

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ГАЗА В ОБРАТНОМ НАПРАВЛЯЮЩЕМ АППАРАТЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

*А.Н. Калашников*¹

Приведено описание модели обратного направляющего аппарата центробежного компрессора и показаны некоторые результаты экспериментальных исследований.

ВВЕДЕНИЕ

В состав промежуточной ступени центробежного компрессора помимо рабочего колеса и диффузора входит обратный направляющий аппарат. При течении газа в ОНА существенно изменяется направление его движения - на 270° в меридиональной плоскости и примерно на 60° в радиальной. Вследствие этого структура потока имеет сложный пространственный характер [1, 2, 3, 4]. Согласно [3] в среднем на оптимальном режиме работы компрессора в ОНА теряется около 5% от энергии, затрачиваемой на вращение рабочего колеса компрессора. Снижение значений коэффициентов потерь ОНА позволит повысить к.п.д. центробежных компрессоров, т. е. уменьшить энергозатраты.

Проведенный литературный поиск подтвердил, что данные представленные по поворотному колесу и лопаточной решетке ОНА, практически во всех работах ограничиваются входом и выходом из этого аппарата, данные о структуре потока по длине лопаток и ширине канала отсутствуют. Большая часть экспериментальных исследований относится к ОНА с лопатками постоянной толщины со средней линией, выполненной по дуге окружности, но в настоящее время в ОНА с лопатками постоянной толщины не применяются из-за их низкой эффективности по сравнению с лопатками переменной толщины. Структура течения газа в ОНА с лопатками переменной толщины изучена не достаточно и необходимо более тщательное исследование элементов ОНА (поворотного колена и лопаточной решетки).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью проведения экспериментального исследования течения газа в модели обратного направляющего аппарата центробежного компрессора на аэродинамическом стенде является получение информации о структуре потока в поворотном колене и лопаточной решетке ОНА. Полученные экспериментальные данные используются при разработке методики расчета, учитывающей неравномерность параметров потока газа на входе в элементы ОНА, а также реальные термодинамические свойства сжимаемого газа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения опытов по исследованию структуры потока газа в ОНА лопаточного типа, определения газодинамических характеристик, в том числе показателей эффективности ОНА, была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, которая была установлена на аэродинамическом стенде в Сумском государственном университете [5].

Схема аэродинамического стенда представлена на рисунке 1. Стенд работает по открытой схеме, рабочая среда – воздух. Стенд состоит из: всасывающего трубопровода 1, сопла Вентури 2, центробежного вентилятора 3, который приводится в движение электродвигателем 4,

¹ *Ассистент, Сумский государственный университет.*

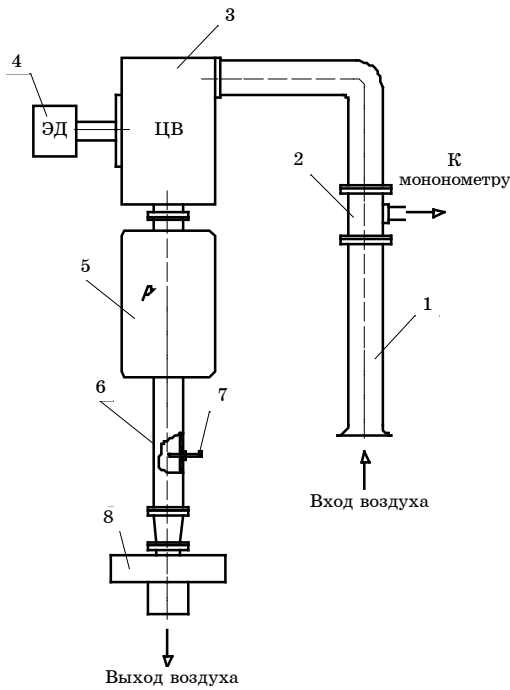


Рисунок 1 – Схема аэродинамического стенда

Буферная емкость (ресивер) 5, предназначена для гашения пульсаций давления на выходе из центробежного вентилятора. Из буферной емкости воздух по нагнетательному трубопроводу 6 поступает в модель ОНА 8. В нагнетательном трубопроводе расположен узел измерения статического и полного давления 7, при помощи которого можно определять расход воздуха и его плотность на входе в модель ОНА. В данной работе исследовался ОНА, состоящий из трех элементов: поворотного колена (ПК), круговой решетки неподвижных лопаток и кольцевого колена. Схема экспериментальной модели ОНА представлена на рисунке 2, а ее внешний вид – на рисунке 3.

