

УДК 621.438.001.5:533.6

С.Н. ВЕРШКОВСКИЙ, А.В. КОТОВ

ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», Николаев, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ КОЛЕНООБРАЗНОГО ГАЗООТВОДА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассмотрены особенности использования улиточных и коленообразных газоотводов для газотурбинных двигателей производства ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект». Приведены результаты стендовых исследований аэродинамических характеристик модели коленообразного газоотвода газотурбинного двигателя. В результате исследований определены оптимальные с точки зрения аэродинамики соотношения между основными геометрическими параметрами газоотвода: выходного диаметра и радиуса средней линии колена, длины прямого цилиндрического патрубка за коленом и выходного диаметра сопла.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, коленообразный газоотвод, аэродинамические характеристики, экспериментальные исследования.

Введение

Коленообразные газоотводы нашли применение в тех газотурбинных двигателях (ГТД) разработки НПКГ «Зоря»-«Машпроект», к которым предъявляются повышенные требования к массе и поперечным габаритам: М-75, ДА80, ДН80, ДГ80, ДУ80 и других.

Для однотипных двигателей коленообразные газоотводы по сравнению с улиточными примерно в три раза легче [1]. Их недостатком является увеличенные осевые габариты, что приводит к необходимости удлинения рессоры между силовой турбиной ГТД и потребителем мощности.

Уменьшение длины рессоры может быть достигнуто за счет уменьшения радиуса средней линии колена газоотвода, но при этом гидравлические потери возрастают за счет увеличения отрывной области на выпуклой стороне проточной части колена.

Актуальной задачей является изучение взаимного влияния геометрических параметров коленообразного газоотвода на его аэродинамические характеристики.

Результаты исследований

Учитывая сложность протекания физических процессов в коленообразном газоотводе, наиболее приемлемым методом исследований следует считать экспериментальный.

Для проведения экспериментальных исследований в конструкторском и научно-исследова-

тельском отделениях НПКГ «Зоря»-«Машпроект» была спроектирована, изготовлена и испытана модель коленообразного газоотвода.

На рис. 1 приведен эскиз проточной части модели газоотвода.

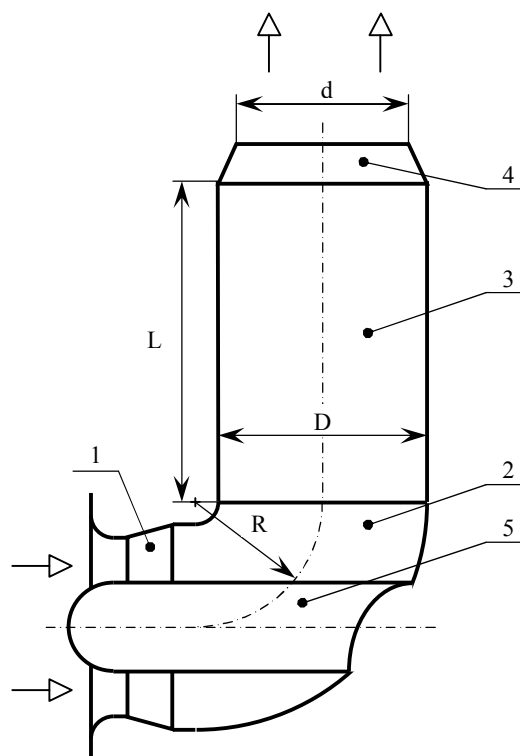


Рис. 1. Эскиз проточной части модели коленообразного газоотвода
1 – входное устройство; 2 – коленообразный патрубок; 3 – цилиндрический патрубок; 4 – выходное сопло; 5 – внутренний кожух

Модель состоит из входного устройства 1, имитирующего выходной диффузор силовой турбины с силовыми стойками опорного венца, коленообразного патрубка 2, цилиндрического патрубка 3 и выходного сопла 4, обеспечивающего в натуральных условиях работу эжекторной системы. В проточной части входного устройства 1 и коленообразного патрубка 2 расположен внутренний кожух 5, через который в натуральных условиях проходит рессора.

