

ВПЛИВ ЗАКРУТКИ ПОТОКУ НА УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ

А. П. Чорний^{1, a}, С. Г. Кобзар², С. М. Пономаренко¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²Інститут технічної теплофізики НАН України

Анотація

В модельному реакторі для числа закрутки $S = 0.0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0$; виконано дослідження впливу закрутки потоку на утворення оксидів азоту при спалюванні природного газу дані були порівняні з Controlled Profile Reactor (CPR).

Ключові слова: оксиди азоту, закручення потоку, зменшення оксидів азоту, вплив закрутки

Вступ

Процеси горіння рідких, твердих і газоподібних палив широко використовуються практично у всіх галузях сучасної техніки і технології, незважаючи на те що ми розробляємо і все частіше використовуємо установки що працюють на відновлювальних джерелах енергії, позбутися апаратів в які виробляють енергію спалюючи пальне ми зможемо ще не скоро. Оксиди азоту NO_x і сірчистий ангідрид SO_2 – найпоширеніші токсичні сполуки, що викидаються в атмосферу під час спалювання органічного палива в котлах. Токсичний вплив оксиду азоту при його викидах проявляється в двох шарах атмосфери – стратосфері і тропосфері. В стратосфері він пов'язаний з існуванням захисного шару Землі. Каталітичне руйнування озонового шару NO_x спричиняє недопустиме зростання біологічно активної радіації і ставить під загрозу існування біосфери. Частина оксиду азоту потрапляє в стратосферу з тропосфери. Оксид азоту зберігається в оточуючій його атмосфері протягом 3–4 днів. Найбільш поширеними методами зниження оксидів азоту є:

- Організація процесів горіння:
 - 1) закрутка потоку,
 - 2) рециркуляція частини димових газів,
 - 3) двох-стадійне спалювання,
 - 4) reburning (трьох-стадійне спалювання).
- Очистка продуктів згорання.

Проте очистка продуктів згорання надзвичайно дорога, рециркуляція частини димових газів, двох-стадійне спалювання, reburning (трьох-стадійне спалювання) – потребують досить складної модифікації котла та/або конструювання котла спеціальної геометричної форми (на reburning потрібен дуже високий котел). Закрутка потоку доволі дешева і не потребує надскладних модифікацій – потрібна лише переробка пальника. Метою даної роботи є дослідження за допомогою пакету прикладних програм ANSYS CFX впливу закрутки потоку на утворення оксидів азоту в модельній камері згорання при різних значеннях числа закрутки

^aandruhas22@gmail.com

1. Об'єкт дослідження і комп'ютерна модель

В якості об'єкту дослідження використовувався модельна камера згорання яка експериментально досліджувалась в роботах [1, 2]. Для порівняння з лабораторними дослідженнями, було відібрано дані випробувань, проведених в Controlled Profile Reactor (CPR). Одним з основних міркувань при проектуванні цього об'єкта було отримання даних, які можуть бути використані для перевірки комп'ютерної моделі, а також для вивчення явищ горіння. CPR – це 0,5 МВт, циліндричний, реактор з внутрішнім діаметром 80 см і довжиною 240 см (рис. 1). Закрутка передається в потік вторинного повітря з використанням рухомого блоку генератора завихрення. Граничні та початкові умови показано в таблиці 1.

Комп'ютерна модель побудована в ANSYS Design Manager, показані на (рис. 2).

Табл. 1. Граничні умови та витрати газу та повітря

Параметр	Значення
Витрата природного газу (кг/год)	10.1
Витрата повітря (кг/год)	165
Температура повітря на вході (К)	298
Температура на стінці (С)	1000
Вхідна швидкість (м/с)	5

2. Верифікація

На першому етапі було проведено верифікацію програмного комплексу ANSYS CFX для значень перерізів $Z = 0, 26; 0, 86; 1, 26$; та вздовж камери згорання, де Z – відстань від початку камери згорання до точки перерізу. В якості моделей турбулентності було обрано $k - \varepsilon$, $k - \varepsilon - RNK$, RSN .

На рис. 3 можна побачити профілі швидкості в здовж осі камери згорання для різних моделей турбулентності.

