

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОКАПЕЛЬНОГО ГОРЕНИЯ И ПРОЦЕССА ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ В ПК CADFLO

Г.Е. Думнов, А.В. Иванов, А.В. Муслаев, В.Ю. Стрельцов
ООО «ТС Интеграция», г. Москва, GDumnov@t1.ru

Ключевые слова: компьютерное моделирование, двигательные установки, камера сгорания, горение, ингибирование

Компьютерное моделирование сложных физико-химических процессов является важным инструментом при проектировании различных технических устройств, в том числе – авиационных двигателей. Приведены основные особенности используемой математической модели горения и результаты расчетов процессов горения в двигательных установках, полученные при использовании ПК CADFLO.

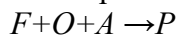
Математическая модель

Течение газовой топливной смеси описывается системой уравнений, включающей: осредненные по Фавру уравнения Навье-Стокса, уравнение переноса полной энтальпии, уравнения К-Е модели турбулентности и уравнения переноса химически реагирующих компонент [1].

Термодинамические свойства реагирующей газовой смеси описываются с помощью модели многокомпонентного идеального газа. Свойства реагентов и их продуктов сгорания рассчитываются для конкретной топливной смеси.

Согласно спецификации используемой в CADFLO модели в состав газовой фазы входят: непрореагировавшее горючее (F), окислитель (O), вещество третьего компонента (A) и их равновесные продукты сгорания (P). Третьим компонентом может быть задано второе горючее, второй окислитель, инертный компонент или вещество, играющее роль ингибитора.

Для описания перехода с конечной скоростью исходных реагентов в равновесные продукты сгорания используется одностадийная необратимая химическая реакция:



Чтобы отразить влияние эффекта ингибирования на процесс горения топливной смеси, в выражение для скорости условной химической реакции вводится поправка, зависящая от концентрации вещества ингибитора (компонент A) в топливной смеси. Поправка учитывает некоторое пороговое значение концентрации вещества, при котором процесс горения прекращается (скорость условной химической реакции в модели горения становится равной нулю). Необходимые значения концентраций для хладонов (114B2, 12B1, 13B1), обладающих свойствами ингибиторов, взяты из справочника [2].

Моделью допускается, что один из компонентов топливной смеси (чаще всего – горючее) может подаваться в зону горения в капельном виде, с последующим его испарением и переходом в газовую фазу. Для описания движения частиц в дисперсной фазе используется подход Лагранжа, с учетом сопротивления, испарения и изменения температуры капель. При этом учитывается обратное влияние дисперсной фазы на газовый поток.

Для расчета состояния одиночных капель в дисперсной фазе используется полуэмпирическая модель квазистационарного испарения капли, обтекаемой многокомпонентным газом в континуальном режиме [3]. Термодинамические свойства веществ в жидкой фазе определены на основе специальных справочников [4] и баз данных. В БД ПК CADFLO, помимо свойств однокомпонентных жидких горючих (метан, пропан, гептан, метанол и пр.), содержатся свойства керосинов (ТС-1, Т-8В, Т-6, JET-A), бензина и дизельного топлива.

Расчет горения в КС позволяет учесть особенности процесса смешения топливных компонент, а также сопряженный теплообмен со стенками камеры.

Реализована возможность расчета равновесных концентраций основных компонент в продуктах сгорания и прогнозирования образования термического NO на базе механизма Зельдовича.

Расчет течения в камере сгорания ДУ

Камера сгорания представляет собой сложную конструкцию, состоящую из перфорированных и сплошных стенок со множеством первичных и вторичных отверстий, через которые подается воздух для завес охлаждения и организации полного сгорания топлива.

Моделируемая КС имеет периодическую структуру из 18 секторов, в каждом расположен один блок: завихритель/форсунка, четыре первичных и четыре вторичных отверстия для подачи воздуха (рис. 1). В соответствии с этим задача считалась в постановке с секторной периодичностью.