Угол поворота потока в модели составляет 90° .

Основными геометрическими параметрами газоотвода являются: радиус средней линии коленообразного патрубка R , выходной диаметр проточной части коленообразного патрубка D , длина цилиндрического патрубка L , выходной диаметр сопла d .

Для проведения испытаний модели в широком диапазоне изменения геометрических параметров были изготовлены из органического стекла: одно входное устройство, три коленообразных патрубка с различными радиусами R , четыре цилиндрических патрубка с различными длинами L и три сопла с различными выходными диаметрами d . Коэффициент моделирования по площади 1: 25.

Испытания модели газоотвода проводились в аэродинамической трубе открытого типа. Входное устройство модели крепилось к выходному фланцу стендового ресивера.

Выхлоп воздуха из модели производился в помещении испытательного бокса с атмосферным давлением.

В процессе испытаний модели регистрировались следующие параметры потока: массовый расход воздуха через модель, избыточные полные давления на входе и выходе из модели.

В качестве критерия аэродинамической эффективности принят коэффициент гидравлического сопротивления ζ_0 , определяемый по формуле

$$\zeta_0 = \frac{\Delta P_{01} - \Delta P_{02}}{\frac{\kappa}{\kappa + 1} \cdot \lambda_1^2 \cdot \varepsilon(\lambda_1) \cdot P_{01}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{01(02)}$ – среднее избыточное полное давления на входе в модель (выходе из модели);

P_{01} – среднее абсолютное полное давление на входе в модель;

κ – показатель адиабаты;

λ_1 – приведенная скорость потока на входе в модель;

$\varepsilon(\lambda_1)$ – газодинамическая функция отношения плотностей.

Значение ΔP_{02} определялось путем осреднения результатов траверсирования проточной части 10-точечной гребенкой полного давления.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 2 и 3 для номинального значения скорости $\lambda_1 = 0,2$.

На рис. 2 показано изменение коэффициента ζ_0 в зависимости от относительных геометрических параметров L/D и R/D . На выходе из цилиндрических патрубков сопло не устанавливалось. Случай $L/D = 0$ соответствует варианту испытаний, когда выхлоп из коленообразного патрубка осуществлялся непосредственно в атмосферу.

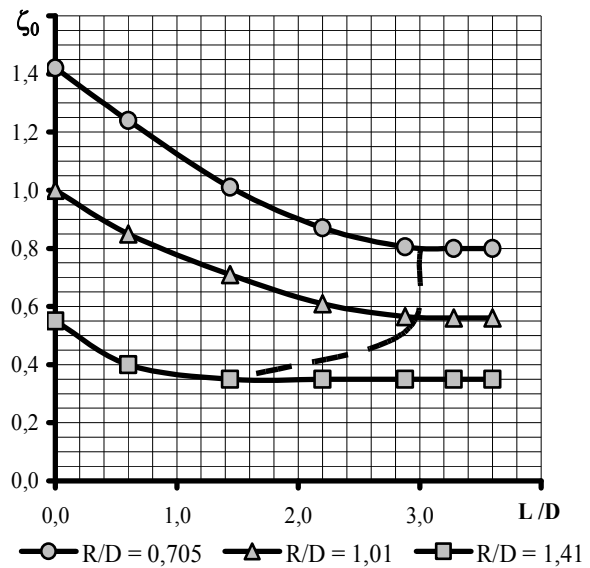


Рис. 2. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ζ_0 от относительных геометрических параметров L/D и R/D (при $d/D = 1$)

Из рис. 2 видно, что с увеличением относительной длины L/D цилиндрического патрубка коэффициент ζ_0 сначала уменьшается, а затем при определенном значении L/D остается постоянным. Точки на характеристиках, правее которых $\zeta_0 = \text{const}$, соединены пунктиром. Например, для случаев $R/D = 0,705$ и $R/D = 1,41$ целесообразная относительная длина L/D с точки зрения аэродинамики не превышает значений 3,0 и 1,4 соответственно.

