

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ В МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Д. М. ЕФИМОВА

dasha.yefimova.96@inbox.ru

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

**Аннотация.** Рассматривается проблема контроля вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания газотурбинного двигателя (ГТД). Формулируются задачи, которые необходимо решить для проектирования системы контроля вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания ГТД. Для решения сформулированных задач предлагается применить искусственные нейронные сети, обученные с помощью метода обратного распространения ошибки, которые позволят прогнозировать возникновение и прекращение вибрационного горения.

**Ключевые слова:** контроль; вибрационное горение; газотурбинный двигатель; малоэмиссионная камера сгорания; искусственные нейронные сети.

### ВВЕДЕНИЕ

Главной проблемой создания малоэмиссионных камер сгорания ГТД (камер сгорания с низким содержанием оксидов азота в выхлопных газах) является обеспечение их надежной и эффективной работы в составе энергетических установок, рис. 1.

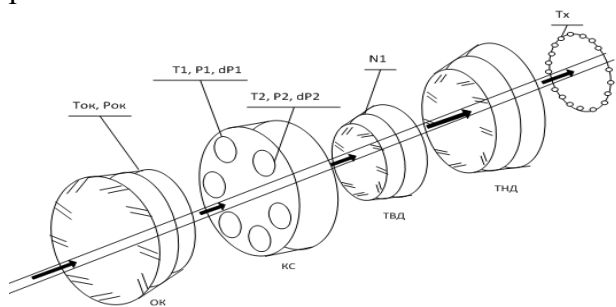


Рис. 1. Структурная схема энергетической установки

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

- ОК – осевой компрессор;
- КС – камера сгорания;
- ТВД, ТНД – турбина высокого и низкого давления;
- $T_{ок}$  – температура воздуха за осевым компрессором;
- $P_{ок}$  – давление воздуха за осевым компрессором;

- $T_1, T_2$  – температура воздуха перед первой и второй камерами сгорания;
- $P_1, P_2$  – давление воздуха перед первой и второй камерами сгорания;
- $dp_1, dp_2$  – перепад давления на стенке первой и второй камер сгорания;
- $N_1$  – обороты турбины высокого давления;
- $T_x$  – температура на выхлопе.

Одним из неустойчивых режимов работы камеры сгорания является вибрационное горение. Вибрационное горение (ВГ) – вид неустойчивого горения, характеризующийся автоколебаниями газа в камере сгорания ГТД. Причинами вибрационного горения является чувствительность смесеобразования, вихреобразования и горения к колебаниям газа в камере сгорания. Следствием возникновения вибрационного горения может явиться разрушение конструкции газотурбинной установки [1].

Для контроля вибрационного горения в данной работе предлагается применить искусственные нейронные сети (ИНС) [2].

Использование искусственной нейронной сети позволит решить следующие задачи:

1. Определить критические области значений измеряемых параметров ГТД, которые фиксируются датчиками при возникновении вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания ГТД;

2. Определить предельные скорости изменения измеряемых параметров ГТД по траекториям в направлении к критическим областям при возникновении вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания ГТД;

3. Прогнозировать возникновение и прекращение вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания ГТД;

4. Выявить причины и условия возникновения вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания ГТД;

5. Получить модель процессов, происходящих в малоэмиссионной камере сгорания ГТД.

Алгоритм построения искусственных нейронных сетей включает следующие этапы [3]:

Этап 1. Определение типа и классов распознаваемых образов, а также набора измеряемых параметров.

Этап 2. Выбор способа преобразования измеряемых параметров образов во входной вектор числовых величин и представления набора классов образов в виде вектора выходных величин.

Этап 3. Проектирование архитектуры искусственной нейронной сети (определение количества слоев, количества нейронов в каждом слое, выбор типа связей между нейронами, выбор функции активации).

Этап 4. Обучение сети – уточнение значений весовых коэффициентов связей на основе многократного прогона обучающих примеров через сеть.

Этап 5. Тестирование сети с помощью контрольного набора примеров для оценки качества выбранной архитектуры и степени обучения.

