

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПОЛУНАТУРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГТД В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Т. Р. Богданов¹, А. И. Абдулнагимов²

¹ timur.bogdanov.97@inbox.ru, ² abdulnagimov@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Рассматривается создание математической модели газотурбинного двигателя на основе рекуррентной нейронной сети в среде MATLAB. Описывается методика построения нейросетевой модели и особенности моделирования работы ГТД в реальном масштабе времени. Приводятся результаты моделирования параметров двигателя. Дан анализ точности и адекватности построенной модели.

Ключевые слова: ГТД; динамическая модель; рекуррентная нейронная сеть; моделирование в реальном времени.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование, тестирование и отладка систем автоматического управления газотурбинными двигателями (САУ ГТД) требует проведения трудоемких и дорогостоящих испытаний на реальном двигателе. Современные технологии позволяют заменить реальный двигатель его математической моделью. В настоящее время применяются стенды полунатурного моделирования и тестирования для разработки цифровых систем автоматического управления силовыми установками.

Актуальность работы обусловлена необходимостью использования новых цифровых технологий в нелинейном математическом моделировании сложных технических систем для создания более адекватных моделей ГТД на полунатурном стенде, что сказывается на снижении временных затрат на процессе моделирования ГТД, а также процессах проектирования и отладки их САУ.

Целью работы является повышение эффективности идентификации и моделирования параметров ГТД.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Современные авиационные двигатели представляют собой сложные нелинейные динамические системы с взаимным влиянием газодинамических и теплофизических процессов, протекающих в его узлах. Для моделирования таких процессов предлагается использовать математический аппарат в виде искусственных нейронных сетей (НС). Обзор литературы показывает, что НС используются для решения различных задач и показывают высокую точность в том числе и в задачах моделирования и идентификации сложных технических систем. В [1] описывается разработка нейросетевой модели малоразмерного газотурбинного двигателя с использованием рекуррентной нейронной сети, а также результаты моделирования. В [2] описываются особенности построения нейросетевой модели ГТД, работающей в реальном масштабе времени, приводится оценка эффективности построенной модели.

Данная работа является продолжением работы [2] и посвящена усовершенствованию метода и улучшению точности модели.

Для моделирования параметров работы ГТД предлагается использовать рекуррентную нейронную сеть с учителем в среде MATLAB.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ГТД

Методика построения нейросетевой модели работы ГТД состоит из следующих этапов:

- 1) выбор данных для обучения нейросети;
- 2) предварительная обработка исходных данных;
- 3) выбор архитектуры и структуры нейронной сети;
- 4) настройка различных параметров нейросети;
- 5) обучение и тестирование нейросети;
- 6) импорт модели в среду Simulink и тестирование в реальном масштабе времени.

В качестве исходных данных для создания нейросетевой модели были использованы результаты испытаний турбореактивного двухконтурного двигателя со стенда полунатурного моделирования. В качестве входных данных использовались данные расхода топлива $G(t)$, в качестве целевых – пнд (частота вращения ротора низкого давления), пвд (частота вращения ротора высокого давления), $T_{ТНД}$ (температура за турбиной низкого давления), p_k (давление за компрессором) и $\alpha_{РНА}$ (регулятор направляющих аппаратов). Для обучения НС были выбраны данные 6 параметров на разных режимах работы, по 50000 значений для каждого.

Архитектурой НС для решения задачи моделирования параметров работы ГТД бы-

ла выбрана нелинейная авторегрессионная нейронная сеть с внешним входом NARX.

Наличие обратной связи и временных задержек (delays) в этой сети позволит построить адекватную модель ГТД.

Была определена оптимальная структура нейросети, способная обеспечить точное моделирование параметров работы ГТД. Сеть имеет 2 слоя и 30 нейронов в скрытом слое, 1 входной и 5 выходных параметров. Количество задержек – 1 и 12 для входного и целевых параметров соответственно. Функциями активации сети являются Tansig и Purelin.

Новизна данной работы заключается в применении очень маленьких весовых коэффициентов при инициализации сети, алгоритма Байесовской регуляризации (trainbr), а также использовании весов ошибок (error weights) для последовательного их вычисления во время обучения для улучшения качества обучения.

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ

Для определения точности работы НС были использованы новые данные, отличные от тех, что использовались при обучении, а именно новая выборка, состоящая из 6*33400 значений. Средняя ошибка аппроксимации составила 0,2 % для пнд (рис. 1); 0,06 % – для пвд; 0,15 % – для $\alpha_{РНА}$; 0,15 % – p_k и 0,13 % – для $T_{ТНД}$ (рис. 2), что свидетельствует о том, что данная модель более точно моделирует параметры работы ГТД по сравнению с моделью, разработанной в [2].

