

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет “Львівська політехніка”

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ РІДИНИ**

Інструкція до лабораторної роботи №4 з курсу  
“ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ”  
для студентів хіміко-технологічних спеціальностей  
інституту хімії і хімічних технологій

*Затверджено  
на засіданні кафедри  
хімічної інженерії  
протокол №12 від 8.04.2003 р.*

Львів – 2003

Дослідження режимів руху рідини. Інструкція до лабораторної роботи з курсу “Процеси та апарати хімічних технологій” для студентів хіміко-технологічних спеціальностей інституту хімії і хімічних технологій НУ “Львівська політехніка”

Укладачі: Дулеба В.П., к.т.н., доцент

Білецька Л.З., к.т.н., доцент

Рецензент: Гивлюд М.М, д.т.н., професор

Відповідальний за випуск: Ханик Я.М., д.т.н., професор

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

При протіканні рідини (газу) у трубопроводах чи каналах можуть спостерігатись два різних режими руху: ламінарний та турбулентний.

*Ламінарний* – це такий режим руху, при якому як загальний потік рідини, так і будь-яка частинка потоку рухаються поступально в одному напрямку.

*Турбулентний* – такий режим, при напрямку руху окремих частинок рідини змінюється в часі і не завжди співпадає з напрямком руху загального потоку, внаслідок чого створюються завихрення і переміщення потоку.

Режими руху залежать від швидкості потоку, в'язкості субстанції (рідини чи газу), а також геометрії і площі поперечного перерізу потоку.

Швидкість, яка зумовлює зміну режиму руху, називається критичною.

Розрізняють дві критичні швидкості: нижню та верхню.

Швидкість, при якій турбулентний рух переходить у ламінарний, називають *нижньою критичною швидкістю*, і, навпаки, - швидкість, при якій ламінарний рух переходить у турбулентний, називають *верхньою критичною швидкістю*.

Режим руху рідини можна встановити при порівнянні середньої швидкості руху потоку з критичними швидкостями.

Встановлено, що перехід від ламінарного до турбулентного режиму руху проходить швидше при збільшенні питомої масової швидкості потоку  $\omega \cdot \rho$ , кг/(м<sup>2</sup>·с), збільшенні еквівалентного діаметру трубопроводу  $d$ , м, та зменшенні коефіцієнта динамічної в'язкості рідини  $\mu$ , Па·с.

Рейнольдс встановив, що вказані величини можна об'єднати в безрозмірний комплекс, числове значення якого вказує на режим руху рідини. Цей комплекс називають *критерієм Рейнольдса*:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}.$$

Число (критерій) Рейнольдса є мірою відношення між силами інерції рухомого потоку і його в'язкістю.

При русі різних рідин з однаковою швидкістю у трубопроводах однакового діаметру турбулізація потоку настає швидше, якщо збільшується густина рідини та зменшується в'язкість потоку.

Розрізняють:

нижнє критичне значення числа Рейнольдса  $Re_{кр} = 1000 - 2300$ ;

верхнє критичне значення числа Рейнольдса  $Re'_{кр} \geq 4000$ .

Користуючись величинами  $Re_{кр}$  та  $Re'_{кр}$ , визначають режим руху рідини, враховуючи, що:

при  $Re < Re_{кр}$  - ламінарний режим руху;

при  $Re > Re'_{кр}$  - турбулентний режим руху;

при  $Re_{кр} < Re < Re'_{кр}$  - область нестійких режимів руху, в якій рух може бути як ламінарним, так і турбулентним, і це залежить від попереднього характеру руху рідини, тобто від історії руху.

## МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомлення з принципом визначення режимів руху рідини у трубопроводі.
2. Експериментальне дослідження режимів руху рідини та визначення критерію Рейнольдса для відповідного режиму.

## ОПИС ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ

Дослідна установка (рис.1) складається з напірного бака 1, прозорої трубки 2, мірного бачка 3, мірної скляної трубки 4, колектора 5 для відводу відпрацьованої води, вентиля 6 для спуску води з мірного бачка, вентиля 7 для регулювання швидкості потоку в прозорому трубопроводі, вентиля 8 для подачі води в напірний бак, переливного патрубку 9, крана 10 для регулювання подачі індикатора (барвника), бачка 11 з барвником.

