

УДК 621.45.02

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОРАЗМЕРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

© 2013 В.Н. Матвеев, О.В. Батулин, Л.С. Шаблий, А.В. Кривцов

Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 29.11.2013

В статье приводится описание экспериментальной установки для получения характеристик мало-размерного центробежного компрессора. Приведены подробные данные о геометрии всех элементов исследуемого компрессора, схема измерения параметров и результаты некоторых экспериментов. Полученная информация может быть использована в качестве тестовой задачи для верификации программ численного моделирования.

Ключевые слова: *компрессор центробежный, стенд экспериментальный, схема измерений, результаты экспериментов*

С 1970-х годов в лаборатории лопаточных машин кафедры теории двигателей летательных аппаратов для проведения студенческих лабораторных работ используется стенд для экспериментального получения характеристик малоразмерного компрессора. В 2007 г. стенд прошел модернизацию и был оснащен автоматизированной системой управления, сбора и обработки экспериментальных данных. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 2, а его общий вид в рабочем состоянии на рис. 1. Стенд устроен следующим образом. В корпусе на подшипниках располагается вал, на один конец которого насажено рабочее колесо (РК) исследуемого компрессора. Его внешний вид показан на рис. 3. Прежде чем попасть на вход РК, воздух проходит мерную трубу, в которой установлен вихревой расходомер. Для повышения точности измерения расхода воздуха G_g труба имеет протяженность в 6 калибров до расходомера и 4 калибра после него с целью выравнивания поля скоростей. Для сообщения потоку предварительной закрутки на входе в РК установлен входной направляющий аппарат (ВНА), который на выходе имеет лопаточные углы 25° (от фронта решетки) на периферии и 65° на втулке. Лопаточный диффузор в компрессоре не установлен. Сжатый воздух из РК компрессора проходит

щелевой диффузор и выбрасывается в атмосферу через регулируемые выпускные окна (рис. 2 и 3). Их площадь может изменяться с помощью диска-дресселя, который перемещается шаговым двигателем. За счет этого регулируется расход воздуха через компрессор G_g . Дроссель оборудован датчиком обратной связи, который сигнализирует о положениях диска, соответствующих определенным площадям выпускных окон. Геометрия проточной части выходной области исследуемого компрессора приведена на рис. 4. Компрессор приводится во вращение с помощью воздушной микротурбины, рабочее колесо которой установлено на одном валу с РК компрессора. Турбина приводится в действие сжатым воздухом, который поступает из пневматической системы университета и предварительно проходит через фильтр и кран-регулятор.

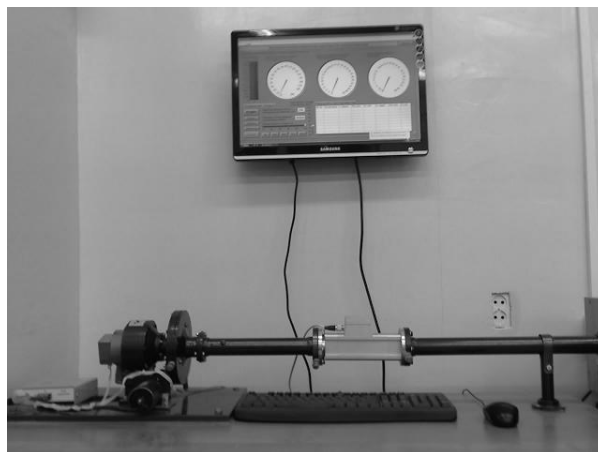


Рис. 1. Лабораторная установка для изучения рабочего процесса и снятия характеристик центробежного микрокомпрессора [1]

Матвеев Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории двигателей летательных аппаратов. E-mail: tdla@ssau.ru

Батулин Олег Витальевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: udet@mail.ru

Шаблий Леонид Сергеевич, кандидат технических наук, ассистент. E-mail: afroaero@hotmail.com

