

УДК 621.51

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПОИСКОМ ГРАНИЦЫ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ

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

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

Введение. Методика постановки задачи многокритериальной оптимизации осевых компрессоров варьируется в зависимости от её целей и задач. Так, при необходимости доводки формы проточной части с целью обеспечения максимальных показателей эффективности и широкого диапазона работы установки наиболее простых методов постановки может быть недостаточно. Это аргументируется необходимостью пересчета всей напорной ветки для количественного анализа получаемых коэффициентов запасов устойчивости. В связи с этим, данную работу предлагается посвятить разработке программы постановки задачи многокритериальной оптимизации, которая способна апеллировать более чем одной точкой в ходе одного обращения.

Основная часть. В ходе оптимизационных мероприятий, рассматриваемых на предыдущих этапах данного исследования [1], а также в работах [2-4] поиск оптимального решения осуществляется либо для расчетной точки, либо для различных чисел Маха на входе, либо данный момент вовсе опускается. В связи с этим стоит актуальный вопрос об учете нескольких точек в ходе оптимизации. Однако, подобного рода и более совершенные программы постановки крайне редко отражаются в научных публикациях т.к. зачастую они являются интеллектуальной собственностью. Данный тип программ постановки задач, помимо очевидных преимуществ, обладает ощутимым недостатком – повышенным временными затратами на расчет одного обращения оптимизатора.

По этой причине была разработана программа постановки задачи многокритериальной оптимизации с автоматическим поиском границы устойчивой работы с применением алгоритма IOSO. Данная программа характеризуется автоматическим поиском запаса ГДУ с помощью цикла, который по заданному шагу по противодействию (Δp_{out}) проводит последовательные расчеты пока они успешны. Причем, каждый i -й расчет инициализируется с результатов $i-1$ -го решения. Последняя же сошедшаяся точка используется для определения запаса ГДУ. Главным недостатком такой схемы, помимо сложности увязки всех программных продуктов в одном программном коде, является повышенное время, затрачиваемое на одно обращение оптимизатора. Однако, при такой постановке удастся получить наиболее корректную поверхность отклика целевых функций. Для более точного отслеживания границы помпажа имеется возможность по доработке алгоритма на уменьшение шага вблизи неё. Вместе с тем, увеличится время расчета.

Для работы вышеуказанной программе достаточно указать следующий перечень исходных данных:

- Расчетную директорию;
- Директорию расположения вспомогательных скриптов;
- Количество ступеней компрессора;
- Приращение противодействия для поиска границы запаса устойчивости (Δp_{out}).

При этом, реализовано два варианта исполнения:

– для расчета на локальных вычислительных машинах. Реализован алгоритм с применением алгоритма IOSO, сеточного генератора Numeca AutoGrid5 и решателя

– для расчета на вычислительных кластерах. Данный подход схож с предыдущим, однако с целью постановки задачи на вычислительный кластер её формирование

осуществляется в системе Ansys Workbench, а все вычисления происходят с применением Remote Solver Manager (RSM)

Работоспособность разработанной программы проверена на предмет варьирования геометрией перьев лопаток и корректности обработки результатов на модельном блоке ступеней многоступенчатого осевого компрессора – МК-65. В качестве целевых функций выступают максимизация адиабатического КПД на расчетной точке и максимизация запасов газодинамической устойчивости. Расчетная сетка – разряжена и подразумевает использование высокорейнольдсовой модели турбулентности $k-\epsilon$ ($y^+_{k-\epsilon} = 65$). Параметрическое моделирование венцов, подвергающихся доводке осуществляется по методике, отработанной в работе [5]. Первый вариант исполнения программы – на 115 обращениях, второй вариант – 200 обращениях. Во всех случаях программа отработала в штатном режиме: происходит варьирование геометрии перьев лопаток, запись результатов осуществляется корректно.

На текущий момент, с помощью разработанной программы проводится ряд оптимизационных мероприятий по вышеуказанному объекту исследования в аналогичной постановке. Полученные результаты будут полезным образом использованы и применены в дальнейших исследованиях, посвященных многоступенчатым осевым компрессорам.

Выводы. Разработана программа постановки задачи многокритериальной оптимизации осевых компрессоров с автоматическим поиском границы устойчивой работы. Её работоспособность проверена на примере постановки многокритериальной оптимизации блока модельных ступеней МК65. Данный подход предлагается апробировать полноценно в ходе оптимизационных работ данного компрессора в аналогичной постановке.

Список использованных источников:

олотухин А.С., Маренина Л.Н., Дроздов А.А., Никифоров А.Г. Опыт многокритериальной оптимизации осевой компрессорной ступени // Известия МГТУ «МАМИ». 2025. Т. 19, № 2. С. 33–46. DOI: 10.17816/2074-0530-687199 EDN: DPUAZR

оробьев А.К., Малышев Ф.С. Модернизация компрессора ГТЭ-170.2 = Development of GTE-170.2 compressor. Перспективы развития двигателестроения : материалы междунар. науч.-техн. конф. им. Н. Д. Кузнецова (21–23 июня 2023 г.) : в 2 т. / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т) ; ред. кол. : Е. В. Шахматов, А. И. Ермаков. - Самара : Изд-во Самар. ун-та, 2023. - Т. 2. - С. 64-65.

3. Schnoes M., Voß C., and Nicke E. (2018). Design optimization of a multi-stage axial compressor using throughflow and a database of optimal airfoils. Journal of the Global Power and Propulsion Society. 2:516–528. <https://doi.org/10.22261/JGPPS.W5N91I>.

4. Choon-Man Jang, Ping Li and Kwang-Yong Kim. Optimization of Blade Sweep in a Transonic Axial Compressor Rotor. 2005, JSME International Journal, Series B, Vol.48, No.4, pp. 793-801

олотухин, 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.