

10.31653/smf44.2022. 88-92

Дулдієр О.П.

Національний університет «Одеська морська академія»,
**АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПКОВОГО ПРИСТРОЮ
З УРАХУВАННЯМ ЯВИЩА ПЕРЕМІЖНОСТІ ПОТОКУ**

Анотація. Розглянута можливість використання математичної моделі, основаної на понятті «відновленої» концентрації палива та явища переміжності газового потоку для визначення повноти спалювання палива в топкових пристроях суднових котлів. Розрахунки підтверджені результатами експериментальних досліджень топкового пристрою. Максимальні значення повноти спалювання палива досягається для значень коефіцієнту надлишку повітря $\alpha = 1,1 \div 1,3$.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Одним із прикладних питань використання палива є визначення основного показника топкового пристрою - повноти спалювання палива, яка визначає залежність температури потоку (теплових втрат) від коефіцієнта надлишку повітря і яка є предметом дослідження в даній роботі. Відомо, що повнота спалювання палива в робочих областях процесу залежить від стану областей з "чистим" повітрям і з "чистим" паливом. Ці області утворюються в наслідок ежекції спутного потоку повітря з подальшою їх турбулізацією за рахунок поперечного перепаду швидкості.

Повнота спалювання палива вважається основною характеристикою, однак в умовах експлуатації її пряме визначення неможливе. Це пов'язано, перш за все, зі складністю аналізу скалярної структури процесу і відсутністю необхідних потокових даних.

Ця характеристика зазвичай визначається експериментально при доводочних роботах топкових пристроїв як залежність теплових втрат від коефіцієнта надлишку повітря.

Завданням досліджень було розробка метода для визначення повноти спалювання палива в залежності від коефіцієнта надлишку повітря за допомогою показника «відновлена» концентрація палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нові наукові теоретичні дослідження процесу горіння [1,2,3,4,5], які враховують вплив явища переміжності турбулентного потоку на фізико-хімічні перетворення палива, виділення тепла, рух і змішування газів дають можливість по новому оцінювати завершеність вказаних процесів, а в результаті повноту спалювання палива. В них отримані нові дані, що змінили уявлення про розвиток процесу на різних стадіях і режимах.

Введення поняття «відновленої» концентрації палива z якісно змінило саму теорію горіння, що дає можливість розробки нових підходів для вирішення прикладних питань при спалюванні палива. «Відновлена» концентрація палива [1] визначається по формулі

$$z = \frac{St \cdot c_m - c_e + 1}{1 + St},$$

де c_m и c_e – концентрації палива і повітря; St - стехіометричний коефіцієнт згоряння палива.

В роботах [1,3] запропоновано виділяти три області, які внаслідок переривчастості процесу змішування розділені межами, що випадково змінюють своє положення:

область чистого повітря;

область з сумішшю продуктів згоряння з паливом;

область турбулентного дифузійного горіння.

В перших двох областях концентрацію складових прийнято вважати незмінними, а області горіння потік турбулентний зі зміною концентрації між нулем і деяким значенням z_0 .

Як відомо [1], миттєві зміни положення меж області турбулентного дифузійного горіння призводять до утворення періодичних структур, які мають розміри, співрозмірні з масштабом зони змішування, і характеризуються порівняно значним часом існування.

Такі структури мають детерміністські властивості, оцінювання стану яких дозволяють по новому підходити до визначення повноти спалювання палива.

Виклад основного матеріалу. Область турбулентного дифузійного горіння утворюється в наслідок змішування супутніх потоків повітря і палива зі зміною концентрації $0 \neq z_0$. По умові рівноважності $z = z_{St}$, виділяють області з різним станом процесу горіння відповідно для $z > z_{St}$ та $z < z_{St}$.

Повнота згоряння палива буде визначатися підсумковим станом турбулентних областей процесу $z > z_{St}$ та $z < z_{St}$, в яких його скалярна структура потоку відмінна.

Розглянемо процес з урахуванням явища переміжності для скалярних полів і «відновленої» концентрації палива.

Як відомо повнота спалювання палива визначається по виразу для теплового балансу процесу горіння в адіабатних умовах

$$\eta = \frac{I_{nz}}{Q_H^p G_m}$$

і може бути виражена через коефіцієнт надлишку повітря α з урахуванням залежності для зміни ентальпії

$$\eta = \frac{(1 + \alpha St) \cdot c_p \cdot T_{nz}}{Q_H^p}$$

які, в свою чергу, однозначно пов'язані з «відновленою» концентрацією палива [5]

$$\alpha = \frac{(1-z)}{1-z_{St}} \cdot \frac{z_{St}}{z}, \quad \frac{c_p \cdot T_{nz}}{Q_H^p} = \frac{(1-z)}{1-z_{St}}$$

Ці залежності дають можливість окремо виконати розрахунки повноти згоряння палив для областей з $z > z_{St}$ та $z < z_{St}$.