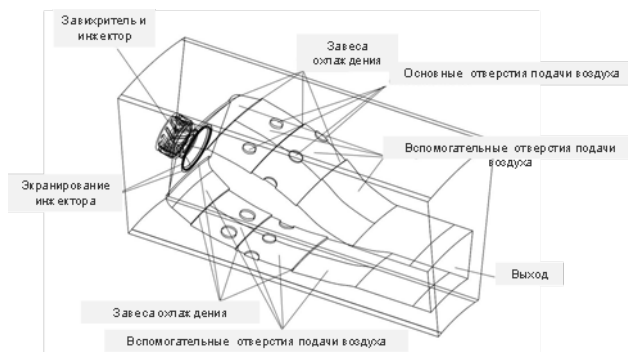


Рис.1 – Компонентка камеры сгорания

Топливная смесь: Керосин Jet-A1/воздух. Суммарный расход воздуха в расчете на один сектор составляет 1.2285 кг/с. Параметры воздуха, поступающего в камеру сгорания после компрессора: $P=21.4$ бар, $T=744$ К. Топливо впрыскивается в виде капель в областях, расположенных в месте распада жидкой топливной пелены в непосредственной близости от внешней кромки форсунки (рис. 2). При задании начальных значений диаметров, температуры и скорости капель привлекались экспериментальные данные.

Генерация расчетной сетки проводилась в автоматическом режиме, с минимальными ручными настройками.

Рассчитанные поля температуры в продольном и поперечном сечениях камеры приведены на рис. 3.

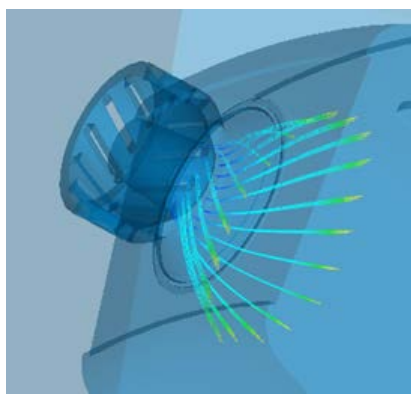


Рис.2 – Схема распыла горючего

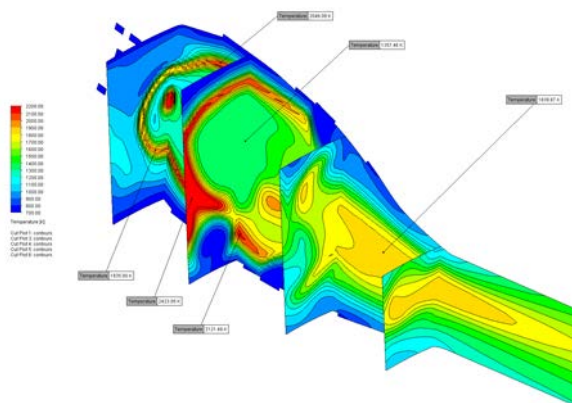


Рис.3 – Поле температур внутри КС

Наблюдается сильная неоднородность температуры по ширине факела. Максимум температуры достигается в относительно тонком слое, где состав топливной смеси близок к стехиометрическому. В центральной части зоны горения температура существенно ниже. Воздушная завеса позволяет снизить температуру газа у стенок до $T=1300-1400$ К, при максимальной температуре на выходе $T=1780$ К.

Моделирование пожаротушения отсека ДУ самолета

Моделируется работа системы пожаротушения, направленная на ликвидацию пожара в подкапотном пространстве ДУ самолета (рис. 4).

Методика математического моделирования пожара в общем виде делится на несколько этапов: а) моделирование условий пожара и распространения пламени по отсеку; б) расчет движения фреона из бака, наполнения коллектора и истечения через отверстия в коллекторе; в) расчет газификации впрыскиваемого фреона, его распространения по подкапотному пространству, и воздействия на распространяющийся пожар.

