

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РАБОТИ  
**«ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА»**  
З КУРСУ  
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

для студентів хіміко-технологічних спеціальностей  
усіх форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничим  
відділом університету,  
протокол № 2 від 25.06.2020 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2020

Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи «Вивчення характеристик відцентрованого насоса» з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів хіміко-технологічних спеціальностей усіх форм навчання / уклад.: Пономаренко Г.В., Горбунов К.О., Биканов С.М., Соловей В.М.– Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 16 с.

Укладачі: Г.В. Пономаренко  
К.О. Горбунов  
С.М. Биканов  
В.М. Соловей

Рецензент проф. Данилов Ю.Б.

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів

## ВСТУП

Переміщення рідин по трубопроводах та апаратах здійснюється за допомогою *гідравлічних машин (насосів)*, які перетворює механічну енергію двигуна в енергію краплинної рідини, що перекачується.

Насоси використовують для переміщення рідин у трубопроводах та апаратах. Переміщення пов'язане з подоланням сил тертя, місцевих опорів, а також витратами енергії на піднімання рідини з нижчого на вищий рівень.

За видом робочої камери і сполученням її зі входом і виходом насоса розрізняють два основні класи насосів: об'ємні та динамічні.

В *об'ємних* насосах рідина переміщується шляхом періодичної зміни об'єму камери, яка поперемінно з'єднується зі входом і виходом насосу. До об'ємних насосів відносяться поршневі, відцентрові, мембранні та ін.

В *динамічних* насосах рідина переміщується під силовою дією на неї в камері, яка постійно сполучається з виходом і входом насоса. До них відносяться такі основні типи: відцентрові, вісьові (пропелерні), роторні, гвинтові, вихрові, струменеві.

Відцентрові насоси найбільше використовуються для перекачування малов'язких рідин. Це пояснюється їх високою продуктивністю, невеликими розмірами, можливістю безпосереднього приєднання до електродвигуна. Крім того, відцентрові насоси прості за конструкцією, тому їх можна виготовляти з різноманітних матеріалів.

**Мета роботи** – вивчення будови і експериментальне визначення характеристик відцентрового насоса.

### Основні теоретичні відомості

Робота відцентрових насосів ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії, що надається рідині відцентровим колесом, в енергію тиску. Відцентровий насос (рис. 1) складається з корпусу 3, усередині якого на валу 5 обертається робоче колесо 4 з лопатями 6, всмоктувального 1 і нагнітального 7 патрубків. Ущільнення вала насоса забезпечують сальникові ущільнення 2.

Через усмоктувальний штуцер рідина надходить у центральну частину обертового каналу, під дією відцентрової сили проходить по його каналах і відкидається до периферії, здобуваючи при цьому кінетичну енергію. У корпусі насоса, який має вигляд спіралі, кінетична енергія рідини перетворюється в енергію тиску, і рідина викидається в нагнітальний штуцер. Таким чином, рідина безупинно надходить до насоса, проходить через нього і виходить із нагнітального патрубка. У деяких конструкціях корпус насоса має нерухомі лопаті, які утворюють канали, що розширюються. Ці канали сприяють перетворенню кінетичної енергії рідини, що рухається, у потенціальну енергію тиску і підвищенню коефіцієнта корисної дії насоса.

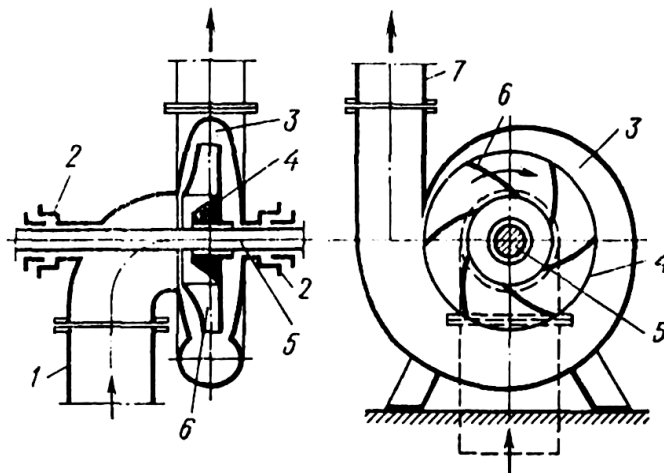


Рисунок 1 – Відцентровий насос:

