



**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 ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ЦИКЛОНУ”

для студентів напрямку 6.050503 Машинобудування

КИЇВ 2017

УДК 532.52:66.045

Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з кредитного модуля «Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії тепломасообміну» “Визначення гідравлічного опору циклону” для студентів напряму 6.050503 «Машинобудування» [Електронний ресурс] / А. Р. Степанюк; Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 15 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 2 від 27 березня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

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

Рецензент:

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

Навчальне видання

Степанюк Андрій Романович, к.т.н., доц. кафедри МАХНВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

«Процеси та обладнання хімічних технологій – 1.
Базові принципи теорії тепломасообміну»

“ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ЦИКЛОНУ”

для студентів спеціальності 6.050503 Машинобудування

спеціалізація 05050315 Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ВСТУП

У всіх технологічних процесах для забезпечення протікання процесів необхідно забезпечувати певні витрати компонентів через апарати (циклони, центрифуги, ректифікаційні колони, теплообмінники, тощо) [1]. Величина гідродинамічного опору апарата впливає на енергетичні витрати для проведення процесів.

Оскільки основні розміри апарата і оптимальний режим його експлуатації визначаються з технологічних залежностей, необхідно мати залежності для визначення гідравлічного опору апарату.

МЕТА РОБОТИ: практичне ознайомлення з роботою циклону, визначення за експериментальними даними значення коефіцієнта гідравлічного опору циклону та порівняння його з літературними даними.

ЗАВДАННЯ:

1. Дослідити роботу циклону.
2. Визначити гідравлічний опір циклону.

Лабораторна робота проводиться на стенді, розробленому авторами методичних вказівок [2].

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Очищення промислових пилогазових потоків від зважених в них твердих частинок пилу може здійснюватися шляхом осадження твердих частинок під дією різних сил: тяжіння, відцентрових, електростатичних, акустичних, тощо. Одним з найбільш простих і широко розповсюджених способів очищення неоднорідних пилогазових систем є відцентрове розділення неоднорідних систем. Як апарат-пиловловлювач, в яких можна здійснити таке розділення, використовуються циклони різних конструкцій [1...7].

Існує велика кількість різноманітних конструкцій циклонів (рисунок 1). Класифікація циклонів за конструктивними ознакам наведена на рисунку 1.6.



