

УДК 66-9:66.021.3

# ОТРИМАННЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ РОЗЧИНЕННЯ РЕЧОВИНИ В ПОСУДИНІ З МІШАЛКОЮ

**К. В. Луняка**

Доктор технічних наук, професор, завідувачий кафедрою\*  
Контактний тел.: 55-26-11

**Д. М. Вус**

Аспірант\*  
E-mail: denis.vus@gmail.com

**С. А. Русанов**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: (0552) 36-34-57  
E-mail: ohvpbm@bk.ru

**О. І. Ключев**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: (0552) 32-69-24  
\*Кафедра "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"  
Херсонський національний технічний університет  
Бериславське шосе, 24, м.Херсон, Україна, 73008

*Наведено результати експериментальних досліджень по розчиненню твердої речовини механічною мішалкою у ємності з відбивними перегородками. Отримано критеріальне рівняння розчинення речовини в посудині з мішалкою*

*Ключові слова: критеріальне рівняння, ємність з відбивними перегородками*

*Представлены результаты экспериментальных исследований по растворению твердого вещества механической мешалкой в емкости с отражательными перегородками. Получено критериальное уравнение растворения вещества в сосуде с мешалкой*

*Ключевые слова: критериальное уравнение, емкость с отражательными перегородками*

*The results of experimental studies on the dissolution of solids in a stirred-tank with baffles. The criteria equation dissolution of the substance in a container in stirred-tank*

*Key words: criteria equation dissolution; stirred-tank; baffles*

Процеси перемішування широко використовуються у хімічній та споріднених технологіях. У багатьох процесах ефективно перемішування є однією з важливих стадій виробництва і визначає успіх технологічного процесу в цілому.

Основною метою перемішування, є досягнення рівномірності розподілу речовин по об'єму посудини, інтенсифікація процесів тепло- або масообміну тощо.

Інтенсивність обумовлює характер руху рідини в апараті і характеризується критерієм Рейнольдса  $Re$ . Зі збільшенням інтенсивності зростає як витрата енергії, так і ефективність процесу. З метою підвищення інтенсивності процесу перемішування збільшують кількість обертів мішалки, але при цьому виникає така проблема, як утворення воронки, що з'являється при перемішуванні малов'язких рідин у гладкостінних посудинах. Тому при перемішуванні нерідко використовують спеціальні пристрої, які запобігають утворенню

воронки. Такими пристроями є вертикальні (відбивні) перегородки [1]. При встановленні відбивних перегородок зростає витрата потужності на перемішування. У літературних джерелах, присвячених процесу перемішування, відсутні залежності, які дозволяють встановити взаємозв'язок між кількістю перегородок й інтенсивністю процесу, тому отримання такої залежності дозволить розрахунковим шляхом встановити кількість відбивних перегородок, що сприятиме створенню оптимальних умов перемішування.

Як вже згадувалося, інтенсивність перемішування пов'язана з витратою потужності. Тому ми використовували величини потужності, які визначали експериментальним шляхом, для виведення критеріального рівняння розчинення речовини в ємності з мішалкою.

Дослідження проводились на експериментальній установці (рис. 1). Використовувалась турбінна мішалка відкритого типу. Перегородки закріплювались

у спеціальних скобах, приварених до стінки ємності. Конструкція дозволяла змінювати кількість перегородок до 32. Як модельна речовина використовувалися циліндрики з плавного цукру діаметром 16 мм і висотою 20 мм.

Таблиця 1

Параметри апарату, мішалки і відбивних перегородок, що використовувались у дослідженні

Діаметр ємності D, м	Висота апарату, м	Висота рівню рідини H, м	Вид мішалки	Діаметр мішалки, м	Висота мішалки від дна, м	Ширина перегородки, м	Товщина перегородки, м
0,40	0,60	0,40	турбінна (6 прямих лопаток)	0,10	0,03	0,02	0,003

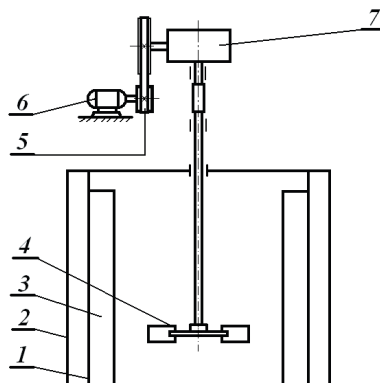


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – посудина з мішалкою; 2 – посудина-термостат; 3 – відбивні перегородки; 4 – мішалка; 5 – ремінна передача; 6 – електродвигун; 7 – варіатор швидкостей