На рис. 3 приведены зависимости коэффициента ζ_0 в зависимости от относительных геометрических параметров d/D и R/D для трех значений L/D .

Из рассмотрения рис. 3 следует, что кривые $\zeta_0 = f(d/D)$ имеют пологий минимум. Точки с минимальными значениями ζ_0 соединены между собой пунктирными линиями. При $R/D = 0,705$ и $L/D = 0$ минимум не получен из-за отсутствия сопел $d/D = (0,7..0,8)$. Минимум на характеристиках смещается вправо с увеличением R/D и L/D . На-

пример, при $L/D = 1,44$ минимальные значения ζ_0 наблюдаются при $d/D = 0,925$ для $R/D = 0,705$ и при $d/D = 0,955$ для $R/D = 1,41$. При $R/D = 1,41$

увеличение L/D с 0 до 2,88 приводит к смещению минимума соответственно с $d/D = 0,925$ до $d/D = 0,955$.

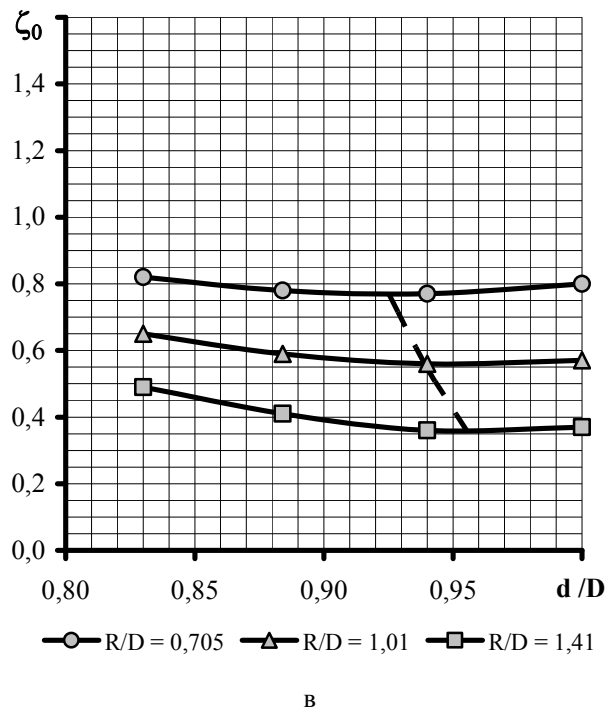
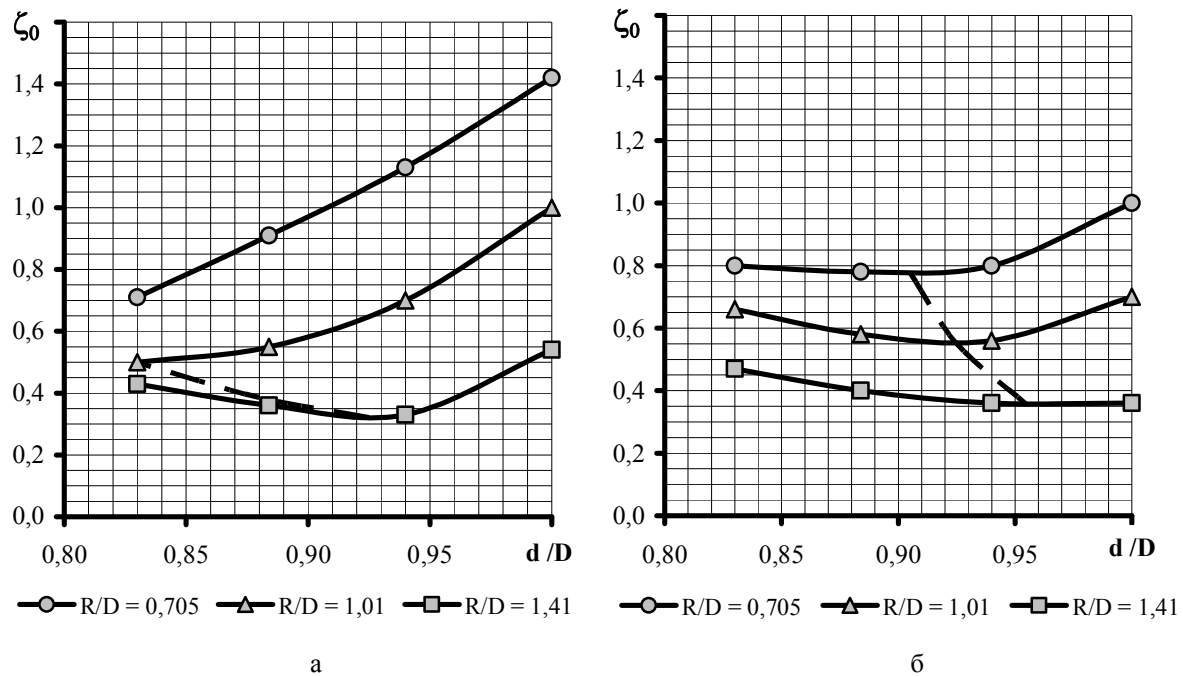


