

Адаптивное нечеткое управление авиационным двигателем
ТИТОВ Ю.К.,
ОАО «СТАР», Пермь,
Научный руководитель: профессор, д.т.н. ХИЖНЯКОВ Ю.Н.,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь

Рассматривается вопрос адаптивного управления авиационным двигателем при отсутствии его математического описания с применением нейронной технологии на примерах регулирования температуры газов за турбиной низкого давления и регулирования частоты вращения ротора вентилятора. Показано, что оба параметра авиационного двигателя как в статике, так и в динамике отвечают требованиям технической эксплуатации.

Ключевые слова: авиационный двигатель, адаптивное управление, нейронная технология.

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие и практическое применение адаптивных систем для целей управления и регулирования многих технических объектов, в частности авиационного двигателя.

Эффективность любого летательного аппарата зависит от совершенства системы автоматического управления силовой установки. Повышение надежности эксплуатации, экономии топлива, снижение эксплуатационных затрат силовых установок на базе турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД), снижении их массы и стоимости делают актуальным создание комплексных систем управления, интегрируемых по аппаратуре и по способам управления двигателем [1].

Актуальность разработки адаптивных регуляторов с применением нейронной технологии в условиях неопределенности математического описания авиационного двигателя определяется следующим:

- при проектировании регуляторов авиационного двигателя разработчики не учитывают индивидуальные характеристики двигателя, а ориентируются на среднестатистическую статическую характеристику, которая задана в виде приближенной передаточной функции с переменными параметрами;
- не учитываются неконтролируемые возмущения, возникающие как в объекте управления (авиационном двигателе), так и в исполнительных механизмах (например, неконтролируемое изменение расхода топлива в дозаторе);
- явно нелинейный объект (авиационного двигателя с некорректным математическим описанием) управляется классическими (П-, ПИ-, ПИД-) регуляторами с набором настроек, заданных жестким массивом;
- отсутствие адаптации к переменным внешним условиям исключает экономный расход топлива и тем самым исключает увеличение дальности полета летательного аппарата.

В настоящее время известны следующие методы адаптации САУ при отсутствии математического описания объекта:

- беспоисковые прямые адаптивные системы;
- метод активной адаптации (гибкая эталонная модель);
- гибридные системы регулирования (обучение нечеткого регулятора с помощью нейронных сетей);
- нейронные сети прямого распространения (сети ANFIS, TSK, Ванга-Менделя и т.д.);
- метод адаптации нейрона с последовательным обучением [3].

В дальнейшем рассмотрим методику проектирования адаптивных регуляторов авиационного двигателя в условиях неопределенности его математического описания с применением метода адаптации с последовательным обучением.

Рассмотрим объект исследования. Специфика проектирования системы управления авиационного двигателя требует выбора регулирующего органа (дозатора), датчика температуры за турбиной низкого давления, датчика частоты вращения ТРДД и т.д.

Рассмотрим возможные варианты решения данной задачи.

В качестве выбора дозатора с обратной связью управление последним возможно с помощью ПИ-регулятора, где интегральная составляющая закона регулирования запоминает текущее значение подачи топлива от выбранного селектором контура управления.

В случае выбора дозатора без обратной связи (неисправность, которого определяется неисправностью датчика обратной связи) для управления возможно применение ПД-закона регулирования, где интеграл, связанный с перемещением дозирующей иглы также запоминает текущую

подачу топлива от выбранного селектором контура управления. При этом хорошо выполняется согласование между контурами управления авиационного двигателя.

В качестве датчика частоты вращения ротора вентилятора возможно использовать уравнение динамики с последующим интегрированием сигнала второй производной.

В качестве датчика температуры возможно использование батареи термодпар, установленных за турбиной низкого давления.

Учитывая неопределенность математического описания авиационного двигателя с известным математическим описанием регулирующего органа и датчиков возможно применение нечеткого и нейронного управлений.

Рассмотрим контур регулирования температуры газа за турбиной низкого давления, структурная схема которого приведена на рис. 1.

Контур содержит регулятор температуры, селектор, дозатор, ТРДД, датчик температуры, который не показан. Регулятор температуры содержит адаптивный нейрон и блок активации, где в качестве активационных функций принят гиперболический тангенс.