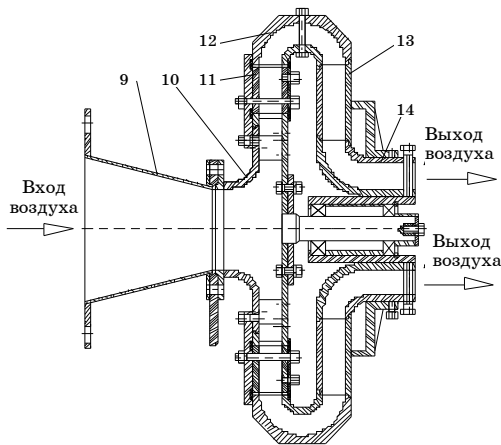


Рисунок 2 - Схема экспериментальной модели ОНА

буферной емкости (ресивера) 5, нагнетательного трубопровода 6. Сопло Вентури, используемое для измерения расхода воздуха, установлено во всасывающем трубопроводе. Воздух после сопла Вентури поступает в высоконапорный вентилятор. Высоконапорный центробежный вентилятор типа ВЦ14-46-2А приводится во вращение балансирующим электродвигателем постоянного тока мощностью 69 кВт и частотой вращения до 5000 об/мин. На пульте управления стендом расположен реостат для изменения частоты вращения ротора центробежного вентилятора, что позволяет регулировать расход подаваемого в модель ОНА воздуха. Максимальный расход воздуха, который можно получить на стенде равен $Q_{\max} = 8000 \text{ м}^3/\text{час} = 2,222 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом значение абсолютной скорости в нагнетательном трубопроводе достигает $V_{\max} = 100 \text{ м/сек}$.

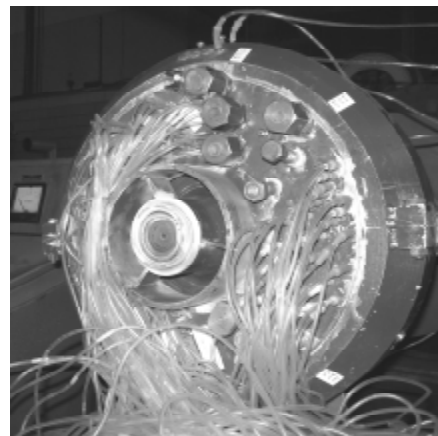


Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальной модели ОНА

Конфузор 9 предназначен для повышения скорости потока газа в экспериментальной установке. После конфузора воздух поступает в закручивающее устройство 10, в котором он меняет направление из осевого на радиальное. Лопатки закручивающего устройства – двухрядные, что позволяет за счет поворота лопаток второго ряда изменять направление потока газа в диапазоне $\alpha_2=10^0 - 40^0$. Количество лопаток первого и второго ряда одинаково и равно 20 шт. Лопатки имеют постоянную толщину 4 мм, а входные и выходные кромки скруглены по радиусу 2 мм.

Внешний вид модели ОНА показан со стороны выхода воздуха.

Конструктивные характеристики экспериментальной модели:

Тип компрессора	Центробежный
Диаметр входного патрубка, мм	100
Диаметр D_1 , мм	170
Диаметр D_2 , мм	var
Диаметр D_3 , мм	284
Ширина проточной части $b_3=b_4=b_5=b_6$, мм	25
Количество лопаток $z_2=z_3$	20
Диаметр $D_4=D_5$, мм	400
Диаметр D_6 , мм	212
Количество лопаток $z_5=z_6$	19