Потужність, що споживається мішалкою, визначається з рівняння [2]:

$$N = k_H k_{в.пр.} E_{u_m} \rho n^3 d_m^5, \quad (1)$$

де  $k_H = \left(\frac{H_p}{D}\right)^{0,5}$  – коефіцієнт, що враховує значення  $\frac{H_p}{D} > 1$ ;

$k_{в.пр.}$  – коефіцієнт, що враховує наявність внутрішніх пристроїв;

$n$  – кількість обертів перемішуючого пристрою, об./с;

$E_{u_m}$  – модифікований критерій Ейлера;

$H_p$  – висота рівню рідини, м;

$D$  – діаметр апарату, м.

З (1) випливає, що для визначення потужності потрібно знати  $k_H k_{в.пр.} E_{u_m}$ . Конструктивно можна встановити  $k_H = 1$ . При  $k_H = 1$  і відсутності внутрішніх пристроїв (гладкі стінки) рівняння (1) можна записати:

$$N = E_{u_m} \rho n^3 d_m^5. \quad (2)$$

При наявності внутрішніх пристроїв (у нашому випадку скоб і перегородок):

$$N = k_{в.пр.} E_{u_m} \rho n^3 d_m^5, \quad (3)$$

$$i k_{в.пр.} E_{u_m} = \frac{N}{\rho n^3 d_m^5} \quad (4)$$

Таким чином, проводячи дослідження з різною потужністю, можна визначити величину  $k_{в.пр.} E_{u_m}$  з (4), яку можна використовувати для розрахунку критерію Рейнольдса в різних умовах, наприклад, при наявності відбивних перегородок. Умовами, що змінюються, є: тип мішалки, кількість її обертів і кількість перегородок, встановлених у ємності.

З іншого боку, критерій потужності можна визначити з пускової  $N_p$  і робочої  $N_r$  потужності, використо-

вуючи рівняння  $N_p = \frac{\left(1 + \frac{k}{E_{u_m}}\right) N_p}{\eta} [2]$ , де  $k$  – стала; для турбінної мішалки  $k = 3,87a$ ;  $a = \frac{h}{d_m}$ ;  $h$  – висота лопатки мішалки, к.к.д.  $\eta = 0,73$ .

Підставляючи у рівняння для  $N_p$  значення  $k$  для мішалки, що використовувалась в експерименті, отримуємо

$$k_{в.пр.} E_{u_m} = \frac{0,774 N_p}{0,73 N_p - N_p}. \quad (5)$$

Для визначення  $k_{в.пр.} E_{u_m}$  були проведені експерименти, при яких змінювалась кількість обертів мішалки, одночасно визначалась пускова і робоча потужність.

Як видно з наведених в табл. 2 даних,  $k_{в.пр.} E_{u_m}$  залежить від кількості скоб і перегородок, а також від числа Рейнольдса, при чому виявилось, що значення  $k_{в.пр.} E_{u_m}$ , розраховані за рівнянням (4)  $[(k_{в.пр.} E_{u_m})_1]$  і за рівнянням (5)  $[(k_{в.пр.} E_{u_m})_2]$  дуже відрізняються (табл. 2, колонки 8 і 9). Порівнюючи коефіцієнти потужності, наведені в літературних джерелах [3], відмічаємо, що  $(k_{в.пр.} E_{u_m})_1$  значно більша, а  $(k_{в.пр.} E_{u_m})_2$  – значно менша за ті, що наведені в літературі для певної області значень критеріїв Рейнольдса. Виникає питання, яке значення  $k_{в.пр.} E_{u_m}$  треба брати для розрахунку потужності, що споживається мішалкою.

Аналіз значень  $(k_{в.пр.} E_{u_m})_1$  і  $(k_{в.пр.} E_{u_m})_2$  показав, що відношення цих величин для певної кількості перегородок є постійним у розрахунку на одиницю потужності (див. табл. 2, колонка 11), тому можна знайти середні значення  $\frac{(k_{в.пр.} E_{u_m})_1}{(k_{в.пр.} E_{u_m})_2 E_{u_m} N_p}$ . Ці значення показують вплив кількості внутрішніх пристроїв (перегородок) характер руху рідини в реакторі.