Адаптивный нейрон содержит фаззификатор, синапсы по числу проекций входного вектора на выходе фаззификатора, сумматор, элемент сравнения, блок адаптации для настройки синапсов. Блок адаптации реализует алгоритм с последовательным обучением.

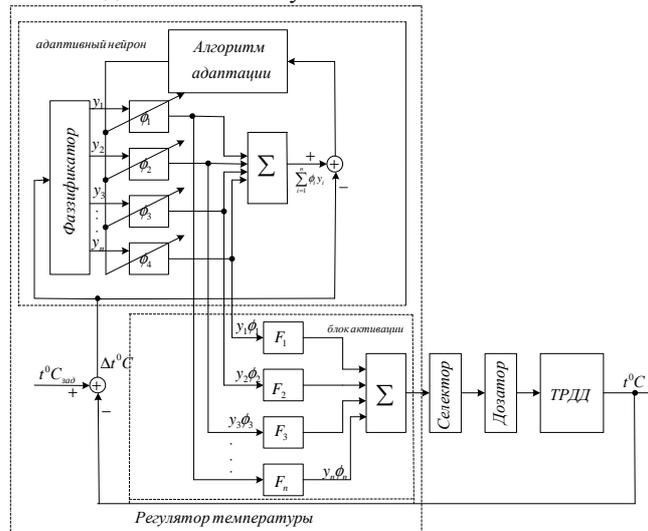


Рис. 1. Структурная схема контура температуры газа

На базе нейрона создана следящая система, заданием которой является случайная величина, например, отклонение температуры газа от заданного значения. Задача следящей системы, меняя синапсы проекций входного вектора (выход фаззификатора), обрабатывать отклонения между выходом сумматора нейрона и заданием его следящей системы с помощью итерационной процедуры с переменным шагом (алгоритм адаптации Уидроу-Хоффа). Алгоритм адаптации подстраивает синапсы входного вектора так, чтобы свести ошибку до малой величины. Процедура это организуется сведением к минимуму квадрата ошибки. Достоинством алгоритма адаптации Уидроу-Хоффа является отсутствия ограничения на вид функций принадлежности (терм) и их расположение в нормированном интервале, а недостаток – сравнительно низкое быстродействие из-за большого числа итераций при малом выбранном шаге и потеря устойчивости при выборе большого шага с целью повышения быстродействия адаптации.

Предлагается метод адаптации с минимальными итерациями или метод с последовательным обучением. Данный метод относится к методам последовательной идентификации линейных систем в реальном времени. Метод последовательного обучения отличается от метода стохастической аппроксимации характеристиками сходимости. Этот метод удобно применять для процессов с медленно изменяющимися параметрами. Основное преимущество метода последовательного обучения состоит в простоте алгоритма адаптации. Настройка синапсов осуществляется с помощью рекуррентной формулы [6]:

$$h_{j+1} = h_j + C(x_j - x_{jm}) \frac{u_j}{u_j^T u_j}, \text{ при } 0 < C < 2. \quad (1)$$

Задача блока адаптации состоит в изменении коэффициентов (синапсов) нейрона ϕ_i с целью обработки отклонения между выходом сумматора нейрона и сигналом ΔT_T , представляющим разность сигналов задания и выхода объекта. Алгоритм адаптации подстраивает коэффициенты ϕ_i так, чтобы свести ошибку $e(k) = \Delta T_T - \sum \phi_i y_i$ до некоторой заданной малой величины.

Терм-множество фаззификатора адаптивного нейрона показано на рис.2,а. Фаззификация выполнена на синглетонной базе, где синглетон синхронно перемещается с входным сигналом. Синглетон есть унимодальная функция принадлежности [4].

