

УДК 621.515.5

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ДЛЯ РАСЧЁТА С ИХ ПОМОЩЬЮ ГРАНИЦ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ ПНЕВМОТОРМОЗА

Прокофьев А.Б., Новикова Ю.Д., Петров С.Е.

Самарский университет, г. Самара, novikova@ssau.ru

Ключевые слова: пневмотормоз, компрессор низкого давления, напорная характеристика компрессора, мощностная характеристика компрессора.

В процессе испытаний газотурбинных двигателей со свободной турбиной возникает потребность в нагрузке выходного вала испытуемого двигателя. Для этих целей может быть использован воздушный динамический тормоз. В его основе лежит воздушный компрессор, который за счёт сжатия воздуха поглощает мощность, вырабатываемую испытываемым двигателем на стенде. Разработка компрессора требует значительных затрат денежных и временных ресурсов, в связи с этим целесообразно использовать существующий компрессор, работающий на схожих частотах вращения, что и испытуемый двигатель, или выше, с последующей его доработкой под конкретные условия эксплуатации. Однако возникает проблема выбора базового компрессора. В данной работе описан процесс подбора компрессора с целью создания на его основе пневмотормоза, а также предложены рекомендации по формированию конечно-элементных сеток численных моделей потока многоступенчатых осевых компрессоров для расчёта с их помощью границ рабочей области пневмотормозов.

В качестве базового компрессора был выбран осевой трёхступенчатый компрессор низкого давления (КНД). На основании экспериментальных характеристик базового КНД была сформирована его рабочая область как пневмотормоза. Для этого мощностная характеристика была перестроена в координатах $N_K - n$ (рис. 1) и приобрела вид вертикальных линий. Для получения рабочей области пневмотормоза крайние точки этих линий были соединены между собой. Представление характеристик базового КНД в виде рабочей области пневмотормоза позволяет выполнить выбор компрессора, подходящего для испытаний газотурбинных двигателей, путём графического сопоставления дроссельной характеристики испытуемого двигателя и рабочей области пневмотормоза (рис. 1).

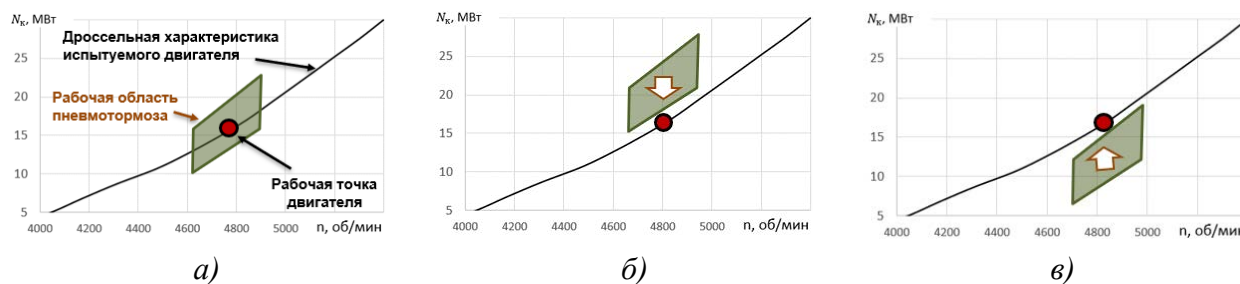


Рис. 1. Сопоставление рабочей области пневмотормоза с дроссельной характеристикой испытуемого двигателя:

а) полное перекрытие; б) рабочая область расположена **выше**; в) рабочая область расположена **ниже**

Из анализа рис. 1 очевидно, что в некоторых случаях рабочая область пневмотормоза не перекрывает требуемые участки дроссельной характеристики испытуемого двигателя. Рабочая

область может лежать как выше интересующего участка (рис.1, б) дроссельной характеристики, так и ниже (рис.1, в). В связи с этим для дальнейшей конструкторской доработки необходимо создать численную модель. В рамках данной работы было исследовано несколько вариантов численных моделей с различным количеством элементов расчётной сетки. Базовая сеточная модель была создана на основании рекомендаций из источников [1, 2]. Последующие модели были получены путём сокращения количества элементов.

В результате было получено, что сетка с количеством элементов меньше, чем 4,6 млн., позволяет адекватно регулировать границу запираания в горле последней ступени многоступенчатого осевого компрессора, однако запираение в рабочих лопатках компрессора, вызванное запираением первой рабочей лопатки на периферии и распространяющееся на последующие рабочие лопатки, моделируется уже некорректно.

На основе изложенных выше результатов были составлены рекомендации по формированию конечно-элементных сеток численных моделей потока многоступенчатых осевых компрессоров для расчёта с их помощью границ рабочей области пневмотормозов.

1. Значение безразмерного параметра y^+ следует выдерживать приблизительно равным 1.
2. Количество элементов для одного лопаточного венца в одном слое расчётной сетки выдерживать на уровне 10 500 элементов.
3. Максимальное значение фактора роста ячеек выдерживать приблизительно равным 1,35.
4. Максимальную относительную высоту ячеек канала выдерживать приблизительно равной 2000.
5. Целесообразно корректировать границу «запираения» рабочей области пневмотормоза, полученную расчётным путем, на величину относительной погрешности косвенных измерений.

Список литературы

1. Иноземцев А.А., Гузачев Е.Т., Катаев В.А., Плотников А.И. Определение оптимальных и критических зависимостей параметров ступеней осевого компрессора для повышения запасов устойчивой работы // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2015. №3 (42). С. 5-19.
2. Горячкин Е. С. Метод и средства оптимизации формы и взаимного расположения лопаток многоступенчатых осевых компрессоров газотурбинных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05. - Текст: электронный / Горячкин Евгений Сергеевич; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). Самара, 2020.

Сведения об авторах

Прокофьев А.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теории двигателей летательных аппаратов им. В.П. Лукачева. Область научных интересов: динамика и регулирование пневмогидросистем.

Новикова Ю.Д., старший преподаватель кафедры теории двигателей летательных аппаратов им. В.П. Лукачева. Область научных интересов: проектирование и математическое моделирование рабочих процессов лопаточных машин.

Петров С.Е, студент. Область научных интересов: энергетическое машиностроение.

DEVELOPING RECOMMENDATIONS FOR CREATING NUMERICAL MODELS OF THE WORKFLOW OF AXIAL COMPRESSORS TO CALCULATE THE BOUNDARIES OF THE OPERATING RANGE OF AIR DYNAMOMETERS

Prokof'ev A.B., Novikova Yu.D., Petrov S.E.

Samara University, Samara, Russia, novikova@ssau.ru

Keywords: air dynamometer, low-pressure compressor, compressor head curve, compressor power curve.

This paper describes the process of selecting a compressor to create an air dynamometer and offers recommendations for the formation of finite element meshes for numerical flow models of multistage axial compressors to calculate the operational boundaries of air dynamometers.