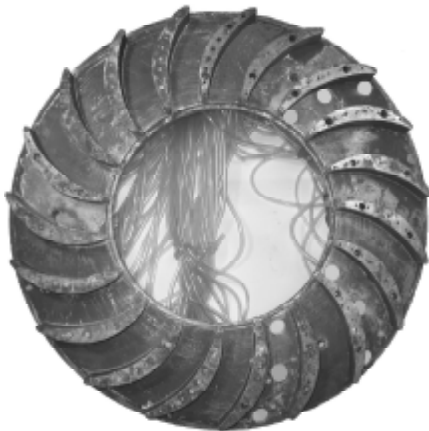


Рисунок 4 - Лопаточная решетка ОНА

Устанавливаемый за закручивающим устройством диффузор 11 может быть выполнен как в безлопаточном (БЛД), так и в лопаточном (ЛД) исполнении. После диффузора воздух поступает в поворотное колено 12. Поворотные колена, которые использовались при проведении эксперимента, были трех типов: постоянного сечения $b_5/b_4=1$; сужающиеся $b_5/b_4=0,6$; расширяющиеся $b_5/b_4=1,4$. Изменение отношения b_5/b_4 обеспечивалось за счет установки в исследуемой модели различных внутренних проставок.

Из ПК 12 воздух поступает в лопаточную решетку ОНА 13, а затем в выходной патрубок 14. Лопаточная решетка ОНА имеет параллельные стенки, межлопаточные каналы ОНА спрофилированы по линейному закону изменения среднерасходной скорости (рис.4). В поворотном колене и лопаточной решетке ОНА – выполнены отверстия, позволяющие измерять полные и статические давления. Отверстия расположены на периферийной и внутренней поверхности поворотного колена, а также на внешнем диске лопаточной решетки. Отбор статических давлений производится также на вогнутой и выпуклой поверхностях лопаток ОНА.

Схемы расположения отверстий для отбора статических и полных давлений в ПК, на лопатках ОНА и в межлопаточном пространстве ОНА

представлены в работе [5]. Измерения статических и полных давлений выполнялись при разных углах установки лопаток закручивающего устройства и при разных расходах воздуха в установке.

На рисунках 5 - 7 показаны некоторые результаты измерений статических и полных давлений в поворотном колене и лопаточной решетке модели ОНА. В работе [5] представлены результаты исследований для большего числа режимов течения.

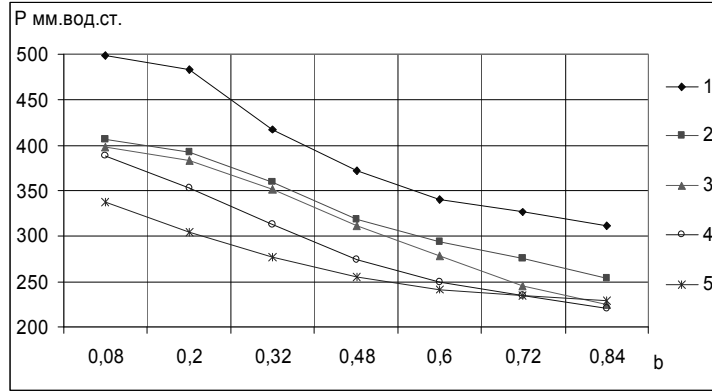


Рисунок 5 - Распределение полных давлений по ширине канала в поворотном колене (ПК) модели с углом закрутки потока $\alpha_2 = 22^\circ$ и массовым расходом $m = 1,372 \text{ кг/с}$