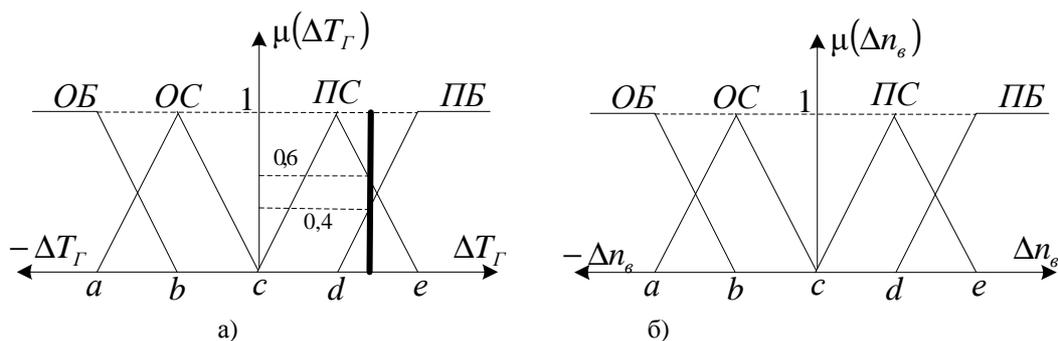


Рис. 2. Терм-множество фаззификатора:

- а) терм-множество фаззификатора по температуре газа;
 б) терм-множество фаззификатора по частоте вращения ротора вентилятора

На рис. 3 приведены осциллограммы переходного процесса в контуре температуры газа с терм-множеством фаззификатора регулятора (см. рис.3), где показано изменения температуры газа за турбиной низкого давления при изменении $\alpha_{pyд} = 0 - 53 \text{ град}$.

Осциллограмма подтверждают работоспособность разработанного адаптивного регулятора температуры газа.

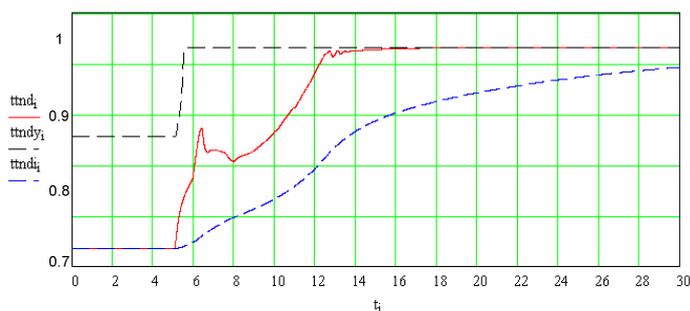


Рис. 3. Осциллограмма фактического изменения температуры газа за турбиной низкого давления:

- ttnd-текущее значение изменение температуры газа;
 ttndy- установочное значение температуры газа

последовательного обучения, синапсы по числу проекций входного вектора, терм-множество фаззификатора (см. рис. 2,б), дозатор с обратной связью и датчиком частоты вращения вентилятора (на схеме не показан) и дефаззификатор.

Рассмотрим пример построения контура с применением регулятора частоты вращения ротора вентилятора, показанного на рис.4.

Структурная схема регулятора частоты вращения ротора вентилятора ТРДД содержит аналогичный адаптивный нейрон с алгоритмом

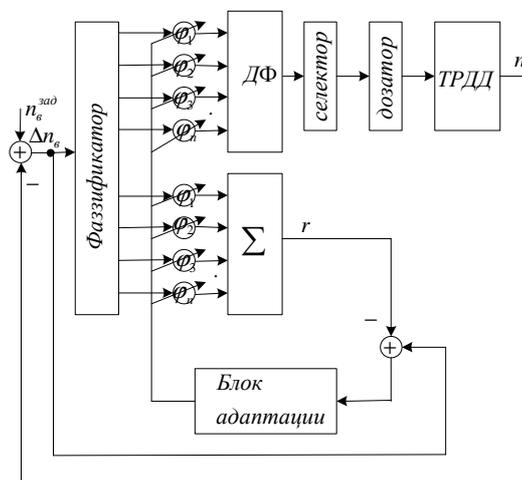


Рис.4. Структурная схема контура частоты вращения ротора вентилятора авиационного двигателя: ДФ – дефаззификатор
 Дефаззификация нечеткого адаптивного регулятора происходит по методу центраида:

$$x_{c1} = \frac{\sum_i \mu_i Q_i}{\sum_i \mu_i},$$

где i – число терм терм-множеств фаззификатора и дефаззификатора; μ_i – степень принадлежности Q_i – соответствующее значения термы дефаззификатора.