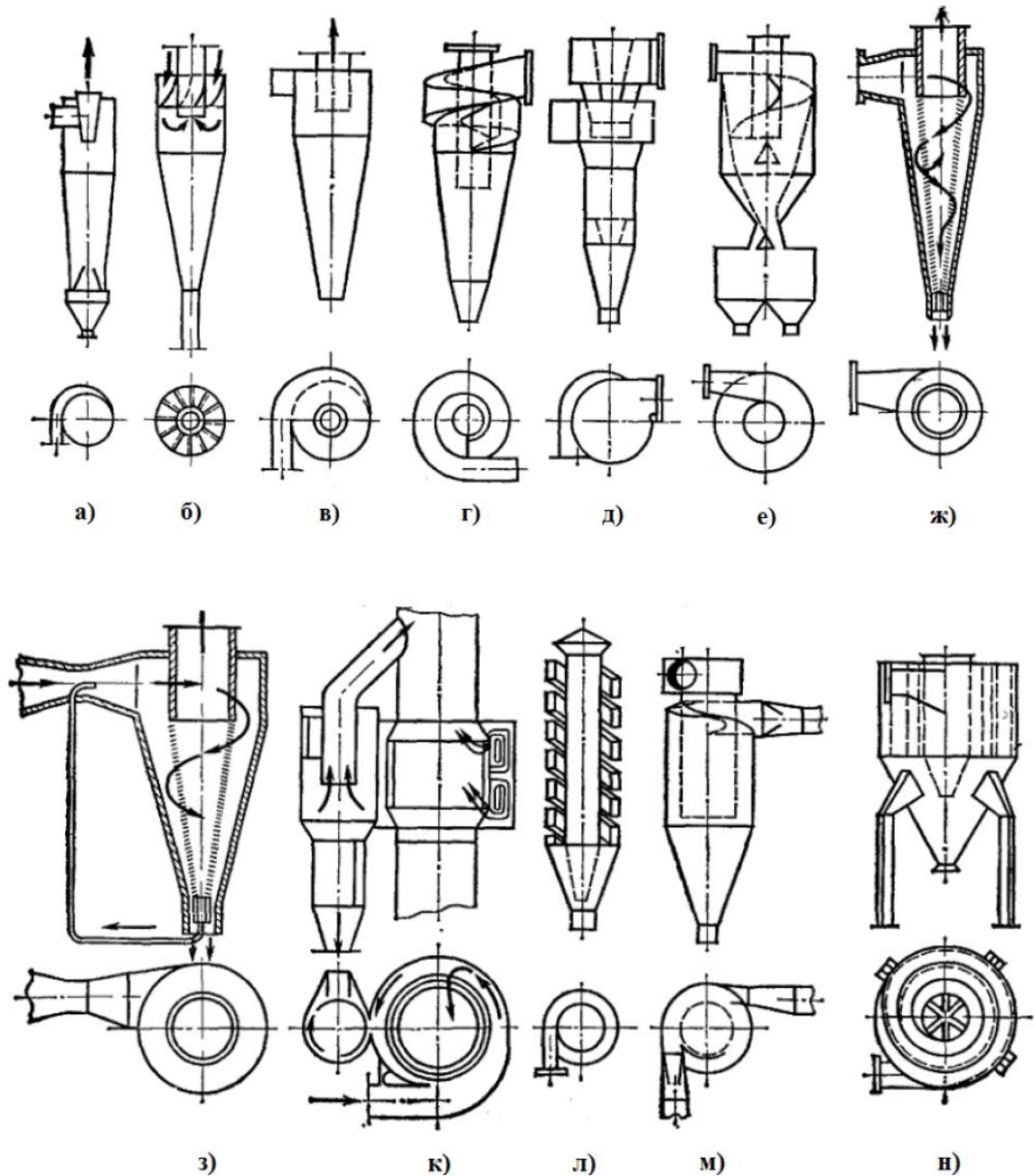
Рисунок 1 – Класифікація циклонів

В якості апаратів – пилоуловлювачів, в яких можна здійснити цей спосіб, використовують так звані циклони різних конструкцій (рисунок 2).

Найбільшо поширення набули циклони конструкції НДІОГАЗ типу НДІОгазу ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24. Цифрове позначення циклону відповідає куту α нахилу кришки апарату і патрубку, що підводить запилений потік. Вони використовуються для сухого очищення газових потоків від твердих частинок, що генеруються у багатьох технологічних процесах (наприклад, в процесі сушки сипучих твердих матеріалів, випалу, агломерації, спалювання палива, тощо), а також для очищення аспіраційно відведених з місць підвищеної запиленості повітря в різних галузях промисловості.

До недоліків циклонів можна віднести те, що їх не можна використовувати для вловлювання пилу, який легко агломується або коагулюється.

Залежно від вимог, що пред'являються до очищення газів, циклони можуть мати самостійне застосування або використовуватися в якості апарату першої ступені очищення в поєднанні з іншими газоочисними апаратами (наприклад, електрофільтрами, рукавними фільтрами або апаратами мокрого очищення).