- 1 – усмоктувальний штуцер; 2 – сальник; 3 – корпус із каналом; 4 – робоче колесо;  
5 – вал; 6 – лопаті робочого колеса; 7 – нагнітальний штуцер

Особливістю відцентрового насоса є те, що для початку його роботи необхідно, щоб внутрішня порожнина корпусу з робочим колесом була заповнена рідиною. Тільки в цьому випадку при запуску насоса виникає відцентрова сила, яка приводить до переміщення рідини і створює перепад тиску. Напрямок обертання робочого колеса насоса повинен строго зберігатися, інакше насос не буде створювати різниці тисків на вході й виході з нього.

Відцентрові насоси класифікуються за конструктивними ознаками, за створюваним напором і за частотою обертання робочого колеса.

За створюваним напором насоси поділяються:

- на насоси низького тиску, що створюють напір до 25 м;
- насоси середнього тиску з напором 25–60 м;
- насоси високого тиску, що мають напір понад 60 м.

За розташуванням вала робочого колеса відцентрові насоси бувають *вертикальні й горизонтальні*.

Залежно від частоти обертання робочого колеса насоси поділяються на *тихохідні і швидкохідні*.

За числом робочих коліс насоси бувають *одноступінчастими і багатоступінчастими*. У багатоступінчастих насосах рідина, що перекачується, проходить послідовно через кілька робочих коліс, укріплених на одному валу. Перепади тисків, створювані в кожному колесі, складаються, у результаті чого значно збільшується загальний напір, створюваний насосом. Багатоступінчасті насоси належать до групи насосів середнього і високого тиску.

У відцентрових насосів зі зміною продуктивності змінюються й інші параметри: напір, потужність і коефіцієнт корисної дії.

Параметри, що характеризують роботу відцентрових насосів при постійній частоті обертання робочого колеса, звичайно подають у вигляді графічних залежностей напору  $H$ , потужності  $N$  і ККД  $\eta$  від продуктивності  $Q$ . Залежності  $H = f(Q)$ ;  $N = f_1(Q)$  і  $\eta = f_2(Q)$ , що називаються характеристиками насоса, отримують дослідним шляхом.

Типові характеристики відцентрового насоса при деякій частоті обертання робочого колеса подано на рис. 2.

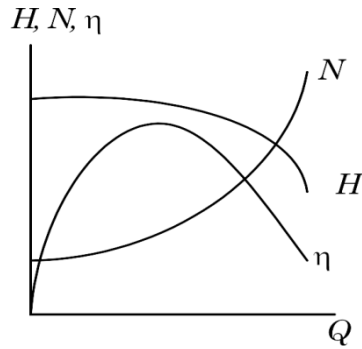


Рисунок 2 – Характеристики відцентрового насоса при  $n=const$

При зміні частоти обертання подача (продуктивність)  $Q$ , напір  $H$  і споживана потужність  $N$  насоса також змінюються у таких співвідношеннях:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3. \quad (1)$$

З рис. 2 видно, що потужність  $N$ , споживана насосом, зі збільшенням подачі  $Q$  зростає. При  $Q=0$  насос споживає мінімальну потужність, затрачувану на подолання тертя в підшипниках, сальнику, на перемішування рідини робочим колесом у корпусі насоса.

Характеристики насоса використовуються для дослідження їхньої роботи в різних умовах і для вибору насосів при проектуванні установок.

Вибір насоса залежить від умов роботи насоса на мережу (трубопровід), які визначаються характеристикою мережі  $H_m = f(Q)$ , тобто залежністю між витратою  $Q$  і напором  $H_m$ , необхідним для подолання всіх опорів у даному трубопроводі (мережі).

