рідини поблизу гранул твердої речовини, збільшити яку можна шляхом підвищення кількості обертів мішалки або встановленням відбивних перегородок [2].

З метою дослідження впливу названих чинників на товщину ламінарної плівки досліджували кінетику розчинення гранул дигідрофосфату кальцію у соляній кислоті.

Методика експерименту полягала в наступному. В ємність заливали певний об'єм соляної кислоти, додавали дигідрофосфат кальцію у вигляді гранул діаметром 1 мм, які відбирались за допомогою сит (100 гранул мають масу 0,178 г) і проводили перемішування до повного розчинення твердої речовини. Через визначені проміжки часу брали пробу гранул, поміщали її на предметне скло мікроскопу і фотографували. Проекція фотографії на моніторі комп'ютера дає розміри

частинок 3-4 см, що дає можливість продовжити вимірювання лінійкою. Для отримання середнього значення діаметру гранул проводили 10-16 вимірів.

Для визначення товщини ламінарної плівки був використаний метод оберненого титрування.

Далі наводимо приклад визначення товщини ламінарної плівки, при використанні соляної кислоти концентрацією 7,3%. Досліди проводились, коли зразок (наважка дигідрофосфату) знаходився в нерухомому стані на склі мікроскопу, при перемішуванні у реакторі без перегородок, при перемішуванні у реакторі з двома і чотирма перегородками, при кількості обертів  $n=5$  об./с. Проби відбирались через кожні 5 хв. до повного розчинення гранул. Розведена у 10 разів соляну кислоту, яка залишалась після досліду, титрували з метилоранжем 0,125 н розчином тетраборату натрію.

Площа поверхні однієї гранули діаметром 1 мм складає  $3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

У табл. 1 наведені результати оберненого титрування соляної кислоти у разі розчинення дигідрофосфату кальцію в ємностях без перегородок і при їх наявності.

Таблиця 1

Вплив кількості перегородок на витрату тетраборату натрію

$\tau$ , с	Витрата об'єму 0,125 н розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , мл, при $n=5$ об./с на титрування розчину соляної кислоти, що не вступила в реакцію		
	без перегородок	2 перегородки	4 перегородки
0	4,0	4,0	4,0
300	3,9	2,8	2,6
600	3,7	2,6	2,4
900	3,2	2,4	2,4
1200	2,8	-	-
1500	2,4	-	-

Наводимо приклад розрахунку товщини ламінарної плівки за результатами оберненого титрування (дані табл. 1) при взаємодії дигідрофосфату з соляною кислотою при перемішуванні у ємності без перегородок на протязі 300 с.

Маса фосфорної кислоти, що утворилася в результаті реакції, дорівнює:

$$m_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 32,7 \cdot \frac{0,125x}{1000} = 32,7 \cdot \frac{0,125 \cdot 0,1}{1000} = 4,09 \cdot 10^{-4} \text{ г} = 4,09 \cdot 10^{-7} \text{ кг},$$

де  $x$  – різниця об'ємів 0,125 н розчину тетраборату натрію, що витрачається на титрування контрольної проби ( $\tau=0$  с) і розчину  $\text{HCl}$ , що залишився після взаємодії з наважкою фосфату;

32,7 г/моль – еквівалентна маса  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

З урахуванням того, що при титруванні соляна кислота розводилась у 10 разів, об'єм фосфорної кислоти (густина  $\rho=1870 \text{ кг/м}^3$ ) складе:

$$V = \frac{m_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot 10}{\rho_{\text{H}_3\text{PO}_4}} = 2,19 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Товщина ламінарної плівки:

$$\delta = \frac{V}{S \cdot n} = 0,014 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,014 \text{ мм}.$$

Максимальна маса фосфорної кислоти, що може утворитися при взаємодії взятої наважки дигідрофосфату кальцію з соляною кислотою, дорівнює:

$$m_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 32,7 \cdot \frac{0,125x}{1000} = 6,54 \cdot 10^{-3} \text{ г},$$

а її об'єм

$$V = \frac{6,54 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{1870} = 3,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Максимальна товщина ламінарної плівки фосфорної кислоти, що може утворитися з умов експерименту 0,22 мм.

Аналогічні розрахунки для інших умов дають результати, наведені у табл. 2.

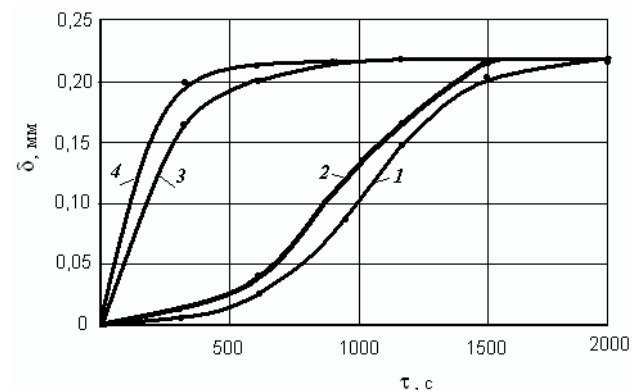
Таблиця 2

Вплив умов перемішування на товщину ламінарної плівки при  $n=5$  об./с

$\tau$ , с	$\delta$ , мм			
	без перемішування	при перемішуванні		
		без перегородок	2 перегородки	4 перегородки
300	0,007	0,014	0,17	0,2
600	0,025	0,042	0,2	0,22
900	0,08	0,11	0,22	0,22
1200	0,15	0,17	0,22	
1500	0,2	0,22		
2000	0,22	0,22		

Як свідчать результати експериментів, представлені у вигляді табл. 2 і рис. 1, навколо гранули дигідрофосфату кальцію утворюється стійка плівка фосфорної кислоти, яка при невеликій швидкості перемішування (5 об./с) не розмивається на протязі тривалого часу (приблизно від 600-900 до 2000 с).

