

мультипликативной и т.п.), так и на основе некоторой стратегии оптимальности (например, широко используемого при решении технических задач минимаксного принципа оптимальности). При любом из этих подходов потребуется выполнить нормирование частных критериев $(\delta y_i = \rho_i (y_i - y_i^{base}) / y_i^{base})$ по оптимальному значению $(y_i^{base} = y_i^{opt})$ или по значению, указанному в ТЗ $(y_i^{base} = y_i^{TЗ})$ с учётом коэффициента значимости i -го критерия ρ_i .

Формирование рационального облика турбокомпрессора МГТД целесообразно декомпозировать и представить в виде ряда вложенных задач. Первая заключается в определении термогазодинамических параметров в характерных сечениях проточной части, а также удельных параметров лопаточных машин (то есть, в выборе параметров рабочего процесса двигателя и выполнении проектного термогазодинамического расчёта) – эти параметры являются исходными данными для проектирования турбокомпрессора и могут корректироваться, например, для изменения распределения энергии между каскадами многороторного двигателя. Для каждого варианта проектного расчёта необходимо решить вторую вложенную задачу – выбрать наиболее рациональную схему турбокомпрессора (типа турбомашин, числа роторов и т.п.), при этом очевидно, что этот выбор необходимо осуществлять на основе результатов оптимизации параметров турбо-

компрессора – которая является третьей вложенной задачей. Наконец, на каждом шаге параметрической оптимизации необходимо обеспечить согласование конструктивно-геометрических параметров турбокомпрессора (на основе решения системы нелинейных уравнений) – это четвёртая задача.

Для проведения оптимизационных расчётов необходимо выбрать критерии оптимизации, которые характеризуют, в соответствии с принципом системного подхода, эффективность системы более высокого уровня по отношению к турбокомпрессору – двигателю.

К числу схемных признаков турбокомпрессора МГТД относятся такие как число роторов, тип компрессора (осевой, диагональный, центробежный, осецентробежный) и турбины (осевая, радиальная), наличие системы регулирования направляющих аппаратов и перепуска воздуха, наличие переходных каналов между соседними лопаточными машинами, наличие редуктора между компрессором и приводящей его турбиной, тип камеры сгорания и многие другие. Многообразие возможных схемных решений турбокомпрессора делает прямой перебор возможных вариантов нецелесообразно трудоёмким.

Задачи синтеза структур проектируемых объектов относятся к наиболее трудно формализуемым. Существует ряд общих подходов к постановке этих задач, однако практическая реализация большинства из них не очевидна.

УДК 621.43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПЛАМЕНИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ДОВОДКЕ КАМЕР СГОРАНИЯ

©2016 А.П. Шайкин, П.В. Ивашин, И.Р. Галиев, А.Д. Дерячев, А.Я. Твердохлёбов

Тольяттинский государственный университет

USING THE FLAME ELECTRICAL CONDUCTION PHENOMENON FOR THE COMBUSTION CHAMBER DESIGNING

Shajkin A.P., Ivashin P.V., Galiev I.R., Deryachev A.D., Tverdohlebov A.J. (Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation)

The experimental results has been showed that the logarithms of the average speed of flame propagation and average heat release rate is directly proportional to the logarithm of the electrical conductivity of the flame. Hence measuring the electrical conductivity of the flame can be used to analyze the local intensity of the combustion in the combustion chambers during their experimental finishing.

Проектирование и доводка камер сгорания (КС), особенно многозонных, требует знаний о месте и характере воспламенения топливно-воздушной смеси (ТВС), распространении пламени в объёме КС, местоположении и размеров зоны химических реакций горения и интенсивности их протекания. В настоящее время получение подобной информации возможно лишь экспериментальным путём, который достигается проведением значительного объёма испытаний. Наиболее распространены исследования на моделях КС. В этом случае нередко возникают вопросы о воспроизводимости характеристик распространения пламени, полученных на модели, в условиях КС полноразмерного двигателя. Многолетний опыт экспериментальных исследований на моделях КС и в составе газотурбинных (ГТД) и поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) показал, что наиболее тождественные результаты получаются при регистрации характеристик распространения пламени с помощью использования явления электропроводности пламени.

При сгорании углеводородных топлив зона химических реакций горения является зоной ионизации, которая состоит из положительно и отрицательно заряженных ионов и электронов, образующихся в процессе протекания цепных реакций горения. Эксперименты проводились в моделях и полноразмерных прямооточных КС ГТД в факелах пламени неоднородной и однородной ТВС, за плохообтекаемыми телами и вихревыми горелками, в форкамерах и за плохообтекаемыми телами, соединёнными с форкамерой и в КС ДВС с искровым зажиганием.

