

В.М.Вуль, В.С.Бакланов, В.М.Прошин

**ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОТОКА ПЕРЕД ДВИГАТЕЛЕМ
НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ
В УЗЛАХ ЕГО КРЕПЛЕНИЯ**

Силовая установка является одним из основных источников динамического воздействия на конструкцию самолета. Для отстройки от вибрационного воздействия двигателя необходимо знать не только уровень, но и спектральный состав возмущающего воздействия двигателя.

Задачей настоящего исследования является определение спектральных характеристик динамических усилий в подкосах крепления двигателя, при этом особое внимание уделялось низочастотной части спектра. Характер вибрационных нагрузок определяется в основном возмущающими силами, возникающими при работе двигателя в результате остаточной неуравновешенности роторов, вибрационного горения в камере сгорания, неустойчивых процессов в газозоудном тракте [1].

Современные ГТД в системе авиационной силовой установки работают в условиях возмущенного потока на входе, причем величина возмущения резко возрастает при маневрировании самолета и отличии атмосферных условий от расчетных. Возмущения, связанные с неоднородностью потока, существенным образом влияют как на основные характеристики двигателя, так и на вибронпряжения в элементах его конструкции [2].

В данной работе впервые рассматривается влияние неоднородности потока на входе в двигатель на характер динамического нагружения подвески двигателя.

Исследования проводились на полноразмерной стендовой установке, включавшей плоское сверхзвуковое регулируемое входное устройство и газотурбинный двигатель. Увеличение неоднородности потока достигалось перемещением подвижных панелей клина, т.е. уменьшением площади "горла" и увеличением угла раскрытия дозвукового диффузора ($\theta_{\Sigma} = \text{var}$). Такая перекладка регулируемых панелей входного устройства осуществлялась при постоянных частотах вращения ротора двигателя. Кроме того, для увеличения возмущений на входе в двигатель устанавливались поперечные интерцепторы разной высоты на задней регулируемой панели, которые имитировали отрыв потока на сверхзвуковом режиме.

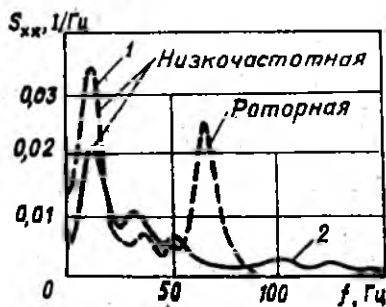
На подкосах крепления двигателя были установлены тензомеры (по мостовой схеме) для измерения динамических усилий. Измерение пульсаций полного давления перед входом в двигатель проводилось ин-

дуктивными датчиками ДМИ-0,6, установленными в трех групповых приемниках (гребенках) по четыре в каждом. Регистрация процессов пульсаций полного давления в канале воздухозаборника и динамических усилий в подкосах велась одновременно на магнитный накопитель "Астра-2В". Обработка динамических процессов проводилась на ЭВМ "ВНИИЭМ-3М" в диапазоне частот до 1 кГц. В результате обработки определялись среднеквадратичные значения измеряемых процессов, их автокорреляционные функции и энергетические спектры.

В ходе исследований установлено, что при постоянном режиме работы двигателя ($n = const$) увеличение суммарного угла клина (θ_{Σ}) практически не влияло на величину стационарной неравномерности поля полных давлений, но приводило к росту интенсивности пульсаций. Так, при $\theta_{\Sigma} = 0$ среднеквадратичная величина пульсаций, отнесенная к среднему полному давлению (\bar{E}), составляла 1,2%, при $\theta_{\Sigma} = 70^\circ$ - 2,1%, при $\theta_{\Sigma} = 100^\circ$ - 2,6%, т.е. переключкой панелей клина воздухозаборника достигалось увеличение интенсивности процесса пульсаций полного давления перед двигателем вдвое.

При этом осциллограммы процессов пульсаций полного давления на входе в двигатель и динамических усилий в подкосах крепления двигателя свидетельствуют о наличии в обоих процессах низкочастотных колебаний, близких по частоте.

Из анализа графиков нормированных энергетических спектров (рис. 1) следует, что процесс пульсаций полного давления является широкополосным, причем основная часть энергии (90%) сосредоточена в низкочастотной области от 0 до 250 Гц. Независимо от режима работы двигателя и компоновки воздухозаборника в составе широкополосного спектра явно выражена низкочастотная составляющая с частотой 8-16 Гц, в отличие от чисто широкополосного спектра при модельных испытаниях воздухозаборников.



