

УДК. 628.511

# ОЦІНКА ЕНЕРГОЗАТРАТ ПРИ РОБОТІ ПРЯМОТЕЧІЙНОГО ЦИКЛОНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ FLOW SIMULATION

**В. В. Майструк**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра електронного машинобудування  
Інститут інженерної механіки та транспорту  
Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Професорська, 1А, м. Львів, Україна, 79013  
Контактний тел.: 067-936-95-55  
E-mail: vmaistruk@gmail.com

**Р. І. Гаврилів**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: 067-905-62-91  
E-mail: havrilivroman@gmail.com

**А. С. Попіль\***

Контактний тел.: 097-981-14-52  
E-mail: Andriy1312@meta.ua

**А. М. Басістий\***

Контактний тел.: 096-290-12-38  
E-mail: A2517@meta.ua

\*Кафедра хімічної інженерії  
Інститут хімії та хімічних технологій  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Площа Св.Юра, 9, м. Львів, Україна, 79013

*В даній статті розглядається можливість використання програмного пакету Flow Simulation для попередньої оцінки гідравлічного опору прямотечієного циклону. Основна мета досліджень полягає у теоретичному аналізі впливу конструктивних параметрів апарату на енергетичні затрати при роботі циклону. Представлені результати можуть бути використані в інженерній практиці при проектуванні пилоочисного обладнання з прямотечієною зоною розділення*

*Ключові слова: гідравлічний опір циклону, прямотечієний циклон, програмний пакет Flow Simulation, теоретичний аналіз роботи циклону*

*В данной статье рассматривается возможность использования программного пакета Flow Simulation для предварительной оценки гидравлического сопротивления прямотечяного циклона. Основная цель исследований заключается в теоретическом анализе влияния конструктивных параметров аппарата на энергетические затраты при работе циклона. Представленные результаты могут быть использованы в инженерной практике при проектировании пылеочистного оборудования с прямотечяной зоной разделения*

*Ключевые слова: гидравлическое сопротивление циклона, прямотечяный циклон, программный пакет Flow Simulation, теоретический анализ работы циклона*

## 1. Вступ

На сучасному етапі розвитку науки і техніки України проектування нового та вдосконалення роботи існуючого обладнання для відцентрової очистки газів є однією з актуальних задач хімічної промисловості. Вирішення даної задачі дозволить покращити науково-технічний підхід для вибору пилоочисної апаратури і використання її в конкретних газоочисних установках, а також розробляти сучасні конструкції апаратів сухої очистки газів. Особливо значна увага в останні роки приділяється зменшенню енерговитрат на процеси очищення промислових газових викидів з твердою фазою у відцентрових апаратах з прямотечієною зоною розділення. Відсутність надійних методик розрахунку і прогнозування ефективності та затрат енергії при роботі апаратів даного типу створює значні проблеми щодо вибору оптимальної конструкції циклону.

## 2. Постановка проблеми і завдання досліджень

До недавнього часу розробку нових конструкцій циклонів проводили на основі практичного досвіду попередніх дослідників, а також користуючись спрощеними математичними моделями, які розглядали процес відцентрової сепарації з суттєвими припущеннями. Звичайно, такий підхід вимагав значних фізичних та економічних затрат та дуже часто не давав бажаного кінцевого результату.

В сучасних умовах розвитку комп'ютерної техніки, вирішення складних актуальних задач неможливо уявити собі без використання програмних комплексів, які дають можливість моделювати той або інший процес в апараті, вивчення якого є надзвичайно трудомісткою задачею на практиці.

В попередніх статтях вже зазначалося про можливість теоретичного аналізу руху закрученого газо-

вого потоку в прямотечійному циклоні з коаксіальною вставкою за допомогою ПК Flow Simulation, а також були представлені результати цих досліджень. [4]

Проте, теоретичні дослідження роботи циклонних пиловловлювачів за допомогою ПК Flow Simulation зводяться не лише до аналізу руху закрученого газового потоку з твердою фазою в робочій зоні апарату та розрахунку на основі одержаних даних оптимальної геометрії циклону, але й визначення основних технологічних характеристик роботи дослідного зразка - ефективності вловлювання частинок різних розмірів та гідравлічного опору циклону.

