



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

**А.Р.Степанюк**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

**З КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ**

**«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ – 1. БАЗОВІ  
ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ ТЕПЛОМАСООБМІНУ»**

**“ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ РІДИНИ ”**

для студентів напряму 6.050503 Машинобудування

КИЇВ 2017

Степанюк, А. Р. Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з кредитного модуля «Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії тепломасообміну» «Визначення режимів течії рідини» для студентів напрямку 6.050503 «Машинобудування» [Електронний ресурс] / А. Р. Степанюк ; «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Електронні текстові данні (1 файл: 238 Кбайт). – Київ : «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 10 с.

*Гриф надано Вченою радою*

*інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”*

*(Протокол № 1 від 30 січня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор Дахненко Валерій Леонідович, доцент, к.т.н.

Рецензент:

Сокольський Олександр Леонідович, доцент, к.т.н.

## ВСТУП

Закономірності явищ, що відбуваються в потоці рідини, наприклад, гідравлічний опір, тепло- та масопередача, тощо суттєво залежать від режиму течії. Тому важливо вміти визначати режим течії рідини для того, щоб розрахувати ті, чи інші параметри процесів, що протікають в потоці.

При складанні методичних вказівок використано матеріали методичних вказівок [1].

### **Мета та задачі дослідження**

Мета роботи - отримати наочне уявлення про режими течії рідини і показати зв'язок між станом потоку і значенням числа Рейнольдса. Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) на підставі візуальних спостережень руху тонкого підфарбованої цівки забарвленої води, введеної в потік, який рухається по скляній трубці, виявити області ламінарного та турбулентного режимів руху води і перехідної області;
- 2) визначати значення чисел Рейнольдса для характерних станів потоку, спочатку безперервно збільшуючи, а потім зменшуючи швидкість руху води.

## **2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**

Матеріал викладено за авторами [1...4].

Досвід показує, що при русі рідин і газів можуть спостерігатися два режими руху: ламінарний і турбулентний. При ламінарному (струменевому, шаровому) режимі течії потік середовища носить лінійно-струменевий характер. Якщо, наприклад, в ламінарний потік води, що рухається в скляній трубці, ввести тонку підфарбовану цівку, то вона (точно так, як і струмені середовища) буде переміщуватися у вигляді тонкої цівки без перемішування (досліди англійського фізика О. Рейнольдса, 1883 р). Іншими словами при ламінарному режимі всі частинки рідини або газу мають лише поздовжню складову швидкості.

При збільшенні швидкості руху потоку на підфарбований, тому добре видимий спочатку прямолінійну цівку починають накладатися хвилі. Причини появи цих хвиль є різні збурення, що накладаються на потік. Це можуть бути збурення, що виникли за рахунок витікання води з резервуару, витікаючої з скляної трубки підфарбованої рідини, збурення, що виникли за рахунок вібрації споруд під час руху транспорту, та навіть через не плавність входу в води в трубку. Остання причина зазвичай буває домінуючою. Поступово разом зі зростанням швидкості води число таких хвиль та їх амплітуда зростають, поки, нарешті, цівка не розіб'ється на нерегулярні та перемішані між собою більш дрібні струмені, хаотичний характер яких дозволяє зробити висновок про перехід ламінарного руху в турбулентний. Останнє відбувається в результаті втрати стійкості ламінарного руху, при цьому випадкові збурення, які спочатку викликали лише коливання струменів навколо їх стійкого прямолінійного ламінарного руху, швидко розвиваються і призводять до нової форми руху рідини – турбулентному. Таким чином турбулентний режим руху характеризується як неупорядкована течія з наявністю випадкових поперечних і поздовжніх пульсацій швидкості та перемішуванням середовища.

Між ламінарним і турбулентним режимами руху знаходиться перехідна область, яка характеризується випадковою зміною, чередуванням в просторі та в часі двох описаних раніше режимів течії.

Перехід від ламінарного режиму до перехідної області і, далі, до турбулентного режиму руху, спостерігається при певній швидкості руху рідини. Ця швидкість називається критичною  $W_{кр}$ .

Значення цієї швидкості прямо пропорційно кінематичної в'язкості рідини і обернено пропорційно діаметру труби.

$$W_{кр} = \frac{\nu}{d} k$$

де  $\nu$  - кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$k$  - безрозмірний коефіцієнт, однаковий для всіх рідин і газів, а також для будь-яких діаметрів та геометричних розмірів каналів (труб). Цей коефіцієнт називається критичним числом Рейнольдса  $Re_{кр}$ ;

$d$  - внутрішній діаметр каналу (труби), м.

