

**К.Луняка, докт. техн. наук; Д. Вус; Г. Чумаков, канд. техн. наук**

*Херсонський національний технічний університет*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МАСОПЕРЕДАЧІ ПРИ ПЕРЕМІШУВАННІ ТУРБІННОЮ МІШАЛКОЮ В ПОСУДИНАХ З ВІДБИВНИМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ**

*Наведено результати експериментальних досліджень фізичного розчинення твердої речовини в залежності від кількості вертикальних перегородок, встановлених у посудинах, виявлено вплив кількості перегородок на інтенсивність масопередачі і потужність, що споживається мішалкою, розраховано коефіцієнти масовіддачі за різних режимів роботи установки.*

**K.Lunyaka, D.Vuss, G.Chumakov**

## **INVESTIGATION OF THE MASS-TRANSFER UNDER MIXING BY THE TURBINE MIXER IN THE PARTITION VESSELS**

*The results of experimental researches of physical dissolution of hard matter depending on the amount of the vertical partitions set in a vessel are resulted, exposed influence of amount of partitions on intensity of mass transfer and power which is consumed by a mixer, the coefficients of mass rejection at different modes of operations of setting are expected.*

### **Умовні позначення**

$W$  – маса гранул у момент часу  $\tau$ , кг;

$K$  – коефіцієнт масопередачі при розчиненні, м/с;

$F$  – площа поверхні гранул в момент часу  $\tau$ , м<sup>2</sup>;

$(C_s - C)$  – градієнт концентрацій між насиченим шаром і основною масою рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм рідини в посудинах, м<sup>3</sup>;

$C$  – концентрація, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta C_{сер}$  – середня логарифмічна різниця концентрацій, кг/м<sup>3</sup>;

індекс «0» належить до початкових умов, «S» - до насиченого стану.

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

Основною технологічною характеристикою перемішуючого пристрою, вочевидь, є ефективність, яку можна виражати, наприклад, часом, що витрачається для досягнення рівномірного розподілу речовини по усьому об'єму, або вирівнювання температур у різних точках рідини, однорідністю отриманої суміші тощо. Вважається [1], що зі збільшенням кількості обертів мішалки, а значить, і потужності, яка витрачається на її обертання, ефективність процесу зростає, але до певної межі; при цьому зростають і витрати енергії.

Збільшення кількості обертів мішалки призводить до утворення воронки, яка спричиняє низку незручностей при проведенні технологічних процесів: неоднакові рівні вільної поверхні у різних її точках, можливість оголення дна посудини і перепліскування рідини через її бокові стінки, зменшення інтенсивності перемішування і т.п. Тому при перемішуванні нерідко використовують спеціальні пристрої, які запобігають утворенню воронки. Такими пристроями є вертикальні перегородки (які ще називаються відбивними перегородками) – нерухомі прямокутні пластини шириною 0,05÷0,12 діаметру апарата, закріплені або впритул до стінки, або, з метою запобігання утворення застійних зон, на деякій відстані від неї [1]. Як правило, рекомендується встановлювати 2-4 таких перегородки.

В літературі містяться суперечливі твердження щодо потреби встановлення перегородок, не обґрунтовується їхня кількість, а також немає єдиної точки зору на зміну потужності, що витрачається на перемішування, у разі встановлення перегородок. Так, Стренк [2] вважає, що розміщення в посудині відбивних перегородок, які спричиняють значне зростання потужності, що витрачається на перемішування, але мало впливає на інтенсивність масообміну, не вважається доцільним. На думку деяких авторів, інтенсивність масообміну при встановленні перегородок навіть зменшується [3]. Вочевидь, це твердження справедливе лише для випадків утворення неглибоких воронок, коли не спостерігається оголення маточини.

Між тим, це питання має певне значення, оскільки встановлення перегородок призводить до подорожчання апарата, особливо у разі використання високолегованих сталей, які часто застосовуються в апаратах з агресивними середовищами, тому треба знати, скільки перегородок слід встановити і взагалі, чи вони потрібні.

