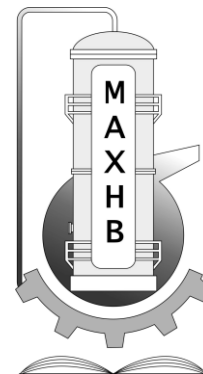


міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



До 70-річчя інженерно-хімічного факультету
і 80-річчя кафедри машин та апаратів
хімічних і нафтопереробних виробництв

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ РІДИНИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв»

Київ-2008

Дослідження процесу перемішування рідини : метод. вказівки до викон. лабораторної роботи з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» / Укл. : М. П. Швед, А. Р. Степанюк. – К. : НТУУ «КПІ», 2008. – 14 с.

Навчальне видання

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ РІДИНИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв»

Укладачі: *Швед Микола Петрович*, канд. техн. наук, доцент
Степанюк Андрій Романович, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор *Я. М. Корнієнко*, д-р техн. наук, професор

Рецензент *О. Л. Сокольський*, канд. техн. наук, доцент

*За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника*

1 ВСТУП ТА ОСНОВНІ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перемішування – це одна з найбільш розповсюджених виробничих операцій, яка значно впливає на тепло- і масопередачу та на швидкість хімічних процесів. На виробництві, в залежності від мети і умов перемішування, застосовують мішалки різноманітних конструкцій. Одним з основних параметрів при проектуванні і експлуатації апаратів з мішалками є потужність, що витрачається на перемішування.

Метою роботи є експериментальне дослідження енергетичних затрат на перемішування рідин при різних режимах перемішування.

В зв'язку з поставленою метою можна сформулювати наступні задачі дослідження:

1. Експериментально визначити потужність, що витрачається на перемішування в залежності від типу мішалки, числа обертів і фізичних властивостей рідини.
2. Узагальнити експериментальні дані.
3. Зіставити отримані дані з даними інших досліджень.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Рух рідини в апараті з мішалкою можна розглядати як нестационарний рух рідини по каналу, що має складну геометричну форму.

Нестационарний рух рідини по каналах в умовах, коли впливом сили тяжіння можна нехтувати, характеризується залежністю:

$$Eu = f(Re, Ho),$$

де $Re = \frac{\omega_{сер} d \cdot \rho}{\mu}$ - критерій Рейнольдса;

$Ho = \frac{\omega_{сер}}{n \cdot d}$ - критерій гомохромності;

$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega_{сер}}$ - критерій Ейлера.

Різницю тисків ΔP в критерії Eu можна замінити на підставі наступних міркувань. Якщо рідина під дією мішалки циркулює по якомусь контуру, то потужність мішалки визначається як потужність насоса з співвідношень:

$$N = V_{сек} \cdot \Delta P \quad (2)$$

Де $V_{сек}$ – насосна продуктивність мішалки в м³/с;

ΔP - напір, що розвивається мішалкою, в Па.

Звідси

$$\Delta P = \frac{N}{V_{сек}} \quad (3)$$

Продуктивність мішалки як насоса визначається об'ємним видатком рідини, що виходить з каналів між лопатками мішалки.

Для мішалок, геометрія яких характеризується діаметром лопастей d їх шириною h , насосна продуктивність рівна:

$$V_{сек} = U_{ri} \cdot \pi \cdot d \cdot h \quad (4)$$

де U_{ri} - середня в часі і по площі викиду з мішалки радіальна швидкість рідини в м/с.

Середню швидкість U_{ri} можна знайти засобами теорії подібності як функцію Re і Ho :

$$\frac{U_{ri}}{\omega_{сер}} = f(Re, Ho) \quad (5)$$

В формулі (5), та в виразах для інших критеріїв подібності середня швидкість $\omega_{сер}$, як правило задається. Однак в випадку перемішування вона заздалегідь не може бути задана.