Кривцов Александр Васильевич, аспирант

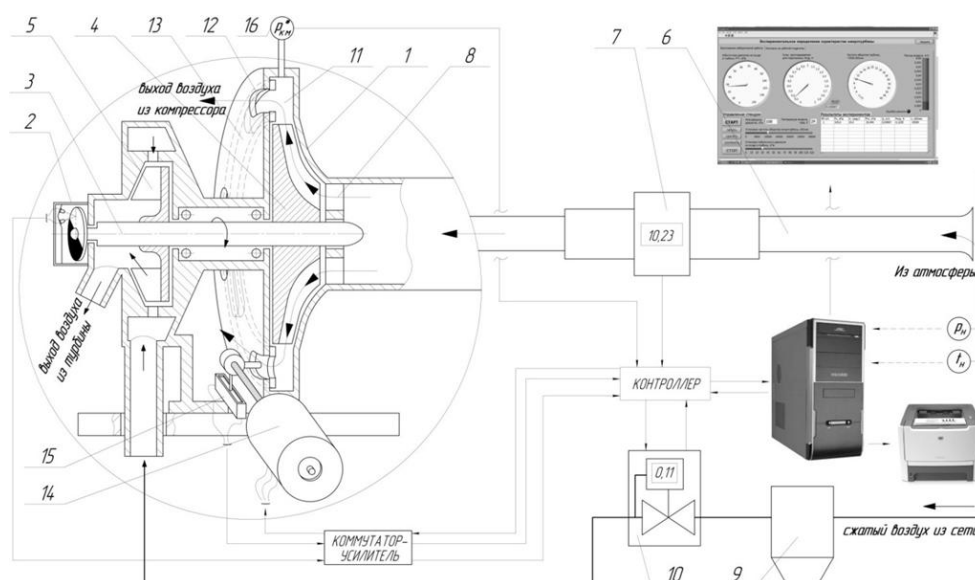


Рис. 2. Схема лабораторного стенда по исследованию компрессора [1]

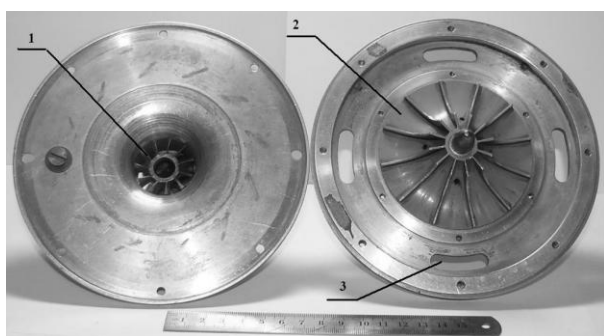


Рис. 3. Внешний вид исследуемого компрессора [1]: 1 – входной направляющий аппарат; 2 – рабочее колесо; 3 – выпускные окна

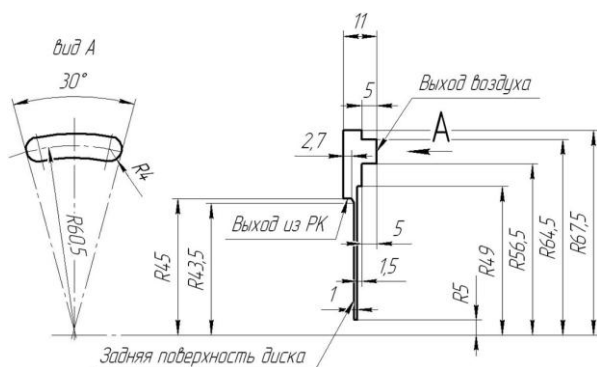


Рис. 4. Размеры проточной части выходной системы компрессора

В ходе проведения эксперимента на описанном стенде измеряются следующие параметры, необходимые построения характеристик компрессора при изучении его рабочего процесса:

1. Атмосферные давление p_n и температура t_n в лабораторном помещении. При обработке результатов полагается, что потери тепла в расходе незначительны и параметры на входе в компрессор равны атмосферным.

2. Избыточное (манометрическое) давление на выходе из компрессора $p_{к.м.}$. Давление за компрессором передается на первичный преобразователь через отверстие в корпусе с помощью импульсной трубки. Отборное отверстие расположено перпендикулярно направлению движения потока. Таким образом, за компрессором фактически измеряется статическое давление (рис. 6).