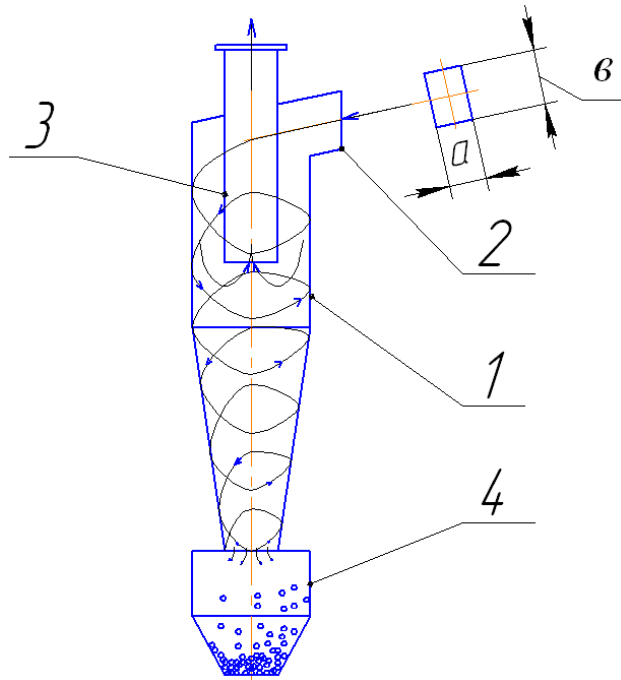
а, б – циклоны ЧССР; в – циклон Мельстроля; г – циклон типу СВКЦН;
 д – циклон Давідсона; е – циклон з подвійною стінкою; ж – циклон з
 перфорованою вихлопною трубою; з – циклон з рециркуляцією; к – подвійний
 циклон; л – циклон Сиркіна; м – циклон ЛІОТ; н – циклон Полізіуса.

Рисунок 2 – Конструкції циклонів

Процес розділення неоднорідних систем газ-тверді частинки під дією відцентрових сил обумовлюється різницею густини газового потоку і твердих частинок, що знаходяться в обертovому русі. Відцентрові сили, що виникають

при цьому, забезпечують більшу ефективність процесу в порівнянні з процесом розділення, що протікає лише сил тяжіння (гравітації).

На рисунку 3 зображено принципову схему роботи циклону типу ЦН.



1 - корпус циклону; 2 - вхідний патрубок; 3 - вихлопна труба;

4 - бункер (збірник уловлених твердих частинок)

Рисунок 3 – Принципова схема роботи циклону ЦН

Запилений повітря входить в циклон 1 через тангенціально вбудований патрубок 2 під певним кутом до корпусу циклону і, набуваючи обертальний рух, опускається спіралеподібно вниз, вздовж внутрішньої поверхні стінок спочатку циліндричної а, далі, конічної частин корпусу апарата. Обертаючись спочатку в кільцевому просторі, який утворено циліндричною частиною корпусу циклону і вихлопною трубою 3, а потім в коніній зоні, розташованій нижче торця вихлопної труби, газовий потік утворює вихор, що обертається. При цьому розвиваються центробіжні сили, під дією яких тверді частинки, що знаходяться в газовом потоці і мають значно більшу густину, ніж газ, відкидаються до стінок корпусу циклону. Рух твердих частинок по внутрішній поверхні циклону до бункера 4 обумовлено не тільки впливом сили тяжіння, а й впливом сили тиску газового потоку, який направлено донизу. Досягнувши

нижнього торця конічної частини корпусу циклону, тверді частинки надходять в бункер. У конічної частини корпусу циклону газовий потік починає змінювати напрямок і переміщуватися вгору до вихлопної труби, утворюють внутрішній вихор. Звільнений від твердих частинок газовий потік потрапляє до вихлопної труби 3 і, піднімаючись по ній гвинтоподібно вгору, видаляється з циклону.

Оптимальне значення швидкості газу на вході в апарат, забезпечують високий ступінь очищення пилогазового потоку, визначається в кожному конкретному випадку індивідуально, з урахуванням властивостей неоднорідних систем, що розділюються (наприклад, фракційний склад твердої фази, здатність до агломерації та коагуляції та інших факторів) і його аеродинамічного опору.

Загальна аеродинамічний (гідравлічний) опір циклону складається з втрат на в'язкісне тертя і на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_y = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 \quad (1)$$

де ΔP_1 – гідравлічний опір входу в циклон, Па; ΔP_2 – гідравлічний опір тертя шарів газу по стінці апарату, Па; ΔP_3 – гідравлічний опір, що створюється під час переходу середовища з зовнішньої зони до внутрішньої зони (у вихлопну трубу) з поворотом на 180° , Па; ΔP_4 – гідравлічний опір тертя шарів газу між собою у внутрішній спіралі та по стінці вихлопної труби, Па.

