

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ДИФФУЗИОННОГО ФАКЕЛА ПРОПАНА В LES ПОСТАНОВКЕ

Гураков Н.И., Попов А.Д., Матвеев С.Г., Чечет И.В., Семенихин А.С., Идрисов Д.В.,  
Савченкова А.С., Егорова П.А.

Самарский университет, г. Самара, [nikgurakov@gmail.com](mailto:nikgurakov@gmail.com)

*Ключевые слова:* эмиссия вредных веществ, диффузионное горение, углеводородное топливо, численное моделирование, моделирование крупных вихрей.

Загрязнение атмосферы Земли вредными веществами, образованными вследствие сжигания углеводородного топлива, является одной из глобальных проблем человечества. Высокоточное прогнозирование количества выбросов вредных веществ на этапе проектирования и доводки камер сгорания двигателей и энергетических установок, работающих на углеводородном топливе, является важной задачей. Образование эмиссии  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  численно и экспериментально исследовалось ранее в работах [1-4], но в настоящий момент методики расчета эмиссии ПАУ, являющихся прекурсорами сажистых частиц, недостаточно проработаны. Это обуславливает необходимость создания новой методики для расчёта ПАУ, отработка которой будет проведена на модельном пламени – диффузионном факеле.

Для получения результатов по концентрации ПАУ используются комбинированные методы с детальной химической кинетикой. Одним из таких методов является моделирование сетью химических реакторов, позволяющее довольно точно прогнозировать эмиссионные характеристики камер сгорания за счёт использования детальных кинетических схем. При использовании этой модели информация о внутрикамерных процессах объединяется и включается в последовательность элементарных реакторов (реакторная цепочка). Для формирования цепи реакторов при определении ПАУ необходимо использовать расчетные данные по распределению температуры, коэффициента избытка воздуха, пульсации восстановленной концентрации топлива, при этом, расчётные модели, с помощью которых были получены эти данные, должны быть валидированы на соответствующих экспериментах.

В данной работе осуществлялась отработка методики моделирования турбулентного процесса горения на примере диффузионного факела пропана. Для этого производились генерация и последующая проверка конечно-элементной модели расчетной области на предмет соответствия критериям масштаба турбулентности, необходимому для LES-моделирования. По результатам расчётно-экспериментального исследования, проведено сравнение значений температуры, коэффициента избытка воздуха, основных продуктов сгорания и продуктов неполного сгорания. Показано, что расчётные и экспериментальные согласуются качественно, а количественно данные отличаются в среднем не более чем на 10%. Полученные в результате расчётов осреднения параметров, таких как температура, восстановленная концентрация топлива и пульсация концентрации топлива будут в дальнейшем использованы для определения ПАУ методом кинетического реакторного моделирования с детальной химической кинетикой.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-79-10205, <https://rscf.ru/project/22-79-10205/>.

### Список литературы

1. Канило П.М., Подгорный А.Н., Христинич В.А. Энергетические и экологические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода. Киев: Наукова Думка, 1987. 224 с.
2. Хесина А.Я., Смирнов А.Г., Шабад Л.М. Полициклические ароматические углеводороды в выхлопных газах автомобилей при испытаниях по европейскому ездовому циклу. Гигиена и санитария. 1978. № 6. С.44–48.

3. Longwell, J.P. Polycyclic aromatic hydrocarbons and soot from practical combustion systems // Soot in combustion systems and its toxic properties. – New York; London: Plenum Press, 1983. P. 37–56.

4. Лукачев С.В., Горбатко А.А., Матвеев С.Г. Образование и выгорание бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив. М.: Машиностроение, 1999. 153 с.

#### **Сведения об авторах**

Гураков Н.И., к.т.н., доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, с.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: механика жидкости и газа, моделирование процессов в камерах сгорания ГТД и ГТУ.

Попов А.Д., аспирант, лаборант-исследователь НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: моделирование процессов в камерах сгорания ГТД и ГТУ.

Матвеев С.Г., к.т.н., доцент, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, в.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: экспериментальные исследования и моделирование процессов горения применительно к камерам сгорания ГТД и ГТУ, образование и выброс загрязняющих веществ при сжигании углеводородных топлив, применение метано-водородных смесей и водорода в камерах сгорания газотурбинных установок.

Чечет И.В., к.т.н., доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, с.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: физика и химия процессов горения.

Семенихин А.С., к.т.н., с.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: кинетическое моделирование процессов горения.

Идрисов Д.В., м.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: применение метано-водородных смесей и водорода в камерах сгорания газотурбинных установок.

Савченкова А.С. к.х.н., доцент кафедры неорганической химии, с.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: определение путей и констант скоростей индивидуальных реакций квантово-химическими методами, исследование процессов окисления индивидуальных компонентов органических топлив.

Егорова П.А., магистрант, лаборант-исследователь НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: рабочие процессы в КС ГТД.

### **LES APPROACH FOR THE PROPANE DIFFUSION FLAME COMBUSTION SIMULATION**

Gurakov N.I., Popov A.D., Matveev S.G., Chechet I.V., Semnikhin A.S., Idrisov D.V.,  
Savchenkova A.S., Egorova P.A.

Samara University, Samara, Russia, [nikgurakov@gmail.com](mailto:nikgurakov@gmail.com)

*Keywords: pollutant emissions, diffusion combustion, hydrocarbon fuel, numerical simulation, Large Eddy Simulation.*

The method for the turbulent combustion process simulation was developed using propane diffusion flame as a case study. For this purpose, generation and subsequent verification of the finite element model of the computational domain were carried out for compliance with the turbulence scale criteria required for LES. Next, the temperature distribution was numerically simulated using RANS and LES-approaches in a 3D-setting, and the model was verified for the main and intermediate combustion products. The results of numerical simulation of pollutant emission are also presented.