

## ВЛИЯНИЕ МАССЫ РОТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРА ДАТЧИКА ОБОРОТОВ

Коваленко Д.С., Левчук Р.В.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [dskov.tsk@gmail.com](mailto:dskov.tsk@gmail.com)

При эксплуатации роторного оборудования (турбины, генераторы, центрифуги) важным является контроль технического состояния машины. Такой контроль осуществляется путем измерения параметров оборудования: частоты вращения, давления, температуры, вибрации и т.п.

При работе роторов может происходить отклонение геометрической оси от оси их вращения, что приводит к возникновению периодических колебаний роторов как в осевом, так и в радиальном направлениях. При угловых скоростях > 100000 об/мин наличие дисбаланса ротора может приводить к значительным амплитудам колебаний, величина которых может достигать предельных значений, что приведет к разрушению ротора и выходу оборудования из строя.

В процессе эксплуатации роторных машин дисбаланс ротора может меняться в силу различных причин: появления дефектов и трещин, изменения гидравлического режима, накопления коррозионных отложений [1]. Изменение дисбаланса, в свою очередь, приводит к изменению амплитуд колебаний. Таким образом, контролируя колебания ротора, можно отслеживать техническое состояние роторных машин, что позволит своевременно осуществлять вывод оборудования в ремонт и предотвращать аварийные ситуации.

Для определения колебаний ротора пользуются различными способами, например, устанавливают специальные датчики перемещений, вибраций [2]. Такое решение имеет ряд недостатков. Во-первых, необходима установка дополнительного датчика колебаний, приводящая к дополнительным затратам. Во-вторых, датчик располагается фактически вне рабочей камеры и фиксирует колебания корпуса, передаваемые ему ротором через опоры. В этом случае амплитуды гармоник с частотами колебаний связаны с интенсивностью колебаний ротора, однако на эту связь существенно влияет опора, состояние которой может меняться в процессе эксплуатации.

Наиболее часто при промышленной эксплуатации роторных машин используют анализ параметров сигнала датчика оборотов, который практически всегда присутствует в оборудовании.

Известен метод, который позволяет определять амплитуду колебаний ротора в радиальном направлении, основываясь только на анализе информации о длительности периодов сигнала с датчика оборотов [3]. Этот метод применим в промышленности, однако не позволяет получить полную информацию о состоянии ротора,

поскольку не дает возможности оценить колебания ротора в осевом направлении.

Также известен способ определения колебаний роторов по соотношению амплитуд спектральных составляющих сигнала с датчика оборотов [4]. Для реализации способа определяют спектр сигнала с датчика оборотов, по его виду судят о наличии и характере колебаний ротора и рассчитывают их величину. Для получения спектра сигнала с датчика оборотов, применяют специализированные приборы определения спектра, что ограничивает его применение в промышленных условиях. При этом спектр сигнала с датчика оборотов содержит наиболее полную информацию о колебаниях ротора, как в осевом, так и в радиальном направлениях.

Таким образом, анализ спектра сигнала с датчика оборотов и установление связи параметров спектра с процессами вызывающими дисбаланс ротора является актуальной задачей.

Датчик оборотов (рис. 1) представляет собой катушку индуктивности 1, размещенную в непосредственной близости от индуктора 2, укрепленного на роторе 3.

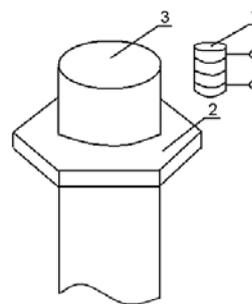


Рис. 1. Датчик оборотов

В процессе вращения, при прохождении граней индуктора возле катушки датчика генерируется сложный сигнал, который является совокупным сигналом всех составных частей машины, в результате чего его временная реализация имеет очень сложные формы. Для того чтобы обойти ограничения анализа во временной области необходимо применять анализ сигнала в частотной области – спектральный анализ [5].

Анализируемый сигнал с датчика оборотов представляет собой периодический сигнал вида

$$a_1 \sin(\omega t) - a_2 \sin\left(\frac{1}{6}\omega t\right),$$
 где дополнительная составляющая  $a_2 \sin\left(\frac{1}{6}\omega t\right)$  объясняется особенностями геометрии индуктора.

