

УДК 681.51:681.3

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

Н.В. Андриевская

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: anv@msa.pstu.ru

Т.С. Леготкина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: nedonosh@mail.ru

Ю.Н. Хижняков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: Luda@at.pstu.ru

А.А. Южаков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: uz@at.pstu.ru

О.А. Андриевский

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: olegandrievskii@gmail.com

М.Д. Кузнецов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: Kuznetcov.1997@yandex.ru

В.С. Никулин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: kalif23@yandex.ru

С.А. Сторожев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Пермский край, Комсомольский пр., 29
E-mail: Сепра5@mail.ru

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, малоэмиссионная камера, нечеткое управление, нейро-нечеткое (гибридное управление), искусственная нейронная сеть прямого распространения, фаззификация, блок логического вывода, дефаззификация,

метод разности площадей, метод обратного распространения ошибки, метод Левенберга-Маркварта.

Аннотация: В докладе рассмотрена система управления малоэмиссионной камерой сгорания газотурбинного двигателя. Входными характеристиками малоэмиссионной камеры сгорания являются следующие параметры: температура за камерой сгорания, давление в камере сгорания, коэффициент избытка воздуха, эмиссия (окись азота). Управление данными параметрами осуществляется изменением расхода топлива и распределения подачи топлива по гомогенным и диффузионным контурам (диффузионные и гомогенный факелы). Главными параметрами контроля являются эмиссия и срыв пламени. Предложена система управления малоэмиссионной камеры сгорания на основе искусственной нейронной сети.

Эффективность любого летательного аппарата зависит от совершенства системы автоматического управления силовой установки. Повышение надежности эксплуатации, экономия топлива, снижение эксплуатационных затрат силовых установок, снижение их массы и стоимости делают актуальным создание комплексных систем управления, интегрируемых по аппаратуре и по способам управления. Перспективным в этом направлении является внедрение малоэмиссионных камер сгорания для повышения тяги летательного аппарата, управляемых с применением нейро-нечетких технологий.

Малоэмиссионная камера сгорания есть существенный нелинейный и стохастический объект управления, функционирующий при запуске двигателя, подключении (отключении) гомогенных коллекторов, переходных режимах разгона-сброса, исключая срыв пламени, снижение термоакустических автоколебаний и повышенную эмиссию окиси азота с ростом температуры, при которой происходит атомарное разложение окиси азота [1, 2]

Для разработки и тренировки управления была разработана двухступенчатая математическая модель малоэмиссионной камеры сгорания, которая состоит из фронтального устройства с лопаточным завихрителем и соплами с двумя контурами подачи топлива (диффузионным и гомогенным) и топочным пространством. Через сопла осуществляется впрыск, испарение и равномерное перемешивание топливовоздушной смеси за счет поперечных пульсаций концентрации (гомогенный контур) и обеспечение устойчивости пламени (диффузионный контур) с расходом до 30% общего расхода топлива. В топочном пространстве осуществляется процесс горения. Длина топочного пространства определяется временем пребывания смеси для завершения горения.

Была предложена следующая система управления малоэмиссионной камерой сгорания (рис. 1)