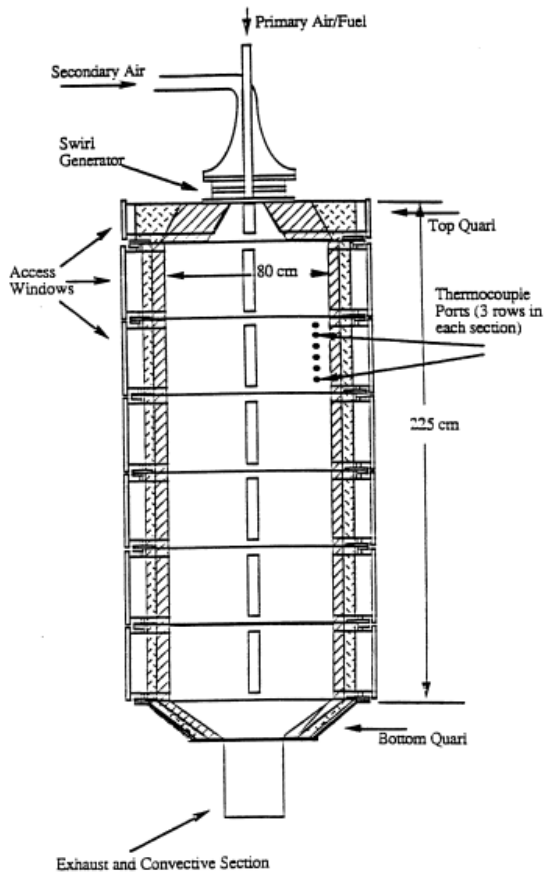


Рис. 1. Модель Controlled Profile Reactor

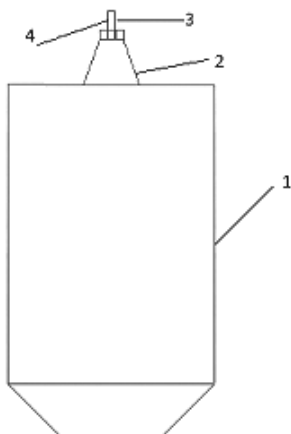


Рис. 2. Модель побудована в ANSYS Design Manager
1 – стінка, 2 – дифузор, 3 – Подача повітря, 4 – Подача пального

На рис. 4 та 5 можна побачити профілі швидкостей для розрізів $Z = 0,26; 0,86; 1,26$; різних моделей турбулентності.

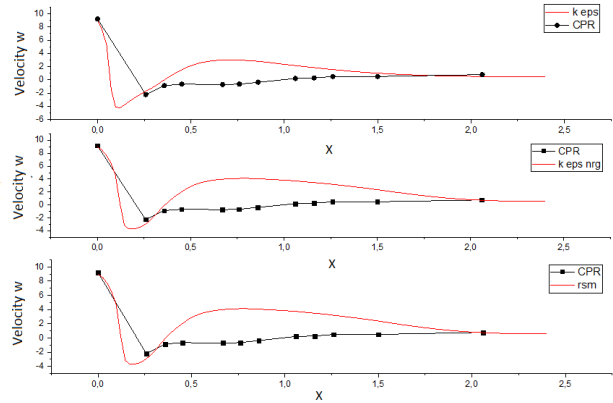


Рис. 3. Профіль аксіальної компоненти швидкості в здовж осі камери згорання

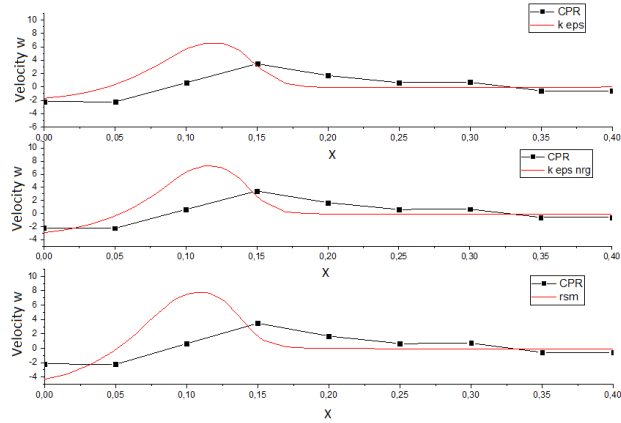


Рис. 4. Профіль аксіальної компоненти швидкості для розрізів $Z = 0,26; 0,86; 1,26$

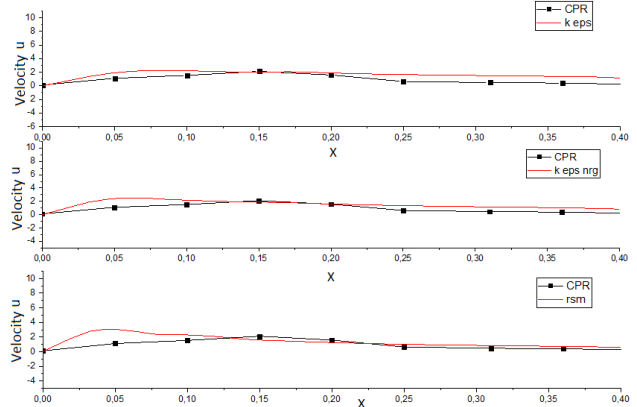


Рис. 5. Профіль радіальної компоненти швидкості для розрізів $Z = 0,26; 0,86; 1,26$

Як видно з рисунків $k - \epsilon$ модель найбільш правильно описує експеримент, отже моделювати процеси горіння будемо даною моделлю турбулентності. В якості моделей горіння використаємо finite rate chemistry, eddy dissipation та finite rate chemistry + eddy dissipation які представлені в пакеті ANSYS CFX.