### 3. Об'єкт та методи досліджень

З метою перевірки можливості використання програмного пакету Flow Simulation для оцінки енергетичних затрат при роботі пиловловлювача, авторами статті як об'єкт досліджень був вибраний прямотечійний циклон з коаксіальною вставкою, конструкція та результати роботи якого були представлені в попередніх статтях. [2]

Теоретичні експерименти, виконані за допомогою ПК Flow Simulation, полягали у вивченні впливу режимних і конструктивних параметрів на гідравлічний опір даного прямотечійного циклону та вибору на основі одержаних результатів оптимальної геометрії апарату для промислового типу.

Конструктивні розміри циклону, відображені в комп'ютерній моделі, представлені в табл.1. Твердотільна модель циклону була побудована за допомогою програмного комплексу SOLID WORKS.

Таблиця 1

Конструктивні розміри досліджуваного циклону

Параметр	Значення, мм
Діаметр циклону	310
Висота робочої зони	980
Висота центральної труби, h	530 - 1600
Розмір вхідного патрубку	175x60
Діаметр коаксіальної вставки	286
Діаметр бункера	445
Висота бункера	995

Гідравлічний опір теоретичної моделі визначався в залежності від фіктивної швидкості газового потоку в робочій зоні апарату, яка змінювалась від 0 до 5 м/с, та при різній довжині центральної труби h (відстань від верхньої кришки апарату до вершини оберненого конуса центральної труби) [2].

В теоретичних розрахунках була використана модель, яка призначена для моделювання руху газу при значній турбулізації потоку і включає в себе: рівняння Нав'є-Стокса, закони збереження маси та енергії газового середовища.

Під час проведення експерименту в Flow Simulation були прийняті наступні граничні умови: об'ємні витрати на виході з апарату змінювали в межах від 0,075 м<sup>3</sup>/с до 0,188 м<sup>3</sup>/с, що відповідає зміні фіктивної швидкості потоку повітря в циклоні від 1,65 м/с до 4,13 м/с; густина повітря  $\rho_n=1,3$  кг/м<sup>3</sup>; температура повітряного потоку  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ . Так як роботу циклона передбачали для випадку коли він працює на лінії всмоктування, то повний тиск на вході в апарат приймали рівним атмосферному – 101325 Па.

Гідравлічний опір циклона визначали як різницю повних тисків по осі трубопроводу перед вхідним патрубком та в трубопроводі після вихлопної труби. Слід відмітити, що визначений таким методом теоретичний гідравлічний опір відповідає опору всієї установки, яка включає в себе безпосередньо сам апарат, пиловловлювальний бункер та систему трубопроводів подачі і відведення газу.

### 4. Результати досліджень та їх обговорення

Теоретичні дані визначеного гідравлічного опору установки за допомогою програмного пакету Flow Simulation представлені на рис.1.

Згідно представлених результатів можна припустити, що робота циклону з максимально опущеною вихлопною трубою є енергетично невигідна і як показують подальші дослідження відзначається різким зменшенням ефективності очищення газу. Цей факт добре узгоджується з достатньо складною аеродинамічною картиною представленою нижче.

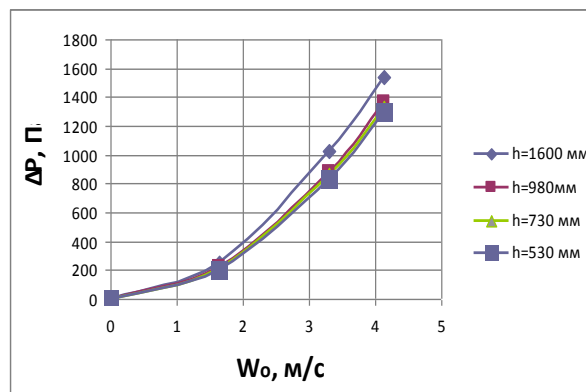


Рис. 1. Результати теоретичних досліджень гідравлічного опору циклонної установки

На рис.2 зображено характер зміни абсолютної швидкості в циклоні за різної довжини центральної труби при фіктивній швидкості руху газового потоку в робочій зоні 3,3 м/с (оптимальна фіктивна швидкість, при якій досягається максимальна ефективність вловлювання пилу, знаходиться в діапазоні 3-3,5 м/с). З представлених даних видно, що незалежно від довжини центральної труби спостерігається складна картина руху газового потоку в нижній частині центральної труби біля її конуса. Особливо це характерно, коли конус входить в коаксіальну вставку на вході в яку спостерігається зона вторинних потоків газу.