Візуальне (якісне) визначення режиму течії є неточним і не завжди можливим. Тому про режим течії роблять висновки по кількісній характеристиці – числі (критерії) Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (1)$$

де  $w$  – середня швидкість руху середовища в каналі, м / с;

$d$  – визначний геометричний розмір, м;

$\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

$\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>.

З погляду на фізичні властивості число  $Re$  є міра відношення сил інерції до сил в'язкості в потоці.

Встановлено, що в круглих трубах при  $Re_{кр} < 2300$  має місце стійкий ламінарний режим течії, при  $Re_{кр} > 10000$  – стійкий турбулентний режим течії. В інтервалі  $2300 < Re_{кр} < 10000$  рух нестійкий (перехідна область).

Вказане значення  $Re_{кр} \approx 2300$  є умовним. Наявність різних збурень, обумовлених змінами швидкості потоку за величиною чи напрямом, може істотно знижувати величину  $Re_{кр}$ . Критичне значення  $Re_{кр}$  зменшується і при неізотермічності потоку по перетину труби через виникнення конвективних потоків рідини в напрямку, перпендикулярному до осі труби.

## 2. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Схема експериментальної установки для визначення режиму течії води наведена на рисунку 1. Установка складається з напірної ємності 2, скляної трубки 9, крана 10, мірної ємності 12, ємності 6 з підфарбованою рідиною.

Вода через вентиль 1 по трубопроводу підводиться до напірної ємності 2. В середині напірної ємності 2 встановлено зливну трубу та перегородку 3 для підтримання постійного рівня води. Температура води вимірюється термометром 5.

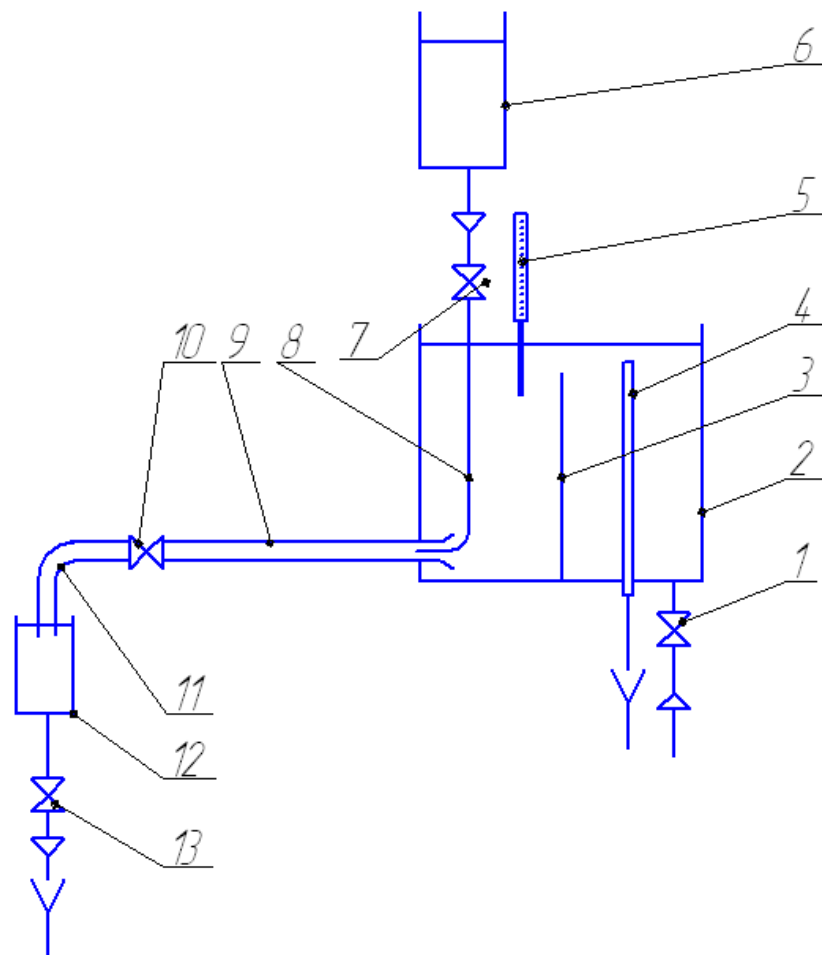


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

З напірної ємності 2 вода подається до скляної трубки 9. Внутрішній діаметр трубки 21 мм. Вхідний кінець цієї трубки виконано у вигляді розтруба з закругленими краями, що дозволяє забезпечити плавний вхід води до трубки. Регулювання швидкості руху рідини по трубці 9 забезпечується краном 10. Далі

вода через зливну трубку 11 подається до мірної ємності 12, звідки через кран 13 вода відводиться до каналізації. Об'єм рідини, що витекла під час експерименту до мірної ємності 12 визначається по мірній лінійці.