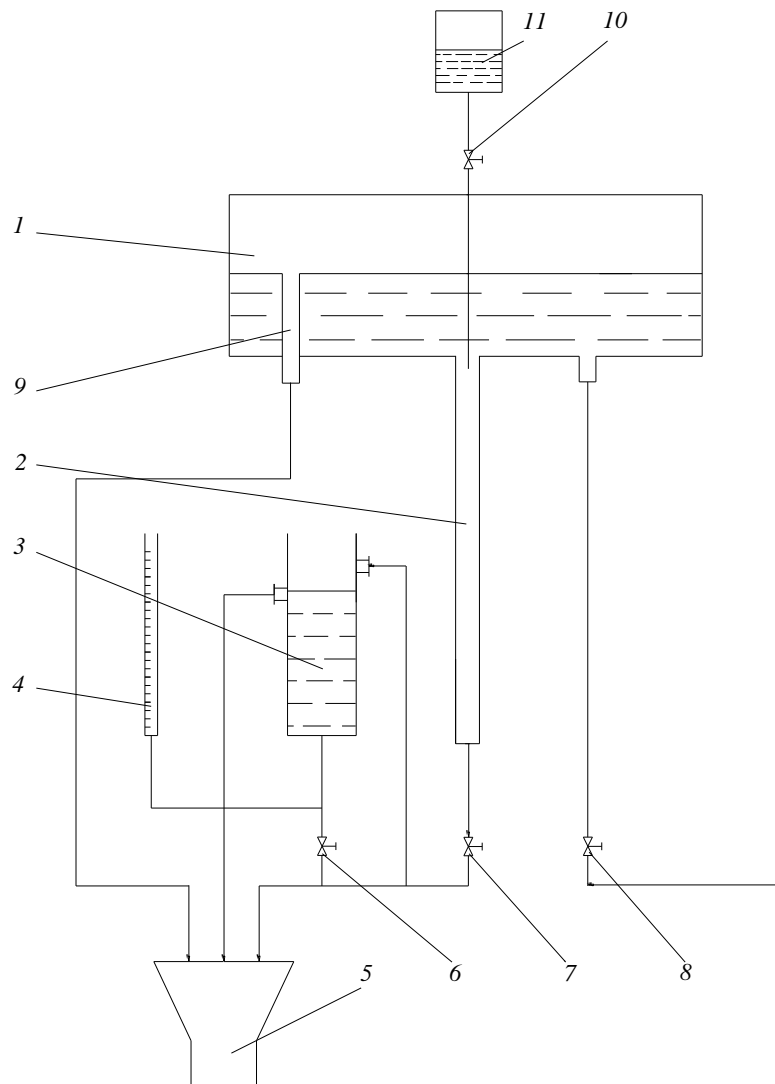


Рис.1. Схема установки для дослідження режимів руху рідини

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

Рух рідини у скляній трубці 2 спостерігають візуально, а режим руху рідини оцінюють за характером переміщення струминки барвника, що подається в центр потоку.

При ламінарному режимі струминка барвника рухається прямолінійно в центрі потоку, не змішуючись зі загальною масою потоку. В перехідному режимі струминка барвника набуває хвилястого руху, виникають завихрення і часткове перемішування барвника. При турбулентному режимі струминка барвника активно турбулізується і змішується зі загальною масою потоку рідини.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДУ

1. Увімкнути освітлення труби 2 для візуального спостереження, встановивши штепсель в електричну розетку. Штепсель з електропроводом розміщені на тильній стороні корпусу установки, а розетка закріплена на стіні.
2. Наповнити водою напірний бак 1. Для цього потрібно відкрити вентиль 8 поворотом маховичка проти годинникової стрілки. В напірному баку рівень води підтримується постійним завдяки переливному патрубку 9.
3. Перевірити візуально наявність індикатора (барвника) в бачку, в разі потреби – заповнити бачок барвником.
4. Відкрити вентиль 6 поворотом маховичка проти годинникової стрілки.
5. Встановити потік води у трубці 2. Для цього потрібно відкрити вентиль 7.
6. Подати тонку струмину барвника у трубку 2, відкриваючи повільно кран 10.
7. Регулюючи вентиль 7, встановити бажаний режим руху потоку, оцінюючи його візуально за характером руху барвника.
8. При встановленому режимі визначити витрату води у трубці 2:

$$Q = \frac{V}{\tau}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для цього потрібно закрити вентиль 6 – вода наповнюватиме мірний бак 3. Швидкість наповнення бачка 3 спостерігати за допомогою мірного скла 4. Визначити за допомогою секундоміра час  $\tau$  переміщення рівня води у мірній трубці 4 між двома фіксованими мітками. Замірявши час наповнення бачка 3 на висоту між двома фіксованими мітками, відкрити вентиль 6, при цьому мірний бачок опорожниться. Знову закрити вентиль 6 і повторити дослід. Після повторного заміру часу  $\tau$  відкрити вентиль 6.

9. Змінюючи режими руху рідини у трубці 2 поворотом вентиля 7, повторити досліди згідно з п.8. Дослідити ламінарний, турбулентний рух потоку і область нестійких режимів.

Перевірка режимів руху рідини (води) за критерієм Рейнольдса

Для розрахунку числа  $Re$  необхідно визначити середню швидкість  $\omega$  потоку води.

Внутрішній діаметр трубки 2  $d = 16$  мм, густина води  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Динамічний коефіцієнт в'язкості води  $\mu$  для температур в межах від 10 до 30°C наведено в таблиці 1.

## Динамічний коефіцієнт в'язкості води

Температура, °C	Динамічний коефіцієнт в'язкості, мПа (сП)	Температура, °C	Динамічний коефіцієнт в'язкості, мПа (сП)
10	1,308	20,2	1,000
11	1,271	21	0,9810
12	1,236	22	0,9579
13	1,203	23	0,9358
14	1,171	24	0,9142
15	1,140	25	0,8937
16	1,111	26	0,8737
17	1,083	27	0,8545
18	1,055	28	0,8360
19	1,030	29	0,8180
20	1,005	30	0,8007

Температуру води  $t$ , °C під час досліду заміряють термометром.

Середня швидкість потоку води

$$\omega = \frac{Q}{S}, \text{ м/с};$$

де об'ємна витрата води становить

$$Q = \frac{V}{\tau}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Користуючись графіком (рис.2), визначити об'єм води  $V$  в бачку 3 між нижньою і верхньою фіксованими мітками:

$$V = V_2 - V_1;$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – об'єм в бачку 3 за нижньою і верхньою мітками;  $S$  – площа поперечного перерізу трубки 2:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2.$$

При розрахунку числа Рейнольдса використовують середню швидкість потоку. При ламінарному режимі руху потоку середня швидкість  $\omega = 0.5\omega_{max}$ ; при турбулентному режимі відношення  $\omega/\omega_{max}$  залежить від величини числа Рейнольдса.

При інженерних розрахунках середню швидкість  $\omega$  турбулентного потоку приймають:

$$\omega = (0.8 - 0.9) \omega_{max}$$

Результати розрахунку звести в табл.2.



## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який рух називають ламінарним?
2. Як визначити середню швидкість потоку, якщо режим руху ламінарний?
3. Який рух називають турбулентним?
4. Яке співвідношення між середньою і максимальною швидкостями потоку при турбулентному русі?
5. Що розуміють під поняттям критерій Рейнольдса і який його фізичний зміст?
6. Яка швидкість входить у критерій Рейнольдса?
7. Що таке еквівалентний діаметр і гідравлічний радіус?
8. Назвіть критичні значення числа Рейнольдса для прямих труб і для змійовиків.
9. Від яких параметрів залежить значення  $Re_{кр}$  для змійовиків ?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.– 754с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987 – 556с.
3. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии.- М.: Химия, 1992. – 496с.



Укладачі:

Дулеба Василь Павлович

Білецька Любов Зенонівна