Метою роботи було вивчення впливу кількості відбивних перегородок у посудині, в якій проводиться процес розчинення твердої речовини, на час, потрібний для проведення процесу, і на коефіцієнт масовіддачі при розчиненні.

Для цього була виготовлена експериментальна установка, конструкція якої дозволяла змінювати кількість перегородок (рис. 1). Зважаючи на габарити посудини, у якій проводилось розчинення, максимальна кількість перегородок дорівнювала 32. Використання більшої кількості перегородок пов'язане з труднощами встановлення кріплень для перегородок і самих перегородок на близькій відстані. Для дослідження використовували різні типи мішалок – лопатеву, турбінну, пропелерну, які найбільш поширені у хімічному виробництві. Основні результати для різних типів мішалок аналогічні, тому у даній роботі ми наводимо дані, отримані при використанні відкритої турбінної мішалки з шістьма лопатками, а також лопатевої мішалки, і з параметрами ємності й відбивних перегородок, вказаними у табл. 1.

Таблиця 1 - Параметри апарата, мішалки і відбивних перегородок, що використовувались у дослідженні

Діаметр ємності $D$ , м	Висота апарата, м	Висота рівня рідини $H$ , м	Відстань мішалки від дна, м	Ширина перегородки, м	Кількість обертів мішалки, $n$ , с <sup>-1</sup>
0,40	0,60	0,40	0,03	0,02	4,3÷11,7

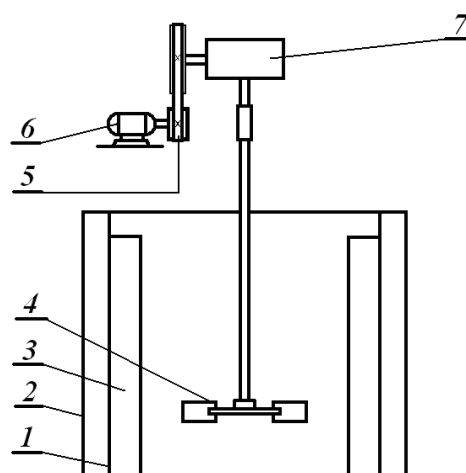


Рисунок 1 - Схема експериментальної установки:

1 – посудина з мішалкою; 2 – посудина-термостат; 3 – відбивні перегородки; 4 – мішалка; 5 – пасова передача; 6 – електродвигун; 7 – варіатор швидкостей

В апарат заливали 20л рідини на висоту 0,4 м і після досягнення мішалкою заданої кількості обертів у рідину опускали 0,2 кг гранул твердої речовини. Як модельна речовина використовувалися циліндрики з плавленого цукру діаметром 16 мм і висотою 20мм.

Характеристиками процесу вважали: ефективність перемішування, яку виражали часом, потрібним для розчинення наважки твердої речовини, і коефіцієнтом масопередачі  $K$ .

З наведених залежностей видно, що при встановленні двох перегородок при низькому значенні критерію Рейнольдса (до 70000) критерій потужності різко зменшується, збільшення кількості перегородок до чотирьох призводить до подальшого зниження цієї величини, але збільшення кількості перегородок до 8 і далі спричиняє зростання критерію потужності. Таким чином, якщо виходити з необхідності зменшення потужності, що витрачається, то встановлення чотирьох перегородок має перевагу перед двома при відносно низьких значеннях  $Re$ . Але при більш високих значеннях числа Рейнольдса критерій потужності, визначений при різній кількості перегородок, практично не залежить від  $Re$ .

Таким чином, якщо перемішування відбувається при значеннях  $Re > 70000$ , то потужність, що витрачається, практично не залежить від наявності відбивних перегородок, але встановлення перегородок запобігає утворенню воронки з усіма небажаними наслідками.

Тепер виникає питання щодо ефективності перемішування при наявності перегородок. З метою виявлення впливу кількості перегородок на ефективність перемішування проводились досліди з визначення часу розчинення наважки матеріалу (рис. 3). Досліди показали, що ефективність перемішування (зменшення часу, що потрібний для повного розчинення) постійно зростає зі збільшенням кількості перегородок.