Тому її необхідно виключити з критеріїв шляхом відповідної заміни одних величин іншими. В даному випадку потрібно помножити всі критерії що містять $\omega_{сер}$ на $Ho = \frac{\omega_{сер}}{n \cdot d}$. При цьому отримаємо наступну критеріальну залежність, що характеризує рух рідини в апараті з мішалкою:

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = F\left(\frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu}\right) \quad (6)$$

Комплекс $N/\rho \cdot n^3 \cdot d^5$ називають модифікованим критерієм Ейлера (Eu_M) або критерієм потужності (K_N)

Комплекс $\rho \cdot n \cdot d^2/\mu$ називають модифікованим критерієм Рейнольдса (Re_M). Рівняння (6) можна записати у вигляді:

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = C \left(\frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu} \right)^{-m} \quad (7)$$

або

$$K_N = C(Re_M)^{-m} \quad (8)$$

де N - потужність, що витрачається на перемішуванні (Вт);

ρ - густина рідини ($кг/м^3$);

n - число обертів мішалки ($с^{-1}$);

d - діаметр мішалки ($м$);

μ - в'язкість рідини ($Па \cdot с$);

C - безрозмірна константа, яка визначається експериментальним шляхом;

m - показник степеня, який визначається експериментальним шляхом.

Таким чином корисна потужність що витрачається чисто на перемішування визначається по виразу

$$N_{KOP} = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5$$

де K_N - коефіцієнт потужності. Знайти його можна в довідковій літературі у виді графіків або аналітичних виразів.

Наприклад, для геометрично подібних апаратів з якірною мішалкою коефіцієнт потужності може бути визначений за виразами [1]

$$K'_N = \frac{198}{Re_M}, \quad \text{для } Re_M=2 \div 20 \quad (9)$$

$$K_N = \frac{3,14}{Re_M^{0,02}} \quad \text{для } Re_M=360 \div 300000 \quad (10)$$

4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОПИС УСТАНОВКИ

Об'єм реактора - 25 л.

Температура у реакторі - регульована до 100 °С.

Потужність електронагрівачів - 2 кВт.

Температура холодного теплоносія - 8-20 °С.

Видаток холодного теплоносія - до 3 л/хв.

Діапазон регулювання обертів мішалки - 5-150 об/хв.

Потужність приводу мішалки - 0.7 кВт.

Основними елементами установки є апарат з мішалкою, рисунку 1, який представляє собою емальовану ємність циліндричної форми діаметром 325 мм, з якірною мішалкою 7 діаметром 270 мм.

В апараті передбачена можливість застосування мішалок різних конструкцій. Привід мішалки здійснюється від двигуна постійного струму 1 через планетарний редуктор 2 і далі через прилад який вимірює крутний момент 3 на вал мішалки 7. Для підтримання температурного режиму в

реакторі є кожух охолодження та два електронагрівачі 6. Температура рідини вимірюється чотирма термомпарами, розташованими по висоті апарату в щупі 5. Оберти мішалки вимірюються лічильником імпульсів 11, рисунок 3, який отримує імпульси від переривача 4, рисунок 1.

Регулювання числа обертів двигуна здійснюється шляхом зміни напруги, за допомогою ЛАТРА (лабораторний автотрансформатор).

Рівень рідини у реакторі вимірюється з допомогою метричної лінійки.

Порядок включення установки і проведення вимірів, рисунок 3:

1. Включити щит управління за допомогою автомата вмикання установки 6. При цьому загораються сигнальні лампи установки 9.

2. Тумблером 5 подається живлення на електродвигун.

3. Плавним обертанням регулятора частоти обертання мішалки 2 встановлюється первинна напруга (приблизно 10 В).

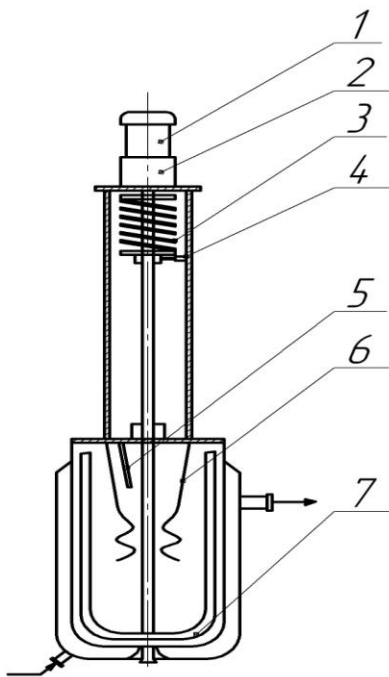
4. Включити тумблер на лічильнику імпульсів 11 і за допомогою секундоміра визначити частоту обертання валу мішалки.

5. Заміряти температуру рідини по висоті реактора за допомогою потенціометра 1. На багатопозиційному перемикачі 3 підключення термопар відповідає позиціям 12, 13, 14, 15.

