

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ГРАНИЦЫ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ ПНЕВМОТОРМОЗА, ВЫПОЛНЕННОГО НА ЕГО ОСНОВЕ

Матвеев В.Н., Новикова Ю.Д.

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

*Ключевые слова: испытания ГТД, загрузочное устройство, многоступенчатый осевой компрессор, рабочая область пневмотормоза.*

Согласно обзорам критических технологий для перспективных двигателей силовых установок пассажирских самолетов, в связи с ужесточением со стороны Международной организации гражданской авиации (ИКАО) норм по шуму и эмиссии вредных веществ, экологические характеристики авиационной техники становятся одними из главных показателей, определяющих её конкурентоспособность на мировом рынке и беспрепятственную эксплуатацию на международных авиалиниях. При этом несмотря на достигнутый высокий уровень технического совершенства авиационных двигателей, дальнейшее улучшение их показателей возможно путем изменения схемы двигателя при повышении параметров цикла и повышении эффективности узлов, а также использования новых типов силовых установок. В настоящее время в эксплуатации находятся самолеты с ТРДД пятого поколения с прямым или редукторным приводом вентилятора (PW1000G, LEAP, GE90, GEnx, Trent). В перспективных двигателях максимальное уменьшение удельного расхода топлива может составить ~20...30% и может быть реализовано благодаря распределенной силовой установке [1]. В связи с этим развитие турбогазогенераторов, полезная работа которых образуется на валу, является актуальной задачей.

При испытаниях газотурбинных изделий, в результате работы которых производится полезная работа на валу, встает вопрос о выборе загрузочного устройства, позволяющего измерять и утилизировать полезную мощность в процессе испытаний. Одним из возможных вариантов такого устройства является пневмотормоз (воздушный компрессор, сжимающий воздух для утилизации вырабатываемой в процессе испытаний мощности). Преимуществом использования пневмотормоза является его меньшие габариты по сравнению с гидро- и электротормозами, мобильность и экологичность. Однако к недостаткам пневмотормозов можно отнести стоимость их создания и разработки. В связи с этим предлагается использовать в качестве «сырья» для создания пневмотормоза, отработавшие свой ресурс компрессоры авиационных двигателей, что позволит сократить затраты на его создание и разработку [2]. В связи с этим, в данной работе рассматриваются способы модификации многоступенчатого осевого компрессора (МОК) как пневмотормоза. Целью модификации МОК является обеспечение потребной тормозной мощности для проведения испытаний ТВД.

Для исследований был выбран трехступенчатый осевой компрессор низкого давления производства ПАО «Кузнецов». Для выбранного компрессора была создана численная модель, которая была валидирована по экспериментальным данным. С помощью созданной численной модели исследовано три способа модификации базового компрессора. А, именно: изменение количества ступеней компрессора, изменение проходного сечения проточной части компрессора и отборы воздуха из проточной части компрессора.

Для проведения численной симуляции рабочего процесса в компрессоре был выбран коммерческий программный продукт NUMECA Fine/Turbo. На основе полученных результатов расчёта численной модели для каждого из способов модификации строилась характеристика в виде зависимости  $\bar{N}_k = f(\bar{G}_b)$ . На основании полученных характеристик были сформированы рабочие области пневмотормоза. Для этого мощностные характеристики были перестроены в координатах  $\bar{N}_k = f(\bar{n})$  и приобрели вид вертикальных линий. Для получения рабочих областей пневмотормоза крайние точки этих линий были соединены между собой (рис. 1).

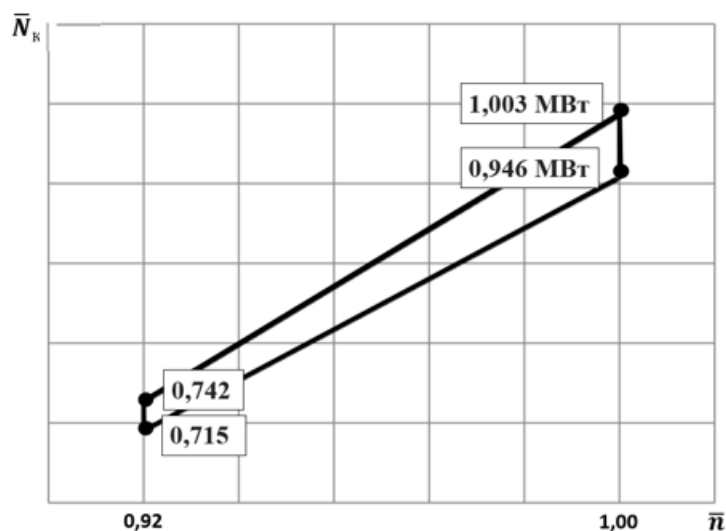


Рисунок 1 – Рабочая область пневмотормоза на основе базового МОК в координатах  $\bar{N}_k = f(\bar{n})$

При анализе рабочих областей, полученных в результате трёх исследованных способов модификации МОК были сделаны следующие выводы.