Як видно з рис. 4, у межах дослідженої кількості перегородок не спостерігається наближення нижньої ділянки кривих до асимптоти навіть при великій кількості перегородок – спостерігаємо досить значне зменшення часу, потрібного для розчинення, навіть при переході від 16 до 32 перегородок. Таким чином, зі збільшенням кількості перегородок ефективність перемішування постійно зростає.

Було визначено коефіцієнт масопередачі при розчиненні, використовуючи такі викладки [4]:

$$-\left(\frac{dW}{d\tau}\right) = KF(C_s - C). \quad (1)$$

$\rho$ , кг/м<sup>3</sup>

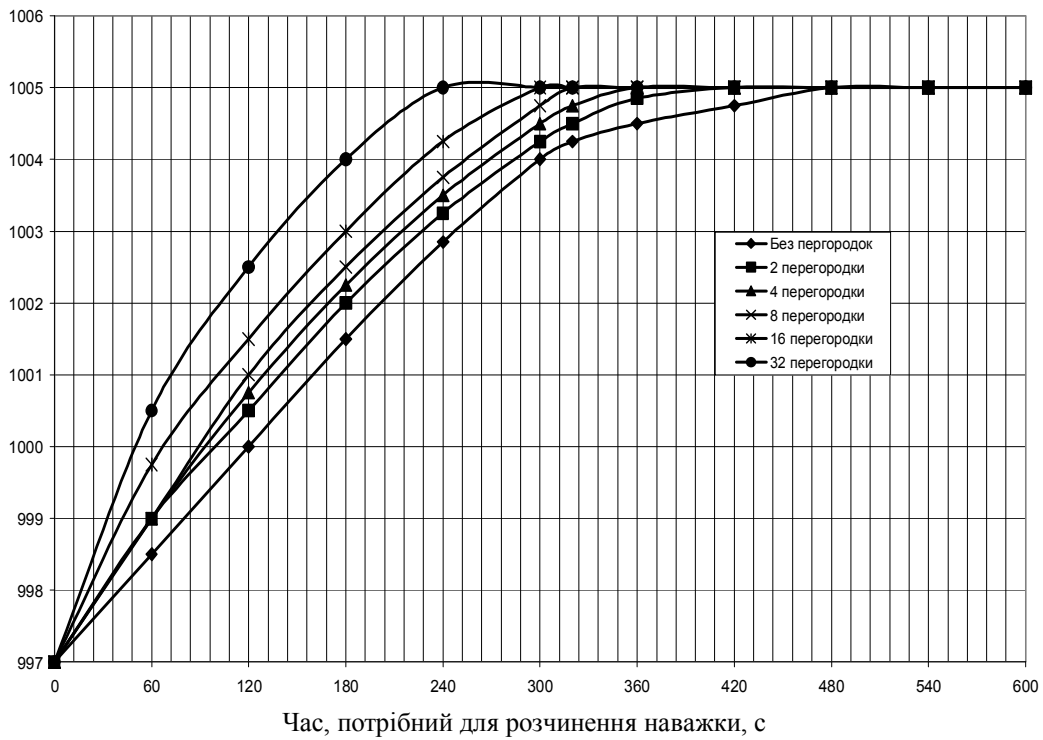


Рисунок 3 - Вплив кількості відбивних перегородок на густину отриманого розчину

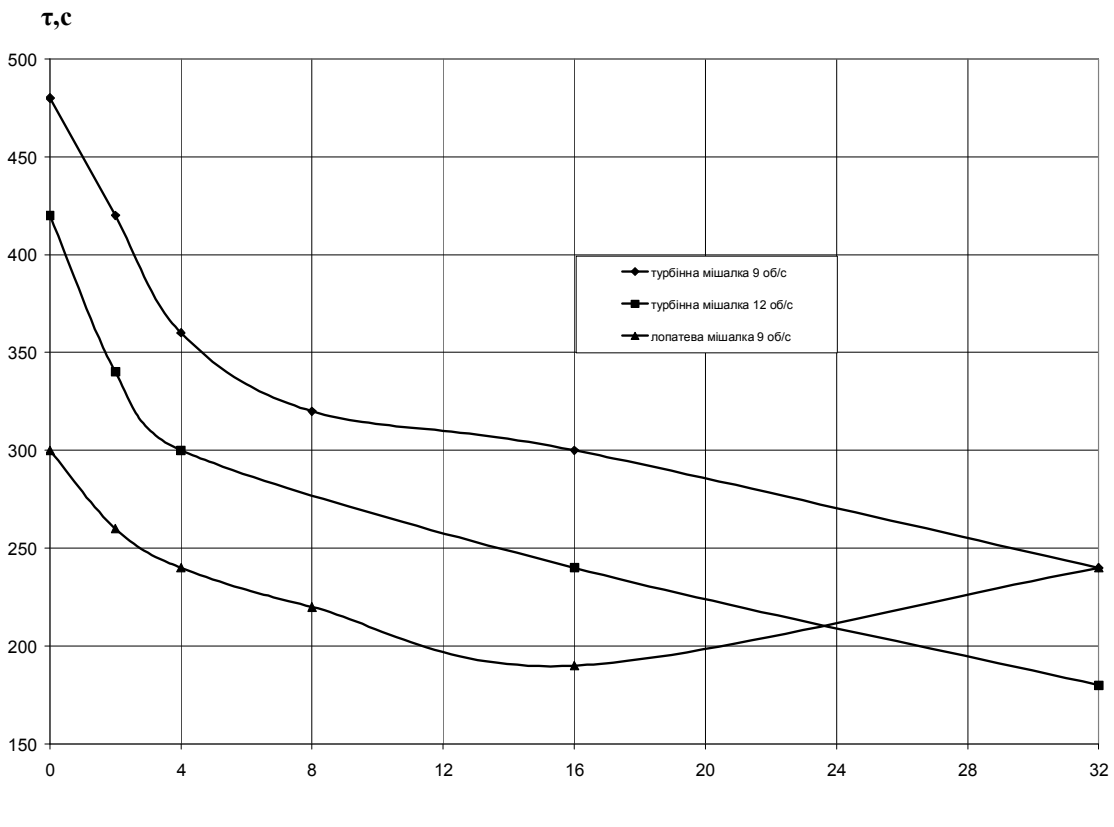


Рисунок 4 - Вплив кількості відбивних перегородок на час, потрібний для розчинення твердого матеріалу

