

2. Корнилов А. А. Способ исследования усталости листовых материалов. Авторское свидетельство № 308333 по кл. G 01 N 3/32 от 17.09.71.

3. Ковешников Б. Н., Степаненко Н. Д. Влияние типа армирования и частоты нагружения на упругие свойства стеклопластиков. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов», вып. 1. КуАИ, 1975.

4. Степаненко Н. Д., Ковешников Б. Н. Методика определения усталостных свойств стеклопластиковых лопаток компрессоров и стеклопластиков при высокочастотных колебаниях. В сб.: «Усталостная прочность и долговечность авиационных конструкций», вып. 1, КуАИ, 1974.

5. Степаненко Н. Д., Иванов В. П. К вопросу об определении спектров собственных форм и частот лопаток турбомашин. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей», вып. XIX. КуАИ, 1965.

УДК 621.515:620.178.5

*С. М. Дорошко, С. А. Смородин, М. Л. Тойбер*

#### К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ШАРНИРНЫХ РАБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

Вопросы контроля и диагностики вибрационного состояния рабочих лопаток ГТД не могут быть решены традиционными методами. Поэтому становятся перспективными бесконтактные способы измерения параметров, характеризующих вибрационное состояние лопаток. Эти способы обладают рядом преимуществ по сравнению, например, с тензометрированием. Они не могут заменить существующие методы, но при исследовании процесса технического обслуживания в целях контроля и диагностики состояния рабочих лопаток более рациональны.

В компрессорах современных ДТРД широкое применение находят лопатки с шарнирным креплением к ободу диска. Собственные частотные характеристики этих лопаток существенно зависят от условий заделки. Вариация скорости вращения ротора значительно изменяет жесткостные характеристики лопаток и уровень сил трения в соединении лопатка — диск.

Оценивая колебания пакета лопаток на колесе, следует учитывать и возможность аэродинамического взаимовлияния лопаток друг на друга — шарнирный замок способствует повышению такого взаимодействия. Изучение поведения рабо-

них лопаток с шарнирным креплением в околорезонансных и резонансных зонах позволяет более детально рассмотреть особенности колебательного движения и выявить параметры, удобные для диагностирования.

Исследования проводились на натурном стенде. Принципиальная схема препарирования его для использования бесконтактных методов контроля описана в работе [1].

Перемещения периферийной части лопатки относительно вращающегося ротора регистрировались с помощью прибора «АСТРА-18» и контролировались с помощью осциллографа. Этот способ изложен в работах [2] и [3].

Первоначальной целью эксперимента являлось исследование изменения общей амплитуды перемещений рабочих лопаток, которая, как известно, при шарнирной подвеске складывается из вибрационного смещения и качаний лопатки в шарнире. В широком диапазоне режимов эта величина оставалась практически неизменной, не отмечалось также существенного роста общей амплитуды перемещений и при переходе через резонансные обороты. Полученные результаты указывают на невозможность (по меньшей мере в данном случае) применения бесконтактного метода поиска экстремальных отклонений (дискретно-фазовых) для оценки напряженного состояния лопаток с креплением, допускающим поворот лопатки в плоскости вращения.

Однако был обнаружен эффект смещения лопатки за счет поворота в шарнире при переходе через резонансный режим: для лопаток *I* ступени компрессора этот поворот происходил в сторону, противоположную вращению, а для лопаток *II* и *III* ступеней — по вращению.

Данный эффект иллюстрируется рис. 1, где показано изменение среднего положения периферийной части лопатки *III* ступени компрессора по скорости вращения ротора. В резонансной зоне с ростом оборотов происходит смещение видимого среднего положения лопатки в сторону, противоположную вращению, причем это смещение пропорционально увеличению оборотов. Такой характер изменения объясняется тем, что бесконтактные методы позволяют измерять не абсолютные смещения, а временные интервалы, пропорциональные этим смещениям и скорости вращения ротора [2].

При прохождении резонансного режима лопатка вначале резко отклоняется по вращению (величина отклонения достигает 2,5 мм), а затем возвращается обратно. Это возвращение происходит несколько медленнее по сравнению с откло-

нением по вращению, а сама лопатка после прохождения резонансных оборотов не возвращается в прежнее положение: величина обратного перемещения меньше скачка, наблюдаемого при подходе к резонансу. Далее, в резонансной области, вновь видимое среднее положение смещается пропорционально изменению скорости вращения ротора.

