

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЕЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ

А.В. Лысенков, С.В. Матяш, В.В. Ореховский

ФАУ ЦАГИ, г. Жуковский Московской обл., lysenkov@tsagi.ru

Современные методы вычислительной аэродинамики (CFD) с использованием многопроцессорной вычислительной техники позволяют получать достоверные данные, точность которых достаточна для этапа проектирования [1]. Методы, основанные на решении уравнений RANS, позволяют получать характеристики в том числе и на нелинейных режимах до наступления сильных отрывных течений. Однако расчеты с использованием таких методов все еще остаются «дорогими» в смысле времени вычислений. При обработке и анализе полученных данных возникают задачи по быстрому получению характеристик в тех точках, в которых не было проведено расчетов, по выявлению основных закономерностей, по поиску оптимальных геометрий и по прогнозированию возможных улучшений характеристик. Все эти задачи могут быть решены с использованием методов машинного обучения [2]. В данной работе рассматривается обучение глубоких нейронных сетей (Deep Neural Networks) для аппроксимации характеристик профилей, в том числе на предотрывных режимах.

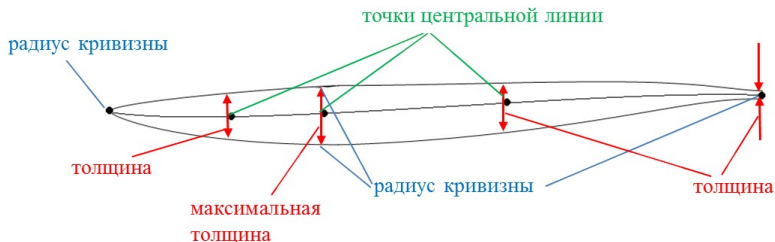


Рис. 1. Параметризация профиля

Параметризация геометрии профиля реализована на основе кривых Безье (рис. 1). Создана программа автоматического

построения структурированной многоблочной расчетной сетки. В качестве солвера используется программный комплекс EWT-ЦАГИ [3].

Разработана методика расчета характеристик профилей с использованием программного комплекса EWT-ЦАГИ. Выбран размер расчетной области, мощность расчетной сетки, модель турбулентности и т.д. Результатом являются интегральные характеристики профиля: коэффициент сопротивления C_x , коэффициент подъемной силы C_y и коэффициент момента тангажа M_z . Проведены верификация и валидация разработанной методики на примере профиля NASA-8318. Этот профиль при числе $M = 0.06$ характерен тем, что практически на всех углах атаки имеет отрывное обтекание. Разработанная методика расчета позволяет рассчитать характеристики такого профиля с достаточной точностью (рис. 2).

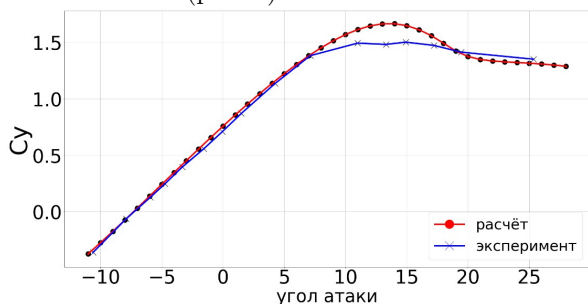


Рис. 2. Расчет характеристик профиля NASA-8318

На базе более ста тысяч расчетов характеристик профилей строится глубокая нейронная сеть для определения характеристик профиля в рамках созданной параметрической модели на любом режиме (M , α , Re). Показано, что для большинства точек точность аппроксимации нейронной сети может быть лучше 5% (рис. 3). Показано увеличение точности аппроксимации нейронной сети при увеличении объема исходных точек.

Обученная искусственная нейронная сеть встроена в оптимизационный цикл, что позволяет проводить оптимизацию характеристик профиля на любых режимах. Для поиска решения используется генетический алгоритм с дополнительным уточнением решения с использованием градиентного метода.

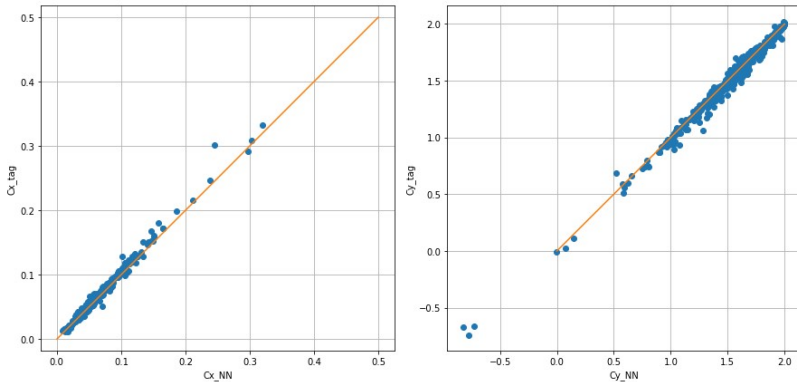


Рис. 3. Сравнение коэффициентов, посчитанных с использованием солвера EWT-ЦАГИ (с индексом tag) и определенных искусственной нейронной сетью (с индексом NN)

Заданными величинами являются скорость набегающего потока (число Маха), число Рейнольдса и ограничение на значение коэффициента подъемной силы C_y . Целевой функцией является аэродинамическое качество профиля. Для оптимальной геометрии проводится расчет характеристик с использованием солвера EWT-ЦАГИ.

Таким образом, созданная система оптимизации характеристик профиля позволяет получить геометрию оптимального профиля и его характеристики, рассчитанные высокоточными методами. Время оптимизации за счет использования нейронной сети вместо RANS расчетов сокращается примерно в 100 раз.

Литература

1. S.M. Bosnyakov, A.F. Chevagin, A.R. Gorbushin, I.A. Kursakov, S.V. Matyash, S.V. Mikhailov. About accuracy of experimental data for validation of numerical methods, 6-я всероссийская конференция в аэроакустике. CEAA2016, 19–24 September 2016, Svetlogorsk.
2. G. Sun, Y. Sun, S. Wang. ANN based inverse design: airfoils and wings. *Aerosp. Sci. Technol.* 42 (2015), 415–428.
3. С.М. Босняков и др. Использование методов вычислительной аэродинамики в экспериментальных работах ЦАГИ. *Матем. моделирование*, 2011, т. 23, N. 11, с. 65–98.