Оскільки гранули мали форму циліндра з діаметром, який дорівнює висоті, то, якщо припустити, що форма гранул при перемішуванні не змінюється, поверхня завжди буде пропорційною масі у степені  $2/3$ . Тоді рівняння (1) набуде вигляду:

$$-\left(\frac{dW}{d\tau}\right) = K\alpha W^{2/3} (C_s - C), \quad (2)$$

де  $\alpha = \frac{F_0}{W^{2/3}}$ .

У будь-який момент часу  $\tau$  масу гранул  $W$  можна виразити через масу вихідних гранул  $W_0$ :

$$W = (W_0 - VC) \quad \text{або} \quad dW = -VdC. \quad (3)$$

Тоді

$$\int_0^C \frac{dC}{(W_0 - VC)^{2/3} (C_s - C)} = \frac{K\alpha}{V} \int d\tau = \frac{K\alpha\tau}{V} \quad (4)$$

або

$$K = \frac{V}{\alpha W} \int_0^C \frac{dC}{(W_0 - VC)^{2/3} (C_s - C)}. \quad (5)$$

Після інтегрування отримуємо:

$$K = \frac{3(W_0^{1/3} - W^{1/3})}{\alpha\tau\Delta C_{сеп}}. \quad (6)$$

За рівнянням (6) обчислено коефіцієнти масопередачі для досліджуваного процесу. Значення цих величин наведено у табл. 2.

