

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, Федечкина Константина Сергеевича
на диссертационную работу Новиковой Юлии Дмитриевны «Метод проектного расчета пневматического тормозного устройства для испытаний газотурбинных двигателей со свободной турбиной», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Актуальность темы диссертации. Испытания являются важнейшей частью жизненного цикла газотурбинного двигателя (ГТД). Каждый ГТД после изготовления или проведения капитального ремонта должны пройти сдаточные испытания. Важной проблемой при испытаниях ГТД, создающих мощность на выходном валу (турбовинтовые, вспомогательные силовые установки, судовые, промышленные и вертолетные двигатели), является утилизация вырабатываемой энергии. Пневмотормоз утилизирует вырабатываемую ГТД мощность, сжимая воздух, т.е. представляет собой воздушный компрессор. Создание и проектирование компрессора является сложной и дорогостоящей задачей. Ввиду отмеченного выбранная тема диссертации Ю.Д. Новиковой представляется весьма актуальной, так как она направлена на улучшение качества газодинамического проектирования пневматических тормозных устройств. В работе приводится метод, позволяющий сократить временные, материальные и финансовые затраты на создание пневмотормозов.

Содержание работы. В диссертации Ю.Д. Новиковой разработан метод проектного расчета пневмотормоза на базе существующего осевого компрессора, позволяющий в относительно короткий срок подобрать оптимальную конфигурацию многоступенчатого осевого компрессора. Диссертация и автореферат производят хорошее впечатление, аккуратно оформлены, содержат результаты оригинальных комплексных научных исследований.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

- *Во введении* обоснована актуальность выбранного направления исследований, сформулирована цель и задачи. Отмечены научная новизна и практическая значимость работы. Приведены положения, выносимые на защиту, и другая требуемая информация.
- *В первой главе* приведено описание стенда и контрольно-измерительной аппаратуры для испытаний газотурбинных двигателей со свободной турбиной (ГТД СТ). Отдельное внимание уделено описанию процессов измерения и утилизации мощности, вырабатываемой двигателем. Выполнен анализ различного типа затрат на создание пневматического тормозного устройства. Определено, что затраты на НИОКР по модификации компрессора ниже, чем затраты на проектирование нового компрессора практически в 5...6 раз. Рассмотрены возможные подходы к модификации уже выпускаемых многоступенчатых осевых компрессоров, направленные на изменение потребляемой ими мощности и потребного крутящего момента. Выбран расчетный метод для оценки газодинамических параметров и характеристик пневмотормоза.
- На основе исследований, изложенных *во второй главе*, были получены рекомендации по формированию конечно-элементных сеток численных моделей и параметров математической модели для расчета течения в многоступенчатом осевом

Входящий № 206-9930
Дата 26 НОЯ 2024
Самарский университет

компрессоре. Выполнено сравнение результатов, полученных по расчетной модели с экспериментальными данными, показана удовлетворительная сходимость расчета с экспериментом. Таким образом, полученная расчетная модель течения в компрессоре позволяет оценить границы рабочей области пневмотормозов, за приемлемое время расчета и при этом обеспечить удовлетворительную сходимость получаемых результатов с экспериментальными данными.

- *В третьей главе* произведена оценка влияния различных вариантов модификации многоступенчатого осевого компрессора как пневмотормоза с количественной оценкой изменения границ его рабочей области. В результате выполненного параметрического исследования были выявлены закономерности смещения границ рабочей области пневматического тормоза, выполненного на базе многоступенчатого осевого компрессора низкого давления.
- *В четвертой главе* разработан метод проектного расчета пневматического тормозного устройства для испытаний ГТД СТ и выполнена его апробация. Метод включает в себя методику выбора из существующих многоступенчатых осевых компрессоров наиболее подходящего для создания динамического пневмотормоза, используемого в процессе испытаний авиационных газотурбинных двигателей со свободной турбиной, а также последующую конструкторскую доводку пневмотормоза. Представлен пример реализации предложенного метода проектного расчета пневматического тормоза для решения практической задачи в интересах ПАО «ОДК-Кузнецов».
- *В заключении* сформулированы основные результаты диссертации.

Автореферат удовлетворяет предъявляемым требованиям и в полной степени отражает содержание, результаты и выводы диссертации.

