

2. Борисов В.А. Исследование и разработка металлических уплотнений неподвижных соединений авиационных гидрогазовых систем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Куйбышев, 1972. - 19 с.

3. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1965. - Т. I. - 363 с.

УДК 534.8.629

Л.А.Варжицкий, Ю.В.Киселев, М.К.Сидоренко

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ОСЕВОМ КОМПРЕССОРЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Разработка методов виброакустической диагностики газодинамической неустойчивости авиационных ГТД требует комплексного исследования влияния запаса по ГДУ на характеристики вибропроцессов. Сложность экспериментальных исследований на натуральных двигателях вызывает необходимость предварительного исследования этих процессов с помощью математической модели. Такая модель, основанная на спектральном представлении поля кромочных следов рабочих лопаток, предложена в работе [1]. Модель описывает связь параметров потока и характеристик решетки с амплитудами лопаточных составляющих спектра кромочных следов в следующем виде:

$$A_n = K_1 W_2 \xi_{np} \sin \beta_2 \exp(-K_2 n^2 \xi_{np} X_2 \sin \beta_2), \quad (1)$$

где K_1 , K_2 - постоянные коэффициенты;
 W_2 - относительная скорость потока;
 ξ_{np} - коэффициент профильных потерь;
 β_2 - угол выхода потока;
 n - номер лопаточной составляющей;
 X_2 - расстояние от задних кромок лопаток до контрольного сечения, отнесенное к шагу решетки.

Необходимость использования модели в широком диапазоне режимов работы двигателя, включая предсрывные, требует экспериментальной оценки пригодности этой модели для описания спектрального состава реальных виброакустических процессов. Эта оценка была выполнена путем со-

поставления изменений расчетных и экспериментальных спектров, происходящих при уменьшении запаса по ГДУ. Экспериментальные спектры пульсаций давления получены в ходе стендовых испытаний двухступенчатого компрессора. Пульсации давления измерялись в сечениях за обоими рабочими колесами на устойчивых ($\Delta K_y = 15 \dots 22\%$) и предсрывных ($\Delta K_y = 0 \dots 5\%$) режимах для двух ветвей напорной характеристики. Изменение спектров оценивалось по величине отношения

$$\psi_{n12} = \frac{A'_{n2}}{A_{n2}}, \quad (2)$$

где A_{n2} и A'_{n2} - измеренные амплитуды n -й лопаточной составляющей на устойчивом и предсрывном режимах соответственно.

Расчетная оценка изменения амплитуды первой лопаточной составляющей ψ_{1p} непосредственно следует из выражения (1):

$$\psi_{1p} = \frac{A'_{1p}}{A_{1p}} = \frac{W_2 \xi'_{np} \sin \beta_2'}{W_2 \xi_{np} \sin \beta_2} \exp K_2 X_2 (\xi_{np} \sin \beta_2 \xi'_{np} \sin \beta_2'), \quad (3)$$

где W_2 , β_2 , ξ_{np} - параметры, соответствующие устойчивому режиму работы;

W_2' , β_2' , ξ'_{np} - параметры, соответствующие предсрывному режиму работы.

Расчетные и экспериментальные оценки величины ψ_1 получены для одних и тех же режимов работы и сечений проточной части компрессора. Параметры потока W_2 и β_2 определялись по графикам их распределения в радиальном направлении, полученным в ходе газодинамической доводки компрессора. Величину относительного изменения коэффициента профильных потерь ξ'_{np}/ξ_{np} можно найти по отношению амплитуд первой и второй лопаточных составляющих θ_{21} , измеренных в соответствующих сечениях проточной части. Это отношение определяется из выражения (1) при $n = 1, 2$:

$$\theta_{21} = \exp(-3K_2 X_2 \sin \beta_2 \xi_{np}). \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что

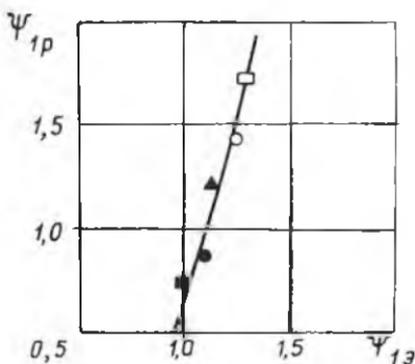
$$\xi_{np} = (3K_2 X_2 \sin \beta_2)^{-1} \ln \frac{A_1}{A_2}. \quad (5)$$

Используя выражение (5), искомую величину ξ_{np}' / ξ_{np} представим в следующем виде:

$$\frac{\xi_{np}'}{\xi_{np}} = \frac{\sin \beta_2 \ln \frac{A_{12}}{A_{22}}}{\sin \beta_2' \ln \frac{A_{12}}{A_{22}}} \quad (6)$$

Выражение (3) с учетом (6) позволяет найти оценку ψ_{1p} .

Результаты сопоставления оценок ψ_{1p} и ψ_{12} , представленные на рис. 1, свидетельствуют о практически линейном характере связи между ними. Отклонения от этой зависимости не превышают погрешности измерения амплитуд спектральных составляющих, что указывает на качественное соответствие результатов моделирования экспериментальным данным.