Для нестисливої рідини маємо

$$H_m = \left(1 + \lambda \frac{L}{d_e} + \sum \zeta_m\right) \frac{w^2}{2g} + H_r, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя;  $L$  – довжина трубопроводу, м;  $d_e$  – еквівалентний діаметр, м (у даній роботі трубопровід має круглий переріз, тому  $d_e = d$ );  $\sum \zeta_m$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;  $w$  – швидкість рідини:

$$w = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{0,785d_{\text{вн}}^2}, \quad (3)$$

де  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $S$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр труби, м.

Після підставлення значення швидкості потоку до рівняння (2) одержимо

$$H_{\text{м}} = \frac{\left(1 + \lambda \frac{L}{d_e} + \sum \zeta_{\text{м}}\right) Q^2}{2g S^2} + H_{\text{г}}.$$

Позначивши в останньому виразі  $\frac{1 + \lambda \frac{L}{d_e} + \sum \zeta_{\text{м}}}{2g S^2} = a$ ,  $H_{\text{г}} = b$ , в підсумку одержимо рівняння характеристики мережі:

$$H_{\text{м}} = aQ^2 + b. \quad (4)$$

Останнє рівняння характеристики мережі у системі координат  $H$ – $Q$  є параболою.

Якщо характеристику мережі подати на одному графіку разом з характеристикою насоса, то точка перетинання цих характеристик (точка  $A$ ) буде робочою точкою насоса. Тільки в цій точці продуктивність насоса  $Q_A$  дорівнює необхідній витраті рідини в трубопроводі, а напір  $H_A$ , що розвивається, дорівнює напору, необхідному для переміщення рідини  $H_{\text{м}}$  (рис. 3).

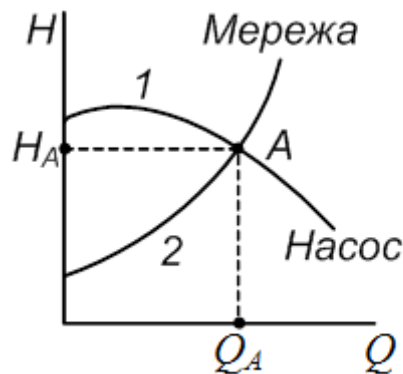


Рисунок 3 – Сполучення характеристики відцентрового насоса й мережі

Для робочої точки  $A$  параметри роботи насоса такі: витрата –  $Q_A$ ; напір –  $H_A$ ; споживана потужність –  $N_A$ ; ККД –  $\eta_A$ .

Положення робочої точки дозволяє визначити ступінь використання можливостей насоса за даних умов. Якщо, наприклад, робоча точка займає положення  $A$  (рис. 3), то насос працює при ККД, близькому до максимального.

### Опис експериментальної установки

У даній лабораторній роботі використано одноступінчастий тришвидкісний відцентровий насос Wilo-RS-25/ 6-3P з мокрим ротором. Насоси такого типу застосовують у системах централізованого опалення будинків.

Експериментальна установка (рис. 4) складається з ємності з водою 1, кранів 2 і 6, відцентрового насоса 3, витратоміра 4, манометра на лінії нагнітання 5.

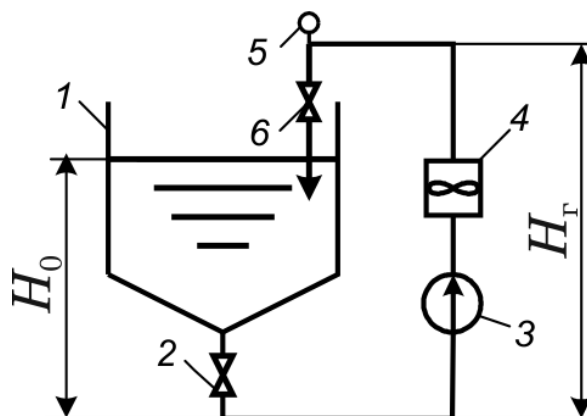


Рисунок 4 – Схема лабораторної установки

### Методика виконання роботи

Для побудови характеристики насоса  $H-Q$  й мережі  $H_m-Q$  проводять дві серії експериментів. У першій серії виконують експерименти для побудови характеристики насоса  $H-Q$ , а у другій – для побудови характеристики мережі  $H_m-Q$ .