Виражаючи загальний гідравлічний опір через динамічний тиск у вхідному патрубку і замінюючи суми місцевих коефіцієнтів гідравлічних опорів загальним коефіцієнтом гідравлічного опору циклону ξ_y , отримаємо:

$$\Delta P = \xi_y \frac{\rho \cdot w_\phi^2}{2} \quad (2)$$

$$w_\phi = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (3)$$

де ρ – густина газового середовища в робочих умовах, кг/м^3 ; w_ϕ – фіктивна швидкість газу, віднесена до повного поперечного перерізу циліндричної частини апарату, м/с; V – витрати газового потоку через циклон, $\text{м}^3/\text{с}$; D – діаметр циклону, м.

Значення коефіцієнтів гідравлічного опору входу циклону ξ_u^{6x} та коефіцієнтів гідравлічного опору всього циклону ξ_u залежить від конструктивних особливостей циклонів. Наприклад, для деяких стандартних циклонів, розроблених головним підприємством “НИИОГАЗа”, вони мають наступні значення:

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів гідравлічного опору входу циклону

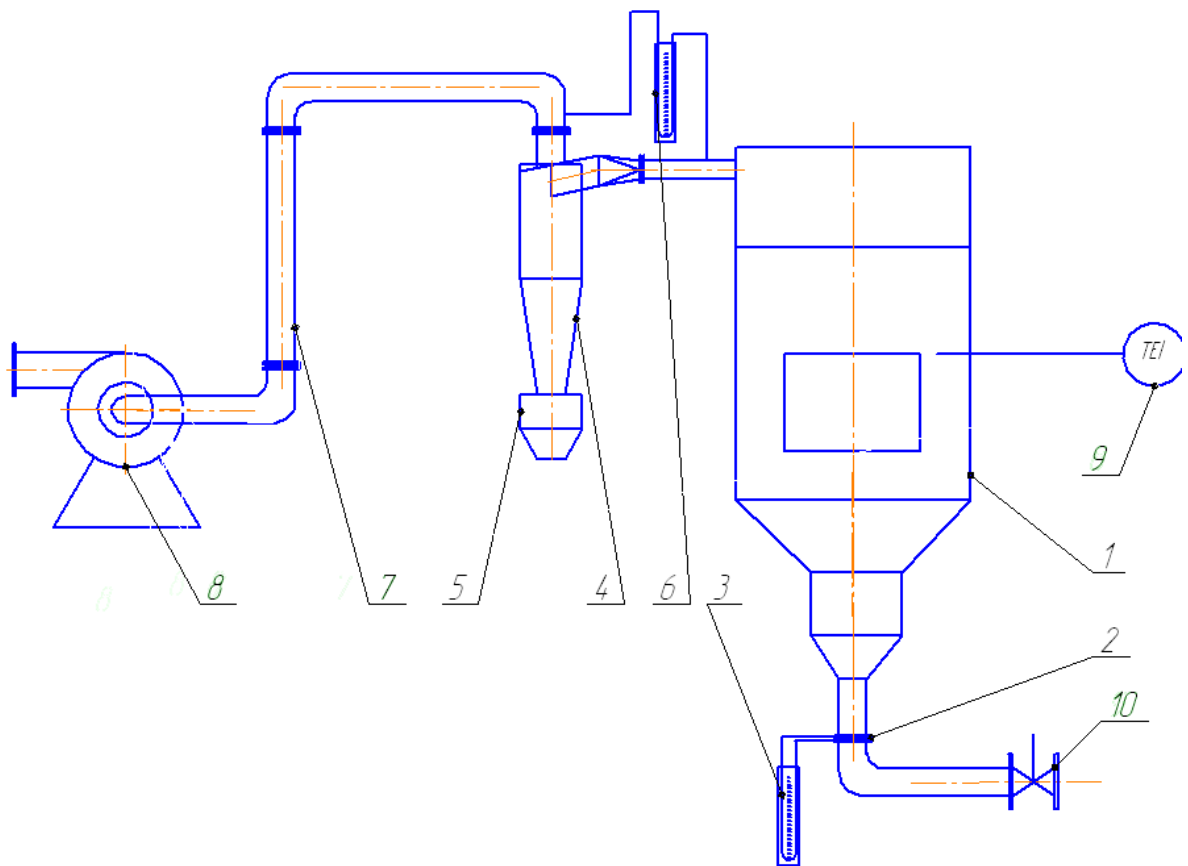
Тип циклонів	ξ_u^{6x}	ξ_u
ЦН-15	3,0	105
ЦН-11	2,7	180
ЦН-24	4,8	60

