

УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРАБОТКИ УЗЛОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Хорошавцев Д.Р., Мочалов А.А., Ушаков Р.Е.
Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана,
г. Москва, hor012497@hotmail.com

Ключевые слова: центробежный компрессор, аддитивные технологии, экспериментальный стенд, характеристика ступени.

Центробежные компрессоры (ЦБК) получили широкое распространение в авиационных и транспортных двигателях малой мощности, в силовых установках наземной техники, в энергетическом оборудовании, а также в двигателях для беспилотных летательных аппаратов [1]. В последнее время в связи с нехваткой перспективных наработок в этой области необходима подготовка кадров с передовыми инженерными компетенциями. Поэтому целью данного проекта явилось создание учебно-лабораторной экспериментальной установки, основной задачей которой стало изучение характеристик ступеней ЦБК с различными рабочими колесами, лопаточными диффузорами и выходными устройствами.

Важная отличительная особенность при создании стенда заключается в исследовании возможности применения полимерных узлов и деталей, изготовленных аддитивным методом с помощью 3D-принтера, на режимах работы близких к эксплуатационным. Применение данной технологий при создании установки позволило осуществить прототипирование и физическое моделирование геометрии проточной части компрессора с наименьшими затратами ресурсов, как временных, так и материальных. При проектировании экспериментальной установки была предусмотрена модульность конструкции, которая заключается в возможности оперативной замены одного или нескольких узлов проточной части.

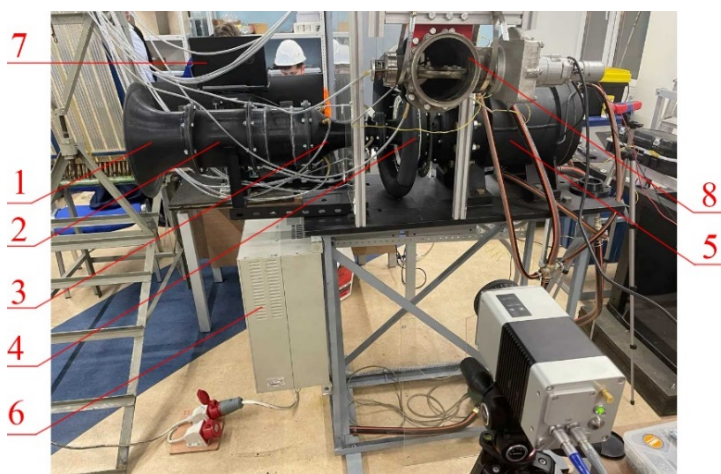


Рис.1. Центробежный электрокомпрессорный учебно-лабораторный стенд

На рис. 1 представлен созданный стенд, предназначенный для проведения лабораторных работ по дисциплинам «Лопаточные машины Ч.1» и «Механика жидкостей и газов». Объектом исследования является газодинамическая часть, состоящая из лемнискатного насадка (1), участка успокоения потока (2), расходомерного сужающегося сопла (3) и ступени ЦБК (4), которая, в свою очередь, состоит из начального участка, рабочего колеса, лопаточного диффузора, выходного коллектора типа «улитка» и измерительного участка. Все элементы проточной части, за исключением рабочего колеса, полностью изготовлены из полимерных материалов методом аддитивных технологий. Для регулирования расхода воздуха применяется заслонка (8) с электромеханизмом МПК-13А5. С помощью потенциометра возможно точное задание угла установки заслонки.

В качестве привода применяется асинхронный электродвигатель (5) с максимальной частотой вращения 30 000 об/мин. Его конструкция предусматривает три контура водяного охлаждения для отвода избыточного тепла от обмоток статора и подшипниковых узлов, а также датчики температуры для диагностики состояния привода. Для управления двигателем используется статический частотный преобразователь Delta VFD300B43A (6) с возможностью подключения к ПК (7).