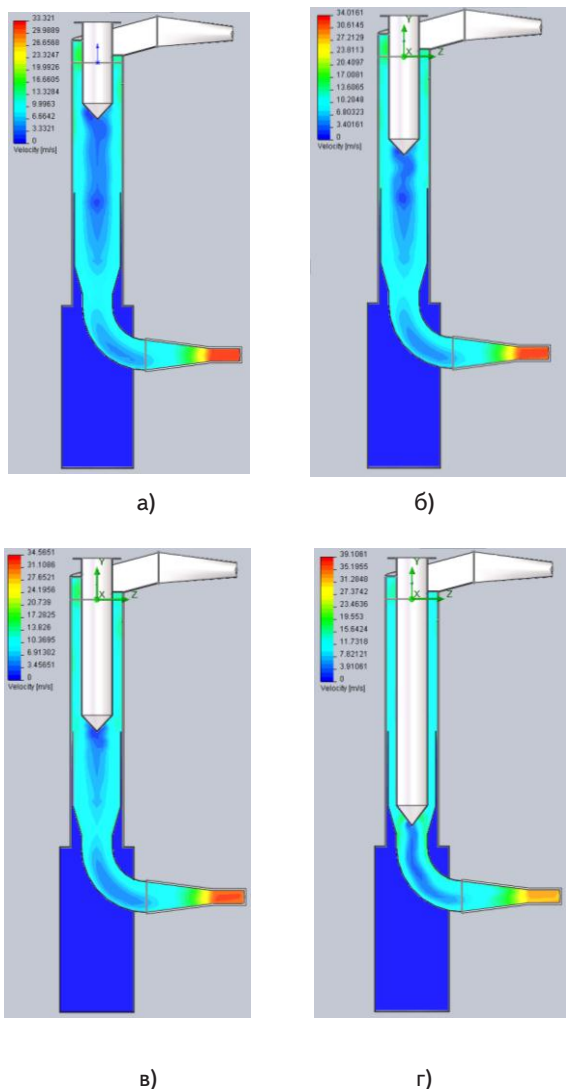


Рис.2. Характер зміни абсолютної швидкості в залежності від довжини центральної труби при фіктивній швидкості газу в робочій зоні циклону 3,3м/с: а) довжина центральної труби h=530 мм; б) довжина центральної труби h=730 мм; в) довжина центральної труби h=980 мм (центральна труба на рівні вставки ); довжина центральної труби h=1600 мм

Використовуючи загальновідому залежність для визначення гідравлічного опору циклону, та підставивши числові значення для фіктивної швидкості  $w_0$ , густини і в'язкості газу (повітря)  $\rho = 1.293 \text{ кг/м}^3$ ,

$\mu = 17.3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$  і діаметра апарата  $d = 310 \text{ мм}$ , авторами статті були розраховані коефіцієнти гідравлічного опору  $\zeta_0$  установки на основі теоретично визначених значень  $\Delta P$ .

Результати розрахунку середніх значень  $\zeta_0^{\text{теор}}$  в діапазоні фіктивної швидкості  $w_0 = 2 - 4 \text{ м/с}$  за різної довжини центральної труби представлені в табл.2.

Порівняння гідравлічного опору деяких поширених в промисловості конструкцій інших циклонів та досліджуваного апарату дають можливість зробити припущення, що коефіцієнт гідравлічного опору циклона з коаксіальною вставкою є достатньо низький. Наприклад, у порівнянні з циклоном ЦН-15 ( $\zeta=160$ ), який дуже широко використовується в промисловості,  $\zeta$  менше на 20%, що дозволяє значно скоротити енергетичні витрати на процес очищення запилених газів в промислових масштабах.

Таблиця 2

Теоретичні коефіцієнти гідравлічного опору циклону

Довжина центральної труби, мм	$\zeta_0^{\text{теор}}$
1	2
530	122
730	127
980	128
1600	138

### 5. Висновки

Аналіз та узагальнення результатів теоретичних експериментів, які одержані для різних конструктивних та режимних параметрів роботи циклону, дають можливість зробити висновок про те, що використання програмного комплексу Flow Vision дозволяє:

- попередньо оцінити енергетичні затрати на процес очищення запилених газів в робочій зоні циклону;
- проаналізувати траєкторію руху закрученого газового потоку в апараті та розробити практичні рекомендації при розробці нового та модернізації існуючого пилоочисного обладнання;
- дозволяє значно скоротити час та затрати на розробку, проектування та експериментальні дослідження циклонів.