Расчет проводился при следующих условиях. Керосин Jet-A1 поступает в подкапотное пространство, в котором уже сформировалось течение от системы вентиляции, в газообразном виде и воспламеняется через 0.5 сек после начала исследуемого процесса. Температура подаваемого воздуха в системе вентиляции $T=293$ К. Фреон R114B2 подается с расходом 3.5 кг/с в виде распыленных капель диаметром 100 мкм. Начальная скорость и температура капель: $V=120$ м/с, $T_d=253$ К. Суммарное число траекторий – 3250.

Динамика изменения средней температуры (рис. 5) в подкапотном пространстве ДУ показывает основные этапы развития пожара и пожаротушения: возгорание – 0.5 сек; срабатывание датчиков, с открытием клапанов подачи фреона из баллона в магистраль – 0.8 сек; начало впрыска капель фреона в отсек – 3.0 сек; достижение пожаротушащей концентрации ~3.16 сек.

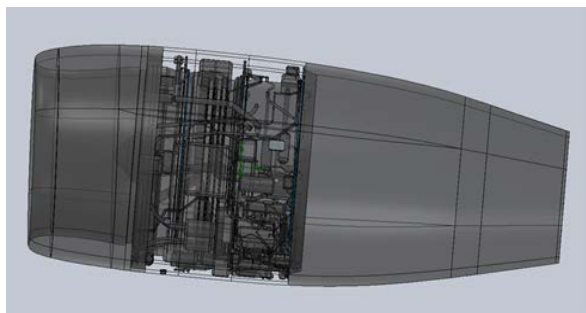


Рис.4 – Компоновка подкапотного пространства

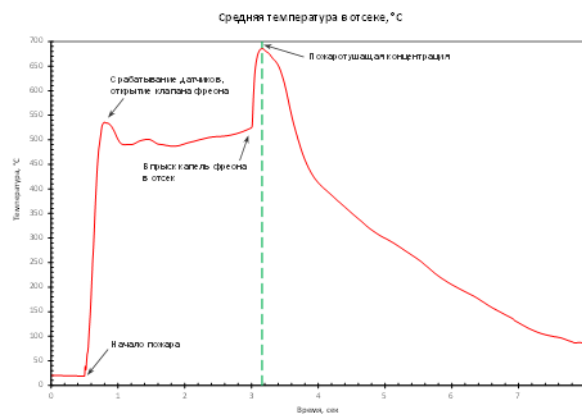


Рис.5 – Изменение температуры

Список литературы

1. В.А. Волков, В.Н. Гаврилюк, В.Ю. Гидаспов и др. // Численное моделирование газокapельных реагирующих потоков в камерах сгорания двигательных установок. Математическое моделирование. 2005 г., том 17, номер 8, С. 46-60.
2. Лужецкий В.К. Противопожарная защита самолетов гражданской авиации. М.: Транспорт. 1987. 144 С.
3. Faeth G.M. Evaporation and combustion of sprays // Prog. Energy Combust. Sci., 1983, v.9, №1/2, p.1-76.
4. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: Справочник/Дубовкин Н.Ф., Маланичева В.Г., Массур Ю.П., Федоров Е.П. – М.: Химия, 1985. 240 с.

Сведения об авторах

Думнов Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н., директор направления технологий инженерного моделирования

Иванов Андрей Валерьевич, к.т.н., руководитель группы технологического тестирования

Муслаев Александр Валентинович, к.ф.-м.н., ведущий эксперт

Стрельцов Вячеслав Юльевич, к.ф.-м.н., ведущий разработчик

MODELING OF COMBUSTION OF GAS-DROPLET MIXTURES AND FIRE EXTINGUISHING PROCESS IN CADFLO

G.E. Dumnov, A.V. Ivanov, A.V. Muslaev, V.Yu. Streltsov
OOO "TS Integration", Moscow, Russia

The CADFLO multiphysics software package allows performing 3D calculations of combustion of gas and gas-droplet fuel mixtures in power plants for various purposes. A description of the mathematical model and examples of calculations applicable to combustion chambers of propulsion systems are presented.