6. Регулювання температури рідини здійснюється автоматично за допомогою пристрою задавання температур 8 після включення електронагрівачів тумблером 7. Регулювання потужності нагрівачів виконується за допомогою ЛАТРа, ручка 4.

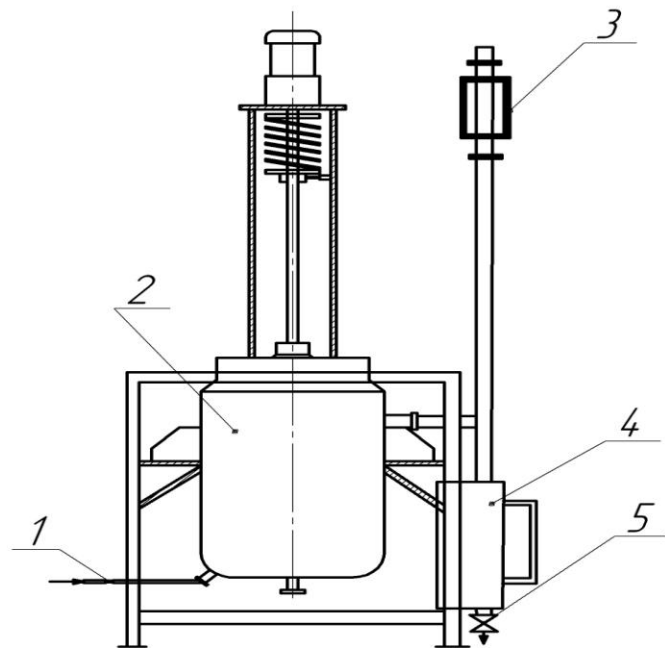
7. Зменшення температури рідини, що перемішується, здійснюється подачею води в кожух охолодження за допомогою кранів 1 та 5, рисунок 2.

8. Якщо оберти мішалки і температури встановилися, то по приладу 12 заміряється потужність електродвигуна.



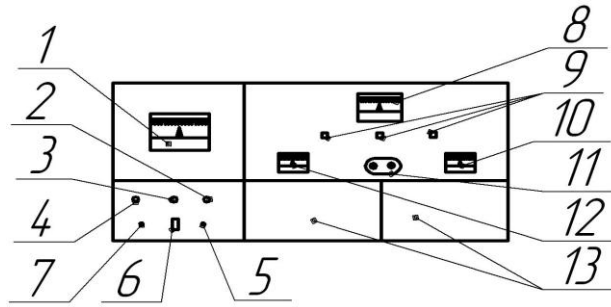
- 1–двигун постійного струму;
- 2–планетарний редуктор;
- 3–датчик крутного моменту;
- 4–перевач імпульсів;
- 5–щуп з термопарами;
- 6–електронагрівач;
- 7–мішалка

Рисунок 1 – Апарат з мішалкою



- 1–кран подачі води;
- 2 – ємність з мішалкою;
- 3 – прилад для заміру витрати води
(ротаметр);
- 4 – сепаратор;
- 5 – кран для зливу води.

Рисунок 2 – Загальний вид установки



1 – електричний потенціометр ЕПП.-09; 2 – регулятор частоти обертання мішалки; 3 – багатопозиційний перемикач; 4 – Регулятор потужності нагрівачів; 5 – тумблер вмикання нагрівачів; 6 – автомат вмикання установки; 7 – тумблер вмикання нагрівача; 8 – пристрій задавання температурного режиму; 9 – сигнальні лампи установки; 10 – регістратор крутного моменту; 11 – лічильник імпульсів; 12 – ватметр; 13 – схема установки та параметри рідин, що перемішуються.

Рисунок 3 – Загальний вид щита керування приладом

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Досліди по визначенню витрат потужності на перемішування починаються з визначення потужності холостого ходу, тобто потужності, що втрачається в електродвигуні, редукторі, підшипниковому вузлі, а також потужності, що втрачається на подолання сил інерції деталей, що обертаються в залежності від числа обертів.

Для цього з апарату зливається рідина для перемішування і на порожньому апараті при різних числах обертів фіксується потужність холостого ходу, заносючи дані в таблицю 1. Заміри зробити для 6...10 різних чисел обертів у діапазоні 5-150 об/хв.

