

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Кафедра ХІМІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ  
РІДИНИ.  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПОТОКУ  
НА ОСНОВІ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи №1  
з курсу "Процеси і апарати хімічної технології"  
для студентів хіміко-технологічних спеціальностей

**Львів – 2013**

**Експериментальне визначення параметрів потоку рідини.  
Дослідження енергетичного балансу потоку на основі рівняння Бернуллі:  
Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1 з курсу "Процеси і  
апарати хімічної технології" для студентів хіміко-технологічних  
спеціальностей. /Укл.: Д.П. Кіндзера, В.М. Атаманюк - Львів: Видавництво  
Національного університету "Львівська політехніка", 2006. - 11 с.**

**Укладачі**

Кіндзера Д.П., канд. техн. наук, доц.,  
Атаманюк В.М. канд. техн. наук, доц.

**Рецензент**

Семенишин Є.М. д-р. техн. наук, проф.

## ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

У хімічній технології велика кількість процесів безпосередньо зв'язана з рухом потоку рідини. Потік рідини, який рухається по трубопроводу, характеризується певним гідродинамічним напором. Гідродинамічний напір – це питома потенціальна і кінетична енергія потоку рідини, тобто кількість енергії рідини, віднесена до одиниці ваги рідини. Враховуючи, що енергія вимірюється у [Дж], а вага у [Н], гідродинамічний напір має розмірність [м].

У гідравліці прийнято об'єднувати рідини і гази під єдиною назвою рідини. Це пояснюється тим, що закони їх руху практично однакові.

Реальні рідини поділяють на крапельні та пружні (гази). Крапельні рідини практично не стискаються і володіють дуже малим коефіцієнтом об'ємного розширення. Об'єм пружних рідин (газів) залежить від температури і тиску та змінюється у широких межах.

Однак при виведенні основних закономірностей у гідравліці вводять поняття про гіпотетичну ідеальну рідину, яка у порівнянні із реальною (в'язкою) рідиною абсолютно не стискається при зростанні тиску, її густина не змінюється при зміні температури а також відсутня в'язкість.

Ідеальною рідиною називається гіпотетична рідина, яка абсолютно не стискається, у якій відсутні сили внутрішнього тертя, її густина не залежить від зміни температури і тиску.

У гідравліці потоком рідини називають сукупність елементарних струмочків рідини, які у загальному випадку мають різні швидкості руху. Рушійною силою руху рідини є різниця тисків, яку створюють з допомогою насосів, внаслідок різниці рівнів, або густини рідини.

Основними параметрами потоку рідини є:

1. Площа перерізу потоку рідини –  $S$ , м<sup>2</sup>;
2. Середня швидкість потоку рідини –  $w$ , м/с;
3. Витрата потоку рідини – це кількість рідини, яка протікає за одиницю часу.

Розрізняють масову витрату рідини  $M_c$ , кг/с та об'ємну витрату –  $V_c$ , м<sup>3</sup>/с.

Між масовою і об'ємною витратами є залежність

$$M_c = \rho \cdot V_c \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина рідини, [кг/м<sup>3</sup>]

4. Питома енергія потоку рідини. Ця величина виражається у формі повного гідродинамічного напору потоку.

Повний гідродинамічний напір **H** представляє собою енергію одиниці ваги рідини і вимірюється у  $\frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = \text{м}$ , тобто одиницею вимірювання напору є висота стовпа рухомої рідини, що розраховується за формулою:

$$H = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{W^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

де, **Z** – називають геометричним напором або нівелірною висотою (питома потенціальна енергія положення рідини в полі сил земного тяжіння), м.

$\frac{P}{\rho \cdot g}$  – називають статичним або н'єзометричним напором (питома потенціальна енергія пружних сил рідини), м;

$\frac{W^2}{2 \cdot g}$  – називають швидкісним або динамічним напором (питома кінетична енергія рідини у даному перерізі), м;

Одним із основних законів, які описують енергетичний баланс рідини є рівняння Бернуллі, суть якого полягає у наступному: для всіх поперечних перерізів встановленого потоку ідеальної рідини величина повного гідродинамічного напору є сталою.

Рівняння Бернуллі записується наступним чином:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{W_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{W_2^2}{2 \cdot g} = Z_3 + \frac{P_3}{\rho \cdot g} + \frac{W_3^2}{2 \cdot g} = \dots = \text{const} \quad (3)$$

де **Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>** – відстань по вертикалі від будь-якого, прийнятого за нульовий, рівня до осі трубопроводу, у м.

**P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>** – тиск у першому, другому і т.д. перерізах, у  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ ;

**W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>** – середня швидкість потоку рідини у першому, другому і т.д. перерізах, у  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Таким чином, рівняння Бернуллі є окремим випадком закону збереження енергії і виражає енергетичний баланс потоку рідини.

