

УДК 66-9.66.021.3

# ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ МІШАЛКИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ВІДБИВНИХ ПЕРЕГОРОДОК

**Д. М. Вус**  
Аспірант\*

E-mail: denis.vus@gmail.com, ohvpbm@bk.ru

**К. В. Луняка**  
Доктор технічних наук, професор, завідувачий кафедрою\*

**С. А. Русанов**  
Кандидат технічних наук, доцент\*

**О. І. Ключев**  
Кандидат технічних наук, доцент\*  
\*Кафедра “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів”  
Херсонський національний технічний університет  
Бериславське шосе, 24, ауд. 319а, м. Херсон, Україна, 73008  
Контактний тел.: (0552) 32-69-24  
E-mail: ohvpbm@bk.ru

*Наведено результати експериментальних досліджень щодо витрати енергії при перемішуванні в ємностях з великою кількістю вертикальних перегородок, знайдено оптимальну кількість перегородок в залежності від діаметру апарату*  
**Ключові слова:** вертикальні перегородки, потужність при перемішуванні

*Представлены результаты экспериментальных исследований по расходу энергии при перемешивании в емкостях с большим количеством вертикальных перегородок, найдено оптимальное количество перегородок в зависимости от диаметра аппарата*  
**Ключевые слова:** вертикальные перегородки, мощность при перемешивании

*The results of experimental studies of energy consumption while mixing with a large number of baffles are presented with calculation the optimum number of baffles depending on the diameter of the tank*  
**Key words:** baffles, power for mixing

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 [1,2].

У роботах [3-6] були опубліковані результати досліджень, в яких розглядається питання про можливе збільшення кількості відбивних перегородок в апаратах з мішалками в порівнянні з загальноприйнятим. Як було встановлено, збільшення кількості перегородок  $J$  продовжує інтенсифікувати масообмін в апараті аж до деякого граничного значення коефіцієнтів масообміну  $\beta_{пр}$ , і, отже, зменшення так само до деякого значення часу ефективного перемішування  $\tau_{пр}$ , тобто при подальшому збільшенні кількості перегородок вказані величини практично не міняються. Крім того, до деякої межі збільшується потужність, що витрачається на перемішування  $N_{пр}$ . Теоретично кількість перегородок обмежена зверху величиною  $\pi D/b$ , де  $b$  – товщина перегородки. Після досягнення цього значення збільшується

ефективний діаметр апарату, тому з урахуванням цього обмеження правильніше говорити про максимальне значення коефіцієнтів масообміну і мінімальний час перемішування, і лише для  $b \rightarrow 0$  вказані величини прагнуть до граничних значень асимптотично. Питання про вибір оптимальної кількості перегородок тоді легко розв'язується, якщо виконати шматково-лінійну апроксимацію відповідних графіків (рис. 1):

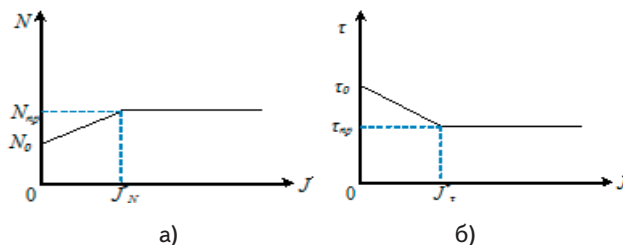


Рис. 1. Залежність потужності, що витрачається на перемішування (а) і часу, потрібного на проведення процесу (б), від кількості відбивних перегородок

Критерієм удосконалення устаткування в даному випадку буде помітне зменшення експлуатаційних витрат  $C_e$  за рахунок зменшення споживання електроенергії апаратом (економічний ефект від зростання продуктивності за рахунок зменшення часу реакції має місце за умовчанням і нами далі не розглядається).

Також не розглядаємо витрати на матеріал і монтаж перегородок.

Відповідно до того, що  $C_e = c_e N \tau$ , де  $c_e$  – вартість 1 кВт·год.;  $N$  – потужність приводу, кВт;  $\tau$  – час процесу.