2 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка базується на лабораторному стенді «Дослідження процесу грануляції багатокомпонентних сумішей» [8].

Установка для дослідження гідравлічного опору циклону складається з гранулятора 1, в якому зневоднюються багатокомпонентні розчини, що містять аморфні складові. На лінії підчі повітря до гранулятора встановлено витратомірну шайбу 2 та диференційний манометр 3 – для визначення витрат повітря. З гранулятора 1 запилене повітря подається до циклону 4, типу ЦН-15, виготовлений зі сталі (рисунок 5), знизу якого приєднано бункер 5. Гідравлічний опір циклону вимірюється диференційним манометром 6, трубки заміру якого встановлено на вході і виході з циклону. Розташовані в трубопроводах Г-подібні трубок, що приєднані до диференційного манометра виконано поворотними, щоб уникнути попадання в них пилу під час вимірювань. Для подачі в циклон повітря використовується водокільцьовий насос 7. Температура вимірюється за допомогою термопари 9, та ПК з

програмним забезпеченням на базі “LabView”. Регулювання витрат газу через циклон проводиться за допомогою шиберного вентиля 10.



1 – гранулятор; 2 – діафрагма; 3, 6 – диференційний манометр; 4 – циклон;
5 – бункер циклона; 7 – повітропровід; 8 – водокільцевий насос; 9 – термопара;
10 – вентиль

Рисунок 5 – Схема установки

3 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Перед вмиканням необхідно:

1. Провести огляд стану з метою виявлення видимих пошкоджень обладнання.
2. Перевірити наявність заземлення.
3. Перевірити положення всіх вентилів та перемикачів і встановити їх у положення, що відповідає початку роботи на установці.

4. Роботу проводити тільки за інструкцією.
5. При виконанні роботи бути уважними: забороняється доторкатися до елементів конструкції, що обертаються та класти на них будь-які предмети.
6. В разі будь-яких неполадок в роботі, студентам забороняється намагатися усувати їх самостійно.

4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Експерименти виконують після видалення очищення апаратів та трубопроводів від твердих частинок на незапиленому повітрі.

1. Проводяться заміри розмірів вхідного патрубку та діаметру циклону та куту нахилу вхідного патрубка.

- Діаметр циклона, $D =$ _____ м.
- Висота вхідного патрубку циклона, $a =$ _____ м.
- Ширина вхідного патрубку циклона, $b =$ _____ м.
- Кут нахилу вхідного патрубка $\alpha =$ _____ °.

2. Навчально-допоміжним персоналом вмикається водокільцевий насос.

3. Проводиться вимірювання температури у апараті термопарою 9.

4. Вентильом 8 встановлюються мінімальні витрати повітря. Показники диференційних манометрів 3 та 6 знімаються при встановлених витратах повітря одночасно по команді «відлік».

5. Витрати повітря збільшуються від мінімуму до максимуму, та виконується 10...12 замірів показників диференційних манометрів.