Визначивши ці значення, а також розрахувавши за рівнянням  $Re = \frac{nd^2 \rho}{\mu}$  критерій Рейнольдса за певних умов роботи, можна з запропонованого критеріально-го рівняння (див. (6)) визначити величину, що враховує взаємодію потоків рідини в ємності з мішалкою.

Критеріальне рівняння для визначення критерію Рейнольдса при розчиненні твердої речовини має вигляд:

$$Re = C_1 C_2 C_3 (Ar \cdot Fr \cdot Ho)^a \Gamma_D^b \Gamma_1^c \quad (6)$$

де  $C_1$  – коефіцієнт, що враховує геометрію мішалки, є сталою для даного дослідження, і її можна ввести в константу А;

$$C_2 = \frac{(k_{в.пр.} Eu_M)_1}{(k_{в.пр.} Eu_M)_2 Eu_M N_p}$$

$C_3$  – коефіцієнт, який враховує взаємодію потоків, що виникають від внутрішніх пристроїв;

$\Gamma_D$  і  $\Gamma_1$  – симплекси геометричної подібності,

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}, \Gamma_1 = \frac{\pi D}{l}, \text{ де } l - \text{ відстань між перегородками.}$$

Таким чином, величини  $C_1$  і  $C_2$  для умов даного експерименту відомі.  $C_3$  залежить від кількості пере-

городок (табл. 3) яке дозволяє визначити  $C_3$  при будь-якій кількості перегородок (табл. 3).

Обробка результатів експериментів за допомогою методу найменших квадратів дозволила отримати критеріальне рівняння:

$$Re = 5,44 \cdot 10^4 (C_3 Ar \cdot Fr \cdot Ho^{-1})^{0,336} \Gamma_D^{-0,1} \Gamma_1^{-0,077}, \quad (8)$$

де  $\Gamma_D = \frac{0,4}{0,1} = 4$  при  $V < 32$  перегородок;  $\Gamma_D = \frac{0,36}{0,1} = 3,6$  при  $V = 32$  перегородки;

$$\text{добуток } (Ar \cdot Fr \cdot Ho^{-1}) = \left( \rho n^3 d_m^5 \cdot \frac{\Delta p}{\mu^2 \omega_{сеп}} \right).$$

Оскільки  $\left( \frac{\Delta p}{\mu^2 \omega_{сеп}} \right)$  для умов експерименту є сталою величиною, її вводимо у константу А. Сюди ж

Таблица 2

Розрахунки коефіцієнтів потужності

n, об./с	$\rho n^3 d^5$	$Re_{експ.} \times 10^3$	Потужність, Вт		$\frac{N_n}{N_p}$	$Eu_M$	$(k_{в.пр.} Eu_M)_1$	$(k_{в.пр.} Eu_M)_2$	$\frac{(k_{в.пр.} Eu_M)_1}{(k_{в.пр.} Eu_M)_2 Eu_M}$	$\frac{(k_{в.пр.} Eu_M)_1}{(k_{в.пр.} Eu_M)_2 Eu_M N_p}$	
			$N_n$	$N_p$						сер.	сер.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Серія 1 - гладка ємність											
6,7	3,01	66,7	7,4	2,6	2,8	0,85	-	-			
9	7,29	90	17	6,0	2,8	0,82	-	-			
11	13,31	110	30	10,6	2,8	0,80	-	-			
Серія 2 - ємність з 32 парами скоб											
6,7	3,01	66,7	163	78	2,1	0,85	25,9	1,47	20,7	0,26	
9	7,29	90	315	105	3	0,82	14,4	0,65	27,0	0,26	0,26
11	13,31	110	550	125	4,4	0,80	9,4	0,35	33,6	0,27	
Серія 3 - ємність з 2 перегородками і 30 парами скоб											
6,7	3,01	66,7	163	75	2,2	0,85	24,9	1,32	22,2	0,30	
9	7,29	90	343	89	3,8	0,82	12,2	0,43	28,4	0,32	0,32
11	13,31	110	600	112	5,4	0,80	8,41	0,27	36,6	0,33	
Серія 4 - ємність з 4 перегородками і 28 парами скоб											
6,7	3,01	66,7	167	75	2,2	0,85	24,9	1,24	23,6	0,31	
9	7,29	90	325	97	3,4	0,82	13,3	0,53	32,4	0,33	0,33
11	13,31	110	600	112	5,4	0,80	8,4	0,27	38,9	0,35	
Серія 5 - ємність з 8 перегородками і 24 парами скоб											
6,7	3,01	66,7	163	70	2,3	0,85	23,2	1,10	24,8	0,35	
9	7,29	90	333	83	4,0	0,82	11,4	0,42	33,1	0,40	0,33
11	13,31	110	600	120	5	0,80	9,0	0,29	38,8	0,32	
Серія 6 - ємність з 16 перегородками і 16 парами скоб											
6,7	3,01	66,7	167	70	2,4	0,85	23,2	1,0	27,3	0,39	
9	7,29	90	333	90	3,7	0,82	12,3	0,45	33,4	0,37	0,37
11	13,31	110	620	115	5,4	0,8	8,6	0,26	41,3	0,36	
Серія 7 - ємність з 32 перегородками											
6,7	3,01	66,7	167	68	2,4	0,85	24,3	0,96	29,8	0,44	
9	7,29	90	333	86	3,9	0,82	11,8	0,42	34,3	0,40	0,40
11	13,31	110	650	115	5,6	0,80	8,6	0,25	43,0	0,37	

