

УДК [662.6+662.9]:004.9

*Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Олександр Вершков, кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Максим Супрун, асистент
кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗГОРЯННЯ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ANSYS

Анотація. У роботі проведено порівняльний аналіз ефективності використання моделей Eddy Dissipation Model (EDM) та Finite Rate Chemistry Model (FRC) при моделюванні процесів, що відбуваються в топках енергетичних котлів та визначені основні переваги та недоліки запропонованих моделей.

Ключові слова: органічне паливо, методи обчислювальної гідродинаміки, комп'ютерне моделювання процесів горіння, турбулентний потік, трубчасто-кільцева камера згоряння, модель Eddy Dissipation Model (EDM), модель Finite Rate Chemistry Model (FRC).

Abstract. The work carried out a comparative analysis of the effectiveness of using the Eddy Dissipation Model (EDM) and Finite Rate Chemistry Model (FRC) in modeling the processes occurring in the furnaces of power boilers and identified the main advantages and disadvantages of the proposed models.

Keywords: organic fuel, methods of computational hydrodynamics, computer modeling of combustion processes, turbulent flow, tubular-annular combustion chamber, Eddy Dissipation Model (EDM), Finite Rate Chemistry Model (FRC).

Вступ. Нині понад 80% усієї виробленої у світі енергії виробляється з допомогою спалювання органічного палива. Інші джерела енергії: ядерна енергетика, гідроенергетика, сонячні та вітряні електростанції — найближчими десятиліттями не зможуть конкурувати з традиційними способами.

Обмеженість ресурсів викопного палива диктує необхідність пошуку економічніших способів його спалювання, а масштаби промислового виробництва такі, що проблема утворення шкідливих речовин під час горіння виходить першому плані.

Вирішення цих питань неможливе без детального дослідження процесу горіння. Тому все більшого поширення в промисловості набувають методи обчислювальної гідродинаміки.

Вони дозволяють прискорити процеси проектування та доведення виробу, знижуючи при цьому фінансові витрати на проект. При цьому частково відпадає необхідність дорогих експериментів, оскільки з'являється можливість оптимізувати конструкцію виробу на основі його віртуального прототипу.

Комп'ютерне моделювання стає все більш важливим елементом дослідження процесів горіння та проектування різних пристроїв, які використовують процес горіння. Очікується, що його роль зростатиме і надалі. Разом з тим, говорити про повну заміну експериментальних досліджень чисельними розрахунками було б неправильно — тут йдеться про підходи до проектування, які мають взаємно доповнювати один одного.

Виклад основного матеріалу. У більшості пристроїв, що використовують процес горіння, потік буває турбулентним.

Дослідження турбулентності є, мабуть, найскладнішим розділом гідродинаміки. При горінні турбулентність ускладнюється додатковими факторами – великою кількістю різноманітних хімічних реакцій та випромінюванням.

Температура, концентрація реагентів та інші параметри змінюються внаслідок як хімічних реакцій, так і різних фізичних процесів: конвекції, дифузії, променистого теплообміну та ін. Дуже часто саме фізичні фактори мають визначальний вплив на повноту згоряння та умови займання. Внаслідок цього компанія ANSYS, Inc. приділяє велику увагу розробці та вдосконаленню моделей

турбулентності. Зараз у ANSYS CFX їх понад 16, включаючи унікальну перехідну модель турбулентності на основі SST-моделі (рис.1).

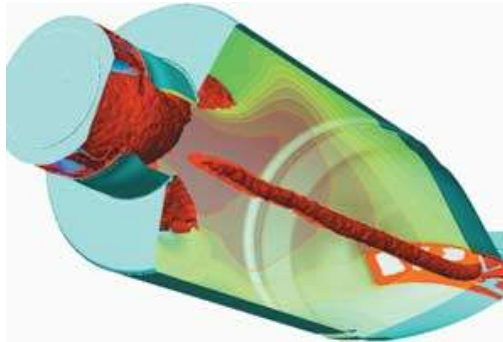


Рисунок 1 – Трубчасто-кільцева камера згоряння DLE-типу («сухий» спосіб зниження емісії NO_x) 5-MВт установки «Тайфун»

При моделюванні процесів горіння не можливо нехтувати стратегіями створення моделей процесів горіння. Модель розпаду вихорів (EddyDissipationModel, EDM) була розроблена для опису турбулентних полум'я попередньо перемішаних сумішей і дифузійних полум'я. Вона заснована на припущенні, що хімічні реакції дуже швидко приводять реагує суміш до рівноважного стану - іншими словами, швидкість хімічної реакції набагато вище, ніж швидкість змішування пального та окислювача.

Відповідно до цієї моделі для ініціації процесу горіння достатньо, щоб пальне та окислювач (зазвичай повітря) знаходилися в одному контрольному обсязі. Розглянута ситуація є одним із тих, коли можливе існування стабільного полум'я. Модель EDM добре зарекомендувала себе при проектуванні камер згоряння газових турбін для прогнозування розподілу температури всередині об'єму жарової труби та пов'язаних з нею теплових навантажень.