Р и с. 1. Сопоставление расчетных и экспериментальных оценок изменения амплитуд лопаточных составляющих:

- ○ ■ □ — изменения амплитуд составляющих, возбуждаемых первым РК;
- ▲ — изменения амплитуд составляющих, возбуждаемых вторым РК;
- ▲ ● — ветвь I напорной характеристики;
- □ — ветвь 2 напорной характеристики

[2]. Из этих результатов следует, что снижение запаса устойчивости сопровождается изменением амплитуд высших лопаточных составляющих относительно амплитуды первой составляющей. Параметром, определяющим это изменение, является коэффициент профильных потерь ξ_{np} .

Полученное соответствие между экспериментальными и расчетными результатами свидетельствует о пригодности модели для качественной оценки спектрального состава пульсаций давления. Например, это позволяет оценить изменение спектрального состава пульсаций давления, происходящее по мере приближения режима работы к границе ГДУ. Для этого определим величины отношения θ_{n1} (при $n = 2 \dots 7$) для различных режимов работы компрессора. Результаты такой оценки представлены на рис. 2. Диапазон изменения угла выхода потока β_2 взят из описанного выше эксперимента, а диапазон изменения коэффициента потерь ξ_{np} — из рабо-

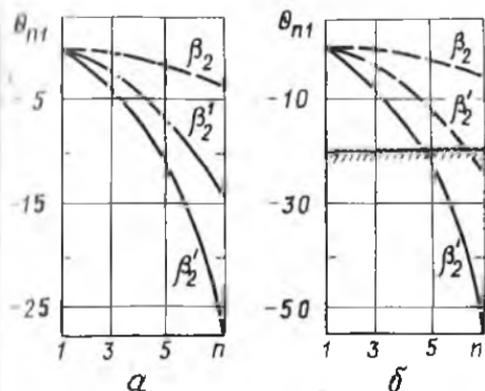


Рис. 2. Влияние режима работы компрессора на спектр кромочных следов:

а- $X_2 = 0,46$; $\beta_2 = 43^{\circ},0$;

$\beta'_2 = 40^{\circ},4$;

б- $X_2 = 0,86$; $\beta_2 = 38^{\circ},6$;

$\beta'_2 = 39^{\circ},8$;

----- $\xi_{np} = 0,01$;

----- $\xi_{np} = 0,05$;

----- $\xi_{np} = 0,10$

Количественные изменения спектрального состава зависят также от осевого расстояния X_2 : для больших значений X_2 характерно более интенсивное изменение спектрального состава. Так, например, для $X_2 = 0,46$ при увеличении ξ_{np} от 0,01 до 0,1 отношение $\beta_{\pi 1}$ уменьшается на 23 дБ, а для $X_2 = 0,86$ - на 42 дБ. Из результатов моделирования спектрального состава кромочных следов (рис. 2) следует, что спектр шума, характерного для реальных процессов, ограничивает число различимых на его фоне лопаточных составляющих. Так, например, при реальном отношении сигнал/шум (на частоте первой лопаточной составляющей) порядка 20...25 дБ возможно выделение 4...5 лопаточных составляющих, что хорошо согласуется с известными экспериментальными данными.

Таким образом, рассмотренная модель позволяет качественно оценить спектральный состав поля кромочных следов за рабочим колесом и выявить характер изменения этого состава по мере уменьшения запаса ΔK_y . Кроме того, эта модель способствует априорному выбору признаков предельного состояния осевых компрессоров, необходимых для разработки устройств диагностики зарождающейся газодинамической неустойчивости.

Библиографический список

1. Варжицкий Л.А., Киселев Ю.В., Сидоренко М.К. Моделирование спектра кромочных следов для диагностики осевого компрессора // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. - Куйбышев: КуАИ, 1987. - С.33-39.
2. Спейларт Ф.Р. Расчет вращающегося срыва методом дискретных вихрей / Аэрокосмическая техника. - 1986. - № 1. - С. 19-27.

УДК 519.24:681.3

А.И.Грецов, Ю.В.Иванов, Е.В.Сундуков

ОРГАНИЗАЦИЯ ВВОДА ВИБРОПРОЦЕССОВ В ЭВМ

При решении задач оценки степени вибронгруженности ГТД, а также вибродиагностики его дефектов все большее распространение получают цифровые методы обработки с использованием ЭВМ. Одним из важных этапов цифровой обработки сигналов является этап ввода данных в ЭВМ. Для этого используются специальные устройства, включающие в себя фильтр нижних частот, усилитель-нормализатор (УН) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). При обработке вибрации в широком диапазоне частот (до 20 кГц) возникает ряд проблем, существенно снижающих эффективность анализа.

Как правило, регистрация вибрации в указанном диапазоне частот осуществляется с применением пьезоэлектрического вибропреобразователя. В этом случае интенсивности низкочастотных и высокочастотных составляющих спектра вибрации могут отличаться на 50...60 дБ. Это вызывает значительную погрешность аналого-цифрового преобразования низкочастотных составляющих. Кроме того, в ЭВМ вводится избыточная информация, так как длина анализируемой реализации выбирается исходя из времени стационарности низкочастотных составляющих, а частота квантования - из высшей частоты диапазона. При этом для низкочастотных составляющих частота квантования оказывается неоправданно завышенной, а для высокочастотных составляющих - излишним время анализа. Кроме того, часто возникает ограничение на длину непрерывной анализируемой реализации, вызванное объемом оперативной памяти (ОП).