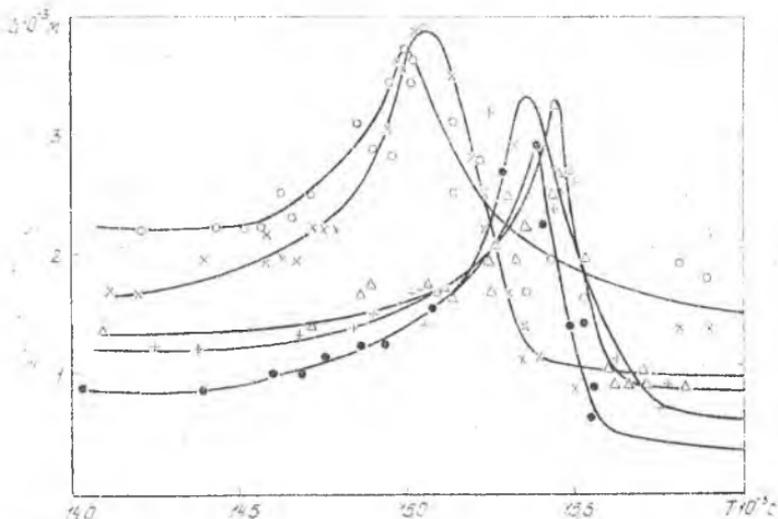


Рис. 1. Изменение нейтрального положения рабочих лопаток III ступени компрессора при переходе через резонансные обороты: ● — 29; ○ — 27; + — 24; △ — 10; × — 1 лопатки

Не вдаваясь в существо происходящих процессов, отметим, что наблюдаемый эффект может быть использован для контроля и диагностики состояния рабочих лопаток.

Возможности такого диагностирования связаны с достаточно простым и точным измерением частоты собственных колебаний лопатки  $f_c$  по моменту скачка ее нейтрального положения. Действительно,  $f_c = i\bar{f}_p$ , где  $i$  — порядковый номер гармоники, а  $\bar{f}_p$  — частота вращения ротора на резонансных оборотах, или  $f_c = i/T$ , где  $T$  — время одного оборота. Точность регистрации временного интервала и, следовательно частоты собственных колебаний лопатки, фактически определяется нестабильностью вращения ротора турбокомпрессора, которая на современных ГТД не превышает 0,5—1,0%.

Предлагаемый способ контроля состояния рабочих лопаток может быть использован, во-первых, при подборе частотных характеристик рабочих лопаток на колесе для получения оптимальных динамических характеристик. Он имеет явные преимущества перед статическими методами, которые не учитывают реальных условий заделки лопаток и условий их работы.

Измерение частоты собственных колебаний каждой лопатки рабочего колеса на работающем двигателе позволяет также выделить любые дефекты, которые вызывают изменение жесткостно-массовых характеристик лопатки (трещины, забоины и др. механические повреждения, износ или заклинка замка и т. д.). При этом может быть реализован и способ диагностирования состояния рабочей лопатки по изменению величины резонансных оборотов по наработке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тойбер М. Л. и др. Надежность и долговечность авиационных газотурбинных двигателей. Киев, КИИГА, 1975, № 2.
2. Дорошко С. М., Тойбер М. Л. Вопросы динамики и прочности. Рига, «Зинатне», 1973, № 25.
3. Заблоцкий И. Е., Коростелев Ю. А. «Энергомашиностроение», 1970, № 1.

УДК 629.7.036.3.083.03

А. С. Ермилов, Е. А. Коняев, В. С. Окороков,  
Е. В. Чеховид

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ АИ-25

При решении задач виброакустической диагностики технического состояния двигателя АИ-25 возникла проблема выбора исходного эталонного спектра исправного двигателя, с которым сравнивались бы текущие спектры. Предварительная проверка однородности спектров партии из шести исправных двигателей методом однофакторного дисперсионного анализа по  $F$ -критерию (критерию Фишера) на ряде основных частот [1] в диапазоне 20--20000 Гц показала, что они обладают существенной неоднородностью. Это исклю-