

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК С НЕЙРОСЕТЕВЫМ ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ПОТЕРЬ

Волков А.А., Калабухов Д.С., Шляховский Н.А.
ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, a44rey@yandex.ru

Ключевые слова: профиль турбины, параметрическое моделирование, прогнозирование потерь.

Предложена программная система с графическим интерфейсом для параметрического проектирования профилей турбинных лопаток. Система объединяет геометрический параметризатор, ансамблевый метод автоматического подбора параметров, нейросетевую модель профильных потерь и визуализацию результатов. Реализован механизм обеспечения непрерывности кривизны составных кривых профиля. Приложение выполнено на Python, поддерживает сохранение и загрузку конфигураций.

Современное проектирование турбинных лопаток требует быстрой оценки аэродинамических потерь и оперативной корректировки геометрии. Инженеру необходимы инструменты, позволяющие в реальном времени изменять параметры профиля и визуализировать влияние этих изменений на потери. Целью данной работы является создание интерактивного приложения, сочетающего геометрическое моделирование, нейросетевое предсказание потерь и автоматизированный подбор рациональных параметров лопатки.

Ядром системы являются модули: Profiliator – построение профиля по 15 основным геометрическим параметрам (хорда, углы, толщины и т.д.) и 20 дополнительным весовым коэффициентам, управляющим формой кривых Безье [1]; DefinePoteri – нейросетевая модель потерь, обученная предсказывать зависимость коэффициента потерь от приведённой скорости λ с учетом конкретной геометрии [2]; DefineAlfa – расчёт угла потока; MoveRotateScale – преобразования координат. Модель потерь представляет собой полносвязную нейронную сеть, принимающую 31 признак (15 геометрических параметров, 15 дополнительных коэффициентов и текущее значение λ) и возвращающую распределение потерь. Обучение выполнено на наборе CFD-расчетов.

Ансамблевый автоподбор параметров. Для автоматического определения рациональных значений 12 из 15 основных параметров (кроме шага, входного угла и эффективного угла) применён ансамбль из трёх типов моделей: упрощённые аналитические зависимости, усложнённые полуэмпирические и линейные регрессионные. Итерационный процесс с релаксацией (коэффициент 0.6, до 40 итераций) подбирает значения свободных параметров, отмеченных пользователем чекбоксами «Авто», стремясь удовлетворить ограничениям, заложенным в ансамбле. Для каждого свободного параметра вычисляется среднее предсказание трёх моделей, после чего выполняется шаг коррекции. Перед применением результаты проверяются на допустимость по диапазонам и общую геометрическую совместимость.

Разработанное приложение предоставляет инженеру-проектировщику эффективную среду для оперативного анализа и модификации профилей турбинных лопаток. Совмещение интерактивной визуализации, нейросетевого предсказания потерь и ансамблевого автоподбора параметров сокращает время поиска приемлемой геометрии.

Реализация механизма автоматического расчёта весовых коэффициентов для стыковки кривизны гарантирует геометрическую корректность профиля и обеспечивает согласованность данных при любых сценариях использования. В перспективе система может быть расширена многокритериальной оптимизацией и подключением высокоточных CFD-решателей.

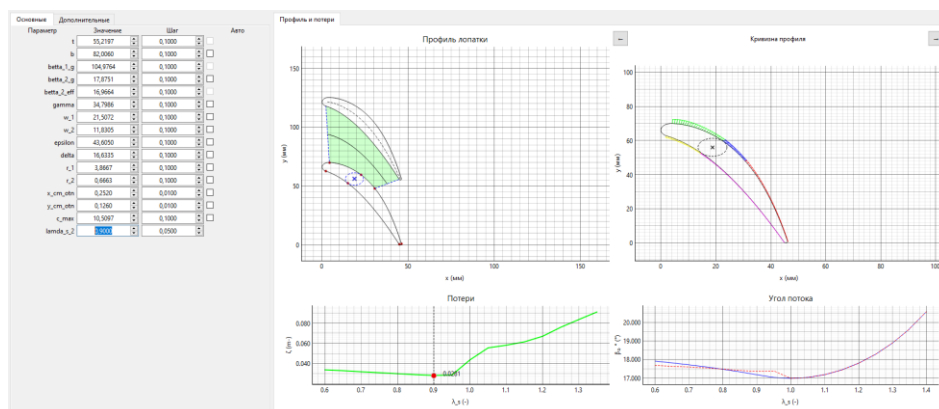


Рис. 1 – Внешний вид профиля и распределения угла установки профиля по высоте

Работа выполнена при финансовой поддержке министерства науки и высшего образования Самарской области.

Список литературы

1. Волков А.А., Соколова А.С., Дружкова Ю.А. Метод явного построения профиля турбинной решётки // Тепловые процессы в технике. – 2024. – Т. 16. № 7. – С. 303–313. – URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=182786>.
2. Волков А.А., Шляховский Н.А. Применение нейронной сети для формирования модели профильных потерь турбины с учётом параметров кривизны профиля // Сборник докладов всероссийского научно-технического форума, 10–11 октября 2024 г. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. – 222 с.

Сведения об авторах

Волков А.А. – область научных интересов: исследование рабочих процессов в лопаточных машинах.

Калабухов Д.С. – область научных интересов: исследование рабочих процессов в лопаточных машинах.

Шляховский Н.А. – область научных интересов: исследование рабочих процессов в лопаточных машинах.

DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE CAD SYSTEM FOR TURBINE BLADE PROFILES WITH NEURAL NETWORK LOSS PREDICTION

Volkov A.A., Kalabykhov D.S., Shliahovskii N.A.,
JSC Kuznetsov, Samara, Russia,
a44rey@yandex.ru

Keywords: turbine blade, parametric modeling, loss prediction, neural network, computer-aided design

An interactive software system with a graphical user interface has been developed for parametric design of turbine blade profiles. The system integrates a geometric parameterizer, an ensemble method for automatic parameter selection, a neural network model for profile loss prediction, and real-time visualization. It is implemented in Python, supports saving and loading configurations, and significantly reduces the time required to find a feasible blade geometry.