

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОНДА С КОМПАКТНЫМ ДЕМПФЕРОМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

©2016 В.Н. Иваненко¹, Т.Г. Александрова¹, Е.С. Дягилева¹, А.Г. Гимадиев², Н.Д. Быстров²

¹ Публичное акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва

EXPERIMENTAL RESEARCH OF OSCILLATING PROCESS FOR TURBOPROP ENGINE TESTING ON HYDRAULIC BRAKE

Ivanenko V.N., Alexandrova T.G., Dyagileva E.S. (JSC «KUZNETSOV», Samara, Russian Federation),
Gimadiev A.G., Bystrov N.D. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Results of natural tests of a probe for measurement of pulsations of pressure are given in flowing part of the gas-turbine engine. It is established that application of a probe with a small-sized damper for automatic correction on the average pressure of his frequency characteristics provides measurement of pulsations of pressure in rather wide range of frequencies with a margin error no more than 15%.

Известно, что переход на низкоэмиссионные наземные газотурбинные силовые установки продиктован требованиями по их экономичности и экологической безопасности. Создание низкоэмиссионных камер сгорания является непростой инженерной задачей. Многочисленными исследованиями установлено, что процесс горения бедных смесей в камерах сгорания газотурбинных двигателей (ГТД), не снабжённых демпферами акустических колебаний, является неустойчивым. При этом порождаются пульсации давления, которые могут приводить к поломкам элементов камеры сгорания и другим проблемам в эксплуатации. Помимо этого, при отработке таких двигателей возникает необходимость в измерении пульсаций давления в воздушно-газовом тракте ГТД из-за их влияния на запас газодинамической устойчивости компрессора [1-3].

Для измерения пульсаций давления традиционно используется зонд, состоящий из гладкого волноводного канала, соединяющего точку измерения в камере сгорания или в каком-либо сечении компрессора с датчиком давления и акустического корректирующего элемента (АКЭ) для согласования по динамическим характеристикам с подводным каналом. АКЭ могут быть выполнены в виде сосредоточенных дросселей из пористого материала, устанавливаемых в характерных сечениях подводного канала и обладающих определенным акустическим

сопротивлением, например, если устанавливается посередине волноводного канала, то его сопротивление должно быть равно удвоенному волновому сопротивлению канала [4]. Однако, обладая простой конструкцией, они не позволяют провести коррекцию частотной характеристики зонда при изменении среднего давления в камере сгорания двигателя. Известен и применяется АКЭ в виде устанавливаемого байпасно датчику пульсаций давления длинного трубопровода с тем же проходным сечением, что и подводный канал. Недостатком такого АКЭ является его большие габариты и масса.

В результате совместных работ ПАО «КУЗНЕЦОВ» и Самарского государственного аэрокосмического университета создан многорежимный компактный демпфер с согласованными с подводным каналом акустическими характеристиками. Принцип действия демпфера основан на том, что при увеличении среднего давления автоматически повышается его акустическое сопротивление, пропорционально волновому сопротивлению подводного канала [5,6].

В соответствии с утверждённой программой испытаний двигателя НК-36СТ №318 проведены замеры пульсаций давления с помощью зонда П.1537 на ряде практически одинаковых по частоте вращения ротора низкого давления режимах. Зонд устанавливался в сечении за компрессором перед камерой сгорания. При этом в качестве

АКЭ в ряде замеров использовались штатная длинная линия (с внутренним диаметром 6 мм и длиной 47 м) и разработанный авторами акустический демпфер [4]. Пример компоновки демпфера в составе зонда приведён на рис. 1. Указанные зонды предварительно были испытаны на частотном стенде СГАУ.

Зарегистрированный зондом с акустическим демпфером спектр пульсаций давления (рис. 2) соответствует спектру пульсаций, полученному на тех же режимах работы двигателя зондом с акустической нагрузкой в виде 47 – метровой линии.

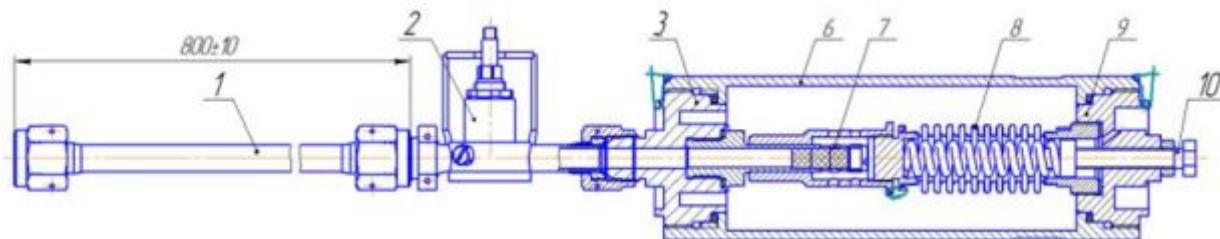


Рис. 1. Принципиальная схема зонда пульсаций давления с акустическим корректирующим демпфером: 1 - подводный волновод; 2 – датчик пульсаций РСВ М102А07; 3 – входной штуцер; 6-расширительная камера; 7-дроссель из материала МР; 8-сильфон; 9-заглушка; 10-регулирующий винт



Рис. 2. Амплитудный спектр пульсаций давления за компрессором двигателя НК-36СТ, зарегистрированный зондом с акустическим демпфером при среднем давлении 18 кгс/см²

Полученные результаты могут рассматриваться как первый шаг по внедрению зондов с компактными акустическими демпферами в практику экспериментальных работ предприятий, разрабатывающих газотурбинные двигательные установки.

Библиографический список

1. Probe for measuring pressure oscillation: Patent US 6550336 B2, US Class G01L73/707/ Inventors- Armin Brehm, Wolfgang Evers, Hugo Wetter, Hanspeter Zinn; Assignee: Alstom Technology Ltd. Publication date: 22 Apr. 2003; Priority date: 26 Nov. 2003.

2. Probe for measuring pressure oscillation in the combustor of a gas turbine: EP2921838 A1/ Inventors- Hanspeter Zinn, Nicolas Noiray, Bruno Schuermans, Danda –Raj Pahari, Dejan Rajkovic; Applicant- Alstom Technology Ltd. Publication date: 23 Sep. 2015; Priority date: 19 Mar. 2014.

3. Shorin V.P., Gimadiev A.G., Bystrov N.D./ On the development of a compact acous-

tic probe for pressure oscillation measurements in gas turbine engine // 2nd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2014, 15 September 2014 through 17 September 2, 2015 г. P. 46-52.

4. Шорин В.П., Шахматов Е.В., Гимадиев А.Г., Быстров Н.Д. Акустические методы и средства измерения пульсаций давления.– Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 132 с.

5. Устройство для измерения пульсаций давления газа: Патент РФ № 156562 / Гимадиев А.Г., Быстров Н.Д., Демкин Р.В., Дягилева Е.С. - Дата публикации: 2015-11-10 Приоритет: 2015-06-04.

6. Гимадиев А.Г., Дягилева Е.С., Быстров Н.Д. Разработка средств измерения пульсаций давления в проточной части ГТД. // Авиадвигатели XXI века. Москва 24-27 ноября 2015 г. Сборник тезисов докладов. – М.: ЦИАМ, 2015. С. 751-753.