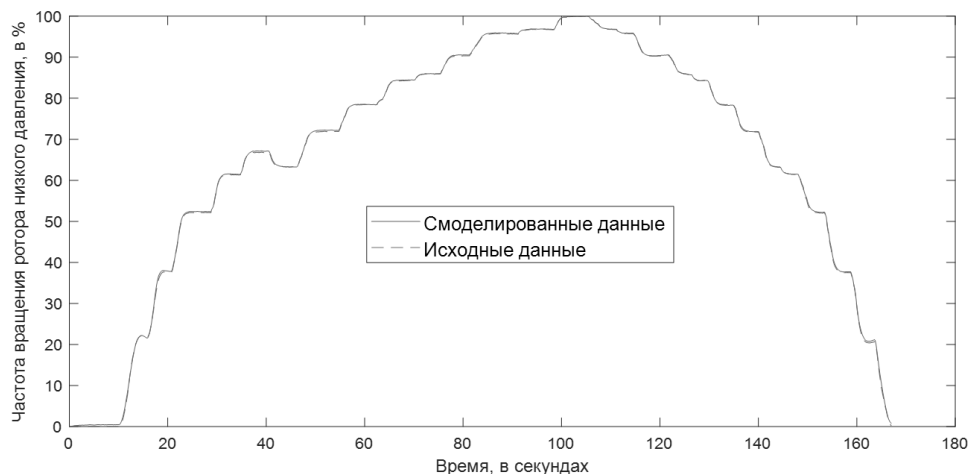


Рис. 1. Сравнение исходного и смоделированного графиков параметра пнд

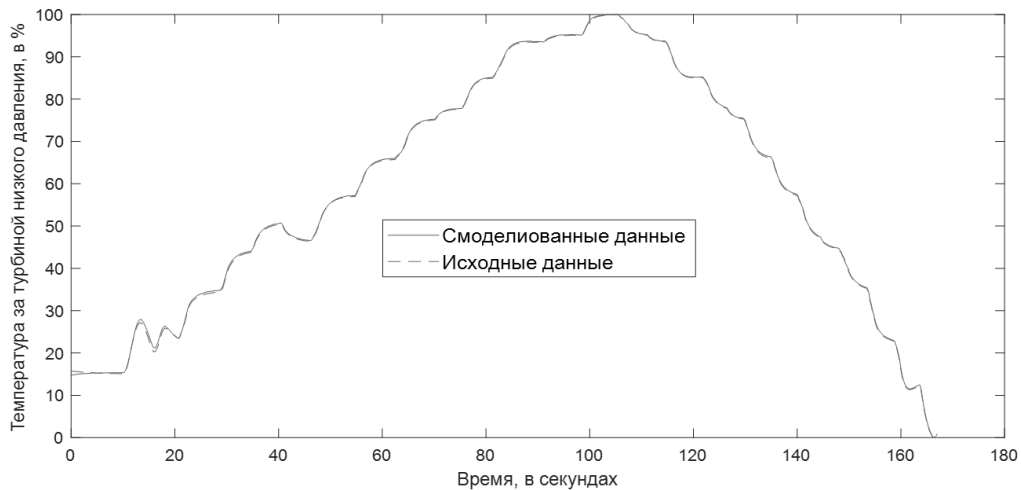


Рис. 2. Сравнение исходного и смоделированного графиков параметра $T_{нд}$

Для моделирования в реальном масштабе времени была использована графическая среда Simulink, интегрированная в Matlab, позволяющая создавать динамические модели. На рис. 3 представлена модель ГТД, реализованная в Simulink, а также результаты моделирования. Частота дискретизации значения расхода топлива $G(t)$ равна 200 Гц. Процесс моделирования занимает 167 секунд, происходит синхронизация в реальном масштабе времени и одновременное моделирование всех параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработана методика построения нейросетевых моделей ГТД, продемонстрирована модель, воспроизводящая параметры двигателя по расходу топлива. Применение методики позволит ускорить процесс моделирования параметров ГТД. Направлением дальнейшего развития является создание многорежимной модели, учитывающей большее количество входных параметров.