Спектральный состав динамических усилий в подкосах крепления (независимо от направления

Р и с. 1. Энергетические спектры динамических усилий в подкосе (1) и пульсаций полного давления (2) на одном из режимов работы двигателя

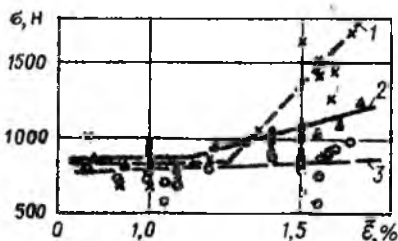
подкоса) включает дискретную составляющую, соответствующую частоте вращения ротора, низкочастотную составляющую с частотой 10–16 Гц и широкополосный случайный процесс.

Характер распределения амплитуд низкочастотной составляющей по подкосам (максимальная в подкосах, направленных вдоль оси двигателя), частотный диапазон и наличие нечетных гармоник свидетельствуют о преимущественно продольном направлении низкочастотного процесса.

Установлено, что при незначительных уровнях пульсаций вибрационного напряжения в подкосах в основном определяются широкополосным шумом и дискретными составляющими на роторных частотах.

Изменение условий на входе оказывает влияние на характер динамического нагружения подкосов при превышении определенного порогового уровня пульсаций ($\bar{\varepsilon} \geq 1,0\%$), что хорошо согласуется с известным результатом о наименьшем уровне случайных пульсаций потока, влияющих на границу устойчивой работы компрессора ГТД [3]. При этом увеличение интенсивности пульсаций приводит к увеличению амплитуды низкочастотной составляющей и интенсивности широкополосного шума (рис. 2). Роторная составляющая от уровня пульсаций практически не зависит.

Выявленное в ходе исследований расширение спектра динамического воздействия силовой установки на конструкцию планера, особенно в низкочастотной области, должно быть учтено при разработке виброизолирующих узлов крепления силовой установки с целью обеспечения необходимого уровня комфорта в салонах и кабине экипажа.



Р и с. 2. Изменение среднеквадратичного уровня (σ) составляющих динамических нагрузок в одном из подкосов крепления двигателя в зависимости от интенсивности пульсаций полного давления ($\bar{\varepsilon}$): 1-низкочастотная; 2-широкополосный шум; 3-роторная

Л и т е р а т у р а

Г. Карсез В.А., Макоимов В.П., Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей. - М.: Машиностроение, 1976. - 132 с.

2. Влияние пульсаций потока в самолетных воздуховодах на работу компрессора ТРД. ОБЗОРЫ ПЕРЕВОДЫ РЕФЕРАТЫ. - М.: ЦАГИ, 1973, №400.

3. Краснов С.Е., Семеряк Л.И. Исследование численным методом влияния случайных пульсаций потока на границу устойчивости работы компрессора ГТД. - Труды ЦИАМ, 1977, с. 56.

УДК 539.319:620.178.3

Г.Н.Г у т м в и

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ЭЛЕМЕНТА ОБОДА ДИСКА ТУРБИНЫ
ПРИ УПРУГОМ И УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

К числу ответственных деталей газотурбинного двигателя относятся диски турбины, разрушение которых приводит к тяжелым последствиям. На ряде дисков, наработка которых в составе изделия составила 4000-6000 ч, наблюдалось растрескивание усталостного характера у основания межпазовых выступов [1,2]. Имеет место также повреждение дисков в местах концентрации напряжений, в частности в зоне замковых соединений, связанные с малоцикловой усталостью [3].

Сопротивление усталости дисков турбины повышается после обработки микрошариками [4] или после термoplastического упрочнения пазов диска [5].

Экспериментальное исследование прочностных свойств полноразмерного диска имеет определенные трудности. Поэтому часто испытывают элементы обода диска с двумя-тремя межпазовыми выступами. Максимальные напряжения, действующие в зоне концентрации, определяются по формуле

$$\sigma_{\max} = \alpha_{\sigma} \sigma_{\text{ном}}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\sigma} = \alpha_{\sigma \text{упр}}$ - коэффициент концентрации упругих напряжений изгиба. Поскольку в литературе нет расчетных значений α_{σ} для елочных пазов дисков, коэффициент концентрации определяют экспериментально, например, по данным тензометрирования укрупненных моделей [4].

При испытаниях на малоцикловую усталость максимальные напряжения в зоне концентратора также могут быть подсчитаны по формуле (1), если принять α_{σ} равным коэффициенту концентрации упругопластических напряжений $\alpha_{\sigma \text{упр-пл}}$. Однако в отличие от $\alpha_{\sigma \text{упр}}$ коэффициент концентрации упругопластических напряжений зависит от уровня номинальных напряжений σ , следовательно, не может быть определен на укрупненной модели.