Проаналізувавши дані показані на (рис. 6 7 8) та враховуючи той факт що нас цікавить область в цен-

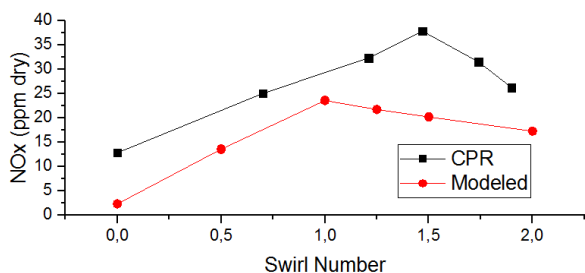


Рис. 9. Залежність NO_x від *S*

Табл. 2. Фактичне та теоретичне значення *S*

<i>S</i> геометричне	<i>S</i> фактичне
0	0.033
0.5	0.366
1	0.690
1.25	0.767
1.5	0.778
2	0.855

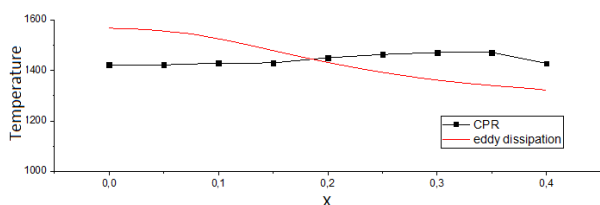


Рис. 6. Профіль температури eddy dissipation

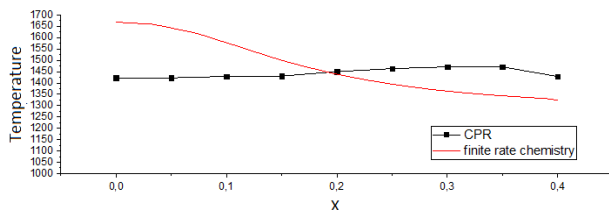


Рис. 7. Профіль температури finite rate chemistry

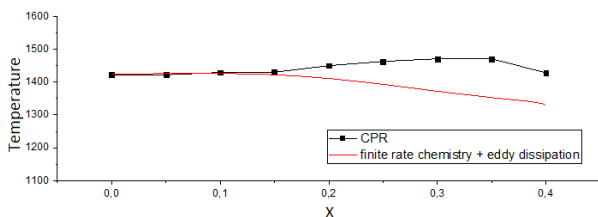


Рис. 8. Профіль температури finite rate chemistry + eddy dissipation

трі, було вирішено використати finite rate chemistry + eddy dissipation модель горіння.

3. Дослідження впливу закрутки

Ступінь завихрення в потоці може бути визначена кількісно за допомогою безрозмірного параметру – числа закрутки потоку *S*, яке є показником інтенсивності закрутки в кільцевому потоці. В цій роботі

використовується геометричне число закрутки потоку, яке визначається як відношення об'ємної тангенціальної швидкості до об'ємної осьової швидкості в кільцевому потоці.

Для чисел закрутки *S* = 0.0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; було проведено моделювання процесу горіння з *k* – ϵ моделлю турбулентності та finite rate chemistry + eddy dissipation моделлю горіння.

На рис. 9 показані значення NO_x в залежності від *S*. Як видно з рисунку з ростом *S* росте й кількість викидів оксидів азоту, це пов'язано з тим, що при закрученні потоку утворюється протитечія яка повертає частину продуктів згорання в центр факелу де максимальна температура, але стінки камери згорання обмежують вихор тому лише при *S* > 1.5 видно що оксиди азоту падають.

Також було проаналізовано значення *S* та було виявлено недокрутку потоку. В таблиці. 2 показані значення *S* які були задані при моделюванні(теоретичні) та ті значення(фактичні) які були розраховані.

З даних таблиці. 2 видно що реальне значення закрутки менше ніж задане на початку. Це означає що, потік не закрутиться до того значення якого ми очікуємо, отже насправді через геометрію камери вихор який створюватиме протитечію буде слабший, звідси менше продуктів згорання буде повертатися в зону інтенсивного горіння.

Висновки

Дослідження за допомогою пакету прикладних програм ANSYS CFX впливу закрутки потоку на утворення оксидів азоту в модельній камері згорання при різних значеннях числа закрутки показало що, закрутка потоку – зменшує довжину факелу, що дозволяє інтегрувати більш потужні горілки при зменшенні розмірів камери згорання. Враховуючи той факт що камера згорання обмежена стінками то потік не може підсмоктувати продукти горіння повністю що впливає на оксиди азоту що будуть на виході. Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

- 1) Закрутка потоку дійсно знижує утворення оксидів азоту.
- 2) Камери згорання з завихрювачем можуть бути компактніші порівняно з іншими при тій самій потужності.

Перелік використаних джерел

1. Boardman R. D., Eatough C. N., Germane G. J. Comparison of Measurements and Predictions of Flame Structure and Thermal NO_x, in a Swirling, Natural Gas Diffusion Flame // Combustion Science and Technology. — 1993. — Vol. 93. — P. 193–208.
2. Components, formulations, solutions, evaluation, and application of comprehensive combustion models / A.M. Eaton, L.D. Smoot, S.C. Hill, C.N. Eatough // Progress in Energy and Combustion Science. — 1986. — Vol. 25. — P. 387–436.