Новизна диссертации. Научная новизна диссертации связана с новизной разработанного метода проектного расчёта пневматических тормозных устройств, отличающегося применением готовых элементов конструкции осевых компрессоров и алгоритмом их конструкторской доводки, и новизной методики выбора из существующих многоступенчатых осевых компрессоров наиболее подходящего для создания динамического пневмотормоза. Также научной новизной обладают выявленные количественные закономерности смещения границ рабочих областей пневматических тормозов, зависящие от установки дополнительных ступеней, величины подрезки ступеней базового компрессора и величины отбора воздуха за первой и второй ступенью.

Положения и результаты, выносимые на защиту. Сформулированные научные положения логически вытекают из результатов проведенного исследования, являются в полной мере обоснованными и достоверными. Обоснованность и достоверность результатов диссертации и сформулированных положений подтверждается совпадением результатов расчётов характеристик базового компрессора (на основе численного моделирования рабочего процесса) с экспериментальными данными, а также применением сертифицированного коммерческого программного обеспечения «NUMECA Fine/Turbo», базирующегося на широко применяемых в газодинамических расчётах осреднённых по Рейнольдсу уравнениях Навье-Стокса.

Опубликование и представление результатов диссертации. Основные результаты диссертации нашли отражение в 12 публикациях по теме диссертационной работы в профильных рецензируемых научных журналах Динамика и виброакустика, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Вестник РГАТА имени П.А.

Соловьева, Известия высших учебных заведений. Авиационная техника, входящих в перечень ВАК и индексируемых в наукометрических базах Web of Science / Scopus, и конференционных изданиях IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Proceedings of the ASME Turbo Expo. Результаты диссертации представлялись на профильных отечественных и международных научных мероприятиях, а также Новикова Ю.Д. представляла свою работу в центральном институте авиационного моторостроения имени П.И. Баранова в отделении «Аэродинамика компрессоров воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных установок».

Теоретическая и практическая значимость диссертации. *Теоретическая значимость* заключается в формировании и валидации методики выбора из существующих многоступенчатых осевых компрессоров наиболее подходящего для создания динамического пневмотормоза, используемого в процессе испытаний авиационных газотурбинных двигателей со свободной турбиной и получении закономерностей смещения границ рабочей области пневмотормоза в зависимости от количества дополнительных ступеней, величины подрезки ступеней базового компрессора и величины отбора воздуха за первой и второй ступенью.

Практическая значимость связана с тем, что предложенный метод может быть применен при разработке пневмотормоза на предприятиях, производящих газотурбинные двигатели со свободной турбиной, аналогично опыту ПАО «ОДК-Кузнецов» (акт об использовании результатов диссертационной работы от 02.10.2024 г.).

Замечания.

1. Представленный материал, иллюстрирующий картину течения в проточной части компрессора, не позволяет в полной мере оценить особенности течения воздуха в нем ввиду ограниченного диапазона числа Маха (только до $M=1$) на рисунках, хотя скорость потока в ряде областей течения является сверхзвуковой (скорость в относительном движении в периферии рабочих колес).
2. Представленные исследования по верификации расчетной модели течения в многоступенчатом осевом компрессоре базируются на исходных данных по компрессору низкого давления разработки ПАО «ОДК-Кузнецов». Из изложенного материала неясно можно ли использовать описанные рекомендации по настройке расчетной модели, если рассматривать в качестве базового образца компрессор высокого давления ГТД.
3. При оценке вариантов модификации базового компрессора путем подрезки лопаток с целью уменьшения мощности пневмотормоза существенно возрастут затраты на создание агрегата за счет проектирования и изготовления новых корпусов. Хотя более простой способ снижения мощности пневмотормоза путем уменьшения количества ступеней в работе не рассмотрен.
4. В представленном алгоритме метода проектного расчета пневматического тормоза пункт численного моделирования рабочего процесса, модифицированного МОК в эксплуатационном диапазоне частот вращения, идет перед конструкторской доводкой пневмотормоза, где предусмотрено проектирование спрямляющего аппарата и выходного устройства. С практической точки зрения целесообразно эти пункты поменять местами, чтобы оценка работоспособности пневмотормоза в эксплуатационном диапазоне частот вращения выполнялась для законченного конструктивного облика.