### Література

1. Дубинін, А.І. Вплив бункера на ефективність роботи напівпромислового прямотечійного циклону з коаксіальною вставкою. [ Текст ] / А.І. Дубинін, В.В. Майструк, Р.І. Гаврилів // Восточно-Европейський журнал передових технологій. Харків - 2011 вип. 1/9(49). С. 20-22.
2. Дубинін, А.І. Прямотечійний циклон з коаксіальною вставкою. Аналіз роботи. [ Текст ] / А.І. Дубинін, Я.М. Ханік, В.В. Майструк, Р.І. Гаврилів // Хімічна промисловість України, 2005, №3. – С.26-28.

### Abstract

In this paper the possibility of using the software package Flow Simulation to estimate hydraulic resistance unit

flow cyclone. The main objective of the research is in theoretical analysis of motion of the gas flow in the working zone system and the impact of structural parameters on energy costs for its work. We solve this problem by using a computer program Solid Works software package Flow Simulation.

The presented method of calculating the hydraulic resistance will significantly save time on designing cyclones equipment and pre discard unsuccessful designs initially.

Based on the theoretically determined by Flow Simulation hydraulic resistance calculated coefficient of hydraulic resistance system and a preliminary assessment of energy costs for the cleaning process. Comparative analysis of the energy cost of the cleaning process shows high effectiveness of the proposed design of the cyclone.

The results can be used in engineering practice in the design of new and modernization of existing equipment pyrochysnoho pryamotechiynoyu zone separation.

**Keywords:** hydraulic resistance cyclone, uniflow cyclone, software package Flow Simulation, theoretical analysis of the energy cost of the cyclone

**В статті розглянуто можливий економічний та екологічний ефект від встановлення проміжних випромінювачів і екранування стінок паливної котла. Застосування проміжних випромінювачів при проектуванні і створенні опалювальних і малих промислових котлів на природному газі дозволить зменшити витрату металу на виготовлення котла і збільшити їх ККД**

**Ключові слова:** паливня, випромінювач, теплообмін, ступінь чорноти факелу, температура факелу, тепловіддача

**В статье рассмотрены возможный экономический и экологический эффект от установки промежуточных излучателей и экранирования стенок топки котла. Применение промежуточных излучателей при проектировании и создании отопительных и малых промышленных котлов на природном газе позволит уменьшить расход металла на изготовление котла и увеличить их КПД**

**Ключевые слова:** топка, излучатель, теплообмен, степень черноты факела, температура факела, теплоотдача

УДК 612.311

# ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМІЖНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ В КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТАХ

**А. М. Павліш**

Асистент\*

Контактний тел.: 063-499-95-64

E-mail: andriy.pavlish@gmail.com

**М. А. Мартиняк**

Аспірант\*

Контактний тел.: 063-281-64-55

E-mail: marta.martynyak@gmail.com

**Й. С. Мисак**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

Контактний тел.: (032) 258-25-15

E-mail: marta.martynyak@gmail.com

\*Кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій  
Національний університет "Львівська політехніка"  
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Постановка проблеми

При спалюванні природного газу при малих розмірах паливної (опалювальні котли, промислові котли малих розмірів) і в котлах при наявності двосвітних екранів значення ступеня чорноти факелу  $\alpha_f$  є дуже малим і переважно знаходиться в межах  $\alpha_f=0,15-0,25$ . В існуючих паливнях проміжними випромінювачами є неекрановані частини паливної, амбразури пальників і т. д., які приймають участь у процесі теплообміну. Як наслідок частина теплоти горіння палива використовується нерационально і теплообмін в паливні є низько ефективним.

## 2. Мета статті

Інтенсифікувати теплообмін і стабілізувати горіння факелу в паливнях водогрійних котлів з повним екрануванням стінок і порівняно невеликою площею поверхонь гарячих амбразур і частин футерування, шляхом встановлення спеціальних проміжних випромінювачів.

## 3. Основні положення

Одним з способів підвищити теплообмін в паливні є введення в об'єм проміжних випромінювачів – твердих тіл, які нагріті до температури не менше ніж 800°C і є