Ионизационные датчики (ИД) содержали изолированные от корпуса КС металлические электроды, вторым электродом служили элементы конструкции КС. В факеле пламени при впрыске топлива в зону циркуляции (ЗЦ) область ионизации занимала часть зоны обратных токов (ЗОТ). При сгорании бедной смеси ионный ток регистрировался вблизи кромок плохообтекаемого тела (ПОТ) или вихревой горелки, с обогащением смеси зона ионизации удалялась от кромок стабилизирующих устройств. Для всех составов смеси ионный ток в пламени начинал регистрироваться при достижении средней

температуры факела 800°C . По мере погружения ИД в ЗЦ происходил рост ионного тока. Вблизи оси ЗЦ величина ионного тока несколько снижалась, несмотря на существование в этих зонах максимальной температуры пламени. При впрыске топлива на ПОТ, когда ТВС является практически однородной, область ионизации располагается в прямом потоке ЗЦ, над кромками стабилизатора пламени, и при перемещении ИД в ЗОТ ионный ток резко падает [1]. В форкамерах, где сгорание ТВС предполагается проводить при постоянном составе смеси, зона ионизации располагается в ЗОТ, величина ионного тока показывает изменение процесса горения при изменении режима работы многозонной камеры сгорания. Так при увеличении нагрузки по зонам КС происходит уменьшение ионного тока из-за увеличения скорости потока воздуха в форкамере, вызванного перетеканием воздуха из зон, где происходит обогащение ТВС. При этом уменьшение ионного тока до величины, близкой к нулю, сопровождается местным погасанием пламени в зоне установки ИД. Установка ИД за ПОТ, соединёнными с форкамерой, позволяет получать данные о процессе сгорания и в форкамере и за ПОТ, на которые осуществляется впрыск топлива. Так как форкамера работает при коэффициенте избытка воздуха значительно меньше единицы, то пламя из форкамеры распространяется в зоны за ПОТ, где регистрируется достаточно высокий уровень ионного тока. При впрыске топлива на ПОТ после его воспламенения отмечается скачок ионного тока, величина которого определяется количеством впрыскиваемого топлива, при котором осуществляется воспламенение ТВС. Исследование влияния давления на электропроводность пламени в условиях ГТД показало отсутствие его влияния на величину ионного тока, что свидетельствует о том, что в процессе ионизации наряду с химионизацией, большую роль играет термоэмиссия электронов с раскалённых частиц сажи, присутствующих в пламени неоднородных и переобогащённых смесей. Полученные экспериментальные данные показывают, что с помощью измерения ионного тока пламени можно определять размеры, расположение зоны химических реакций горения и интенсивность их протекания.

Исследования взаимосвязи ионного тока с видимой турбулентной скоростью распространения пламени, шириной зоны турбулентного горения (ЗТГ) и токсичностью отработавших газов проведены в условиях поршневого ДВС с искровым зажиганием при работе на бензине и метане, в том числе при добавке водорода в ТВС. В исследованиях показано, что изменение скорости распространения пламени пропорционально изменению ионного тока в нём. Величина ионного тока определяется произведением массовой доли углерода в ТВС и скорости распространения пламени [2]. Ширина ЗТГ зависит от максимальной величины ионного тока в ней [3]. Показано, что скорость распространения и ионный ток пламени в объёме у свечи зажигания и в наиболее удалённой от неё зоне, соответственно, находятся в линейной зависимости.

Обработка результатов экспериментов показала, что логарифмы средней скорости распространения пламени и средней скорости тепловыделения прямо пропорциональны логарифму электрической проводимости пламени. То есть измерения проводимости пламени могут быть использованы для ана-

лиза локальной интенсивности горения в камерах сгорания в процессе их экспериментальной доводки.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания, проект №394.

Библиографический список

1. Резник В.Е., Токарев В.В., Шайкин А.П. Электропроводность факела пламени неоднородной смеси при впрыске жидкого топлива в зону циркуляции за плохообтекаемым телом. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 1977. №3. С. 93-97.
2. Шайкин А.П., Ивашин П.В., Галиев И.Р., Дерячев А.Д. К вопросу о взаимосвязи турбулентной скорости распространения и ионизации метано-водородного пламени. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 1 (31). С. 51-54.
3. Шайкин А.П., Дерячев А.Д. Взаимосвязь ширины зоны горения со скоростью распространения пламени и ионным током в условиях двигателя с искровым зажиганием. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2014. № 3 С. 82-86.

УДК 62.529

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ МАЛОРАЗМЕРНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 А.В. Кузнецов, Г.М. Макарьянц

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

A NEURAL NETWORK MODEL DEVELOPMENT ALGORITHM FOR THE MICRO GAS-TURBINE ENGINE

Kuznetsov A.V., Makaryants G.M. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The study covers the development of recurrent neural network mathematical model of micro gas turbine (MGTE) under transient conditions. In order to verify the developed model we have used thermodynamic mathematical dynamic MGTE model based on per-unit description. The engine face temperature and pressure via aircraft height and speed have been taken into account explicitly.

Для повышения отказоустойчивости малоразмерного газотурбинного двигателя (МГТД) на борту летательного аппарата (ЛА) необходимо иметь систему, которая будет дублировать существующие датчики, а также выдавать информацию о дополнительных параметрах, например, тяге, расходе воздуха через компрессор и т.п. Такой сис-

темой может служить нейросетевая модель, обученная на входных и выходных данных двигателя и воспроизводящая его статические и динамические характеристики [1]. Точность и скорость расчёта такой модели зависит от многих факторов, к которым можно отнести структуру самой сети и взаимодействие её со вспомогательной моделью,