На відміну від ідеальної, реальна рідина є в'язкою. Під час руху реальної рідини діють сили внутрішнього тертя між частинками рідини і стінками трубопроводу. Крім цього, під час руху потік може змінювати свій напрямок, а також зустрічати місцеві опори. На подолання сил тертя та місцевих опорів затрачується певна кількість енергії. Як наслідок, величина гідродинамічного

напору вздовж потоку реальної рідини зменшується на деяку величину, яку називають втратою напору. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини має вигляд:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{W_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{W_2^2}{2 \cdot g} + h_{1,2} = Z_3 + \frac{P_3}{\rho \cdot g} + \frac{W_3^2}{2 \cdot g} + h_{1,3} = \dots (4)$$

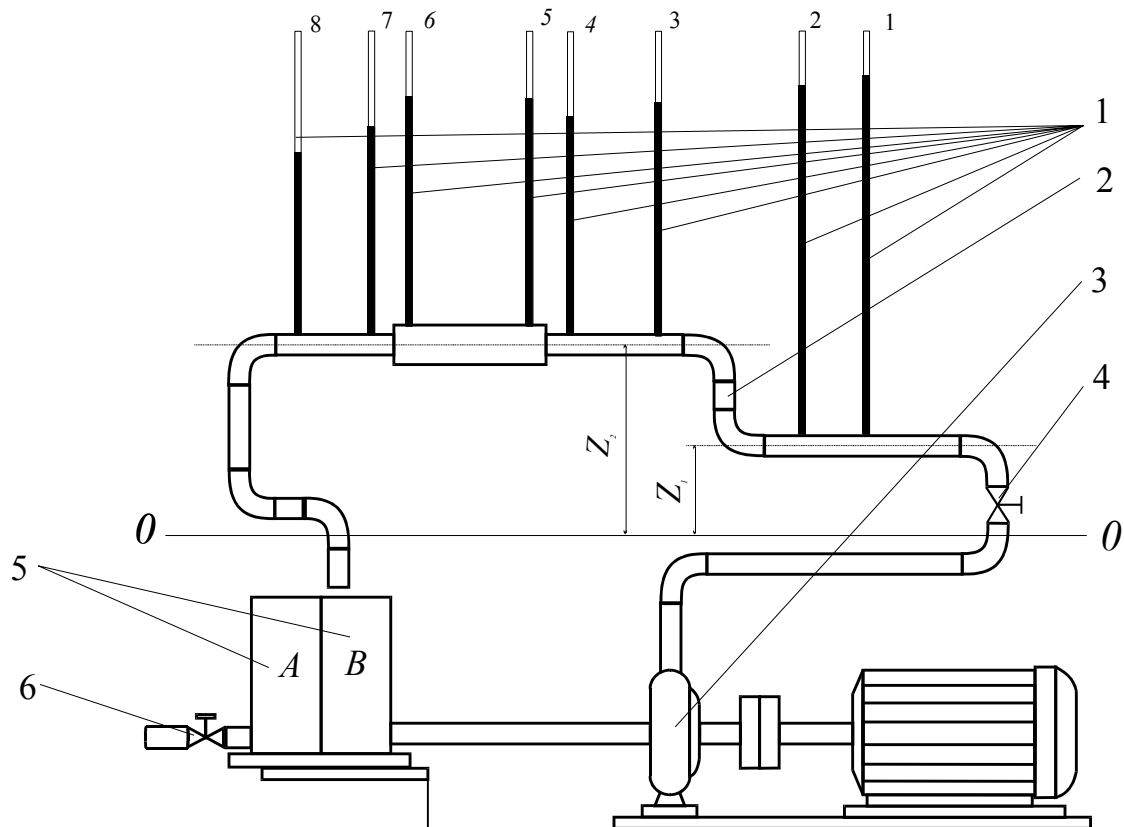
де  $h_{1,2}$ ,  $h_{1,3}$  – втрата напору, відповідно, між першим - другим та між першим - третім перерізами.

## МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з принципами вимірювання п'єзометричного, динамічного і нівелірного напорів.
2. Скласти енергетичний баланс для восьми перерізів потоку рідини у трубопроводі складної конфігурації і встановити його відповідність рівнянню Бернуллі.
3. Побудувати графік зміни гідродинамічного напору і його складових (п'єзометричного, динамічного і нівелірного напорів) вздовж трубопроводу.

## ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка (рис. 1) складається з п'єзометричних трубок 1, які під'єднані до трубопроводу 2 складної конфігурації. Рух води вздовж трубопроводу 2 здійснюється за допомогою відцентрового насосу 3 і регулюється за допомогою запірною вентиля 4. Для рівномірної роботи відцентрового насосу 3 в установці передбачений бачок 5, який складається із вимірювальної секції **A** та напірної – **B**. На секції **A** встановлений вентиль 6, який закривають для вимірювання об'ємної витрати і відкривають для витікання рідини у каналізацію. П'єзометричні трубки 1 встановлені у восьми перерізах для вимірювання п'єзометричного напору у цих перерізах.