Експериментальні дані для побудови характеристик насоса одержують при постійній (заданій викладачем) частоті обертання робочого колеса, але при різних витратах (подачах) насоса, що збільшуються. Зміну подачі насоса здійснюють поступовим відкриттям крана 6 на



нагнітальному трубопроводі. Кран 2 відкритий повністю. За манометром 5 визначають тиск, створюваний насосом. Дані заносять до табл. 1.

Експериментальні дані для побудови характеристики мережі одержують при постійному (заданому викладачем) відкритті крана б, але при різних частотах обертання робочого колеса. Кран 2 відкритий повністю. За манометром 5 визначають тиск у трубопроводі. Дані експериментів заносять до табл. 2.

Таблиця 1 – Експериментальні дані для побудови характеристики насоса  $H - Q$

№	Частота обертання робочого колеса $n, \text{с}^{-1}$	Початкові показання водоміра $V_1, \text{м}^3$	Кінцеві показання водоміра $V_2, \text{м}^3$	Час виміру $\tau, \text{с}$	Тиск, створюваний насосом $p_H, \text{Па}$

Таблиця 2 – Експериментальні дані і розраховані величини для побудови характеристики мережі  $H_M - Q$

№	Експериментальні дані					Розраховані величини		
	Частота обертання колеса $n, \text{с}^{-1}$	Початкові показання водоміра $V_1, \text{м}^3$	Кінцеві показання водоміра $V_2, \text{м}^3$	Час виміру $\tau, \text{с}$	Тиск у трубопроводі $p, \text{Па}$	Продуктивність насоса $Q, \text{м}^3/\text{с}$	Напір насоса $H_H, \text{м}$	Напір $H_M, \text{м}$

## Обробка експериментальних даних

1. Для першої серії експериментів за даними табл. 1 розрахувати продуктивність насоса  $Q$ , м<sup>3</sup>/с:

$$Q = \frac{V_1 - V_2}{\tau}. \quad (5)$$

2. Розрахувати напір насоса, виражений у метрах стовпа рідини, що перекачується:

$$H_H = \frac{P_H}{\rho g}, \quad (6)$$

де  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>, при відповідній температурі;  $g$  – прискорення сили ваги, м/с<sup>2</sup>.

Розраховані дані занести до табл. 1.

3. Побудувати графік експериментальної характеристики насоса  $H - Q$  при  $n = const$ .

4. Для другої серії експериментів за даними табл. 2 розрахувати подачу (продуктивність) насосу  $Q$  за рівнянням (5).

5. Розрахувати експериментальний напір  $H_e$ , необхідний для подолання всіх опорів у даному трубопроводі за формулою (6).

Для визначення розрахункового напору  $H_p$  необхідно попередньо розрахувати або визначити такі величини:

а) швидкість рідини  $w$  за рівнянням (3);

б) величину критерію  $Re$  і режим течії рідини;

в) коефіцієнт тертя  $\lambda$  (за графічною залежністю  $\lambda = f(Re, e)$ ,

Додаток 1), прийнявши, що середня висота виступів на внутрішній поверхні труби  $e = 0,125$  мм ;

г) суму коефіцієнтів місцевих опорів  $\sum \zeta_{м.о.}$ : (вхід до труби, вихід з труби, раптове звуження від діаметра 25 мм до діаметра 15 мм) за додатком 2, коефіцієнт місцевого опору крана  $\zeta_6$ , що дорівнює 110. Коефіцієнти місцевого опору водоміра  $\zeta_B$  визначити з таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти опору водоміру

$Q \times 10^4,$ м/с	1	2	2	4	5	6	7
$\zeta_B$	3,18	6,36	9,57	12,75	15,96	19,14	22,35

Види опорів і їхню кількість визначити на установці за місцем. Розрахункові дані занести в табл. 2.

6. Побудувати графік експериментальної характеристики мережі  $H_p - Q$ .

