АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО КОМПРЕССОРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОМЕРНЫХ И ТРЕХМЕРНЫХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

Е.С. Горячкин, Г.М. Попов, О.В. Батурин, Е.Д. Гатауллина
Самарский университет им. Королева, Самара,
goriachkin.e.s@gmail.com

Многоступенчатые осевые компрессоры современных газотурбинных двигателей должны обладать минимальным числом ступеней для снижения массы, габаритов и стоимости производства. Это ведет к необходимости использования более нагруженных ступеней компрессора, что осложняет получение высокого КПД и достаточного запаса газодинамической устойчивости. Возможность достижения требуемых параметров компрессора закладывается на этапе начального проектирования, а реализуется на этапе детального проектирования, поэтому актуальной задачей является разработка сквозных методик проектирования многоступенчатых осевых компрессоров, включающих этапы начального и детального проектирования.

В статье приведены результаты сквозного аэродинамического проектирования двухступенчатого осевого компрессора низкого давления с высокой аэродинамической нагруженностью. Проектирование включало следующие этапы:

1. Выбор начальных параметров на основе диаграммы Смитта;
2. Проектный расчет на среднем диаметре;
3. Проектный расчет по высоте;
4. Расчет характеристик и выбор наиболее перспективного варианта;
5. Доводка рабочего процесса сначала с использованием методов ручного изменения геометрии;
6. Доводка рабочего процесса сначала с использованием методов автоматизированной оптимизации.

Выбор начальных параметров выполнен при различных значениях параметра расхода для форм проточной части с

постоянным средним и наружным диаметрами. В результате получено 5 конфигураций компрессора, для которых выполнено дальнейшее проектирование.

Проектный расчет на среднем диаметре выполнялся с целью определения кинематических и термодинамических параметров в характерных сечениях проточной части ступеней на среднем диметре. При этом также определялись параметры, характеризующие рабочий процесс элементарных лопаточных венцов каскадов на этом диаметре. В качестве исходных данных для расчёта использовались энергетические и расходные, термодинамические и газодинамические, а также геометрические параметры, значения которых были получены в результате предыдущих этапов расчёта.

Проектный расчет по высоте выполнялся с целью определения кинематических и термодинамических параметров в характерных сечениях проточной части ступеней на различных радиусах – от втулочного до периферийного. Кроме этого, на этих же радиусах находились величины параметров, характеризующих рабочий процесс элементарных лопаточных венцов и ступней в целом, таких, как коэффициенты повышения статического давления, торможение потока в РК и НА, коэффициенты теоретического напора и расхода, вычисленные по окружной скорости на периферии РК.

На основе результатов проектного расчета по высоте была сформирована трехмерная геометрия проточной части пяти конфигураций компрессора и выполнено их трехмерное численное моделирование с использованием программного комплекса NUMECA FINE/Turbo.

Для сопоставления и выбора наиболее перспективного варианта компрессора для последующей доводки оценивался комплекс параметров по результатам трехмерного расчета: интегральные параметры и характеристики компрессора; параметры ступеней компрессора в расчётной точке; выделенные характеристики ступеней вдоль напорной ветки; масса компрессора. Комплекс данных параметров вычислялся автоматически специальной программой постобработки результатов расчета.

Цель доводки – обеспечить требуемые запасы устойчивости компрессора при максимальном КПД. Изменение геометрии компрессора выполнялось непосредственно в трехмерной модели. На первом этапе изменении геометрии выполнялось вручную.

В результате доводки удалось повысить КПД компрессора на 1,9 %, что позволило обеспечить требуемый КПД, но запас устойчивости был повышен только на 1,47 %, что не позволило обеспечить требуемое значений. Было рассмотрено еще около 10 вариантов компрессора, но добиться одновременного достижения и требуемого запаса устойчивости и КПД компрессора не удалось. Дальнейшая доводка рабочего процесса компрессора выполнялась с использованием методов автоматизированной оптимизации.

При автоматизированной оптимизации изменение геометрии компрессора выполнялось программной оптимизатором, которая также контролировала заданные ограничения на параметры рабочего процесса. Автоматизированная оптимизации позволила выполнить требования как по КПД, так и по запасу устойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках гранта «Изучение закономерностей рабочих процессов нагнетательных машин на базе сопряженных математических моделей (FSSS-2024-0015)».

Литература

1. Kampsti, N. Aerodynamics of compressors / N. Kampsti; Per. from Eng. ed. by F.Sh. Gelmedov, N.M. Savin. – M.: Mir, 2000. - 688 c.
2. Koch, C.C. Stalling Pressure Rise Capability of Axial Flow Compressor Stages [Text] / J. Eng. Eng. Power. Oct 1981, 103(4): 645-656 (12 pages)
3. Matveev V.N. Algorithm of forming the appearance of the flow part of the blade machines of the twin-shaft gas generator of an aviation gas turbine [Text]/ V.N. Matveev [et al]/ Vestnik RGATU. - 2022. - №2 (61). - C. 25-32.
4. Gelmedov, F.S. Methodology of axial compressor design [Text]/F.S. Gelmedov [et al]//Teploenergetika. - 2002. - №9. - C. 19-28.