З метою руйнування ламінарної плівки і підвищення швидкості реакції збільшували швидкість обертання мішалки. Результати представлені в табл. 3 і на рис. 2.

Рисунок 1. Вплив умов перемішування на товщину ламінарної плівки при  $n=5$  об./с:

1 – без перемішування; 2 – перемішування в ємності без перегородок; 3 – перемішування в ємності з двома перегородками; 4 – перемішування в ємності з чотирма перегородками.

**Таблиця 3**

Вплив кількості обертів мішалки на товщину ламінарної плівки (без перегородок)

τ, с	Товщина шару плівки фосфорної кислоти, δ, мм, при кількості обертів мішалки, n, об./с						
	0	5	6	7	8	9	11
60	0,02	0,04	0,05	0,12	0,12	0,13	0,06
100	0,03	0,05	0,085	0,17	0,23	0,15	0,07
200	0,04	0,08	0,125	0,21	0,24	0,15	0,05
300	0,06	0,12	0,16	0,23	0,17	0,07	0
400	0,07	0,14	0,185	0,23	0,07	0,03	
500	0,08	0,15	0,2	0,23	0,01	0	
600	0,09	0,16	0,21	0,22	0		
900	0,14	0,19	0,23	0,13			
1200	0,2	0,22	0,24	0,07			
1500	0,22	0,24	0,24	0			

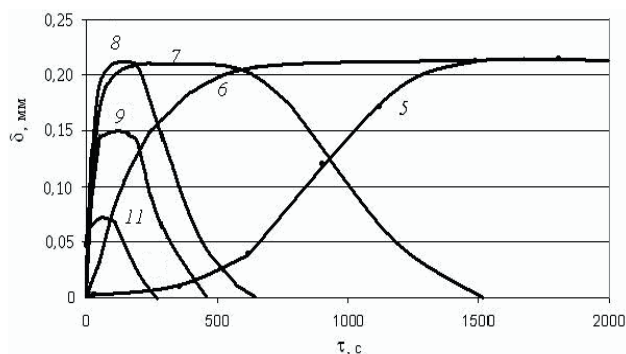


Рисунок 2. Вплив кількості обертів мішалки на товщину ламінарної плівки. Цифрами над кривими позначена кількість обертів мішалки, об./с.

Як видно з рис. 2, при швидкості обертання мішалки 8 об./с і вище спостерігається утворення шару плівки фосфорної кислоти зі швидким його розмиванням. При подальшому збільшенні кількості обертів ламінарна плавка починає руйнуватися раніше, ніж вона досягне своєї максимальної товщини.

При швидкості обертів мішалки 8 об./с був досліджений вплив кількості перегородок у реакційній ємності на товщину плівки фосфорної кислоти (табл. 4, рис. 3).

Як видно з рис. 3, товщина плівки зменшується зі зростанням кількості перегородок. За умов експерименту повне розчинення гранул дигідрофосфату при наявності 32 перегородок досягається за короткий час

– приблизно за 20 с, що дозволяє проводити процес розчинення безперервно.

**Таблиця 4**

Вплив кількості перегородок на товщину ламінарної плівки (при n= 8 об./с)

τ, с	Кількість перегородок					
	0	2	4	8	16	32
60	0,12	0,14	0,16	0,12	0,04	0,01
100	0,2	0,17	0,16	0,12	0,02	0
200	0,22	0,19	0,08	0,02	0	
300	0,17	0,13	0,03	0		
400	0,07	0,03	0			
500	0,01	0				
600	0					

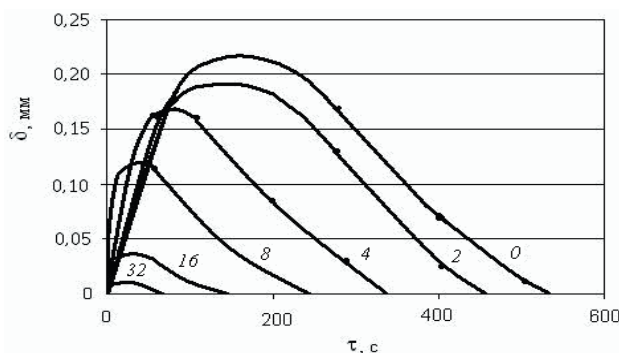


Рисунок 3. Вплив кількості перегородок у реакторі на товщину ламінарної плівки. Цифрами позначена кількість перегородок.

**Висновки**

1. Розроблена методика заміру гранул твердої речовини під час проведення хімічної реакції.
2. Визначена товщина ламінарної плівки навколо гранули твердої речовини в залежності від умов проведення експерименту.
3. Показано, що фосфорна кислота утворює навколо гранули дигідрофосфату кальцію досить стійку плівку товщиною 0,22 мм.
4. Використання реактору з перегородками дозволяє знизити час, потрібний для проведення реакції дигідрофосфату кальцію з соляною кислотою.

**Література**

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн./В.Г.Айнштейн, М.К.Захаров, Г.А.Носов и др.; Под ред. В.Г.Айнштейна. М.: Логос; Высшая школа, 2003. Кн. 1. 912 с.
2. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск./Под ред. И.А.Щупляка. Л.: Химия, 1975. 384 с.