Таблиця 2 - Результати з дослідження впливу відбивних перегородок на ефективність та інтенсивність перемішування рідкого середовища при використанні турбінної мішалки

Re	Потужність N, кВт		Час, потрібний для розчинення, с	K, м/с
	пускова	робоча		
Без перегородок				
66700	0,014	0,006	480	0,0016
90000	0,036	0,010	480	0,0016
110000	0,095	0,011	420	0,0018
2 перегородки				
66700	0,011	0,016	480	0,0016
91700	0,050	0,024	420	0,0018
116700	0,095	0,028	360	0,0022
4 перегородки				
64200	0,013	0,014	420	0,0018
86700	0,032	0,020	360	0,0022
116700	0,061	0,034	300	0,0026
8 перегородок				
63300	0,017	0,013	420	0,0018
92700	0,033	0,022	320	0,0024
116700	0,060	0,037	300	0,0026
16 перегородок				
64200	0,015	0,012	420	0,0018
91700	0,037	0,020	300	0,0026
110000	0,089	0,034	240	0,0032
32 перегородки				
66700	0,010	0,012	360	0,0022
92700	0,036	0,020	240	0,0032
116700	0,086	0,034	180	0,0043

Проведені експерименти показали, що збільшення кількості перегородок сприяє зменшенню часу, потрібного для проведення процесу і зростанню коефіцієнта масопередачі. Так, з результатів, представлених на рис. 4, видно, що при швидкості обертів мішалки 12 об/с розчинення досягається за 420 с, при встановленні двох перегородок – за 340 с, чотирьох – за 300 с. Нагадаємо, що встановлення двох або чотирьох перегородок рекомендується у літературних джерелах. Але й подальше зростання кількості перегородок сприяє зниженню часу, необхідного для здійснення процесу масообміну. Як видно з наведених даних, при наявності у посудині 32 перегородок час, потрібний для розчинення речовини, скорочується до 180 с, тобто він практично удвічі менший, ніж при встановленні рекомендованих у літературі двох перегородок, і цей час, судячи з характеру кривої для турбінної мішалки, буде зменшуватись і надалі. Для лопатевої мішалки, як це видно з рис. 4, оптимальною кількістю перегородок буде 16.

Одночасно зі зменшенням часу, потрібного для проведення процесу, як видно з даних, наведених у табл. 2, спостерігається зростання константи масопередачі при збільшенні кількості перегородок. Це зростання більш помітне при великих числах Рейнольдса і спостерігається аж до найбільшої у дослідженні кількості перегородок.

Аналіз витрати енергії, потрібної для проведення процесу перемішування, показує, що вона практично не залежить від кількості перегородок, що спростовує думку про те, що витрати енергії напряду зв'язані із якістю перемішування, і при зменшенні потужності, що витрачається мішалкою, якість також знижується [1].

### **Висновки**

Досліджено вплив кількості відбивних перегородок на ефективність розчинення твердої речовини. Показано, що збільшення кількості перегородок сприяє зменшенню часу, потрібного для розчинення, і зростанню коефіцієнта масопередачі. В роботі вперше показано, що збільшення кількості перегородок понад 4, рекомендованих в літературних джерелах, призводить до подальшої інтенсифікації процесу перемішування. Для лопатевої мішалки оптимальною кількістю перегородок є 16, для турбінної інтенсивність перемішування зростає і після 32 перегородок. Зростання витрати потужності (як пускової, так і робочої) при збільшенні кількості перегородок за умов експерименту не спостерігається.

### **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. Польша, 1971. Пер. с польск. / Под ред. Щупляка И.А. - Л.: Химия, 1975. - 384с.
3. Вэй Д., Гзовский С.Я., Плановский А.Н. Хим. нефт. маш. 4, 286 (1963). – С.47-51.
4. Jha R.R., Rao M.Raja. Mass transfer studies in stirrer vessels. "Indian Chem. Eng.", 1969, V. 11, № 4, P.143-151.

*Одержано 13.11.2007 р.*