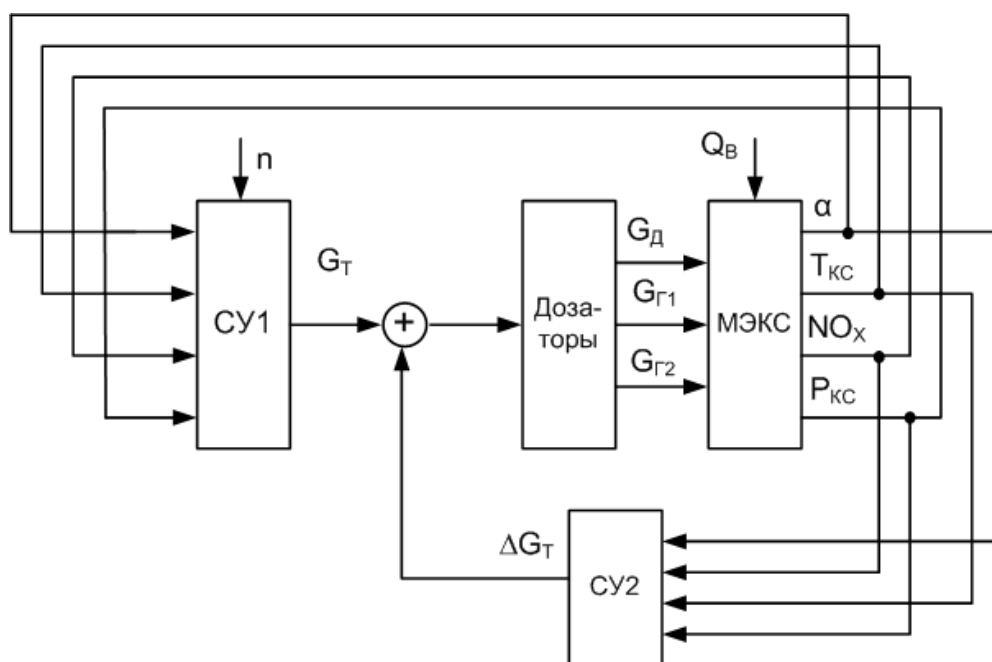


Рис. 1. Система управления малоэмиссионной камерой сгорания.

Предложена двухконтурная система управления, в которой система управления СУ1 осуществляет управление основными полетными режимами (малый газ, полетный малый газ и др.). Система управления СУ2 осуществляет устойчивый режим работы малоэмиссионной камеры сгорания в режиме допустимых значений эмиссии NO_x и избытка воздуха α . В качестве исходных параметров в системах управления выбраны: температура за камерой сгорания ($T_{\text{КС}}$), давление в камере сгорания ($P_{\text{КС}}$), коэффициент избытка воздуха (α), эмиссия (окись азота NO_x). Управление осуществляется расходом топлива (G_T) и перераспределение топлива по диффузионному и гомогенным контурам ($G_{\text{д}}$, $G_{\text{Г1}}$, $G_{\text{Г2}}$).

В качестве системы управления СУ1 предложены алгоритмы управления с использованием нейронной сети и нечеткое управление [3, 4, 5]

Нечеткое управление малоэмиссионной камерой включает фазификацию с применением асимметричных сигмоидных функций для преобразования четкой информации в нечеткую следующих параметров: температуру за камерой сгорания, давления в камере сгорания, коэффициента избытка воздуха и эмиссию (окись азота). Учитывая сложную связь между перечисленными параметрами, формируются два слоя, в которых логически вычисляются с помощью нечетких нейронов максимальные и минимальные значения произведений (нечеткая импликация). Композиция и дефазификация реализованы методом разности площадей.

Как альтернатива рассмотрена система управления малоэмиссионной камерой с помощью нейронной сети прямого распространения. Для настройки искусственной нейронной сети применялся метод обратного распространения ошибки и метод Левенберга-Марквардта [6, 7]. Исследование показало, что точность методов примерно одинаковая, но если возникает необходимость в корректировке параметров управления, то по быстрдействию предпочтительно использовать метод Левенберга - Марквардта.

Система управления СУ2 с помощью дополнительного расхода топлива (ΔG_T) обеспечивает устойчивый режим, обеспечивающий допустимые значения по эмиссии NO_x и избытка воздуха α , не допускающего «бедного» срыва пламени в камере сгорания. В качестве системы управления искусственная нейронная сеть, настроенная по методам: обратного распространения ошибки и Левенберга – Марквардта .

Разработанные эксперт-модели для тренировки разных вариантов управления (гибридного и нейронного) с применением *Matlab* и *LabVIEW* на базе программно-аппаратного комплекса *National Instrument* подтвердили правомочность принятых концепций, удовлетворяющих заданному техническому заданию.

Список литературы

1. Августинovich В. Г., Кузнецова Т. А., Фатыков А. И., Нугуманов А. Д. Концепция управления малоэмиссионной камерой сгорания авиационного ГТД и ее эксперт-модель для обучения нейронной сети смарт-регулятора // Вестник ПНИПУ «Аэрокосмическая техника». 2018 № 10. С. 5-19.
2. Lauer M., Farber J., Reith F., Masalme J.E. Model Based Prediction of Off-Design Operation Condition NOx Emission from DLE Gas Turbine Combustors // Proc. ASME Conf. Turbo Expo GT2017-63063. Charlotte, NC, USA, 2017. 11 p.
3. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем / Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
4. Ульянов С.В., Литвинцева Л.В., Добрынин В.Н., Мишин А.А. Интеллектуальное робастное управление: технологии мягких вычислений. М.: ВНИИгеосистем, 2011. 408 с.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech. М., 2005. 736 с.
6. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2004. 344 с.
7. Хижняков Ю.Н. Нечеткое, нейронное и гибридное управление / Учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. 303 с.