На другому етапі апарат заповнюється раніше зливою експериментальною рідиною і повторюються ті ж самі заміри, але при заповненому апараті, заносючи дані у таблицю 1.

Вищезазначені досліди можуть проводитися при різних середніх температурах, яка визначається за схемою: $t_{сер} = \frac{t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{15}}{4}$.

Таблиця 1 – Результати експериментів

№ пп	Σп	τ	N _{х.х.}	N _{ПОВ}	N _{КОР}	t _{сер}	Параметри рідини	
	об	с	Вт	Вт	Вт	°С	густина	в'язкість
							ρ, кг/м ³	μ, Па·с
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

5 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

За даними таблиці 1 на одному графіку будуються графічні залежності потужності холостого ходу та повної потужності від числа обертів, рисунок 4.

За різницею цих потужностей для всіх значень n визначається потужність $N_{КОР}$, що витрачається при перемішуванні рідини. Густина та в'язкість рідини, що перемішується, визначається за середньою температурою, $t_{сер}$.

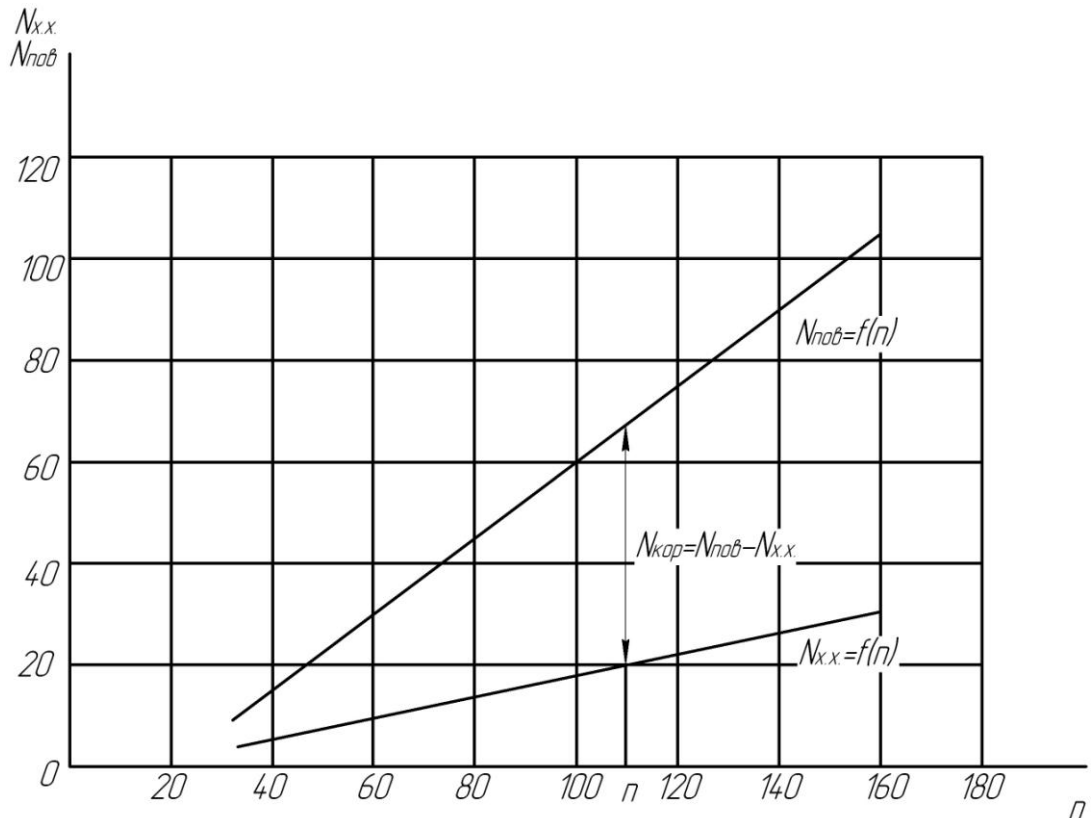


Рисунок 4 – Графічна залежність потужності холостого ходу та повної потужності від числа обертів

Заповнюється таблиця 2 і по ній будуються графічні залежності:
 $K_N = f(\text{Re}_M)$, $K'_N = f(\text{Re}_M)$, $\ln K_N = f(\ln \text{Re}_M)$, $\ln K'_N = f(\ln \text{Re}_M)$.
 Вищезазначені графічні залежності в аналітичній формі виразами виду:

$$K_N = C \cdot \text{Re}^{-m} \quad (11)$$

Аналізуються отримані результати.