Обучение искусственных нейронных сетей проводится с помощью метода обратного распространения ошибки [4]:

1. Весам сети присваиваются небольшие начальные значения;

2. Входной вектор ( $T_{ок}$ ,  $P_{ок}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $dP_1$ ,  $dP_2$ ,  $N_1$ ,  $T_x$ ) из обучающей выборки подается на вход сети;

3. Вычисляется выход сети («наличие ВГ», «начало развития ВГ», «отсутствие ВГ»);

4. Вычисляется разность между желаемым и вычисленным выходом сети;

5. Веса сети корректируются, чтобы минимизировать ошибку;

6. Шаги со 2 по 5 повторяются для каждой пары обучающего множества до тех пор, пока ошибка не достигнет приемлемой величины.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение поставленных задач с применением искусственных нейронных сетей, обученных с помощью метода обратного распространения ошибки, позволит спроектировать систему контроля вибрационного горения в малоэмиссионной камере сгорания ГТД.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Третьяков Д. В.** Контроль вибрации пламени в камере сгорания газотурбинных ГПА // Газотурбинные технологии. - 2016. - № 1 (136). - С. 10–14. [D.V. Tretyakov, «Flame vibration Control in the combustion chamber of gas turbine gas pumping unit,» in *Gazoturbinnye tekhnologii*. - 2016. - №. 1 (136). - pp. 10-14.]

2. **Применение** средств интеллектуального анализа данных (*DataMining*) для исследования неполно определенных систем / В. С. Аbruков [и др.] // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 233–241. [V. S. Abruakov, et al., «Application of data mining tools for research of partially defined systems», (in Russian), In *Vestnik Chuvashskogo universiteta*. 2008. №. 2. pp. 233-241.]

3. **Искусственные** нейронные сети. Процедура построения искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/iis/lecture/tema16> (дата обращения 06.11.2019). [*Artificial neural network. Procedure for building artificial neural networks* [Online]. Available: <https://www.sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/iis/lecture/tema16>]

4. **Обучение** ИНС. Обучение с учителем. Алгоритм обратного распространения ошибки [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/19\\_398677\\_obuchenie-ins-obuchenie-s-uchitelem-algoritm-ob-ratnogo-rasprostraneniya-oshibki.html](https://studopedia.ru/19_398677_obuchenie-ins-obuchenie-s-uchitelem-algoritm-ob-ratnogo-rasprostraneniya-oshibki.html) (дата обращения 22.12.2019). [*Learning the artificial neural networks. Learning with a teacher. The algorithm of back propagation of error* [Online]. Available: [https://studopedia.ru/19\\_398677\\_obuchenie-ins-obuchenie-s-uchitelem-algoritm-obratnogo-rasprostraneniya-oshibki.html](https://studopedia.ru/19_398677_obuchenie-ins-obuchenie-s-uchitelem-algoritm-obratnogo-rasprostraneniya-oshibki.html)]

**ОБ АВТОРЕ**

**ЕФИМОВА Дарья Михайловна**, магистрант 2-го курса факультета ИРТ, группы ИСУ-208м

**METADATA**

**Title:** Application of artificial neural networks for controlling vibration burning in a low-emission combustion chamber of a gas turbine engine

**Author:** D. M. Efimova

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** dasha.yefimova.96@inbox.ru,

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 69-71, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The problem of controlling vibration burning in a low-emission combustion chamber of a gas turbine engine is considered. The tasks that need to be solved for the design of a vibration combustion control system in a low-emission combustion chamber of a gas turbine engine are formulated. To solve the tasks formulated, it is proposed to use artificial neural networks trained by the method of error back propagation, which will allow predicting the occurrence and termination of vibrational burning.

**Key words:** Control; vibration burning; gas turbine engine; low-emission combustion chamber; artificial neural networks.

**About author:**

**EFIMOVA, Darya Mikhailovna**, 2nd year master's student of the faculty of computer science and robotics, ISU-208m group