

Рис. 4. Номограмма для выбора числа лопаток, подлежащих тензометрированию, с надежностью получения максимального уровня напряжений 0,9

уменьшение значения I , что приведет к снижению точности. График показывает, что для получения надежных данных о величинах максимальных напряжений объемы выборок должны быть значительно увеличены по сравнению с принятыми в настоящее время.

УДК 621.454:531.78:518.12

Ф. И. Ризанский, Ю. А. Пыхтин, Ю. И. Плотников
СЛУЧАЙ МИМИКРИИ ЧАСТОТ ПРИ АНАЛИЗЕ

Численные методы гармонического анализа часто применяются при исследованиях динамических процессов в турбомашинах, в том числе в тензометрии и виброметрии. Особенности этих методов требуют известной осторожности при интерпретации полученных результатов, по крайней мере в случаях, когда высшие гармоники предварительно не удалены фильтрацией. Примером является наблюдавшийся в практике предприятия случай.

Для прогноза прочности турбины требовалось сопоставить динамические напряжения в лопатках ротора с одним из возбуждающих факторов — окружной неравномерностью поля температур. Сравнивались гармонические составляющие. В качестве основного периода был выбран полный оборот ротора.

При тензометрировании регистрировались резонансы, в которых проявляются отдельные гармоники. Оценки амплитуд гармоник напряжений были получены непосредственно по данным экспериментов.

Температуры газа перед турбиной измерялись в равнорасположенных по окружности точках. Амплитуды гармоник окружной неравномерности поля температур оценивались следующим образом.

Разложения в ряд Фурье по значениям в N равноотстоящих точках, в отличие от непрерывных, позволяют получить истинные значения амплитуд гармоник лишь при условии, что для полного представления исходной функции достаточны гармоники порядков S , меньших, чем $N/2$. Когда это условие не выполнено, наблюдается мимикрия частот. Она состоит в том, что при вычислениях по значениям в N точках гармоники порядков $mN \pm s$, где $m = 0, 1, 2, \dots$, не различаются и оцениваются как s -я ($S < N/2$). А вычисленная ее амплитуда в действительности представляет линейную функцию амплитуд $(mN \pm s)$ -х гармоник.

Характер неравномерности температурного поля перед турбиной обусловлен главным образом особенностями камеры сгорания. На исследовавшихся изделиях камера трубчато-кольцевая, с 12 жаровыми трубами, в каждой из которых установлена топливная форсунка. Для последующего анализа удобно представить окружную неравномерность поля температур двумя составляющими. Первая обусловлена несидентичностью жаровых труб с форсунками, вторая — изменением температуры на участке расположения одной «средней» жаровой трубы. Основной период при разложении первой составляющей — окружность, описываемая точкой в середине входной кромки лопатки ротора в течение его полного оборота. Для второй составляющей основной период — $1/12$ упомянутой окружности, а ее 1, 2, 3-я и т. д. гармоники являются соответственно 12, 24, 36-й гармониками на периоде первой составляющей. Наложения таких двух составляющих можно ожидать как для гармоник с порядком, равным или кратным 12, так и для гармоник s , обеспечиваю-

щих кратность двенадцати значения ($mN \pm s$). Имеются основания принять, что температура на участке расположения жаровой трубы достаточно плавно изменяется по закону, близкому в среднем к абсолютным значениям полуволны синусоиды. Поэтому при разложении второй составляющей нет смысла учитывать более 3—5 гармоник. Амплитуды гармоник при разложении первой составляющей с увеличением их порядков убывают медленно, что можно видеть на рис. 1.

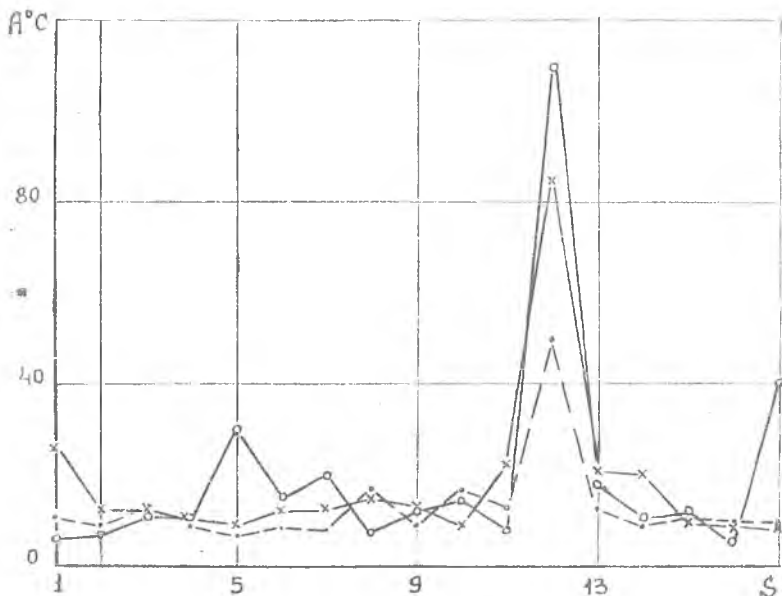


Рис. 1. Значения медиан гармоник окружной неравномерности температурных полей: \circ — первый тип изделия; \times — второй тип изделия; \bullet — третий тип изделия

Здесь представлены значения медиан гармоник, полученных при разложении в ряд Фурье окружной неравномерности температурных полей для 3 типов изделий, являющихся последовательными модификациями. Для каждого из них разложения выполнены для 12—15 полей температур.

На изделиях 3 типа измерения температуры производились в 36 точках, равнорасположенных на окружности, на изделиях 2 типа — в 37 и на изделиях 1 типа — в 41 точке.

При общем медленном убывании амплитуд с увеличением порядков гармоник для всех 3 изделий 12-я гармоника сильно выделяется. Это указывает на ее зависимость в основном от второй составляющей неравномерности и на то, что эта составляющая имеет существенно больший уровень. Наиболее сильно выражена 12-я гармоника в температурных полях изделий 1 типа. Для этих изделий на графике выделяются также 5-я, 7-я и особенно — 17-я гармоники. Все они при подстановке в $N \pm s$ обеспечивают кратность этого выражения двенадцати:

$$41 - 5 = 3 \cdot 12;$$

$$41 + 7 = 4 \cdot 12;$$

$$41 - 17 = 2 \cdot 12.$$

Заметно, что амплитуды перечисленных гармоник уменьшаются с увеличением коэффициента кратности.

На основании изложенного можно считать, что в данном случае имеет место мимикрия частот и приведенные на графике медианные значения амплитуд относятся в основном не к 5, 7 и 17-й, а соответственно к 36, 48 и 24-й гармоникам. Для случая 17-й (24-й) гармоники это высказывание подтверждено экспериментально. На рис. 2 приведены данные

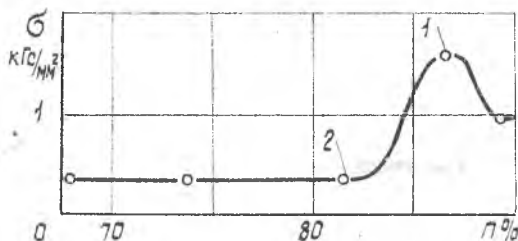


Рис. 2. Изменение напряжений в лопатках ротора турбины изделия первого типа по оборотам: 1, 2 — $S = 16, 17$

тензометрирования лопатки ротора турбины изделия типа 1. При тензометрировании 17-я гармоника не зарегистрирована, хотя 16-я гармоника, меньшая по амплитуде (рис. 1), четко проявилась.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хэмминг Р. В. Численные методы. М., «Наука», 1968.