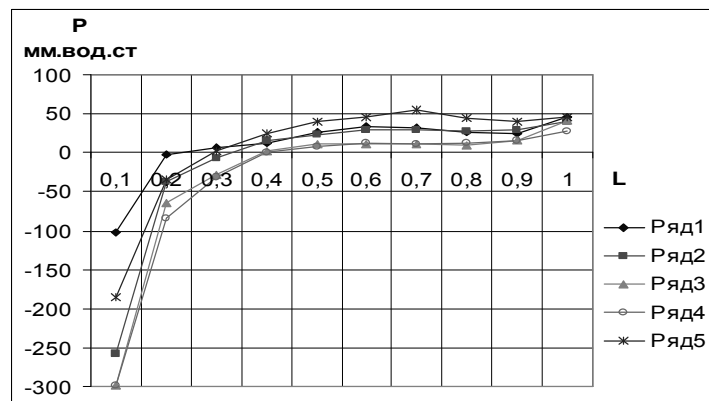
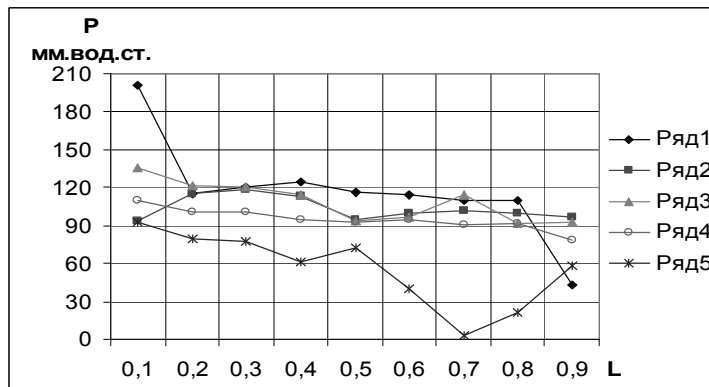


Рисунок 6 - Распределение статических давлений на вогнутой и на выпуклой стороне лопатки ОНА для варианта с углом закрутки потока $\alpha_2 = 22^\circ$ и массовым расходом $m = 1,014 \text{ кг/с}$

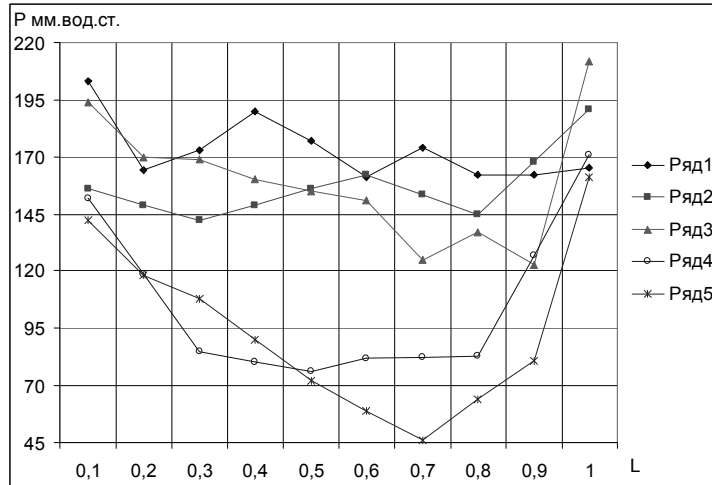


Рисунок 7 - Распределение статических давлений на наружной стенке лопаточной решетки ОНА для варианта с углом закрутки $\alpha_2 = 40^\circ$ и массовым расходом $m = 1,322 \text{ кг/с}$

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные позволяют определить распределения давлений и скоростей потока вдоль внутренней и наружной поверхностей поворотного колена, а также для выпуклой и вогнутой поверхностей лопаточной решетки. Данные о структуре потока использованы при разработке методики расчета течения газа в ОНА и компьютерной модели для выполнения расчетов. При разработке методики следует учитывать неизоэнтропийность течения газа в ОНА.

SUMMARY

The description of model of the return directing device of the centrifugal compressor is given and some results of experimental researches are shown.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галеркин Ю.Б., Рекстин Ф.С. Методы исследования центробежных компрессорных машин. - Л.: Машиностроение, 1969. - 304с.
2. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б. Центробежные компрессоры. - Л.: Машиностроение, 1982. - 272 с.
3. Рис В.Ф. Центробежные компрессоры машины. - Л.: Машиностроение, 1981.-351 с.
4. Ден Г.Н. Проектирование проточной части центробежных компрессоров: Термогазодинамические расчеты. - Л.: Машиностроение, 1990. - 232 с.
5. Калашников А.Н., Калинкевич Н.В. К вопросу о проектировании обратно-направляющих аппаратов центробежных компрессоров// Вестник Национального технического университета Украины. - 2002. - Т.2.- С.158-160.
6. «Экспериментальные исследования обратно-направляющих аппаратов центробежных компрессоров». Отчет о НИР, № гос. рег.0107U001281. - Сумы: СумГУ, 2007.

Поступила в редакцию 5 декабря 2006 г.