Рис. 3. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ζ_0 от относительных геометрических параметров d/D и R/D :
а – при $L/D = 0$; б – при $L/D = 1,44$; в – при $L/D = 2,88$

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить совместное влияние основных геометрических параметров на аэродинамические характеристики коленообразного газотвода. Выявлены оптимальные с точки зрения аэродинамики соотношения между радиусом средней линии и выходным диаметром коленообразного патрубка, длиной прямого цилиндрического патрубка за коленом и выходным диаметром сопла.

Литература

1. Выхлопные патрубки газотурбинных двигателей. Опыт создания и новые разработки [Текст] / Ю.В. Бешинский, С.Н. Вершковский, О.Г. Жирицкий, Б.В. Исаков, В.А. Стародубец, В.Т. Федан // Судовое и энергетическое газотурбостроение: Научно-технический сборник. 2 тома. – Николаев: НПКГ «Зоря»-«Машпроект», НО ИАУ, 2004.

Поступила в редакцию 19.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Р. Ткач, Национальный университет кораблестроения, Николаев.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МОДЕЛІ КОЛІНОПОДІБНОГО ГАЗОВІДВОДУ
ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА**

С.М. Вершковський, А.В. Котов

У статті розглянуті особливості використання завиткових і коліноподібних газовідводів для газотурбінних двигунів виробництва ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект». Наведені результати стендових досліджень аеродинамічних характеристик моделі коліноподібного газовідводу газотурбінного двигуна. В результаті досліджень визначені оптимальні з точки зору аеродинаміки співвідношення між основними геометричними параметрами газовідводу: вихідного діаметру та радіусу середньої лінії коліна, довжини прямого циліндричного патрубка за коліном і вихідного діаметру сопла.

Ключові слова: газотурбінний двигун, коліноподібний газовідвід, аеродинамічні характеристики, експериментальні дослідження.

**EXPERIMENTAL RESEARCH INTO AERODYNAMIC PERFORMANCE
OF AN ELBOW EXHAUST DUCT MODEL
OF A GAS TURBINE ENGINE**

S.N. Vershkovski, A.V. Kotov

The article describes particularities of application of volute and elbow exhaust ducts for gas turbine engines manufactured by SC RPC Zorya – Mashproekt. Results of rig tests of aerodynamic performance of an elbow exhaust duct model of a gas turbine engine are presented. The research revealed optimal aerodynamic relations between principal geometrical parameters of exhaust duct: outlet diameter and the elbow mean line radius, length of straight cylindrical pipe downstream the elbow and the outlet diameter of the nozzle.

Key words: gas turbine engine, elbow exhaust duct, aerodynamic performance, experimental research.

Вершковський Сергей Николаевич – инженер-конструктор 1-й категории отдела турбин КО ЦНИОКР «Машпроект», Николаев, Украина, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua.

Котов Андрей Владимирович – канд. техн. наук, начальник научно-исследовательской лаборатории газодинамики НИО ЦНИОКР «Машпроект», Николаев, Украина, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua.