

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи
«ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ УТРИМАНОЇ РІДИНИ ШАРОМ
НАСАДКИ»

з дисциплін «Процеси та апарати хімічних технологій»,
«Процеси та апарати хімічної промисловості» та «Виробничі
процеси та обладнання об'єктів автоматизації»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування»,
166 «Хімічні технології та інженерія», 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
машинобудування та
прикладної механіки
Протокол № 4 від 23.12.2020р.

Севєродонецьк, 2020

УДК 66.081.2.

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Визначення кількості утриманої рідини шаром насадки» з дисциплін «Процеси та апарати хімічних технологій», «Процеси та апарати хімічної промисловості» та «Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування», 166 «Хімічні технології та інженерія», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології») / Уклад.: В.М. Москалик. – Северодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2020. – 16 с.

Наведено матеріали, що необхідні до виконання лабораторної роботи на тему «Визначення кількості утриманої рідини шаром насадки», а саме теоретичні відомості, опис лабораторної установки, порядок виконання роботи, порядок обробки експериментальних даних, контрольні питання, перелік рекомендованої літератури та додаток.

Методичні матеріали розраховані на здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти інженерно-технічних спеціальностей.

Укладач:

Москалик В.М. к.т.н., доцент

Рецензент:

Єлісєєв П.Й. к.т.н., доцент

З М І С Т

	Стор.
1. Основні відомості з теорії	4
2. Опис лабораторної установки та вимірювальної апаратури	6
3. Порядок виконання роботи та дотримання техніки безпеки	9
4. Порядок обробки результатів замірів	11
5. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінки	12
6. Контрольні питання	12
7. Рекомендована література	13
8. Додаток	14
Градуювальна діаграма ротаметра РС-5 по воді	14
Градуювальна діаграма ротаметра РС-7 по повітрю	15

Лабораторна робота 2 «ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ УТРИМАНОЇ РІДИНИ ШАРОМ НАСАДКИ»

Мета і задачі роботи.

Ознайомитися з гідродинамікою насадкового апарата. Одержати теоретичні знання та практичні навички з визначення кількості утриманої рідини шаром насадки при різних гідродинамічних режимах.

Постановка завдання.

Провести при вивченні гідродинаміки насадкового апарата досліди з визначення кількості утриманої рідини шаром насадки при різних гідродинамічних режимах.

1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ З ТЕОРІЇ

В хімічній, нафтохімічній та суміжних галузях промисловості широко застосовують насадкові апарати для проведення процесів масообміну, а саме абсорбції, ректифікації, екстракції тощо.

Насадковий апарат представляє собою колону, в яку завантажують насадки різного розміру і типу. Насадка укладається на опорну решітку, яка має отвори для проходження газу та зливу рідини. Зверху насадку утримують притискною решіткою. Рідину подають у верхню частину колони та зрошують насадку за допомогою розподільного пристрою. Газ подають у нижню частину колони під шар насадки.

Насадки, що застосовують в колоні, поділяють на **регулярні**, які укладають в деякій формі, та **нерегулярні**, які засипають внавал. Насадки характеризуються за матеріалом, з якої виготовляється, за розміром та за формою. Найбільш важливими параметрами насадки є питома поверхня a та вільний об'єм ϵ . **Питома поверхня a** – поверхня насадки в об'ємі 1 м^3 насадки і має розмірність $\text{м}^2/\text{м}^3$. **Вільний об'єм ϵ** – об'єм пустот в 1 м^3 насадки і має розмірність $\text{м}^3/\text{м}^3$. Наприклад, для насадки з кераміки кільця Рашига розміром $15 \times 15 \times 3 \text{ мм}$ $a = 294 \text{ м}^2/\text{м}^3$ та

$\varepsilon=0,645$, а для насадки, що з кераміки кільця Рашига розміром $25 \times 25 \times 4$ мм $\alpha \alpha = 221,6 \text{ м}^2/\text{м}^3$ та $\varepsilon=0,680$.

Найбільш часто рух газу та рідини в насадкових апаратах здійснюється у протитечії – рідина рухається зверху вниз, а газ знизу вверх.

При протитечії в залежності від швидкостей потоків розрізняють чотири різних гідродинамічних режимів.

Плівковий режим – спостерігається при достатньо невеликому навантаженні газу та рідини, при цьому взаємодія фаз незначна.

Режим підвішування – характеризується загальмуванням рідини на поверхні насадки потоком газу, при цьому товщина плівки рідини збільшується і кількість рідини, що утримується в шарі насадці також збільшується.

Режим захлинання (або інверсії фаз) – виникає в результаті критичного накопичення рідини шаром насадки в кількості, що призводить до обернення (інверсії) фаз. Газ перестає бути безперервною фазою і рухається шляхом барботажу через шар рідини, яка заповнила вільний об'єм насадки.

Режим винесення – рідина виноситься з апарата газовим потоком. Це аварійний режим і в практиці не застосовується.

Важливішою гідродинамічною характеристикою двофазної системи, що виникає в шарі насадки при протитечії газу та рідини, є **газовміст α** , або **кількість утримуваної рідини $\varphi_{\text{дин}} = 1 - \alpha$** .

Кількість утримуваної рідини φ складається із **статичної $\varphi_{\text{ст}}$** та **динамічної $\varphi_{\text{дин}}$** складових, при цьому:

$$\varphi = \varphi_{\text{ст}} + \varphi_{\text{дин}}. \quad (1)$$

Статична складова $\varphi_{\text{ст}}$ зображає собою кількість рідини, яке утримується на насадці капілярними силами. Ця величина не залежить від гідродинамічного режиму і визначається формою та матеріалом насадки, а також властивістю рідини. **Динамічна складова $\varphi_{\text{дин}}$** зображує собою кількість рідини, що рухається по насадці, і визначається гідродинамічними умовами.

Кількість утриманої рідини (КУР) знаходять за дослідом. Одним з них є **метод відсічі зрошення**. За цим методом припиняють зрошення та вимірюють кількість рідини, що

витікає з колони після припинення зрошення. Указаним методом визначають $\varphi_{\text{дин}}$, так як кількість $\varphi_{\text{ст}}$ затримується насадкою і після припинення зрошення. Цей метод дає похибку у визначенні $\varphi_{\text{дин}}$ через додатковий витік рідини, що постійно знаходиться над та під шаром насадки в колоні при її роботі. Для ліквідування вказаної похибки кількість утриманої рідини $\varphi_{\text{дин}}$ знаходять при двох різних висотах насадки в колоні, але при однакових гідродинамічних умовах. Різниця об'ємів рідини, що знайдені у двох випадках дає точне значення $\varphi_{\text{дин}}$.

Кількість утриманої рідини (КУР) в умовах плівкового режиму, прямує з рівняння, яке запропоновано В.М. Раммом:

$$\varphi_{\text{дин}} = 0,747 \text{Re}_L^{0,64} \text{Ga}^{-0,42} \quad \varphi_{\text{дин}} = 0,747 \text{Re}_L^{0,64} \text{Ga}^{-0,42}, \quad (2)$$

де

Re_L – число Рейнольдса для потоку рідини в шарі насадки;

Ga – критерій Галілея.

Число Рейнольдса Re_L визначається за рівнянням:

$$\text{Re}_L = \frac{4q}{a \cdot v_L \cdot 3600} \quad \text{Re}_L = \frac{4q}{a \cdot v_L \cdot 3600}, \quad (3)$$

де

q – щільність зрошення, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$;

v_L – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, $\text{м}^2/\text{с}$;

a – питома поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Щільність зрошення q – об'ємна витрата V ($\text{м}^3/\text{год}$) рідини, що проходить через одиницю площі перерізу S (м^2) колони:

$$q = \frac{V}{S} \quad q = \frac{V}{S}, \quad (4)$$

Критерій Галілея Ga визначається за рівнянням:

$$\text{Ga} = (a \cdot \theta)^{-3} \quad \text{Ga} = (a \cdot \theta)^{-3}, \quad (5)$$