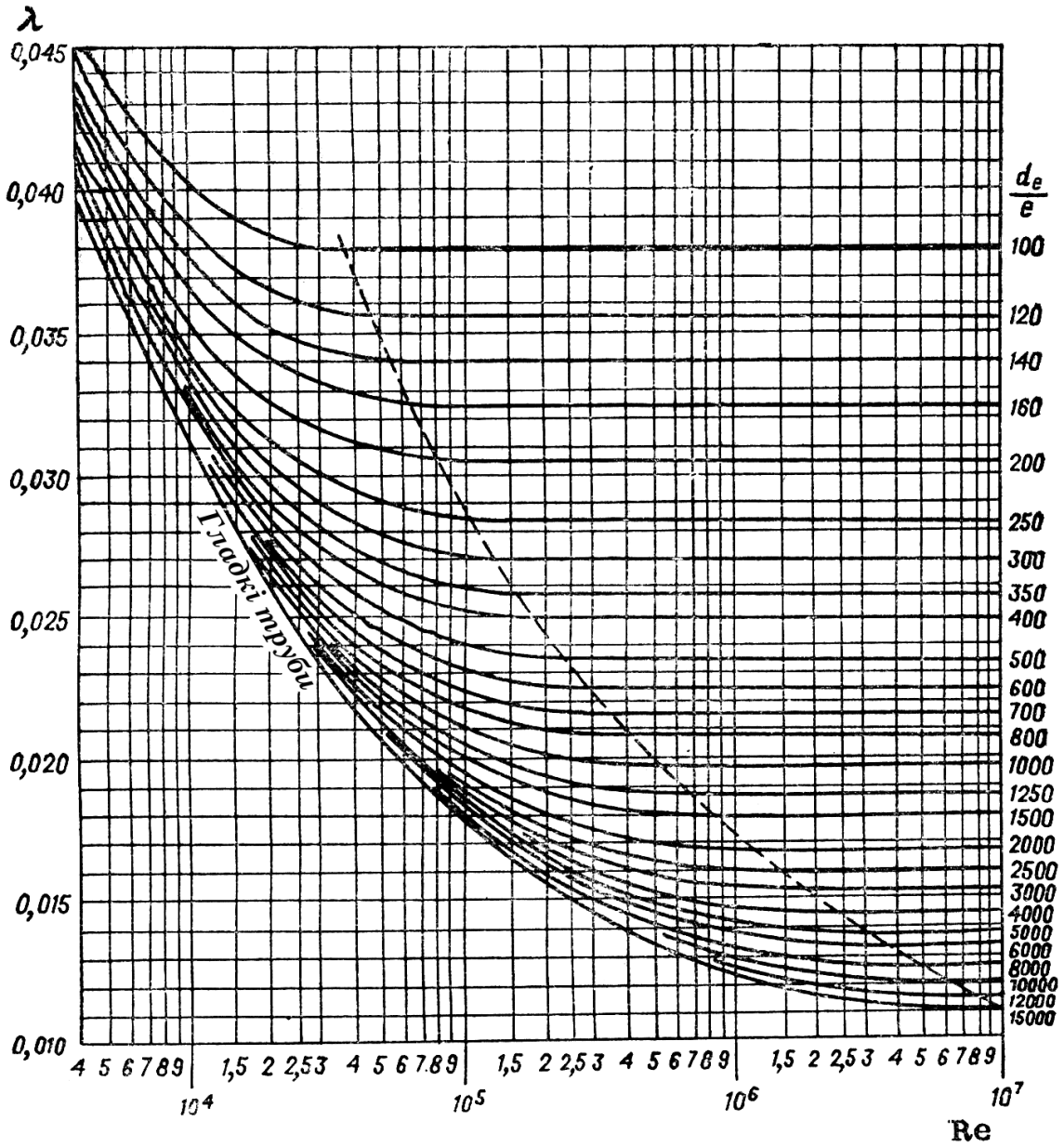
7. Порівняти параметри, отримані експериментально і теоретично.