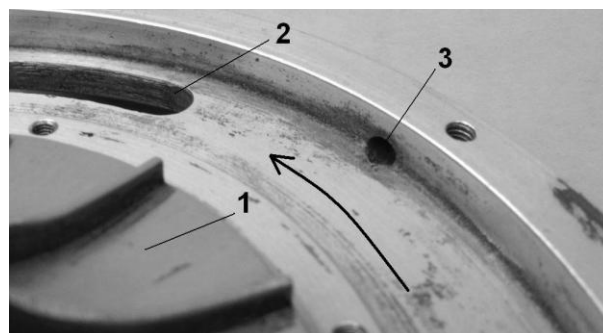


Рис. 6. Отбор давления на преобразователь давления: 1 – рабочее колесо; 2 – отверстие выхода потока; 3 – отверстие отбора давления для преобразователя; стрелкой указано преимущественное направление движения воздуха

3. Частота вращения РК компрессора n , мин⁻¹, измеряется фотоэлектрическим датчиком.

4. Объемный расход воздуха через компрессор Q_v . С помощью данной величины при известных атмосферных условиях, программа стенда в автоматическом режиме вычисляет массовый расход рабочего тела через компрессор G .

5. Полное избыточное давление на входе в приводную микротурбину $p_{тм.}^*$. Опираясь на

данную величину, а также частоту вращения РК, управляющая программа стенда в автоматическом режиме по заложенным в нее тарифовочным зависимостям определяет величину крутящего момента на выходном валу турбины $M_{кр}$. При обработке результатов полагается, что данный момент без потерь передается на компрессор. Утечки рабочего тела из проточной части не регистрируются и при обработке результатов не учитываются.

Измерения производятся посредством первичных преобразователей. Они преобразуют измеряемые параметры в электрические сигналы, которые обрабатываются автоматизированной системой управления стенда и отображаются на мониторе компьютера в специальной программе (рис. 7). Расчет и построение характеристик микрокомпрессора по экспериментальным данным осуществляются автоматически. Результаты, полученные в ходе эксперимента, выводятся на печать.



Рис. 7. Внешний вид окна программы управления стендом и отображения результатов [1]

Основным результатом исследования являются зависимости $\pi_k^*, \eta_k^* = f(G_e)$, полученные при фиксированных частотах вращения ротора. Экспериментальное значение степени сжатия π_k вычисляется как отношение статического давления за компрессором к атмосферному давлению на входе в компрессор. КПД компрессора η_k определяется как отношение полезной работы к затраченному напору:

$$\eta_k^* = \frac{L_{KS}}{H_z}$$

Изоэнтروпическая работа вычисляется по известному соотношению:

$$L_{KS} = c_p T_n^* \left(\pi_k^{* \frac{k-1}{k}} - 1 \right), \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

где $c_p = \frac{k}{k-1} R = 1005 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ – теплоемкость воздуха; k – показатель изоэнтروпы воздуха $k=1,4$.

Затраченный напор вычисляется по крутящему моменту турбины:

$$H_z = M_{кр} T \frac{\pi n}{G_b \cdot 3000}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

В настоящее время на нашей кафедре накоплен большой объем экспериментальных данных о рабочем процессе описанного выше компрессора. Некоторые из них в виде протоколов приведены на рис. 8. Они могут быть использованы для верификации расчётных моделей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 Батуриц, О.В. Экспериментальное определение характеристик малоразмерных лопаточных машин: учеб. пособие / О. В. Батуриц и др. Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева. – Самара: Изд-во СГАУ, 2006. 127 с.
- 2 Наталевич, А.С. Лабораторный практикум по курсу «Лопаточные машины» / А.С. Наталевич, В.П. Ильин, А.А. Трофимов, С.В. Кбеке. – Куйбышев: Из-во КуАИ, 1970. 31 с.