Частота вращения приводного вала измеряется оптическим тахометром UNI-T UT372. Значения давлений в газодинамическом канале стенда фиксируются посредством трубки Пито и отборов статического давления, соединённых пневмометрическими линиями с дифференциальными манометрами. Помимо этого, предусмотрены камеры замеров полной температуры с адиабатическими стенками, в которые вмонтированы хромель-алюмелевые термодпары типа К. При помощи аналого-цифрового преобразователя NI 6034E показания температур и давлений выводятся на ПК в программный комплекс LabView, в котором фиксируются экспериментальные данные. Данная автоматизация позволяет проводить экспериментальные пуски стендового оборудования дистанционно для безопасности обучающихся. Температурное состояние полимерных деталей контролируется при помощи тепловизора Infratec Variocam 640. В качестве виброизмерительного устройства для определения предпомпажных режимов работы компрессора применяется анализатор вибрации Кварц 2.

Методика эксперимента заключается в испытании ступени ЦБК на различных частотах вращения с варьированием положения дроссельной заслонки для изменения расхода рабочего тела, проходящего через проточную часть. Полученные данные обрабатываются с помощью программного комплекса MATLAB. Для каждой частоты вращения строится напорная ветвь в границах устойчивой работы компрессора. Полученная характеристика ступени ЦБК в приведённых координатах [2] на частичных режимах работы электропривода представлена на рис. 2. Помимо этого, строятся зависимости коэффициента полезного действия и мощности от приведенного расхода воздуха.

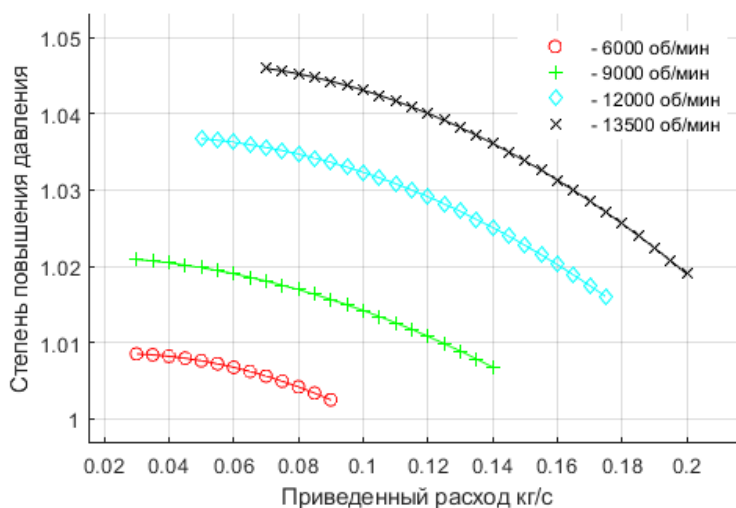


Рис. 2. Характеристика ступени ЦБК

В результате выполнения проектировочных и монтажных работ был создан учебно-лабораторный стенд, отвечающий современным стандартам инженерного образования и способствующий развитию у обучающихся профессиональных навыков в области газотурбостроения.

Список литературы

1. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: учебник для энергетич. и авиац. вузов / Арбеков А. Н., Вараксин А. Ю., Иванов В. Л. [и др.]; общ. ред. Вараксин А. Ю. - 4-е изд., испр. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. - 678 с.

2. Осевые и центробежные компрессоры: Применение, теория, расчет / Эккерт Б. пер. с нем. инж. Е.С. Фролова и инж. Б.Д. Захарова. – М.: Машгиз, 1959. - 679 с.

Сведения об авторе

Хорошавцев Даниил Романович, аспирант, ассистент. Область научных интересов: исследование течений в центробежных компрессорах.

Мочалов Артем Алексеевич, старший преподаватель. Область научных интересов: PIV диагностика потоков.

Ушаков Роман Евгеньевич, студент. Область научных интересов: аддитивные технологии при создании узлов ГТУ.

EDUCATIONAL AND LABORATORY TEST-BED FOR DEVELOPMENT GAS-DYNAMIC PARTS OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR STAGE

Khoroshavtsev D.R., Mochalov A.A., Ushakov R.E.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, hor012497@hotmail.com

Keywords: centrifugal compressor, additive manufacturing, test-bed, stage characteristic.

The project is devoted to the creation of an educational and laboratory experimental installation, the main task of which is to study the stage characteristics of centrifugal compressor with various impellers, vaned diffusers and exhaust systems.