3 ємності 6 підфарбована рідина через тонку трубку 8 подається на вхід до скляної трубки 9. Швидкість витікання підфарбованої рідини регулюється краном 7.

### 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експеримент слід проводити наступним чином.

1. Відкривається кран 1 і ємність 2 наповнюється водою.
2. Відкривається кран 10 і в столярній трубці 9 створюється потік води з мінімальними витратами. В цей час кран 13 знаходиться у положенні «ВІДКРИТО».
3. Відкривається кран 7 і до потоку вводиться цівка підкрашеної води.
4. Спостерігається режим руху рідини в трубці 9. Проводиться фотофіксація результатів спостережень. Закривається кран 13 та секундоміром фіксується час наповнення мірної ємності 12 і кількість води  $V$ , що натікла до мірної ємності 12. Результати вимірювань заносяться до таблиці результатів вимірювань. Результати фотофіксації заносяться до таблиці 2, **на фотографії обов'язково вказується дата та час проведення експерименту**. Після кожного заміру відкривається кран 13, вода з мірної ємності 12 зливається до каналізації.
5. Аналогічно проводиться 5...6 дослідів, поступово збільшуючи витрати води за допомогою крану 10. Візуально визначається початок встановлення перехідної області руху рідини та початок турбулізації потоку. Витрати через рідини в трубці 9 збільшуються до максимуму. Проводиться фотофіксація результатів спостережень та фіксується час наповнення мірної ємності 12 і кількість води, що натікла до мірної ємності 12. Результати вимірювань заносяться до таблиці результатів вимірювань.

6. Після досягнень максимальних витрат через кран 10 в трубці 9 витрати поступово зменшуються за допомогою крану 10 та проводиться іще 5...6 дослідів аналогічно пп. 4 та 5.

7. Досліди закінчуються закриванням кранів 1 та 10 і відкриванням крану 13.

#### 4. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Обробка результатів кожного досвіду зводиться до визначення числа Рейнольдса  $Re$  за рівнянням 1. У нашому випадку (труба круглого перетину) під  $d$  (визначний геометричний розмір) необхідно розуміти внутрішній діаметр трубки, а чисельне значення кінематичного коефіцієнта в'язкості води  $\nu$  необхідно вибирати за довідковими даними при температурі  $t$ . Результати розрахунків заносяться до таблиці 2.

Середня швидкість руху води визначається за виразом, м/с:

$$w = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2 \cdot \tau}$$

де заміряний за час  $\tau$  об'єм води  $V$  в ємності 12 наводиться в  $m^3$ .

Таблиця 1 – Результати експериментів

№ дослідів	Об'єм води $V, m^3$	Час $\tau, c$	Якісна характеристика потоку
1			
2			
3			
4			
5			
6			



Таблиця 2 – Результати розрахунків

№ досліду	Швидкість руху води, $w$ , м/с	Значення числа Рейнольдса $Re$	Режим руху	Результати фотофіксації
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Теплофізичні властивості води:

– густина,  $\text{кг/м}^3$ :  $\rho_g = 1000 - 0,062 \cdot t - 0,00355 \cdot t^2$ ;

– коефіцієнт динамічної в'язкості,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ :  $\mu_g = 0,59849 \cdot (3,252 + t)^{1,5423}$

– коефіцієнт кінематичної в'язкості,  $\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

$$\nu_g = 2 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8} \cdot t + 6 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 3 \cdot 10^{-12} \cdot t^3$$

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують режими течії рідини?
2. Назвіть характерні риси режимів течії рідини.
3. У чому полягає фізичний зміст критерію Рейнольдса?
4. Як якісно визначається режим течії рідини? Проілюструйте відповідь фотографіями з протоколу.
5. Як кількісно визначається режим течії рідини?
6. Назвіть критичне значення критерію Рейнольдса.
7. Навіщо потрібно знати режим течії рідини?
8. Отта схему експериментальної установки.
9. Як в даній роботі визначається середня швидкість руху води?

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Павлищев М.И./ Методические указания к проведению НИРС по курсу «процессы и аппараты химической технологии» – «Определение режима течения жидкости». Для студетов специальностей 0803, 0805, 0807, 0834, 0904. Киев., КПИ, 1982. – 8с.

2. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч. У 2 ч./ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, В.Л. Ракицький, Г.Л.Рябцев. К.: НТУУ "КПІ", 2011. – Ч. 1. – 300 с.

3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.М., 1973, 750 с.

4. Конспект лекцій з дисципліни «Пічне обладнання у хімічних процесах» для студентів напряму 6.050503 «Машинобудування» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. Р. Степанюк. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,32 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 132 с. – Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15245>. Свідоцтво ІХФ № 05/06-1.