Эксперимент №1					
Атмосферные условия					
$p_{\text{н}}$, кПа		100	$T_{\text{н}}$, К		296
Результаты эксперимента					
n , об/мин	$p_{\text{х}}$, кПа	G , кг/с	$N_{\text{к}}$, Вт	$\pi_{\text{к}}$	$\eta_{\text{к}}$
26280	101,2	0,0156	328	1,015	0,0603
25860	101,5	0,0159	320	1,015	0,0629
25860	101,2	0,0150	311	1,017	0,0693
26280	102,2	0,0142	303	1,022	0,0867
26040	102,8	0,0130	291	1,028	0,1053
25860	104,5	0,0104	257	1,045	0,1531
25980	106,6	0,0054	190	1,066	0,1547
25560	106,5	0,0051	183	1,065	0,1494

Эксперимент №2					
Атмосферные условия					
$p_{\text{н}}$, кПа		100	$T_{\text{н}}$, К		296
Результаты эксперимента					
n , об/мин	$p_{\text{х}}$, кПа	G , кг/с	$N_{\text{к}}$, Вт	$\pi_{\text{к}}$	$\eta_{\text{к}}$
22260	101,0	0,0130	212	1,010	0,0519
21900	101,0	0,0130	208	1,010	0,0530
22020	101,2	0,0124	200	1,012	0,0630
21780	101,6	0,0119	190	1,016	0,0843
22140	102,0	0,0110	185	1,020	0,1002
21900	103,7	0,0079	154	1,037	0,1584
21840	104,5	0,0054	134	1,045	0,1503
21780	104,5	0,0054	133	1,045	0,1513

Эксперимент №3					
Атмосферные условия					
$p_{\text{н}}$, кПа		100	$T_{\text{н}}$, К		296
Результаты эксперимента					
n , об/мин	$p_{\text{х}}$, кПа	G , кг/с	$N_{\text{к}}$, Вт	$\pi_{\text{к}}$	$\eta_{\text{к}}$
25080	101,0	0,0178	320,8	1,018	0,085
25020	101,3	0,0169	305,3	1,021	0,099
25080	102,1	0,0152	286,7	1,029	0,130
25020	102,7	0,0140	272,9	1,035	0,152
25200	105,3	0,0081	209,7	1,061	0,198
25200	105,9	0,0039	165,4	1,068	0,132
25080	101,0	0,0178	320,8	1,018	0,085
25020	101,3	0,0169	305,3	1,021	0,099

Эксперимент №4				Эксперимент №5			
Атмосферные условия							
$p_{\text{н}}$, кПа		99,2	$T_{\text{н}}$, К	296	$p_{\text{н}}$, кПа		99,2
					$T_{\text{н}}$, К		296
Результаты эксперимента							
n , об/мин	$G_{\text{в}}$, кг/с	$\pi_{\text{к}}^*$	$\eta_{\text{к}}^*$	n , об/мин	$G_{\text{в}}$, кг/с	$\pi_{\text{к}}^*$	$\eta_{\text{к}}^*$
19980	0,0138	1,012	0,078	15960	0,0107	1,008	0,065
20100	0,0129	1,015	0,094	15960	0,0104	1,010	0,081
20040	0,0121	1,019	0,116	16020	0,0095	1,012	0,092
20040	0,0112	1,023	0,136	15840	0,0089	1,015	0,113
19920	0,0073	1,037	0,176	15840	0,0070	1,021	0,137
20100	0,0028	1,044	0,099	16080	0,0039	1,027	0,112

Рис. 8. Протоколы экспериментальных исследований

THE EXPERIMENTAL STAND FOR STUDYING THE CHARACTERISTICS OF SMALL-SIZED CENTRIFUGAL COMPRESSOR

© 2013 V.N. Matveev, O.V. Baturin, L.S. Shabliy, A.V. Krivtsov

Samara State Aerospace University named after acad. S.P. Korolyov
(National Research University)

The description of experimental stand for obtaining characteristics of small-sized centrifugal compressor is provided in article. Detailed data on geometry of all elements of the studied compressor, scheme of measurement the parameters and results of some experiments are provided. Received information can be used as a test task for verification the programs of numerical modeling.

Key words: centrifugal compressor, experimental stand, scheme of measurements, results of experiments

Valeriy Matveev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Theory of Aircraft Engines Department. E-mail: tdl@ssau.ru; Oleg Baturin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: udet@mail.ru; Leonid Shabliy, Candidate of Technical Sciences, Assistant. E mail: afroaero@hotmail.com; Alexander Krivtsov, Post-graduate Student