*Рис. 1. Схема лабораторної установки*

*1 – п'езометричні трубки, 2 – трубопровід, 3 – відцентровий насос,  
4 – запірний вентиль, 5 – бачок (А – мірна секція, В – напірна секція),  
6 – запірний вентиль.*

Швидкість рідини у кожному перерізі трубопроводу розраховується за об'ємною витратою, яку визначають з допомогою секундоміра і мірної секції А бачка 5.

**Пояснення.** П'езометричні трубки, або п'езометри представляють собою тонкі скляні трубки, які з допомогою гумових трубок з'єднані із трубопроводом. Внаслідок того, що тиск у трубопроводі є більшим ніж атмосферний, частина рідини із трубопроводу буде поступати у скляну трубку і підніматися по ній вгору. Коли гідростатичний тиск стовпа рідини зрівноважиться із гідростатичним тиском у трубопроводі рідина у скляній трубці зупиниться на певному рівні. Вимірявши рівень води у п'езометрі можна розрахувати гідростатичний тиск у трубопроводі.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Заміряти діаметри кожного перерізу, результати замірів занести у таблицю.
2. Заміряти нівелірну висоту для кожного перерізу, результати замірів занести у таблицю.
3. Заповнити напірну секцію **В** бачка 5 водою із водопровідної мережі.
4. Закрити вентилі 4 і 6.
5. Направити вихід трубопроводу 2 у напірну секцію **В** бачка 5.
6. Включити відцентровий насос.
7. Повільно відкриваючи вентиль 4 встановити заданий напір. (Напір на вході або виході з трубопроводу 2 задає викладач).
8. Направити вихід трубопроводу 2 у мірну секцію **А** бачка 5.
9. Виміряти за допомогою секундоміра час наповнення мірної секції бачка.
10. Зняти покази п'єзометрів у всіх перерізах, результати занести у таблицю.
11. Направити вихід трубопроводу 2 у напірну секцію бачка 5.
12. Закрити вентиль 4.
13. Виключити відцентровий насос.
14. Відкрити вентиль 6 і випустити воду з мірної секції бачка 5.

**Зауваження.** *Кількість дослідів при різних об'ємних витратах задається викладачем (рекомендується провести не менше двох експериментів).*

**УВАГА. ПРОТЯГОМ ВСІЄ РОБОТИ НЕОБХІДНО СЛІДКУВАТИ ЗА РІВНЕМ ВОДИ У НАПІРНІЙ СЕКЦІЇ В БАЧКА 4. РІВЕНЬ ВОДИ У ЦІЙ СЕКЦІЇ ДЛЯ НОРМАЛЬНОЇ РОБОТИ НАСОСУ ПОВИНЕН БУТИ НЕ МЕНШЕ 50% ЙОГО ЄМНОСТІ.**

## ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

1. Розрахувати площу кожного поперечного перерізу трубопроводу  $S_i$ ,  $m^2$ , результати занести у таблицю.
2. Розрахувати об'ємну витрату рідини  $V_c$ ,  $m^3/c$ :

$$V_c = \frac{V}{\tau} \quad (5)$$

де  $V$  – об'єм мірної секції бачка, який складає  $26.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ );  $\tau$  - час наповнення мірної секції.

3. Розрахувати швидкість потоку рідини у кожному перерізі трубопроводу  $W_i$ ,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ :

$$W_i = \frac{V_c}{S_i} \quad (6)$$

Результати розрахунку занести у таблицю.

4. Розрахувати динамічний напір у кожному перерізі, результати занести у таблицю.

5. Розрахувати повний гідродинамічний напір потоку за формулою (2), результати занести у таблицю.

6. Побудувати графічну залежність нівелірного, п'езометричного і динамічного напорів від довжини трубопроводу ( $Z = f(L)$ ,  $H_{ст} = f(L)$ ,  $H_{дин} = f(L)$  та  $H = f(l)$ ). Приклад побудови графіку зображений на рис. 2.

### ЗВІТ ПРО ВИКОНАНУ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

1. Мету роботи.
2. Схему лабораторної установки.
3. Порядок виконання лабораторної роботи.
4. Всі необхідні розрахунки у розгорнутій формі.
5. Повністю заповнену таблицю.
6. Графік експериментальних досліджень.
7. Висновок.

**Зауваження.** Звіт про виконану лабораторну роботу може містити також основні теоретичні відомості в необхідному для студента об'ємі.