де

θ – зведена товщина плівки рідини, що визначається за рівнянням:

$$\theta = \left(\frac{v_L^2}{g}\right)^{1/3} \quad \theta = \left(\frac{v_L^2}{g}\right)^{1/3} \quad (6)$$

2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

Схема експериментальної установки для дослідження кількості утриманої рідини (КУР) шаром насадки представлена на рис. 1. Основною робочою частиною є скляна колона 1 внутрішнім діаметром $D=105$ мм з шаром кільцевої насадки 2 розміром $15 \times 15 \times 3$ мм ($\varepsilon=0,645$, $\alpha \alpha=294$ м²/м³), що засипана внавал. Висота H насадки складала 800 або 600 мм. Вода L на зрошення насадки подається з водопровідної мережі, кількість якої контролюється за допомогою ротаметра (тип РС-5) 3 вентилем 4. У верхній частині колони триходовий кран 5 дає спроможність подачі води або в колону 1 на зрошення, або в зливну лійку 6 і далі в каналізацію. Так само вода L з нижньої частини колони 1 відводиться триходовим краном 7 або до гідрозатвора 8, зливної лійки 9 і далі в каналізацію, або до мірної ємності 10. Повітря G , за допомогою повітряного компресора 11, подається в колону 1 під опорну решітку 12 за допомогою горизонтального розподільника повітря 13 трубчатого типу. Кількість повітря, що подається в колону 1, контролюється за показаннями ротаметра (тип РС-7) 14 вентилем 15.

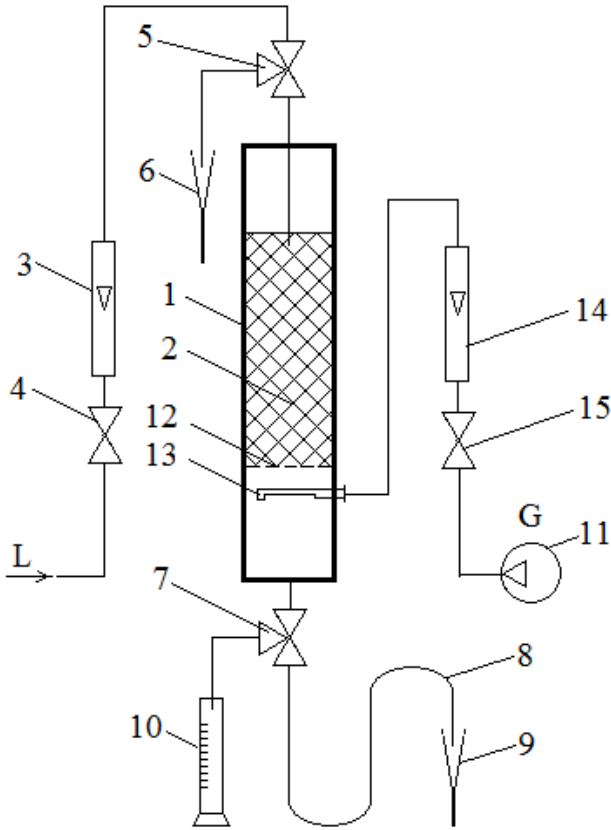


Рис. 1. Схема лабораторної експериментальної установки:
 1 – скляна колона; 2 – шар насадки; 3 – ротаметр витрати води РС-5; 4 – вентиль для подачі води; 5 – триходовий кран верхньої частини; 6 – зливна лійка; 7 – триходовий кран нижньої частини; 8 – гідрозатвор; 9 – зливна лійка; 10 – мірна ємність; 11 – повітряний компресор; 12 – опорна решітка; 13 – розподільник повітря; 14 – ротаметр витрати повітря РС-7; 15 – вентиль для подачі повітря; L – вода; G – повітря

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ДОТРИМУВАННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Одержавши дозвіл викладача, необхідно:

3.1. Засипати шар насадки 2 в скляну колону 1 на висоту $H_1=800$ мм.