### Питання для самоконтролю

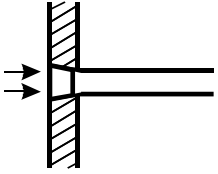
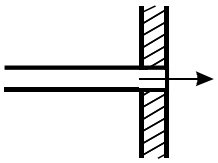
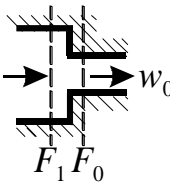
1. Методика виконання лабораторної роботи.
2. Типи насосів та їхня будова.
3. Основні характеристики насосів.
4. Принцип роботи відцентрованого насоса.
5. Рівняння для розрахунку основних параметрів насосів.
6. Рівняння Бернуллі.
7. Графічні залежності характеристик насоса і мережі.
8. Умови оптимальної роботи насоса на мережу.

## ДОДАТКИ

Додаток 1. Залежність коефіцієнта  $\lambda$  (для сталевих труб) від критерію  $Re$  і ступеня шорсткості  $d_e/e$  ( $d_e$  – еквівалентний діаметр, м;  $e$  – середня висота виступів на внутрішній поверхні стінки труби, м).



## Додаток 2. Коефіцієнти місцевих опорів

Вид опору	Значення коефіцієнта місцевого опору $\zeta$																																																						
<p>Вхід до труби</p> 	<p>З гострими краями <math>\zeta = 0,5</math></p> <p>Із закругленими краями <math>\zeta = 0,2</math></p>																																																						
<p>Вихід із труби</p> 	<p>При розрахунку <math>\Delta p</math> за формулою (1,49) цей опір <math>\zeta</math> для виходу із труби враховувати не треба</p> <p><math>\zeta = 1</math></p>																																																						
<p>Раптове звуження</p>  <p><math>F_0</math> – площа меншого поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;  <math>w_0</math> – швидкість потоку в меншому перерізу, м/с;  <math>F_1</math> – площа більшого поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;</p> <p><math>Re = \frac{w_0 d_e}{\nu}</math> ;</p> <p><math>\Delta p_{звуж} = \zeta \left( \frac{\rho w_0^2}{2} \right)</math>.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: left;"><math>Re = \frac{w_0 d_e}{\nu}</math></th> <th colspan="6"><math>F_0 / F_1</math></th> </tr> <tr> <th>0,1</th> <th>0,2</th> <th>0,3</th> <th>0,4</th> <th>0,5</th> <th>0,6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1,30</td> <td>1,20</td> <td>1,10</td> <td>1,00</td> <td>0,90</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>0,64</td> <td>0,50</td> <td>0,44</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>10000</td> <td>0,5</td> <td>0,40</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>&gt;10000</td> <td>0,45</td> <td>0,40</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> </tr> </tbody> </table>							$Re = \frac{w_0 d_e}{\nu}$	$F_0 / F_1$						0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	100	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	1000	0,64	0,50	0,44	0,35	0,30	0,24	10000	0,5	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	>10000	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
$Re = \frac{w_0 d_e}{\nu}$	$F_0 / F_1$																																																						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6																																																	
10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0																																																	
100	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80																																																	
1000	0,64	0,50	0,44	0,35	0,30	0,24																																																	
10000	0,5	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20																																																	
>10000	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20																																																	

## Література

1. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. – Л.: Химия, 1976. – 552 с.

2. Угинчус А. А. Гидравлика и гидравлические машины / Угинчус А. А. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1970. – 396 с.

3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И. Е. – Москва–Ленинград: Госэнергоиздат, 1960. – 463 с.



Навчальне видання

**Методичні вказівки  
до лабораторної роботи  
«ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВАНОГО  
НАСОСА»**

**з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв»**  
для студентів хіміко-технологічних спеціальностей усіх форм навчання

Укладачі: ПОНОМАРЕНКО Ганна Володимирівна  
ГОРБУНОВ Костянтин Олександрович  
БИКАНОВ Сергій Миколайович  
СОЛОВЕЙ Валентин Миколайович

Відповідальний за випуск проф. Ведь В.Є.

Роботу до видання рекомендував проф. Рассоха О.П.

План 2020 р.

Підписано до друку 20.09.2020. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,2.

Наклад 100 прим. Зам. № 20/092020      Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХП» Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №5478 від  
21.08.2017 р. 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

---

Друк ФОП Заночкин Д.Л., м. Харків, вул. Плеханівська, 16