Современные средства спектрального анализа сигналов используют метод гармонического анализа, основанный на разложении анализируемого сигнала в ряд Фурье [6]. Данный метод хорошо освоен и не требует сложных вычислений, что является его преимуществом.

Формирования колебательных сил во многих узлах вращающегося оборудования является нелинейным процессом, поэтому при наличии множественных дефектов, сигнал будет представлять собой аддитивно-мультипликативную смесь стационарных компонентов, каждый из которых может содержать как периодические, так и стационарные составляющие [6].

Известно, что образование коррозионных отложений, и, как следствие, увеличение массы ротора, приводит к появлению колебаний ротора.

Предполагается что, такие колебания могут иметь частоту в диапазоне от 10÷200 Гц. Используя это предположение из заданного диапазона частот, необходимо выявлять информационные частоты, характеризующие фактическое состояние ротора. Такие частоты можно определить, по наличию корреляционной связи между изменением частот и амплитуд колебаний от изменения массы ротора.

В таблице 1 приведены результаты определения частот с максимальным значением плотности амплитуды.

Таблица 1. Результаты определения частот с максимальным значением плотности амплитуды

Время, сутки	Плотность амплитуды, %	Частота, Гц	Масса, мг
1	2,4	30,3	200
10	2,43	30,5	481
24	2,11	30,5	718
30	2,33	30,6	804
44	2,42	30,5	973
64	2,09	29	1134

На рис. 2 показано, что значения максимальной плотности амплитуды соответствуют определенным частотам в диапазоне 28,8÷38 Гц. Однако при дальнейшем увеличении массы ротора, колебания в этом диапазоне частот прекращаются.

Проведя подобный анализ в частотных диапазонах 70÷74 Гц и 86÷87 Гц, было установлено, что в данных диапазонах частот как и в диапазоне 28,8÷38 Гц, имеются отдельные частоты, на которых изменение значения плотности амплитуды отражает изменения в работе ротора от накопления коррозионных отложений и увеличения его массы.

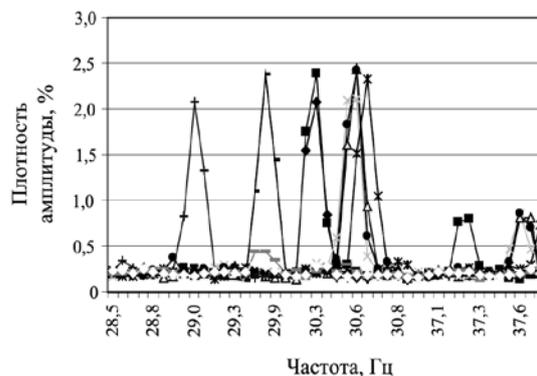


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности амплитуды от частоты

При анализе спектра сигнала в высокочастотном диапазоне обнаружено, что смещение частот с максимальным значением плотности амплитуды отсутствует, что значительно упрощает задачу диагностики, а также создает перспективы разработки не сложных систем контроля по спектрам на этих частотах.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Изменение веса ротора приводит к появлению низкочастотных колебаний ротора, смещающихся в область более высоких частот с увеличением его веса.

2. В высокочастотном диапазоне смещение частот с максимальным значением плотности амплитуды отсутствует.

3. Существует необходимость дальнейшего исследования колебаний ротора с целью разработки систем контроля по частотным спектрам.

#### Список литературы

1. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.
2. Ж. Аш. Датчики измерительных систем. М.: Мир, 1992г.
3. Зайцев Е. С. Определение радиального биения ротора по сигналу с датчика вращения / Зайцев Е. С., Домненко А. И., Астафуров В. Г. // Известия ТПУ.-Томск: Издательство ТПУ.- № 2.- Т. 321, 2012.- С. 31-35
4. Способ определения колебаний вращающегося ротора, патент РФ №2180435, кл. В04В 9/14, 1999
5. Петрухин В.В., Петрухин С. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации.- Москва: Издательство инженерия.- С. 26
6. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией В.В. Клюева. М:Машиностроение, 2005 г.