Для виділених областей при $z > z_{St}$ середнє значення коефіцієнту надлишку повітря визначається по залежності

$$\alpha_2 = \frac{(1-(z+z_{St}))/2}{(1-z_{St})} \cdot \frac{z_{St}}{(z+z_{St})},$$

а зміна ентальпії

$$\frac{c_p \cdot T_{nz}}{Q_H^p} = \frac{(1 - (z + z_{St}))/2}{1 - z_{St}}$$

Відповідно при $z < z_{St}$ коефіцієнт надлишку повітря визначається по залежності

$$\alpha_2 = 2 \frac{(1-z_{St}/2)}{(1-z_{St})},$$

а зміна ентальпії

$$\frac{c_p \cdot T_{nz}}{Q_H^p} = \frac{z}{z_{St}}$$

По наведеним залежностям моделі для топкового пристрою з ротаційною форсункою і відповідною «відновленою» концентрацією палива $\theta \div z_0$ виконані розрахунки повноти згоряння для палива із стехіометричним коефіцієнтом $St=14,7$, результати яких представлені на рис.1.

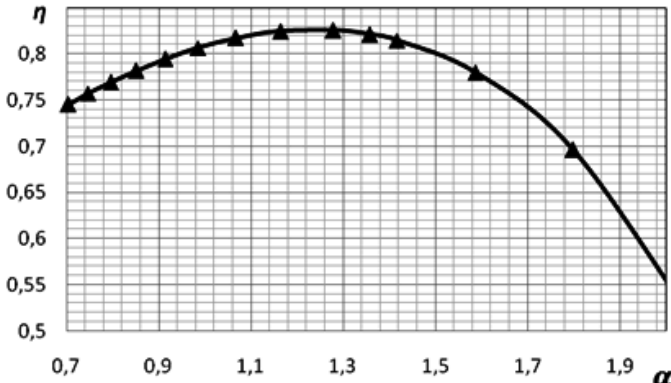


Рис.1 Повнота спалювання палива η в залежності від коефіцієнту надлишку повітря α

Як видно із рис. 1 розраховане значення максимальної повноти спалювання палива досягається для значення коефіцієнту надлишку повітря $\alpha=1,1 \div 1,3$, що відповідає як даним експлуатації так і експериментальним даними [8], отриманими на для топкового пристрою суднової котлової установки KW100.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1 Отримані результати дозволяють вважати доцільним більш детального дослідження запропонованого методу для розширення контролю процесу спалювання палива.

2. Розроблена модель може бути використана при проведенні порівняльної оцінки ефективності суднових топкових пристроїв.

3. Експерименти, що були виконані на судновому допоміжному котлі KW100 підтвердили можливість використання отриманого методу для дослідження процесу палива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kuznetsov V.R., Sabel'nikov V.A. Turbulence and Combustion. New York : Hemisphere Publishing, 1990. 362 p.
2. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ /Пер. с англ. Г. Л. Агафонова. Под ред. П. А. Власова – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с
3. Burke S.P., Schumann T.E.W. Diffusion flames // Indust. Eng. Chem.. 1928. V. 20, no. 10. P. 988-1006.

4. Нужнов Ю.В. Метод ASMTURBC автономного статистического моделирования диффузионного турбулентного горения и некоторые результаты его тестирования. // Вестник КазНУ. Серия: математика, механика, информатика. 2015. Т. 14, № 2. С.119-130.

5. <https://pps.kaznu.kz/kz/Main/FileShow2/16370/102/3/1116/2014/>

6. Дулдиер А.П., Бурденко А.Ф. Математическая модель турбулентного диффузионного горения в топке котла. Судовые энергетические установки 2000 – № 5 с.28-31

7. Дулдиер А.П. Метод решения дифференциальных уравнений, описывающих процесс горения. 10 Международная научно-практическая конференция «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT) – 2018. сс.110-114

8. Дулдиер А.П. Экспериментальное исследование режимов горения во вспомогательной котельной установке KW-100. Судовые энергетические установки 2004 – № 11 с.100-107