

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОФИЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ДЛЯ РЕШЕТКИ ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Волков А.А.

ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, a44rey@yandex.ru

Ключевые слова: решётка турбины, модель профильных потерь, нейронная сеть.

Для оценки профильных потерь в решётках турбин существующие модели можно разделить на 2 класса:

- 1) статистические (основаны на экспериментальных исследованиях множества решеток турбин);
- 2) полуэмпирические (расчёт пограничного слоя с применением эмпирических зависимостей).

Модели полуэмпирические в настоящий момент получили себе замену в виде численных моделей для расчета пространственного течения с учётом вязкости (3D расчет).

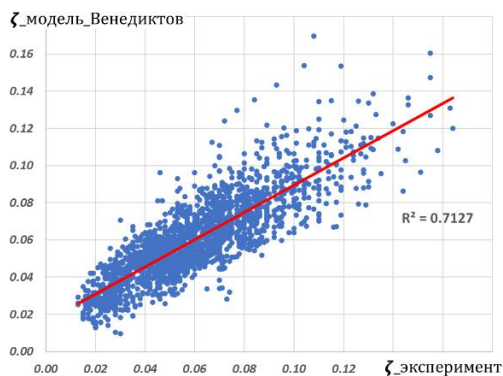
Наибольший интерес с точки зрения формирования модели потерь для 1D расчета турбин, представляют модели статистические, среди которых можно отметить модель потерь Венедиктова [1], а также модели потерь зарубежных авторов: Соделберга [2,3,4], Анлея и Метисона [2,3,4,5], Данхема и Кейма [4], Какера и Окапу [5]. Модели потерь данных авторов на основе кинематики потока, а также геометрических параметров профиля позволяют оценить профильные потери в решётке турбины.

Анализ открытых источников показал, что для создания моделей потерь использовались регрессионные модели, но не найдено автора, который бы использовал нейронную сеть для формирования модели профильных потерь турбинной решётки.

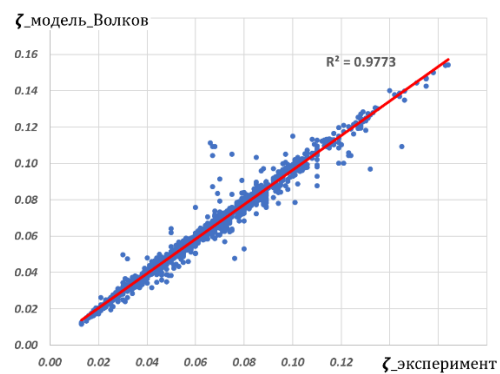
В качестве модели потерь для сравнения с новой разработанной моделью выбрана модель потерь Венедиктова. Данная модель основана на результатах продувки более 170 плоских решёток турбин. Модель, а также коэффициенты к ней подробно описаны в книге В.Д. Венедиктова «Газодинамика охлаждаемых турбин», геометрические параметры, координаты профилей решёток, а также полученные результаты экспериментального исследования плоских охлаждаемых и неохлаждаемых решёток турбин представлены в атласе «Экспериментальных характеристик плоских решёток охлаждаемых газовых турбин». По данным книги и атласа выполнено создание модели потерь. Для всех профилей, представленных в атласе выполнен расчет потерь.

На рис. 1(а) представлена оценка точности модели потерь Венедиктова. Для этого определен коэффициент корреляции Пирсона между значением потерь, полученным по модели и математическим ожиданием потерь, полученным по экспериментальным данным для различных значений приведенной изоэнтропической скорости на выходе из плоской решётки. Видно, что модель потерь Венедиктова имеет коэффициент корреляции 0,71, и стандартную ошибку 0.0139.

По данным, представленным в атласе профилей решёток охлаждаемых турбин [1], выполнялось обучение нейронной сети, в качестве входных данных используются те же параметры, что в модели Венедиктова. Новая модель потерь представляет из себя полносвязную нейронную сеть. Для поиска весовых коэффициентов применен оптимизатор Nadam. Обучение модели выполнялось с применением метода обратного распространения ошибки с помощью оценки среднеквадратичной ошибки между результатом, полученным по модели и истинным (экспериментальным) значением. При обучении также применялось разделение выборки на обучающую и тестовую, а также кросс-валидация. На рис. 1(б) представлена оценка точности новой модели потерь.



а) Модель потерь Венедиктова



б) Новая модель потерь

Рисунок 1 – Оценка точности моделей потерь

Видно, что модель потерь Волкова имеет коэффициент корреляции 0,98 и стандартную ошибку 0,0042, что в 3 раза меньше, чем у модели Венедиктова. Модель в области потерь 0,06...0,08 имеет некоторую значительную дисперсию, уменьшить которую возможно изменением настроек модели или предварительной работой с данными, что требует отдельного исследования.

Таким образом, на данном этапе работы получена модель профильных потерь, которая позволяет в 3 раза точнее оценивать значения потерь. Данная модель может быть использована при проектировочных и доводочных расчетах осевых турбин.

Выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Самарской области.

Список литературы

1. Венедиктов В.Д. Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин / В.Д. Венедиктов, А.В. Грановский // ЦИАМ. 1990. 393 с.
2. Horlock J.H. Axial Flow Turbines. М.: Машиностроение, 1972. 208 с.
3. Dahlquist A.N. Investigation of Losses Prediction Methods in 1D for Axial Gas Turbines // Institute of Technology Lund University. Sweden, 2008. 192 p.
4. Dunham J. Improvements to the Ainley-Mathieson Method of Turbine Performance Prediction / J. Dunham, P.M. Came // ASME Journal of Engineering for Power. 1992. № 3. P. 252-256.
5. Kacker S.C. A Mean Line Prediction Method for Axial Flow Turbine Efficiency / S.C. Kacker, U. Okaup // ASME Journal of Engineering for Power. 104(2). pp. 111-119.

Сведения об авторах

Волков А.А., начальник бригады. Область научных интересов: исследование рабочих процессов в лопаточных машинах.

NUMERICAL SIMULATION OF COMPRESSOR CHARACTERISTIC WITH CASING TREATMENT DEVELOPMENT OF A PROFILE LOSS MODEL FOR THE AXIAL TURBINE GRID WITH THE APPLICATION OF A NEURAL NETWORK

Volkov A.A., JSC Kuznetsov, Samara, Russia,
a44rey@yandex.ru

Keywords: turbine, profile loss model, neural network.

The paper briefly describes approaches for estimating profile losses in axial turbines. It is shown that the existing model for estimating losses has a significant discrepancy with the experimental data.

A new loss model created using a neural network is presented. The new loss model has a smaller discrepancy with experimental data and can be used in design and finishing calculations.