

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОСЕВОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ

Золотухин А.С. (СПбПУ), Маренина Л.Н. (СПбПУ)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Дроздов А.А. (СПбПУ)

Введение. Одним из методов доводки профиля пера лопатки в современных реалиях является применение методов многокритериальной оптимизации. Однако вопрос постановки данной задачи до сих пор является открытым. Особенно – вопрос выбора используемой модели турбулентности. Высокореинольдсовы модели ($k-\epsilon$, $k-\omega$ и др.) позволяют провести оптимизацию в значительно короткий срок. Однако низкореинольдсовы модели (SST и SA), не смотря на очевидный недостаток в виде повышенных временных и вычислительных затрат, способны подробно разрешить как пограничный слой, так и ядро потока, что может сыграть существенную роль при проведении оптимизации и выбора вектора её параметров при работе алгоритма. В связи с чем было принято решение об оценке влияния выбора модели турбулентности на результаты многокритериальной оптимизации на примере модельной осевой трансзвуковой компрессорной ступени NASA Stage 37.

Основная часть. В качестве объекта исследования в работе выступает модельная осевая трансзвуковая компрессорная ступень NASA Stage 37 [1]. Параметрические модели рабочей лопатки и направляющего аппарата выполнены в соответствии с методикой, описанной в [2], по пяти сечениям. В качестве высокореинольдсовой модели турбулентности выступает модель $k-\epsilon$, низкореинольдсовой – SST. Для каждого из рассматриваемых вариантов построена отдельная расчетная сеть: $y^+_{k-\epsilon} = 65$ и $y^+_{SST} = 1$.

Настройки оптимизатора:

- целевые функции: максимизация адиабатического КПД и снижение неравномерности поля полного давления на выходе из ступени;
- параметры оптимизации: лопаточные углы и углы установки профилей, для направляющего аппарата предусмотрено варьирование тангенциальным навалом;
- ограничения: в точке максимального адиабатического КПД расход рабочего тела и степень повышения полного давления не должны отличаться от исходного варианта более чем на 1%;
- критерий сходимости: 600 шагов оптимизации.

Время расчета одного шага для модели $k-\epsilon$ составил 15 минут, для модели SST – 34 минуты. В это время заложены: перестройка параметрической модели, генерация новой расчетной сети, расчет и постобработка.

По результатам проведения оптимизации были получены фронты Парето для каждого из варианта постановки. Фронты имеют схожий характер. Из них выбраны три варианта: наименьший КПД, но наименьшая неравномерность (А); максимальная неравномерность, но наибольший КПД (В); промежуточный вариант (С). В итоге, в работе рассмотрено шесть вариантов альтернативной геометрии.

Стоит обратить внимание на формы перьев лопаток. Наибольший градиент геометрических параметров расположен на выходной кромке, когда как положение входной подверглось минимальному изменению. Данный результат вызван расположением точки установки профиля параметрической модели на входной кромке и в дальнейшем с большой долей вероятности должен повлиять на прочностные характеристики лопатки. В данной работе анализ на статическую и динамическую прочность лопаток не осуществлялся.

Для каждой из рассмотренных вариантов построены интегральные характеристики, которые сопоставлены с исходной параметрической моделью. Наилучшими показателями в обоих вариантах является промежуточный (С), который сохранил в себе как

удовлетворительный прирост КПД, так и получил наибольший прирост коэффициента запаса устойчивости.

Однако, с точки зрения оптимизационной задачи наиболее интересным является пересчет полученных результатов, полученных на модели k-ε, на модель SST. По проведенным расчетам, результаты пересчета удовлетворительно коррелируют с базовой. Наблюдается схожий прирост КПД в характерной точке, но коэффициент запаса устойчивости показывает заниженные значения.

Выводы. Проведен анализ влияния выбора модели турбулентности в проведении задачи многокритериальной оптимизации. Наиболее предпочтительным вариантом постановки является применение высокорейнольдсовой модели турбулентности с последующим перерасчетом на низкорейнольдсовой выбранного оптимального варианта. Постановка задачи оптимизации также нуждается в корректировке.

Список использованных источников:

1. Raid L., Moore R. D. Performance of Single-Stage Axial-Flow Transonic Compressor With Rotor and Stator Aspect Ratios of 1.19 and 1.26, Respectively, and With Design Pressure Ratio of 2.05 // NASA Technical Paper 1659 – 1980 – 105 p.
2. Золотухин, А. С. Выбор подхода к построению параметрической модели трансзвуковой компрессорной ступени / А. С. Золотухин, А. А. Дроздов, Л. Н. Маренина // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: Материалы 14-й Международной научно-технической конференции, Омск, 12–15 марта 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 74-75.