городок V. Її можна розрахувати з експериментальних даних, наведених у табл. 2. Аналіз залежності  $C_3 = f(n, V)$  за допомогою методу найменших квадратів, що реалізований сьогодні у багатьох системах комп'ютерного програмування, дає рівняння

$$C_3^2 = 2,25 + 0,25V, \quad (7)$$

вводимо  $C_2$ , оскільки для певної кількості перегородок ця величина стала. Таким чином,  $A = 5,44 \cdot 10^4$ .

Перевірка правильності отриманого критеріального рівняння проводилась шляхом підстановки у рівняння (8) експериментальних даних, наведених в табл. 2.

Таблиця 3

Залежність коефіцієнта  $C_3$  і симплексів геометричної подібності  $\Gamma_D$  і  $\Gamma_I$  від кількості перегородок

V	$C_3$	$C_3^{0,336}$	$\Gamma_D$	$\Gamma_D^{-0,1}$	$\Gamma_I$	$\Gamma_I^{-0,077}$
0	1,50	1,146	4	0,87	12,56	0,82
2	1,66	1,186	4	0,87	6,25	0,83
4	1,80	1,218	4	0,87	3,11	0,92
8	2,06	1,275	4	0,87	1,54	0,97
16	2,50	1,360	4	0,87	0,75	1,02
32	3,20	1,478	3,6	0,88	0,36	1,086

Таблиця 4

Перевірка правильності рівняння (8)

Умови експерименту						$Re_{\text{експ.}}$	Похибка, %
V	п	$C_3$	$\Gamma_D$	$\Gamma_I$	$Re_{\text{розн.}}$		
2	6,7	1,80	4,0	6,24	63104	66700	5,4
8	11,0	2,06	4,0	1,54	113125	110000	2,8
32	9	3,20	3,6	0,036	88128	90000	2,1

*Стаття розглядає питання використання відходів содового виробництва для промислового отримання меліоранту, комплексної мінеральної добавки і сухої будівельної шпаклівки; передумови для пошуку раціональних шляхів використання відходів для отримання вказаних продуктів*

*Ключові слова: відходи виробництва, будівельні шпаклівки, меліорант*

*Статья рассматривает вопросы применения отходов содового производства для промышленного получения мелиоранта, комплексной минеральной добавки и сухой строительной шпатлевки; предпосылки для поиска рациональных путей использования отходов для получения указанных продуктов*

*Ключевые слова: отходы производства, строительная шпатлевка, мелиорант*

*The article is about the application of wastes of soda production for the industrial receipt of meliorant, complex mineral addition and dry build spackling; pre-conditions for the search of rational ways of utilization of wastes for the receipt of the indicated products*

*Keywords: wastes of soda production, dry build spackling, utilization, meliorant*

УДК 621.926 666.973.6 655.3.06

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. В. Манойло

Кандидат технических наук, доцент\*

Ю. А. Манойло

Кандидат технических наук, ассистент\*

В. Ф. Моисеев

Кандидат технических наук, профессор\*

\*Кафедра химической техники и промышленной экологии

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе 21, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел. (057) 707-62-57, 063-252-53-31

E-mail: bublikova1@yandex.ru

### Введение

Практически в любом производственном цикле химической промышленности появляются вещества,

дальнейшее применение которых в данной технологии не представляется возможным (из-за ряда факторов, чаще всего, в связи с несоответствием показателей качества требуемым), – отходы. Количество этих ве-