6. Результати заносяться у таблицю 1

Таблиця 1 – Дослідження коефіцієнтів гідравлічного опору циклону

№ з/п	Показники диференційного манометра, встановленого на витратомірній шайбі, $P_{випр}$ ММ ВОД. СТ.	Продуктивність V , м ³ /с	Показники диференційного манометра, встановленого на циклоні, $P_{випр}$ ММ ВОД. СТ.	Коефіцієнт гідравлічного опору циклону ξ_{ζ}	Коефіцієнт гідравлічного опору для входу циклону $\xi_{\zeta}^{вх}$
1					
2					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

5 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Після проведення експериментів виконуються наступні розрахунки та заносяться до таблиці 1:

1. Визначаються витрати повітря (V , м³/с) за градувальним графіком диференційного манометра 3.

2. Розраховується фіктивна швидкість газового потоку у вхідному патрубку циклону за виразом:

$$w_{вх} = \frac{V}{a \cdot b}, \quad (9)$$

де – a і b висота та ширина вхідного патрутка циклона, м.

3. Розраховується фіктивна швидкість газу, віднесена до повного поперечного перерізу циліндричної частини апарату:

$$w_{ex} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}, \quad (9)$$

де – D діаметр циклона, м.

4. Визначаються величини $\frac{\rho \cdot w_{ex}^2}{2}$ та $\frac{\rho \cdot w_{\phi}^2}{2}$, де $\rho = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + t}$, кг/м³; ($M = 29$ кг/моль – молекулярна маса повітря, t – температура повітря у приміщенні).

5. Визначаються відповідні коефіцієнти гідравлічних опорів ξ_{cy}^{ex} та ξ_{cy} . Для знаходження значення коефіцієнту гідравлічного опору входу циклону ξ_{cy}^{ex} у програмі Microsoft Excel будується таблиця залежності $\Delta P_{cy}^{ex} = f_{cy}^{ex} \left(\frac{\rho \cdot (w_{cy}^{ex})^2}{2} \right)$, для чого у закладці “Вставка” необхідно вибрати тип діаграми “Точечная” (Рисунок 3). На полі діаграми необхідно правою клавішею

