

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМИССИИ КАНЦЕРОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ГАЗОТУРБИНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Семенихин А.С., Гураков Н.И., Матвеев С.Г., Попов А.Д.,
Киселев А.С., Чечет И.В., Матвеев С.С., Савченкова А.С.
Самарский университет, г. Самара, semenikhin.as@ssau.tu

Ключевые слова: выбросы вредных веществ, кинетическое моделирование, камера сгорания, газотурбинная техника, полициклические ароматические углеводороды.

При сжигании углеводородных топлив образуются сажистые частицы и предшествующие им полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), обладающие значительной мутагенной и канцерогенной активностью. Ввиду существенного вклада в общее загрязнение окружающей среды, снижение эмиссии ПАУ газотурбинными двигателями (ГТД) на этапе их проектирования является актуальной экологической и инженерной задачей.

Прогнозирование эмиссии, без проведения ресурсоёмких экспериментов, возможно посредством кинетического моделирования процессов синтеза загрязняющих веществ и окисления топлива. Состав керосина зависит от марки, сырья и производителя, поэтому в вычислениях используют модельные топлива (суррогаты), состоящие из нескольких известных компонентов. Кинетическое моделирование горения суррогатов в камерах сгорания (КС), является комплексной задачей, решение которой потребует точного учёта газодинамических процессов, достоверного представления зон КС моделями кинетических реакторов и применения эффективных кинетических моделей горения. Целью настоящего исследования является апробации новой кинетической модели A17 и валидированного суррогата UM1 [1, 2] применительно к практической задаче численного определения эмиссии ПАУ модельной КС, прототипа серийного образца [3].

В работе решается задача трёхмерного моделирования газодинамических процессов в RANS постановке для трубчатой модельной КС. Полученные в ходе RANS моделирования наблюдения и значения концентраций основных продуктов сгорания удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными [3], что говорит о возможности применения полученных результатов CFD для представления КС последовательностью кинетических реакторов. Реакторные модели камеры разработаны с применением частично автоматизированных алгоритмов постобработки Fluent-CRN и Energico-Chemkin. Прогнозы алгоритмов Fluent-CRN значительно зависят от числа используемых реакторов, и независимость решения достигается при использовании нескольких сотен реакторов. Полуавтоматизированные алгоритмы Energico, более гибкие и информационные, однако постобработка КС аналогичных исследуемой (11,9 млн штук конечных элементов), может потребовать значительных вычислительных мощностей, что делает применение большого числа реакторов (свыше 50-100) и их визуальный учёт затруднительным.

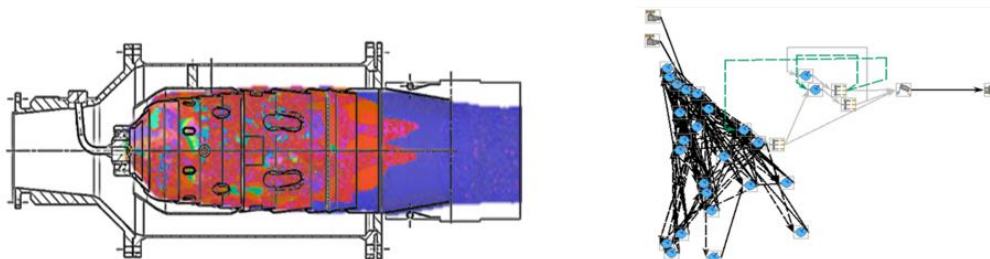


Рисунок 1 – Представление камеры сгорания моделями кинетических реакторов в подходе Energico-Chemkin

Прогнозы Fluent-CRN эффективно описывают состав основных продуктов сгорания, однако концентрации ПАУ были на многие порядки величины занижены. Модель Energico-Chemkin из 25 реакторов (рис. 1) прогнозирует заметно заниженные концентрации диоксида

углерода (-2,2%), при этом эмиссия отдельных ПАУ определена с погрешностью сопоставимой экспериментальной. Таким образом, CFD-Energico-Chemkin вычисления, в совокупности с представленными в работе кинетическими и газодинамическими моделями, могут быть использованы для приближенной оценки эмиссионных характеристик проектируемых камер сгорания авиационных ГТД. Дальнейшее повышение прогностической способности апробированного подхода является комплексной задачей, решение которой потребует новых кинетических моделей, суррогатов, ориентированных на синтез ПАУ и экспериментальных данных по образованию ПАУ в пламени модельных горелок и камер сгорания при сжигании различных углеводородных топлив.

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

Список литературы

1. Кинетическая модель и суррогат керосина для расчёта эмиссии канцерогенных углеводородов газотурбинными двигателями / А.С. Семенихин, Д.В. Идрисов, И.В. Чечет, С.Г. Матвеев, С.В. Лукачев // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение – 2022. – Т.21. – № 3. – С. 58-68.

2. Kim D., Martz J., Violi A. A surrogate for emulating the physical and chemical properties of conventional jet fuel // Combustion and Flame, 2014. – V. 161, I. 6. – P. 1489-1498.

3. Образование канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в модельной камере сгорания ГТД / С.Г. Матвеев, И.В. Чечет, В.Ю. Абрашкин, А.В. Семёнов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т.15 – №.6. – С. 881-885.

Сведения об авторах

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

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.

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.

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

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

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.

Матвеев С.С., к.т.н., старший преподаватель кафедры теплотехники и тепловых двигателей, с.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: образование и выброс загрязняющих веществ при сжигании углеводородных топлив, применение метано-водородных смесей и водорода в камерах сгорания газотурбинных установок.

Савченкова А.С., к.т.н., доцент кафедры неорганической химии, с.н.с. НОЦ ГДИ-209 Самарского университета. Область научных интересов: кинетическое моделирование процессов горения.

CALCULATION OF THE EMISSION OF CARCINOGENIC HYDROCARBONS FROM GAS TURBINE ENGINES

Semenikhin A.S., Gurakov N.I., Matveev S.G.,
Popov A.D., Kiselev A.S., Chechet I.V., Matveev S.S., Savchenkova A.S.
Samara University, Samara, Russia, semenikhin.as@ssau.tu

Keywords: emissions of harmful substances, kinetic modeling, combustion chamber, gas turbine technology, polycyclic aromatic hydrocarbons.

The aim of this study is to test a new kinetic model and a validated surrogate in relation to the practical problem of numerically determining the emission of PAHs by the combustion chamber of a gas turbine engine.