В експериментах спостерігалася така наближена рівність, що істотно спрощує подальші розрахунки, а саме:

$$J_N^* \approx J_\tau^* = J^* \quad (1)$$

тоді

$$N \approx \begin{cases} N_0 + \frac{N_{np} - N_0}{J^*} J, & J \leq J^*; \\ N_{np}, & J > J^*, \end{cases} \quad (2)$$

$$\tau \approx \begin{cases} \tau_0 - \frac{\tau_0 - \tau_{np}}{J^*} J, & J \leq J^*; \\ \tau_{np}, & J > J^*. \end{cases} \quad (2)$$

Введемо позначення:  $a_N \approx N_{np} / N_0$ ,  $a_\tau \approx \tau_{np} / \tau_0$ , тоді

$$C_e = \begin{cases} c_e N_0 \tau_0 \left(1 + \frac{a_N - 1}{J^*} J\right) \left(1 - \frac{1 - a_\tau}{J^*} J\right), & J \leq J^*; \\ c_e N_0 \tau_0 a_N a_\tau, & J > J^*. \end{cases} \quad (4)$$

В залежності від позиції екстремуму параболи для  $J \leq J^*$  експлуатаційні витрати  $C_e$  будуть або зростати, або знижуватись, і, як видно з рис. 2, розташування максимуму лівіше за вісь  $J=0$  гарантує зниження витрат:

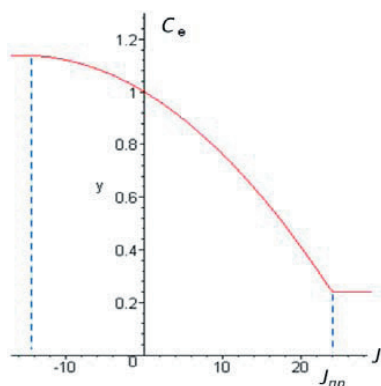


Рис. 2. Залежність експлуатаційних витрат від кількості відбивних перегородок

Крім того, розташування параболи гілками вниз говорить про те, що якщо виконується оптимальне співвідношення

$$a_N a_\tau < 1, \quad (5)$$

то оптимальною буде кількість перегородок

$$J = J^* \quad (6)$$

Таким чином, для встановлення гарантованого економічного ефекту від установки додаткової кількості перегородок і зменшення часу реакції, необхідно наперед знати, як зросте споживання енергії апаратом  $a_N$ .

Розподіл швидкостей рідини і потужність, що споживається, є важливими гідродинамічними характеристиками апаратів з мішалками. У зв'язку з недостатністю даних про вплив кількості перегородок в ємності з мішалкою на енергетичні характеристики процесу перемішування, визначали крутий момент, коефіцієнт потужності та потужність, що споживається мішалкою, в залежності від кількості перегородок.

Розрахунки проводились за допомогою програми FLUENT 6.2.

Результати розрахунків, свідчать про зміну енергетичних характеристик процесу перемішування в апаратах з вертикальними перегородками у порівнянні з тими, що перегородок не мають. Так, зростає крутий момент  $M$ , що свідчить про зростання опору, що виникає при обтіканні лопатей потоком у тангенціальному напрямі. Збільшується коефіцієнт потужності  $K_N$  і, відповідно, потужність, що споживається мішалкою.

Залежність коефіцієнта потужності від модифікованого критерію Рейнольдса наведена на рис. 1. Як бачимо, коефіцієнт потужності зростає від 2,68 для ємності без перегородок до  $\approx 3,25 \div 3,3$  для ємності з 32 перегородками (рис. 3) – тобто  $a_N \approx 1,2$ .

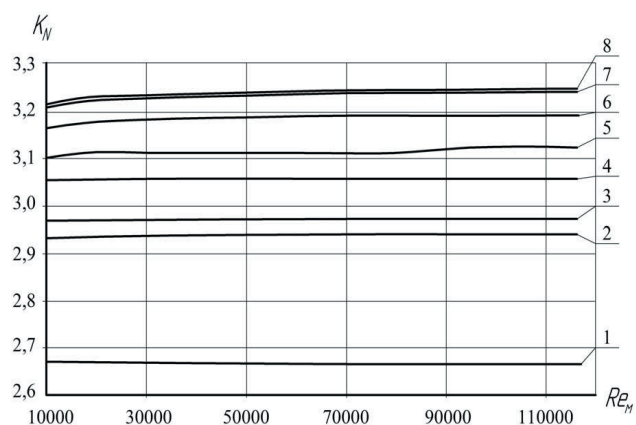


Рис. 3. Залежність  $K_N=f(Re)$  для турбінної мішалки в ємності з перегородками: 1 – без перегородок; 2 – 4 перегородки; 3 – 8 перегородок; 4 – 12 перегородок; 5 – 16 перегородок; 6 – 20 перегородок; 7 – 32 перегородки; 8 – 24 перегородки

Взявши дані по  $K_N$  для  $Re=116433$  (кількість обертів  $11,67 \text{ c}^{-1}$ ), побудували залежності  $K_N$  від відстані між перегородками для апаратів діаметрами 0,3, 1 і 2 м, які представлені в табл. 1 і на рис. 4.

Таблиця 1

Залежність коефіцієнта потужності  $K_N$  від відстані між відбивними перегородками

Кількість перегородок J	Діаметр апарата, м											
	0,3				1				2			
	$K_N$	$\lg K_N$	l	$-\lg l$	$K_N$	$\lg K_N$	l	$-\lg l$	$K_N$	$\lg K_N$	l	$-\lg l$
0	2,68	0,43			2,66	0,42			2,66	0,42		
4	3,02	0,48	0,23	0,64	2,94	0,46	0,78	0,11	2,85	0,45	1,57	-0,2
8	3,09	0,49	0,12	0,92	2,97	0,47	0,39	0,41	2,88	0,46	0,78	0,11
12	3,15	0,50	0,08	1,10	3,06	0,48	0,26	0,58	2,92	0,46	0,52	0,28
16	3,21	0,51	0,06	1,22	3,12	0,49	0,19	0,70	2,99	0,47	0,39	0,41
20	3,26	0,51	0,05	1,33	3,19	0,50	0,16	0,80	3,06	0,49	0,31	0,51
24	3,27	0,51	0,04	1,41	3,25	0,51	0,13	0,89	3,09	0,49	0,26	0,58
32	3,27	0,51	0,03	1,54	3,24	0,51	0,10	1,00	3,07	0,49	0,20	0,70

Як свідчать дані, наведені в табл. 1, зі збільшенням кількості перегородок  $K_N$  зростає до певної межі. Таку кількість перегородок і відстань між ними можна вважати оптимальними для даного діаметру апарату. Оптимальні кількість перегородок та відстань між ними ми визначили за графіком  $K_N=f(J)$  – рис. 3. Так, в залежності від діаметру апарату оптимальними для потужності є:

D, м	J	l, м
0,3	20	0,05
1,0	23	0,14
2,0	24	0,23

Апроксимація залежності  $K_N=f(l)$  методом найменших квадратів дає рівняння

$$K_N = \frac{2,88}{l^{0,039}}$$

Середня похибка складає 1,6 %.

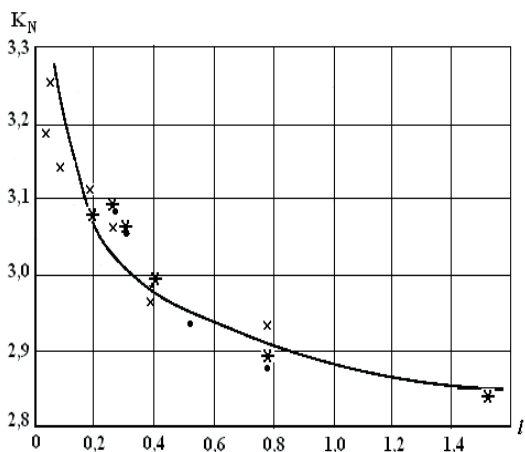


Рис. 4. Залежність коефіцієнта потужності  $K_N$  від відстані між перегородками l для апаратів з мішалками та відбивними перегородками при діаметрі апарату: \* – 0,3 м; x – 1 м; • – 2 м

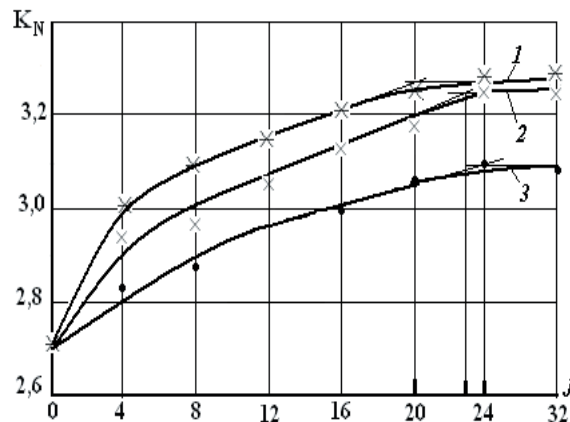


Рис. 5. Визначення оптимальної кількості відбивних перегородок для апаратів різних діаметрів: 1 – 0,3 м; 2 – 1 м; 3 – 2 м

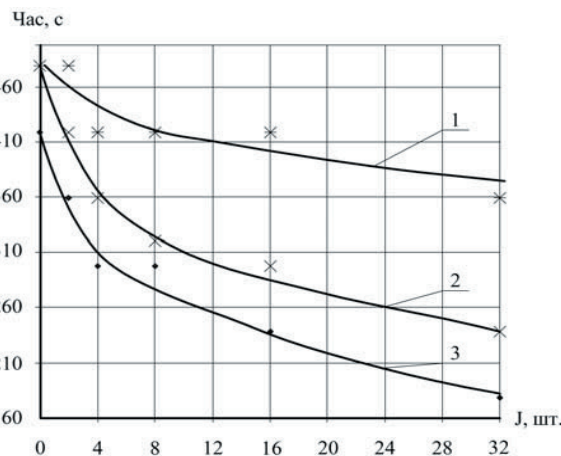


Рис. 6. Вплив кількості перегородок на швидкість розчинення речовини турбінною мішалкою: 1 – швидкість перемішування 6,7 об/с.; 2 – швидкість перемішування 9 об/с.; 3 – швидкість перемішування 11 об/с

Таким чином, оптимальна кількість перегородок залежить від діаметру апарату, і в апараті малого діаметру потрібно встановлювати меншу кількість перегородок, ніж в апараті великого діаметру, але у

будь-якому випадку оптимальна кількість перегородок значно перевищує ту, на яку вказують більшість дослідників, тобто, 2-4 перегородки.

Що стосується часу, потрібного для проведення процесу, то, як показали наші дослідження розчинення циліндриків плавеного цукру [3], то у відсутності перегородок при перемішуванні турбінною мішалкою розчинення досягається приблизно за 400 с, а присутності 32 відбивних перегородок – 180 с (рис. 6), тобто зменшується більш ніж у два рази ( $a_{\tau} \approx 0,5$ ).

Таким чином, у зв'язку з тим, що  $a_{\tau} a_{\tau} = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 < 1$ , тобто виконується умова (5),

то встановлення підвищеної кількості перегородок у випадку, що розглядається, є виправданим.

Загалом виконані дослідження вказують на те, що при збільшенні кількості перегородок зменшується час, потрібний для проведення технологічного процесу, але при цьому зростає витрата енергії на перемішування. Тому для встановлення гарантованого економічного ефекту потрібно визначати оптимальну кількість перегородок для ємностей певного діаметру (така кількість перегородок, як правило, складає 20 – 24), окрім цього, необхідно виконання умови (5).

---

### Література

1. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск./Под ред. И.А.Щупляка. Л.: Химия, 1975. 384 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1960. 829 с.
3. Луняка К., Вус Д., Чумаков Г. Дослідження масопередачі при перемішуванні турбінною мішалкою в посудинах з відбивними перегородками // Вісник Тернопільського державного технічного університету, том 13. №1. 2008. С. 171-176.
4. К.В.Луняка, Д.М.Вус, С.А.Русанов. Дослідження впливу кількості перегородок на товщину ламінарної плівки при розчиненні твердої речовини // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. №2/4 (38).– С.22-22.
5. Луняка К.В., Вус Д.Н., Клюев О.И., Николаенко И.В. Получение зависимости для расчета времени растворения твердого вещества механической мешалкой // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2009.- №3.- С.191-195.
6. Луняка К.В., Вус Д.Н., Русанов С.А., Клюев О.И. Розчинення твердої речовини при перемішуванні мішалками в посудинах з вертикальними перегородками. «Теорія і практика сучасного природознавства». Т 33. Збірник наукових праць. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009 р. С. 36-39.