Сучасна лазерна вимірювальна апаратура забезпечує одержання надійних експериментальних даних. До них відносяться середні та амплітудні значення швидкостей, температур та концентрацій продуктів хімічних реакцій. Використання моделі EDM разом із моделлю лангранжових частинок дозволяє

моделювати процеси, що відбуваються в топках енергетичних котлів, у тому числі оцінювати оптимальну міру подрібнення вугілля.

Оскільки дуже дрібний розмелювання неекономічний і часто призводить до порушень розрахункового режиму горіння, до недоліків моделі розпаду вихорів можна віднести те, що вона невірно передбачає рівень емісії оксидів азоту, а також з недостатньою точністю імітує процес займання сумішей. Водночас цими важливими аспектами горіння не можна нехтувати.

На противагу необмежено високим швидкостям (швидка хімія) модель Finite Rate Chemistry Model (FRC) враховує наслідки кінцівки швидкості хімічних реакцій. Вона дозволяє розраховувати швидкості реакцій, що описуються молекулярною взаємодією між компонентами рідини.

FRC-модель може бути поєднана з моделлю розпаду вихорів при розрахунку полум'я, у яких швидкість хімічних реакцій слабо конкурує з темпом перемішування реагентів.

Друга стратегія моделювання горіння в ANSYS CFX побудована на припущенні, що турбулентний потік може бути адекватно описаний статистичними методами. Якщо, наприклад, відома функція розподілу ймовірності (Probability Density Function) для будь-якого параметра реагуючого потоку (швидкості, температури, масових часток окремих компонентів) в деякій точці простору, середні значення локальних властивостей потоку завжди можна легко обчислити.

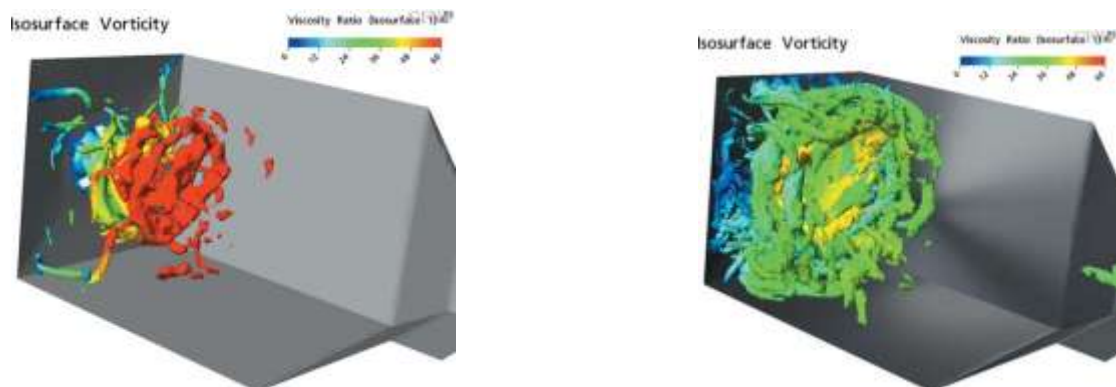


Рисунок 2 – Приклад розрахунку процесів горіння із використанням SAS-моделі турбулентності структури в суміші, що не реагує та з урахуванням хімічних реакцій

Висновки. Розглянуті вище стратегії моделювання горіння та його складові постійно вдосконалюються. Наприклад, в останній версії CFX з'явилася можливість використовувати при розрахунках процесів горіння нові моделі турбулентності: Large Eddy Simulation (LES) – модель великих вихрових структур, Detached Eddy Simulation (DES) – модель вільного вихору. У стадії розробки знаходиться Scale Adaptiveimulation (SAS) – модель, яка враховує масштаби турбулентних пульсацій. SAS-модель поєднує два альтернативних підходу запису рівнянь Нав'є-Стокса: LES і RANS. У першому випадку використовується спеціальна процедура для виключення з розрахунку підсіткових вихорів, тобто вихорів, розмір яких менший за осередки розрахункової сітки. Другий варіант має на увазі запис рівнянь переносу, середнього за часом потоку з усіма передбачуваними масштабами турбулентності.

Список використаних джерел

1. Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа: монография. Київ: «Корнийчук», 2011. С. 376.
2. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації* : матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.
3. Мацулевич О. Є., Антонова Г. В., Тетервак І. Р., Валієва К. М. Програмна реалізація процесу проектування равлика турбокомпресора на основі методики дискретного геометричного моделювання. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.) / [за наук. ред. С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та ін.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 132-138
4. Дереза О. О., Антонова Г. В., Тетервак І. Р., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.) / [за наук. ред. С. В.

Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та інш.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 147-153

5. Гешева Г. В., Супрун М. В., Валієва К. М. Розробки електронних підручників за умов дистанційного навчання Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.) / [за наук. ред. С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та інш.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 401-405

6. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т.. 1 (DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-13).