1. При установке одной дополнительной ступени в среднем расширение рабочей области происходит в 2,7 раза, при установке двух дополнительных ступеней – в 4,8 раза. При этом рабочая область сдвигается в зону больших значений тормозной мощности и крутящего момента. Это связано с тем, что добавление дополнительных ступеней увеличивает работу всего компрессора, а, следовательно, его тормозную мощность и крутящий момент. При установке одной дополнительной ступени рабочая область сдвигается в среднем на 15,5%, при установке двух дополнительных ступеней – на 30,4%.

2. При подрезке лопаток ступеней базового компрессора на 15% сужение рабочей области происходит в среднем в 1,2 раза, при подрезке на 30% – в среднем в 1,7 раза, при подрезке на 45% – в среднем в 2,1 раза. При этом рабочая область сдвигается в зону меньших значений тормозной мощности и крутящего момента. Это связано с тем, что при подрезке ступеней незначительно уменьшается работа каждой отдельной ступени, при этом существенно снижается расход рабочего тела через пневмотормоз, что приводит к уменьшению тормозной мощности и крутящего момента пневмотормоза. При подрезке ступеней базового компрессора на 15% смещение рабочей области происходит в среднем на 18,6%, при подрезке на 30% - в среднем на 36,6%, при подрезке на 45% – в среднем на 53,0%.

3. Изменения рабочей области пневмотормоза в процессе проведения испытаний ГТД возможно за счет отбора воздуха из проточной части МОК. Отбор воздуха за первой ступенью в размере 5% приводит к расширению рабочей области в пределах до 1,4 раза, при этом рабочая область сдвигается в зону меньших значений тормозной мощности и крутящего момента в среднем на 3,7%.

Сдвиг в зону меньших значений тормозной мощности и крутящего момента для данного способа менее значителен, чем для второго способа с подрезкой ступеней, и связан с уменьшением расхода воздуха через отдельные ступени пневмотормоза. При этом стоит отметить, что часть сдвига компенсируется расширением рабочей области пневмотормоза.

Отбор воздуха за первой ступенью в размере 10% приводит к расширению рабочей области в пределах до 1,6 раза, при этом рабочая область сдвигается в зону меньших значений тормозной мощности и крутящего момента в среднем на 5,2%.

Отбор воздуха за второй ступенью в размере 5% приводит к расширению рабочей области в пределах до 1,3 раза, при этом рабочая область сдвигается в зону меньших значений тормозной мощности и крутящего момента в среднем на 3,9%.

Отбор воздуха за второй ступенью в размере 10% приводит к расширению рабочей области в пределах до 1,6 раза, при этом рабочая область сдвигается в зону меньших значений тормозной мощности и крутящего момента в среднем на 8,1%.

### Список литературы

1. Козлов А.Л. Перспективы развития авиационного двигателестроения [Текст] / А.Л. Козлов, В.А. Палкин // Авиационные двигатели 2023. № 1. Р. 13-30. DOI 10.54349/26586061\_2023\_1\_13.
2. Popov G.M. Design and Development of a Pneumatic Braking Device for Testing the Gas Turbine Plant [Текст] / G.M. Popov, Y.D. Novikova, E.S. Goryachkin, O.V. Baturin // Russian Aeronautics 2021. Vol. 64. Issue 1. P. 52-60. DOI 10.3103/S1068799821010074.

### Сведения об авторах

Матвеев Валерий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Новикова Юлия Дмитриевна, младший научный сотрудник. Область научных интересов: проектирование, расчет и численное моделирование лопаточных машин.

## STUDY OF THE EFFECT OF DIFFERENT MODIFICATIONS OF THE MULTISTAGE AXIAL COMPRESSOR ON THE BOUNDARIES OF THE WORKING AREA OF THE AIR BRAKE

Matveev V.N., Novikova Yu.D.

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

*Keywords: gas turbine engine testing, air brake, multistage axial compressor, working area of the air brake.*

When testing gas turbine products that produce useful work on the shaft, the question arises about the choice of loading device that allows to measure and utilize the useful power during testing.

One possible option for such a device is an air brake (an air compressor that compresses air to recycle the power generated during the test). The advantage of using the pneumatic brake is its smaller size compared to hydraulic and electric brakes, and also the advantage is mobility and environmental friendliness. However, the disadvantages of pneumatic brakes include the cost of their creation and development. In this regard, it is proposed to take used aircraft engine compressors as "raw materials" to create a pneumatic brake. This will reduce the cost of its creation and development. In this connection, this paper considers ways of modifying the multistage axial compressor (MOC) as a pneumatic brake. The purpose of the modification of the MOC is to provide the required braking power for testing the turboshaft engine.