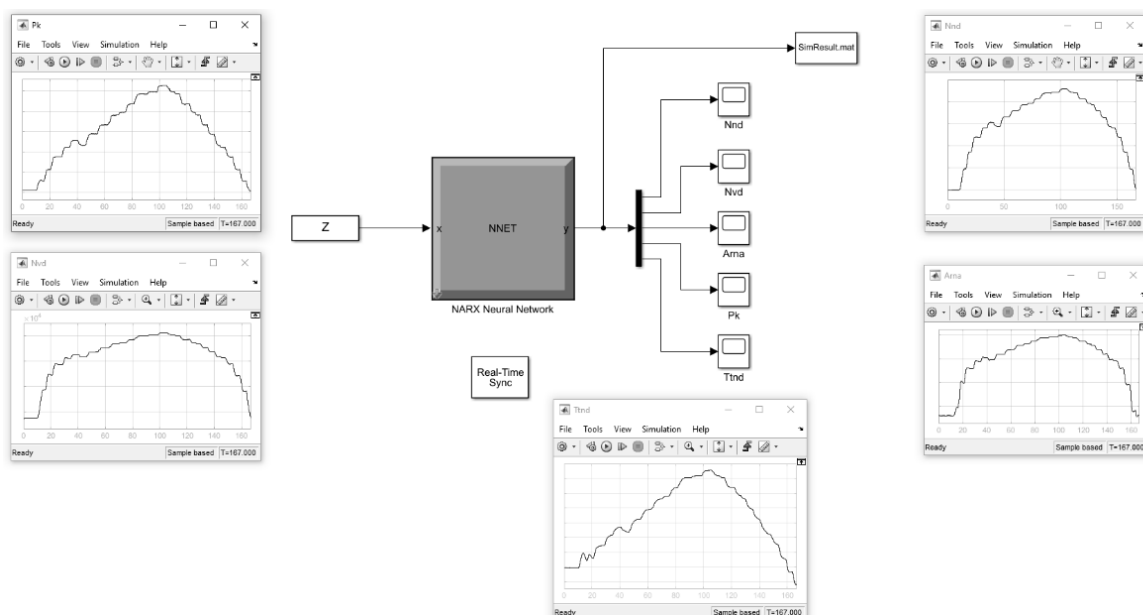


Рис. 3. Нейросетевая модель ГТД, реализованная в Simulink

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. В., Макарьянц Г. М. Разработка нейросетевой модели малоразмерного газотурбинного двигателя / Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета), 2016. Т. 15, № 2. 131–144 с. [A. V. Kuznetsov, G. M. Makaryants "Development of a neural network model of a micro gas turbine engine" (in Russian), in Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta, vol. 15, no. 2, pp. 131-144, 2016.]

2. Хасанова А. Р., Абдулнагимов А. И. Особенности построения нейросетевой модели ГТД, работающей в реальном масштабе времени / Молодежный Вестник УГАТУ, 2018. № 2(19). 95–98 с. [A. R. Khasanova, A. I. Abdunagimov "Features of building a real-time neural network model of GTE" (in Russian), in Molodezhnyj Vestnik UGATU, Ufa, Russia, 2018, no. 2(19), pp. 95-98.]

ОБ АВТОРАХ

БОГДАНОВ Тимур Рустемович, магистрант 1-го курса факультета ИРТ, каф. АСУ. Дипл. бакалавра прикладной информатики (УГАТУ, 2019).

АБДУЛНАГИМОВ Ансаф Ирекович, доц. каф. АСУ. Дипл. магистра техн. и технол. (УГАТУ, 2007). Канд. техн. наук по сист. анализу и управлению (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. автоматич. упр., идентификации и сист. безопасности авиац. двигателей.

METADATA

Title: Application of neural networks technologies in identification and semi-natural modeling GTE in real time

Authors: T. R. Bogdanov ¹, A. I. Abdunagimov ²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ timur.bogdanov.97@inbox.ru,

² abdunagimov@yandex.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 14-17, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The creation of a mathematical model of a gas turbine engine based on a recurrent neural network in MATLAB is considered. The technique of constructing a neural network model and the features of modeling gas turbine engine operation in real time are described. The results of modeling engine parameters are presented. The accuracy and adequacy of the constructed model is analyzed.

Key words: Gas turbine engine; dynamic model; recurrent neural network; real-time simulation.

About authors:

BOGDANOV, Timur Rustemovich, master's student, Bachelor of Applied Informatics (USATU, 2019). Scientific interests: machine learning.

ABDULNAGIMOV, Ansaф Irekovich, associate professor of automated control and management systems department. Master of Technics & Technology (USATU, 2007). Dr. of Tech. Sci. in syst. analysis and control (USATU, 2012). Scientific interests: automatic control, identification and system safety of aircraft engines.