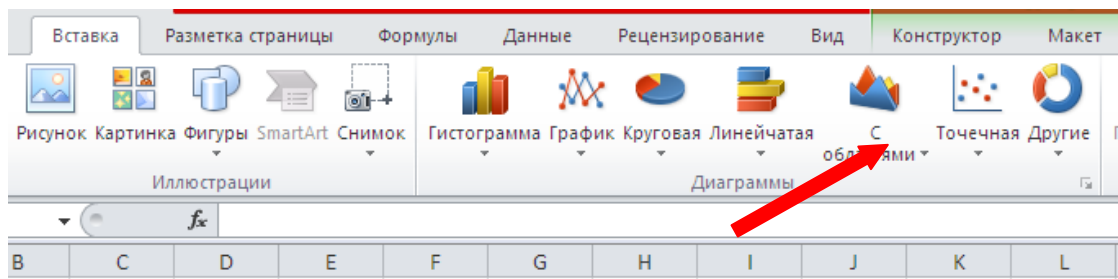


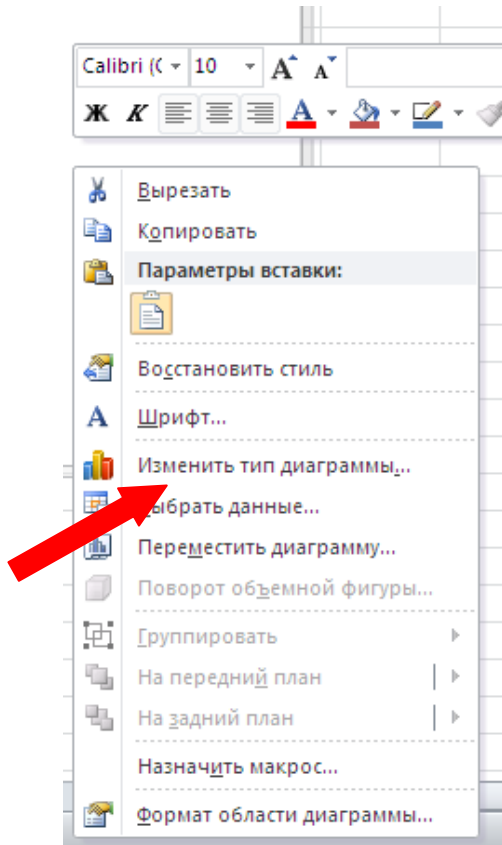
Рисунок 3 – Вибір типу діаграми

«мишки» вибрати з випадаючого меню пункт “Выбрать данные” (рисунок 4, а), у полі “Выбор источника данных” натиснути па закладку “Добавить” (рисунок 4, б) та у поля “Значения X” і “Значения Y” вписати область звідки необхідно брати данні або вибрати їх «мишкою», (рисунок 4, в). Як вісь абсцис вибирається значення $\frac{\rho \cdot w_{\phi}^2}{2}$, як ординат відповідно – ΔP .

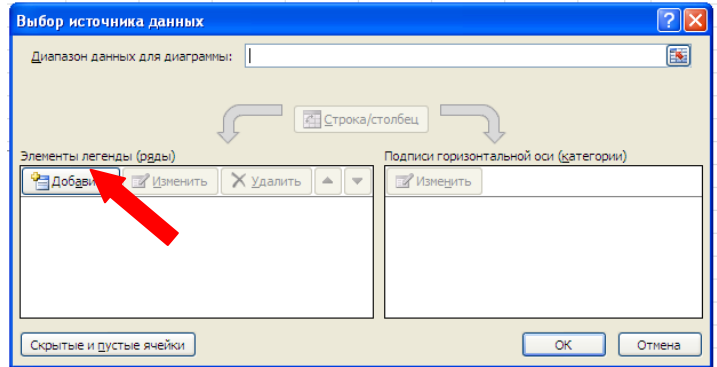
Після побудови графіка необхідно виконати апроксимацію отриманої функції. Виділити правою клавішею “мишки” криву, що описує залежність

$$\Delta P_u^{ex} = f_u^{ex} \left(\frac{\rho \cdot (w_u^{ex})^2}{2} \right)$$

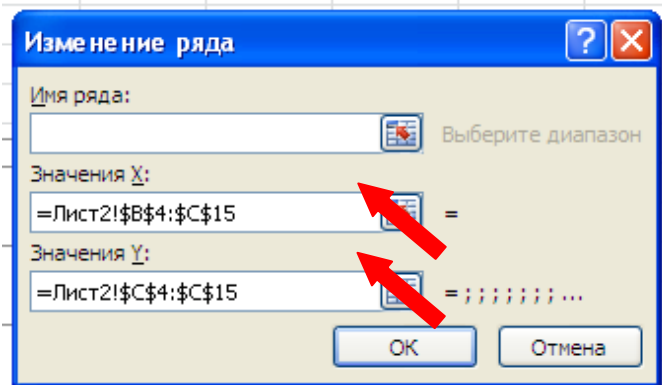
та вибрати закладку “Добавить линию тренда”, у цій закладці



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Вибір області даних для побудови графіка $\Delta P_u^{ex} = f_u^{ex} \left(\frac{\rho \cdot (w_u^{ex})^2}{2} \right)$

зробити три позначки на полі “Параметры линии тренда” – “Линейная”, “показывать уравнение на диаграмме” та “поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)” (Рисунок 5). З рівняння апроксимації, отримуємо величину коефіцієнт гідравлічного опору всього циклону ξ_u . Аналогічно знаходиться коефіцієнт гідравлічного опору всього циклону ξ_u .

Всі величини, виміряні в процесі експериментів і отримані після розрахунків занести до таблиці 1. Виконати порівняння отриманих результатів з

табличними.

Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки за результатами досліджень.