3.2. Включити повітряний компресор 11.

3.3. Триходовий кран 5 встановити в напрямленні зрошування колони 1, а триходовий кран 7 встановити в напрямленні зливу у гідрозатвор 8.

3.4. Відкрити вентиль по воді 4 та за вказівкою викладача встановити витрату води за ротаметром 3 в числах поділок N_B (наприклад, показання $N_B=20$ число поділок).

3.5. Експериментально визначити швидкість захлинання $W_{\text{Газхл}}$ за ротаметром 14 плавно обертаючи ручку вентиля 15.

3.6. Плавно обертаючи ручку вентиля 15, установити витрату повітря за ротаметром 14 в числах поділок N_{Π} (показання $N_{\Pi}=10$ за числом поділок).

3.7. Після досягнення сталого режиму роботи лабораторної експериментальної установки миттєво та одночасно переключити триходовий кран 5 на злив у зливну воронку 6, триходовий кран на відвід води у мірну ємність 10 та відключити повітря за допомогою вентиля 15.

3.8. Виміряти кількісний об'єм води Q_1 , що потрапив до мірної ємності 10.

3.9. Повторити пункти 3.3, 3.4, 3.6 та 3.7, але з новими витратами повітря за ротаметром 14 в числах поділок N_{Π} (а саме, показання 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 та 100 за числом поділок до максимальної величини, а саме до $W_{\text{Газхл}}$).

3.10. Для кожного показання за ротаметром 14 виміряти кількісний об'єм води Q_1 , що потрапить до мірної ємності, та занести результати дослідів до таблиці 1.

3.11. Засипати шар насадки 2 в скляну колону 1 на висоту $H_2=600$ мм.

3.12. Повторити пункти 3.3, 3.4, 3.6, 3.7, 3.8 та 3.9. При цьому виміряти кількісний об'єм води Q_2 , що потрапив до мірної ємності 10, та записати в таблицю 1.

3.13. Виключити лабораторну експериментальну установку. Для цього необхідно: закрити вентиль по воді 4, закрити вентиль по повітрю 15 та виключити повітряний компресор 11.

3.14. З градувальної діаграми ротаметра РС-5 по воді та градувальної діаграми ротаметра РС-7 по повітрю (див. рис.1 та рис. 2 в Додатоку) за числом поділок N_B та N_P , що були встановлені при досліді, занести в таблицю 1 показання об'ємних витрат відповідно води V_B у $\text{м}^3/\text{год}$ та повітря $V_P \cdot 10^3$ у $\text{м}^3/\text{с}$.

Таблиця 1
Результати експериментальних досліджень кількості
утриманої рідини шаром насадки

N_B , число поділок	V_B , $\text{м}^3/\text{год}$	N_P , число поділок	$V_P \cdot 10^3$, $\text{м}^3/\text{с}$	Q_1 , м^3	Q_2 , м^3
		10			
		20			
		30			
		40			
		50			
		60			
		70			
		80			
		90			
		100			

До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли медичний огляд і вступний, первинний та позаплановий інструктаж з охорони праці та безпеки.

Первинний інструктаж з інструкцій № 8 та № 46 проводить безпосередньо викладач у лабораторії. Запис про проведення інструктажу робиться в окремому журналі реєстрації інструктажів з безпеки життєдіяльності, який зберігається у лабораторії кафедри.

Студенти допускаються до виконання робіт тільки під керівництвом викладача. Студентам забороняється самостійно займатися ремонтом лабораторних приладів, а також проводити роботи, що непов'язані з виконанням одержаного завдання.

При виконанні лабораторної роботи використовуються електроприводи та електрообладнання. Тому необхідно пам'ятати, що напруга вище 36 В змінного струму є небезпечним для життя.

Студенти зобов'язані знати заходи надання першої допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом і вміти надавати її при необхідності.