## Визначення напору рідини у перерізах трубопроводу

№ експери- менту	№ перерізу	d (м)	S (м <sup>2</sup> )	W (м/с)	Z (м)	H <sub>ст</sub> (м)	H <sub>д</sub> (м)	H (м)
I	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							

**Зауваження.** Для другого і наступних експериментів таблицю продовжують вниз для всіх перерізів.

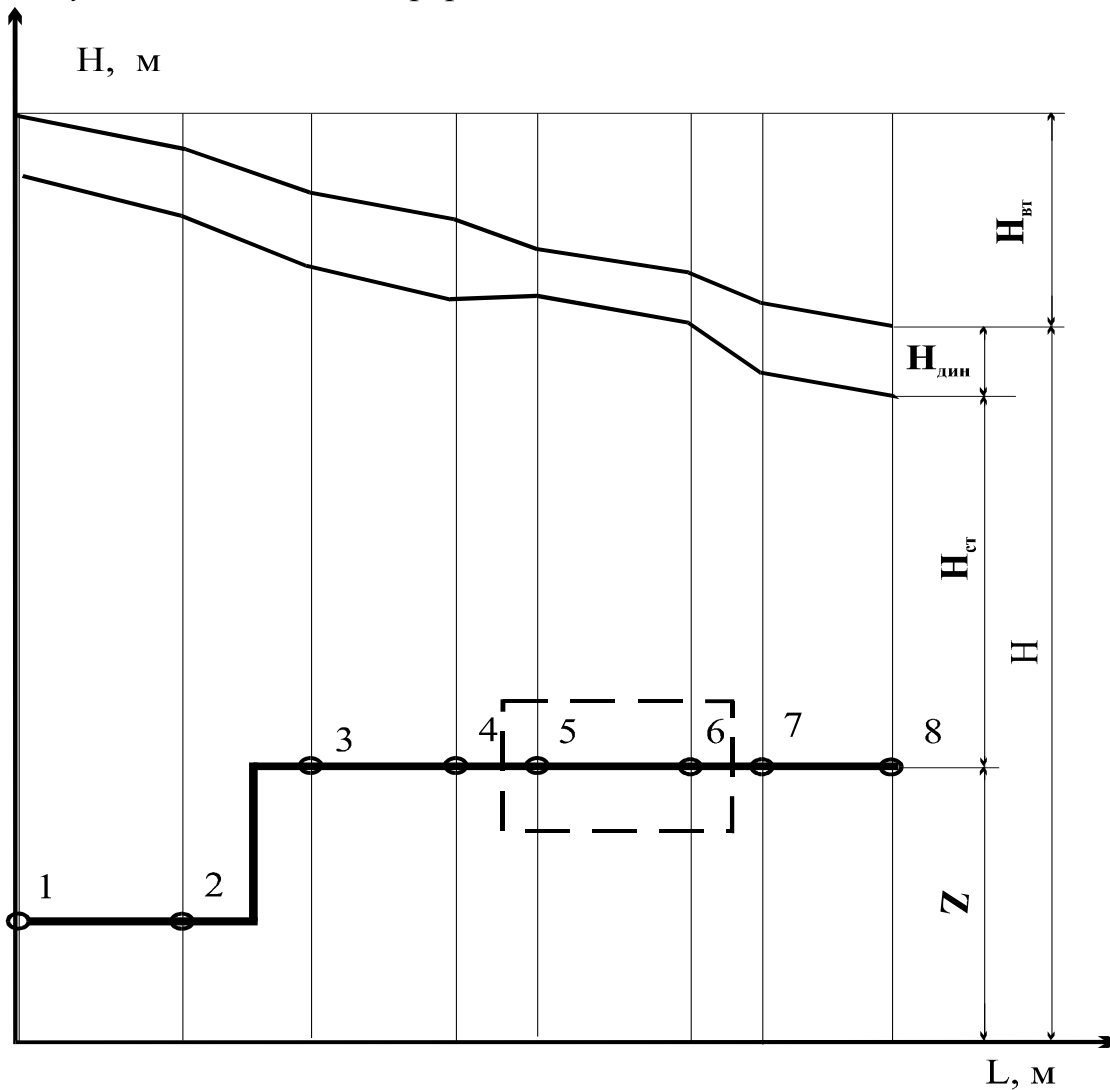


Рис. 2. Залежність напору від довжини трубопроводу

## ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин Л.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. –М.: Химия, 1973. 783 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. –Л.: Химия, 1987. 575 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ  
РІДИНИ.  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПОТОКУ  
НА ОСНОВІ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторної роботи №1  
з курсу "Процеси і апарати хімічної технології"  
для студентів  
хіміко-технологічних спеціальностей

*Укладачі*

Кіндзера Діана Петрівна  
Атаманюк Володимир Михайлович

*Редактор*

*Комп'ютерне верстання*