

ОТЛАДКА 3D АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КВД ПЕРСПЕКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ IOSO NM/PM

Бошканец Э.А., Иванова Ю.В.

ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, eduard.boshkanets@uec-saturn.ru

Ключевые слова: компрессор, оптимизация, IOSO.

Одно- и многокритериальная 3D оптимизация является инструментом расчетной параметрической доводки и не заменяет собой полноценный цикл проектирования изделия, и является его дополнительным этапом. Приоритетной целью аэродинамической оптимизации компрессоров чаще всего является максимизация адиабатического КПД с целью снижения рисков необеспечения заявленных параметров двигателя.

Разработанный проект 3D аэродинамической оптимизации многоступенчатого регулируемого компрессора в программном комплексе IOSO NM/PM предназначен для отработки цикла оптимизации на объекте компрессора высокого давления (КВД) перспективного двигателя тягой 8 тс для повышения аэродинамической эффективности на основных режимах работы. Проект построен на методе непрямой оптимизации на основе самоорганизации, разработанном И.Н. Егоровым.

В проекте оптимизации используются следующие программные комплексы и расчетные методики:

- параметрическая модель лопаточной части КВД реализована в программе разработки К.С. Федечкина (ОКБ им. А.М. Люльки);

- сеточный генератор NUMECA AutoGrid;

- программный комплекс вычислительной газовой динамики ANSYS CFX. CFD модель КВД для цикла оптимизации упрощена - исключено моделирование перетекания воздуха под направляющими аппаратами (НА) для повышения количества стабильных решений на точках вблизи границы газодинамической устойчивости (ГДУ). Проверочные расчеты оптимизированных вариантов геометрии компрессора выполнялись на уточненной аэродинамической модели с учетом перетекания под НА.

В качестве целевых функций оптимизации (критериев) принято увеличение адиабатического КПД КВД на проектном режиме в точке на линии рабочих режимов (ЛРР) и увеличение запасов ГДУ КВД на проектном режиме. Ограничениями установлены контроль величины запасов ГДУ на режиме «малый газ» (МГ) и проектном, величины приведенного расхода воздуха и степени повышения давления в точке на ЛРР на проектном режиме.

В качестве варьируемых переменных выбраны:

- геометрические параметры венцов первых четырех ступеней в трех сечениях по высоте лопатки – угол установки и коэффициенты изгиба профиля (итого 9 параметров на венец, суммарное количество варьируемых геометрических переменных – 81);

- углы установки регулируемых направляющих аппаратов на режиме МГ в диапазоне $\pm 5^\circ$ относительно расчетной программы регулирования;

- граничные условия статического давления в расчетных точках.

В соответствии с описанной постановкой задачи для каждой итерации выполнялся расчет в точках на ЛРР и границе ГДУ на проектном режиме, в точках на ЛРР и границе ГДУ на режиме МГ – суммарно пять точек.

Работоспособность проекта отлажена на локальном ПК под управлением операционной системы Windows 7, выполнены параметрические исследования, затем проект отлажен на кластерном вычислительном комплексе T-100 под управлением Linux CentOS для распараллеленного запуска. Применение кластера обеспечивает распараллеливание процесса оптимизации (в данном проекте - 18 узлов, ограничения имеющейся лицензии IOSO NM/PM – 32 узла), что позволяет радикально снизить время на выполнение итераций оптимизационного

проекта и использовать описанный инструмент оптимизации в реальных инженерных задачах при проектировании и доводке компрессоров.

На первом этапе результатом решения задачи оптимизации является множество не улучшаемых решений по каждому из критериев (множество Парето), общее количество обращений составило ~3700. По проверочным расчетам на уточненной CFD модели КВД лучшим результатом является обращение 1821: КПД КВД +0,31 п.п., запасы ГДУ -2,1%.

На втором этапе оптимизации скорректирована постановка задачи с целью определения потенциала повышения КПД КВД на проектном режиме. Критерием установлена максимизация КПД на проектном режиме в точке на ЛРР. Определение запасов ГДУ на проектном режиме выполняется справочно. Ограничения на проектном режиме в точке на ЛРР без изменений и соответствуют первому этапу, но исключен контроль запасов ГДУ на режиме МГ. Общее количество обращений составило ~4900. По данным проверочных расчетов на уточненной CFD модели КВД лучшим результатом является обращение 1130: КПД КВД +0,50 п.п., запасы ГДУ -0,47%.

По результатам проверочных расчетов оптимизированных вариантов геометрии КВД подтверждается улучшение адиабатического КПД КВД и не подтверждается улучшение запасов ГДУ. Для критерия «максимизация запасов ГДУ» уточнен процесс расчета точек на границе ГДУ и рекомендовано использовать уточненную аэродинамическую модель.

Разработанный в программном комплексе IOSO NM/PM проект обеспечивает проведение многокритериальной 3D аэродинамической оптимизации многоступенчатого регулируемого компрессора. Отработанная методология выбора постановки задачи, создания схемы проекта, выбора критериев и варьируемых переменных позволяют применять данный подход при выполнении НИР и ОКР по другим темам ОКБ-1 ПАО «ОДК-Сатурн». Также, при модификации постановки задачи, увеличения количества варьируемых переменных и расширения диапазона варьирования прогнозируется больший эффект от выполнения 3D аэродинамической оптимизации.

Сведения об авторах

Бошканец Эдуард Александрович, ведущий инженер-конструктор конструкторского отдела компрессоров. Область научных интересов: аэромеханическое проектирование осевых компрессоров и вентиляторов.

Иванова Юлия Владимировна, инженер-программист 1 категории конструкторского отдела систем инженерного анализа. Область научных интересов: интеграция расчетного программного обеспечения с вычислительными кластерными комплексами.

DEBUGGING OF 3D AERODYNAMIC OPTIMIZATION OF THE HPC OF A PROMISING ENGINE IN THE IOSO NM/PM SOFTWARE COMPLEX

Boshkanets E.A., Ivanova Yu.V.

PJSC «UEC-Saturn», Rybinsk, Russia, eduard.boshkanets@uec-saturn.ru

Keywords: compressor, optimization, IOSO.

The design bureau PJSC «UEC-Saturn» developed a project in IOSO NM/PM and performed multicriteria 3D aerodynamic optimization of a multistage variable compressor on a computing cluster complex using NUMECA AutoGrid, ANSYS CFX and non-commercial software.