

this regard acoustic probes with frequency characteristics correction elements find broad application. Authors have considered it expedient to execute the survey analysis of the correcting elements efficiency on the basis of the available patents, articles and monographs. The report will be of interest to developers of probes for pressure with pulsations used in extreme operational conditions and technical officers in the area of tests and operational development of GTE.

При доводке и эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД) важно иметь достоверную информацию о динамических процессах в проточной части. Одним из основных параметров, несущих информацию о рабочих процессах в двигателях, является давление, учитываемое при доводке ГТД. Поэтому точности измерения пульсаций давления уделяется особое внимание. Повышенная температура газа в проточной части, ограничения по габаритам и ряд других причин во многих случаях не позволяют устанавливать датчик непосредственно в точке измерения. Поэтому возникает необходимость в присоединении датчика к процессу (объекту измерений) при помощи волноводного канала (волновода). Известно, что в волноводе возникают резонансные колебания, обуславливающие дополнительную динамическую погрешность при измерении пульсаций давления.

Для повышения достоверности информации применяют корректирующие элементы в структуре измерительного канала. Устройство, состоящее из датчика пульсаций

давления, волновода, присоединённого к процессу, и корректирующего элемента в технической литературе получило название зонда пульсаций давления. Учитывая постоянный рост рабочих параметров в современных двигателях и энергоустановках и, соответственно, повышение в них температур и давлений рабочих сред, авторы сочли целесообразным выполнить на основе имеющихся патентов, статей и монографий обзорный анализ эффективности корректирующих элементов. В докладе рассмотрены акустические корректирующие элементы с распределёнными и сосредоточенными параметрами, указаны их преимущества и недостатки, приведён материал по методам расчёта частотных характеристик зондов и их применению при обработке экспериментальных данных. Доклад представит интерес для разработчиков зондов пульсаций давления, применяемых в экстремальных условиях их эксплуатации, и инженерно-технических работников, занятых в сфере испытаний и доводки ГТД.

УДК 629.7.036.34

ВЛИЯНИЕ МОМЕНТНОЙ ПОДАТЛИВОСТИ В БОЛТОВЫХ ФЛАНЦЕВЫХ СТЫКАХ НА ЗНАЧЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА

© 2018 Н.Н. Баляева, Д.А. Зайдуллин, А.С. Макарычев, А.Г. Терешко
«ОКБ им. А. Льюлки» филиал ПАО «ОДК-УМПО», г. Москва

EFFECT OF THE TORQUE COMPLIANCE IN BOLTED FLANGE JOINTS ON THE CRITICAL ROTATION FREQUENCY OF THE ROTOR

Balyaeva N., Zaydullin D., Makarychev A., Tereshko A. ("Lyulka Design Bureau" subsidiary PJSC "UEC-UEIA", Moscow, Russian Federation)

In this paper, the effect of torque compliance in bolted flange joints on the critical rotation frequency is considered for a single rotor and for the associated rotor system of aviation GTE.

Расчёт критических частот вращения роторов является не только необходимой, но и одной из важнейших задач при проектировании современных АГТД (авиационных газотурбинных двигателей). Современные

АГТД имеют, с одной стороны, ярко выраженную тенденцию к снижению массы, в том числе за счёт массы роторов, с другой стороны, постоянно увеличивающаяся температура рабочего тела ведёт к широкому

внедрению жаропрочных сплавов. На выходе получается конструкция с минимальной жёсткостью и ограниченным использованием лёгких сплавов. Тем актуальнее становится определение не только опорных критических частот вращения валов, но и вальных форм, ранее априори лежащих существенно выше рабочего диапазона частот ГТД.

Наибольшее внимание при расчёте вальных форм колебаний роторов необходимо уделить правильному учёту факторов, определяющих изгибную жёсткость вала. К таким факторам можно отнести сопряжение конических и цилиндрических оболочек, радиальные подхваты, наличие фланцевых болтовых соединений. Если первые два фактора, в принципе, легко моделируются в современных конечноэлементных комплексах

и обладают в случае корректного моделирования контактов линейными характеристиками, то фланцевые болтовые соединения имеют ряд параметров, варьируя которыми можно существенно изменить жёсткость вала.

Цель данной работы – определить необходимость подробного моделирования фланцевых болтовых соединений с учётом комплекса действующих на него рабочих нагрузок и температур, оценить влияние учёта моментной податливости на величины критических частот вращения как отдельного ротора, так и связанной системы роторов современного АГТД.

В качестве объекта исследования рассматривается ротор высокого давления АГТД (рис. 1).

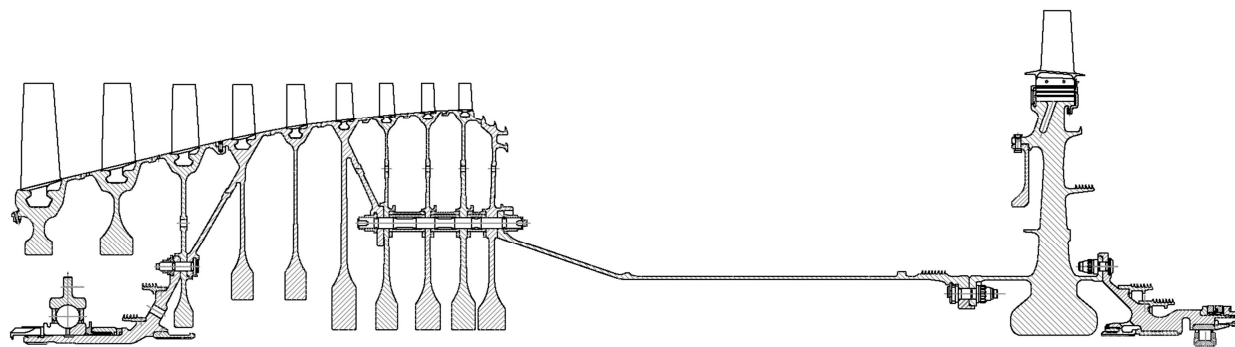


Рис. 1. Ротор высокого давления АГТД

На основании полученных в ходе работы результатов можно утверждать, что ротор ГТД, имеющие в своей конструкции фланцевые болтовые соединения, могут иметь дополнительные моментные податливости, обусловленные раскрытием фланцевого стыка под действием комплекса эксплуатационных нагрузок даже при условии обеспечения необходимой затяжки при сборке ротора в холодном состоянии.

Наличие моментной податливости в болтовом фланцевом стыке не является безусловным фактом, а зависит от условий работы стыка и от сил, действующих на ротор в данном сечении. Наиболее корректно задавать параметры моментной податливости после предварительного статического анализа работы контактных пар, описывающих фланцевое соединение.

В случае раскрытия стыка под действием эксплуатационных нагрузок наличие моментной податливости, безусловно, приводит к существенному снижению значения изгибной критической частоты вращения ротора, что особенно критично для роторов современных АГТД в силу ряда причин, описанных ранее. Однако для корректной оценки степени влияния моментных податливостей на динамические свойства ГТД необходимо в обязательном порядке выполнять расчёт связанной системы роторов. Как показала данная работа, не всегда снижение изгибной жёсткости одного отдельно взятого ротора может оказать существенное влияние на связанную систему, которая и описывает роторную группу АГТД.