Коефіцієнт C і показник степені m в рівнянні (11) знаходяться у такий спосіб.

Таблиця 2 – Результати розрахунків

№ пп	$n = \frac{\sum n}{\tau},$ c^{-1}	$N_{\text{КОР}},$ Вт	Re_M	$\ln(Re_M)$	K_N	$\ln(K_N)$	K'_N	$\ln(K'_N)$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Коли рівняння (11) прологарифмувати, то отримаємо вираз:

$$\ln(K_N) = \ln(C) - m \cdot \ln(Re_M). \quad (12)$$

Це рівняння прямої у логарифмічній системі координат (рисунок 5):

$$y = a - m \cdot x, \quad (13)$$

де m – тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис; a – відрізок між точкою перетину прямої з віссю ординат при $x=0$.

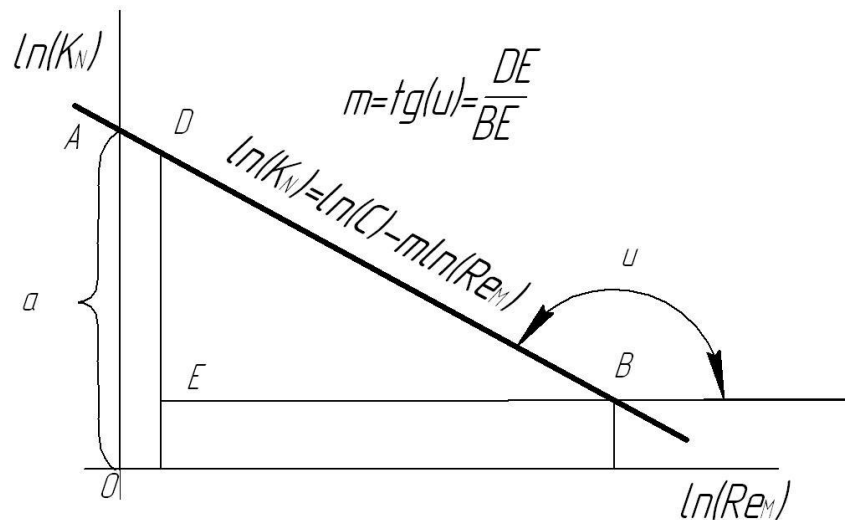
Показник степені знаходять за залежністю (рисунок 5):

$$m = \operatorname{tg}(u) = \frac{DE}{BE} = \frac{\Delta \ln(K_N)}{\Delta \ln(Re_M)}. \quad (14)$$

Для отримання значення C потрібно взяти антилогарифм від величини a (рисунок 5):

$$C = e^a. \quad (15)$$

Коефіцієнт C можна також знайти, використовуючи дослідні дані, за схемою: спочатку розраховується значення m , а потім вибираючи на експериментальній прямій довільну точку, з відповідними значеннями $\ln(K_N)$ і $\ln(Re_M)$, які підставляються в прологарифмоване рівняння (12) і знаходиться значення C .



Рисунк 5 – Логарифмічна залежність коефіцієнта потужності від модифікованого критерія Рейнольдса

6 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Проаналізуйте поняття ньютонівської рідини.
2. Проведіть класифікацію рідин в залежності від в'язкості.
2. Проаналізуйте типи мішалок та випадки їх застосування.
3. Обґрунтуйте методику визначення величини K_N в залежності від типу мішалки.
4. Обґрунтуйте методику визначення величини Re_M .
5. Проаналізуйте, від чого залежить потужність при перемішуванні.
6. Проаналізуйте, що таке автотельний режим при перемішуванні.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стренк Ф., Перемешивание и аппараты с мешалками, Л., «Химия», 1975, 383 с.
2. Холланд Ф., Чапман Ф., Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов, М. «Химия», 1974., 207 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, Изд. 8-е, Л. «Химия», 1976, 552 с.
4. Вукалович М.Л., Ривкин С.Л., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара, М., Изд. стандартов, 1968, 408 с.
5. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности, Пер. с чешск. под. ред. И. С. Павлушенко, Л., ГХИ, 1963, 416 с.