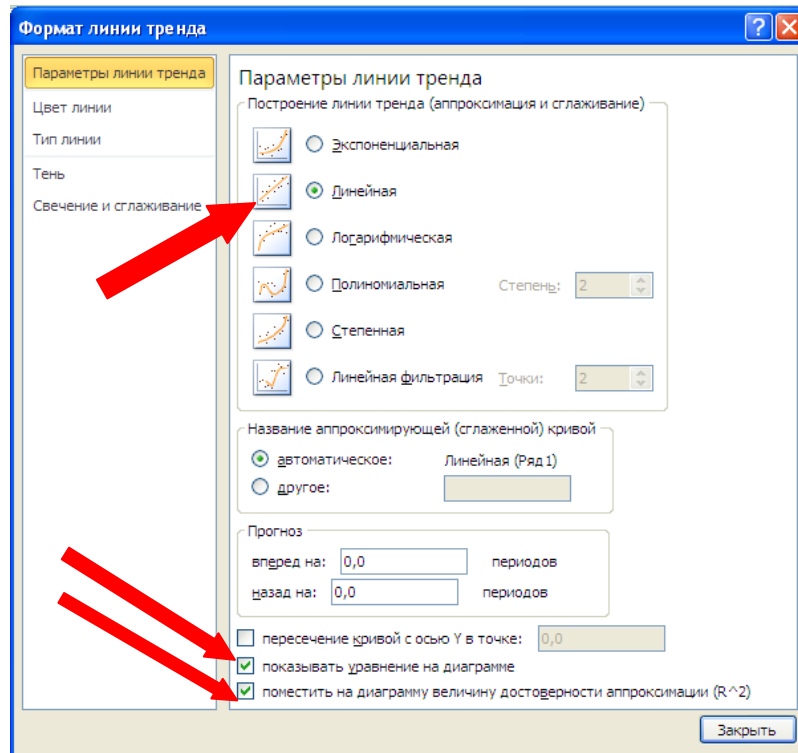


Рисунок 5 – Побудова апроксимуючої лінії

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть конструкцію циклону?
2. Як впливають діаметр циклону на швидкість газового потоку на його гідравлічний опір?
3. Що розуміється під гідравлічним опором циклону, як він озраховується?
4. Які чинники впливають на гідравлічним опором циклону?
5. Як розрахувати коефіцієнт гідравлічного опору циклону та коефіцієнт гідравлічного опору для входу циклону?
6. Чим відрізняються коефіцієнт гідравлічного опору циклону та коефіцієнт гідравлічного опору для входу циклону?
7. Математично обґрунтуйте використання диференційного манометра.

8. З яких елементів складається стендова установка (основні вузли і контрольно-вимірювальні прилади)?

Теплофізичні властивості сухого повітря [7]:

– густина, кг/м³: $\rho_n = 1,29281 - 4,782143 \cdot 10^{-3} \cdot t + 1,797631 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$

– коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с:

$$\nu_n = (13,45 + 0,07810715 \cdot t + 1,321419 \cdot 10^{-4} \cdot t^2) \cdot 10^{-6}$$

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973.-752с.

2. Розин Р., Раммлер Е., “Воздушные сепараторы и их работа”. – “Энергетическое обозрение (теплотехнический выпуск)”, 1963, №8. –

3. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Башта Т.М. и др. – М.: Машиновстроение, 1982. – 423 с.

4. Циклоны НИИОгаз. Руководство по проектированию, изготовлению, монтажу, эксплуатации”, 1954.

5. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под. ред. А.А. Русанова. – М., “Энергоатомиздат”, 1983.

6. Страус В., “Промышленная очистка газов”. – М., “Химия”, 1980.

7. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

8. Процес одержання мінерально – гумінових твердих композитів [Електронний ресурс]: <http://ci.kpi.ua/uk/> монографія для студентів, які навчаються за напрямком “Машинобудування” спеціальність “Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів” / НТУУ “КПІ”; уклад. Я.М.Корнієнко, А.Р.Степанюк. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2013. – 137с.