Після закінчення роботи необхідно виключити електроприводи та привести до ладу робоче місце.

4. ПОРЯДОК ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАМІРІВ

4.1. Розраховують швидкість повітря W_G в колоні.

4.2. Розраховують відносну швидкість $W_G / W_{G_{\text{захл}}}$ в колоні.

4.3. Розраховувати експериментальну кількість утримуваної рідини $\Phi_{\text{дин}}^E$ для кожної $W_G / W_{G_{\text{захл}}}$ за формулою:

$$\Phi_{\text{дин}}^E = \frac{Q_1 - Q_2}{S \cdot (H_1 - H_2) \cdot \varepsilon} \quad \Phi_{\text{дин}}^E = \frac{Q_1 - Q_2}{S \cdot (H_1 - H_2) \cdot \varepsilon},$$

де

S – площа поперечного перерізу колони, м^2 ;

$\varepsilon = 0,645$; $H_1 = 0,8$ м; $H_2 = 0,6$ м.

4.3. Будують залежність $\Phi_{\text{дин}}^E - W_G / W_{G_{\text{захл}}}$ з якої визначають $\Phi_{\text{дин}}^E$ для плівкового режиму.

4.4. Визначають теоретичну кількість утриманої рідини $\Phi_{\text{дин}}^T$ при плівковому режимі за формулами (2) – (6). При цьому можна прийняти коефіцієнт кінематичної в'язкості води, що подається з водопровідної з мережі при $t = 12^\circ \text{C}$, $\nu_L = 1,246 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

4.5. Розраховують відносну похибку

$$\delta = \left| \frac{\Phi_{\text{дин}}^E - \Phi_{\text{дин}}^T}{\Phi_{\text{дин}}^T} \right| 100\% \quad \delta = \left| \frac{\Phi_{\text{дин}}^E - \Phi_{\text{дин}}^T}{\Phi_{\text{дин}}^T} \right| 100\%$$

5. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ВИКОНАНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ, КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ

Звіт з проведення лабораторної роботи робиться на подвійному розвороті сторінки зошиту, де вказують прізвище та ініціали студента, академічну групу, тему лабораторної роботи, мету, задачі, постановку завдання, коротко основні відомості з теорії, схему експериментальної установки, результати замірів, результати обробки замірів та висновки.

На захисті лабораторної роботи студент має можливість отримати від 0 до 15 балів. Критерії оцінювання виконання лабораторної роботи наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Критерії оцінювання виконання лабораторної роботи

№ з/п	Критерії оцінювання	Оцінка в балах
1.	Оформлення звіту з лабораторної роботи	0-3
2.	Відповіді на три запитання на захисті лабораторної роботи. Кожне запитання оцінюється в чотири балів.	0-12
	Разом	0-15

6. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Для проведення яких процесів застосовують насадкові апарати?
2. З яких основних конструктивних елементів складається насадковий апарат?
3. Які два типу насадки використовують у промисловості?
4. Назвати найважливіші параметрами насадки.
5. На які гідродинамічні режими підрозділяється робота насадкового апарата?
6. З яких величин складається кількість утриманої рідини?
7. Чим відрізняється статична кількість утриманої рідини від динамічної?

8. За яким рівнянням визначають кількість утриманої рідини при плівковому режимі роботи насадкового апарата?
9. Що таке щільність зрошування?
10. Намалювати схему лабораторної експериментальної установки.
11. Викласти методику виконання лабораторної роботи та обробку експериментальних даних.

7. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 752с.
2. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – М.: Химия, 1972. – 496 с.
3. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Николаев, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
4. Рамм В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Процеси та апарати хімічної технології: Підручник у 2 ч. / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А.П. ГОТЛІНСЬКА, В.О. ЛЕШЕНКО та інші. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 616 с.
6. Москалик В.М., Малявко С.М. Проблема та шляхи вирішення відпарювання процесного конденсату у виробництві аміаку // XI всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Майбутній науковець – 2020», 4 грудня 2020 р., м. Северодонецьк. – Северодонецьк: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2020. – С. 225-226.