На рис. 5 приведена осциллограмма изменения частоты вращения ротора вентилятора ТРДД.

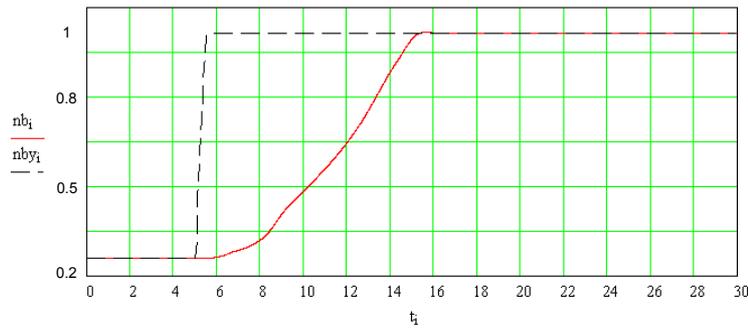


Рис. 5. Программное и фактическое значения частоты вращения ротора вентилятора ТРДД:
 nb - текущее значение изменения частоты вращения ротора вентилятора;
 nby - установочное значение частоты вращения ротора вентилятора

Заключение

1. Адаптивность управления авиационного двигателя подтверждается разработкой адаптивного регулятора частоты вращения ротора вентилятора и адаптивного регулятора температуры газа за турбиной низкого давления.

2. Вновь спроектированный адаптивный регулятор температуры газа за компрессором низкого давления с применением нейронной технологии, обладая астатическими свойствами, исключает ошибку регулирования в статике, парирует контролируемые и неконтролируемые возмущения с максимальным быстродействием на всех режимах работы авиационного двигателя.

3. Вновь спроектированный адаптивный регулятор частоты вращения ротора вентилятора ТРДД с применением нейронной технологии обеспечивает заданное техническим заданием качество управления при изменении по ресурсу характеристик двигателя, как объекта управления. Регулятор парирует контролируемое и неконтролируемое изменение параметров объекта регулирования в условиях воздействия возмущающих факторов. Регулятор, обладая астатическими свойствами, исключает ошибку регулирования в статике. Переходные процессы при увеличении частоты вращения ротора вентилятора имеют апериодический характер и обеспечивает асимптотический запас устойчивости системы.

Используемая литература

1. Сняков А.Н., Шаймарданов Ф.А. Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками. – М.: Машиностроение, 1991.– 320 с.
2. Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. – 244 с.
3. Леготкина Т.С. Данилова С.А. Методы идентификации систем. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – С. 48–50.

Adaptive indistinct control of the aviation engine

Titov V Yu.K., JSC STAR, Perm, titan60@perm.ru

Chizhnyakov Yu.N., Perm national research polytechnical university, Perm, H1941@yandex.ru

Рассматривается вопрос адаптивного управления авиационным двигателем при отсутствии его математического описания с применением нейронной технологии на примерах регулирования температуры газов за турбиной низкого давления и регулирования частоты вращения ротора вентилятора. Показано, что оба параметра авиационного двигателя как в статике, так и в динамике отвечают требованиям технической эксплуатации.

Ключевые слова: авиационный двигатель, адаптивное управление, нейронная технология.

The question of adaptive control of the aviation engine in the absence of its mathematical description with application of neural technology on examples of regulation of temperature of gases behind the turbine of low pressure and regulation of frequency of rotation of a rotor of the fan is considered. It is shown that both parameters of the aviation engine both in a statics and in dynamics meet the requirements of technical operation.

Keywords: aviation engine, adaptive management, neural technology.

References

1. Sinyakov A.N., Shaymardanov F.A. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya letatel'nymi apparatami i ich silovymi ustanovkami* [Systems of Automatic Control of Aircrafts and their Power Devices]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991, 320 p.
2. Antonov V. N., Terechov V.A., Tyukin I.Yu. *Adaptivnoe upravlenie v technichskikh sistemach. Uchebnoe posobie* [Adaptive Control in Technical Systems. Manual]. SPb.: ShBU Publ., 2001, 244 p.
3. Legotkina T.S. Danilova S. A. *Metody identifikatsii sistem* [Methods of System Identification]. Perm, Perm GSU Publ., 2008, pp. 48–50.