8. ДОДАТОК

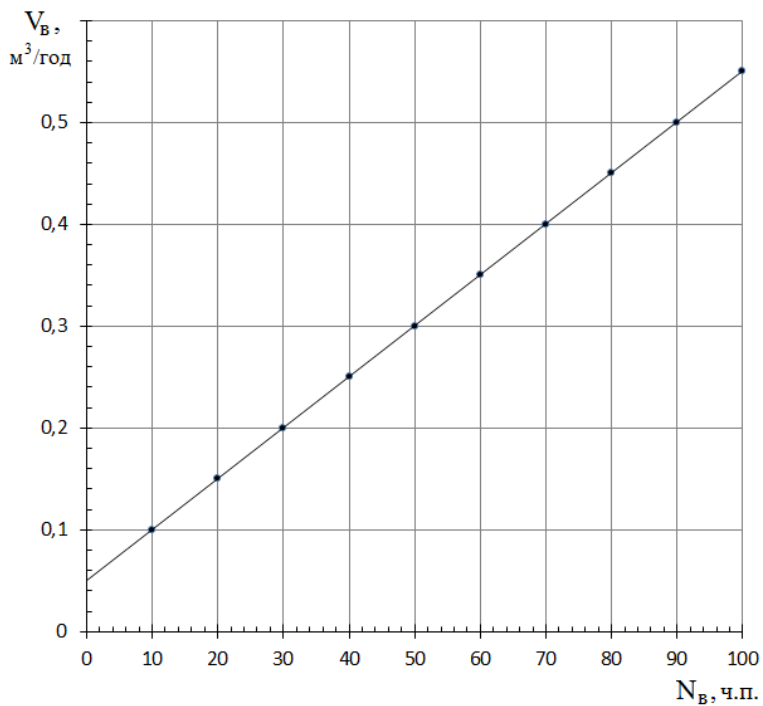


Рис.1. Градувальна діаграма ротаметра РС-5 по воді

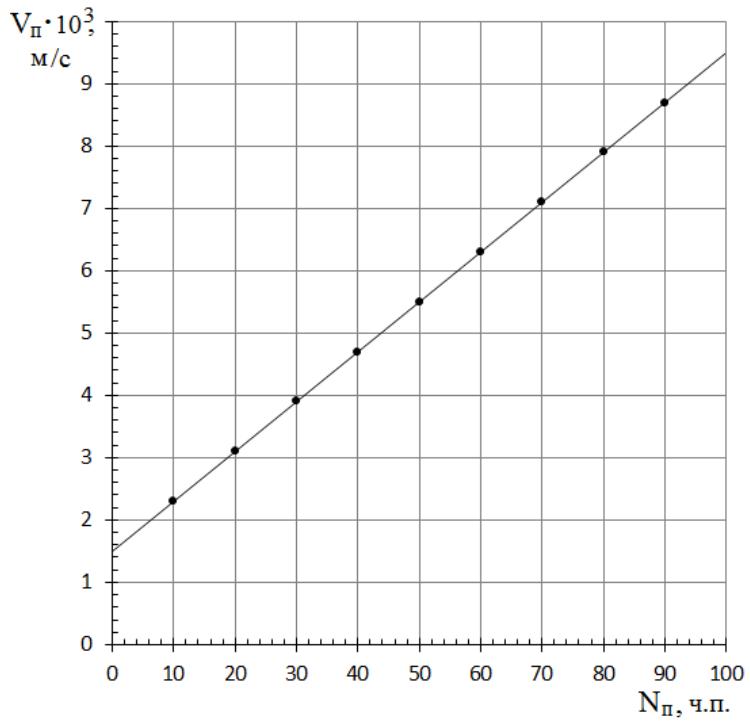


Рис. 2. Градувальна діаграма ротаметра РС-7 по повітря

телефон: 8(06452)4-03-42
E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com