

УДК 62-12;62-13

М.И. Киселев, д-р физ.-мат. наук, профессор; В.И. Пронякин, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

E-mail: VIP-U@yandex.ru

МЕТОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Представлен фазохронометрический метод исследования циклических механизмов, базирующийся на применении в качестве основного информационного параметра фазы рабочего цикла

Известно, что эффективность решения теоретических задач существенно зависит от выбора системы координат. Так, в задачах математической физики оказываются эффективными ортогональные криволинейные координаты: эллиптические, биполярные, тороидальные и т.п., в задачах небесной механики – сферические координаты, координаты Делоне. Во всех этих случаях учитываются геометрические свойства – форма и симметрия изучаемых объектов и систем. Эти геометрические свойства, определяются такими физическими факторами, как распределение масс, электрических зарядов, потенциала сил и т.п. Среди привязанных таким образом к физически выделенным направлениям координатных осей одна оказывается наиболее информативной. Так, например, в системах с центральной или аксиальной симметрией максимальную информацию содержат функциональные зависимости от расстояния до центра или оси симметрии.

Существенно, что подобные закономерности обнаруживаются и при рассмотрении поведения динамических систем в фазовом пространстве, в том числе при использовании переменных действие – угол.

Так, для циклических систем, в частности, механических устройств циклического действия наиболее информативной координатой является полярный угол радиуса-вектора точки, изображающий на фазовой плоскости состояние циклической системы. В отсутствии возмущений траектория этой точки образует за время полного цикла замкнутый контур.

Площадь участка фазовой плоскости, заключенного внутри этого контура и полярный угол радиус-вектора (фаза) лежащей на контуре изображающей точки могут быть использованы в качестве независимых переменных, однозначно определяющих состояние циклической системы.

Динамические свойства циклических систем при достаточно высоких энергиях (высокой “площади цикла”) таковы, что податливость “площади цикла” по отношению к возмущениям гораздо ниже податливости фазы.

Таким образом, обладая небольшой чувствительностью по отношению к возмущениям, фаза цикла оказывается наиболее информативной координатой.

Это хорошо известное свойство циклических систем послужило основой для построения эффективных вычислительных методов. Одним из интересных подходов, развитых в этой области, является введение «быстрых» и «медленных» переменных, обеспечивающих построение эффективных асимптотических методов, нашедших применение в небесной механике, физике плазмы, радиофизике, электротехнике и других областях. Пожалуй, наиболее отчетливо подобный подход впервые проявился в форме теории адиабатических инвариантов, сыгравший важную роль на первом этапе становления квантовой механики. Возможности применения фазовых методов при реализации экспериментальных исследований циклических систем ещё не исчерпаны. Однако возможности его использования при реализации фазовых методов экспериментального исследования циклических систем еще далеко не исчерпаны.

Направлением дальнейших исследований является разработка измерительно-вычислительного прогнозирующего мониторинга циклических машин и механизмов.

Развиваемый метод исследования циклических механизмов, базирующийся на применении в качестве основного информационного параметра фазы рабочего цикла [1], имеет следующие особенности:

- пределы отклонений любых других рабочих параметров от своих номинальных значений для функционирующих, не имеющих дефектов механизмов минимальны и эффективность применения для их изучения амплитудных (виброакустических) методов недостаточна во многих случаях,
- потенциальная точность и помехозащищенность фазовых методов при использовании на функционирующих объектах выше, чем у амплитудных.

Основное преимущество фазового метода заключается в том, что он естественно сводится к измерению интервалов времени или частоты. Известно, что метрологический уровень именно хронометрии наиболее высок и превосходит возможности измерений всех остальных физических величин [2].

Так при реализации фазохронометрического подхода на функционирующем в машинном зале турбоагрегате Т-250/300 удалось получить источники первичной информации о его техническом состоянии в виде массивов, образованных путём регистрации каждого продолжительности каждого последовательного оборота валапровода с относительной погрешностью не хуже $5 \cdot 10^{-4} \%$ [3]. Эти массивы представляется графически в виде периодограмм (рисунок 1).

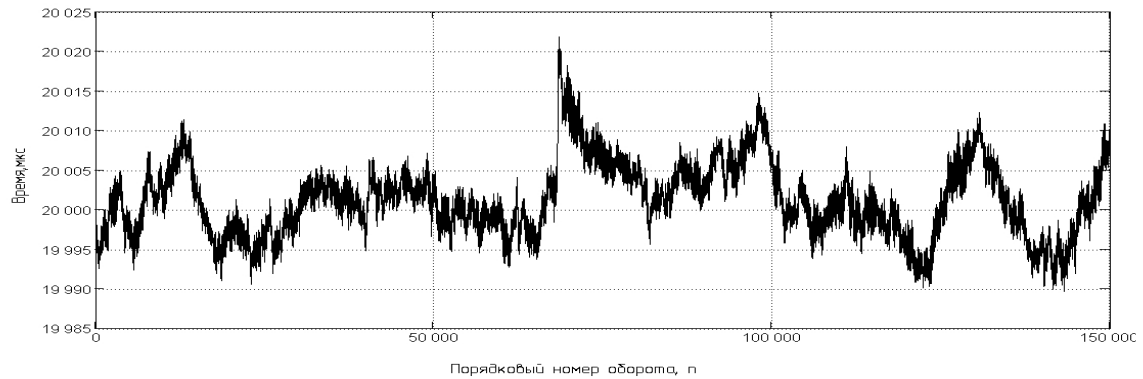


Рисунок 1 – Массив представляемой информации

Математическая обработка первичных экспериментальных данных позволила получить спектр крутильных колебаний валапровода (рисунок 2), выделить кратковременные всплески этих колебаний, сопровождающие малые, но конечные скачки продолжительности оборота валапровода, например, при резком броске параметров нагрузки (рисунок 3). При этом легко определяется продолжительность и

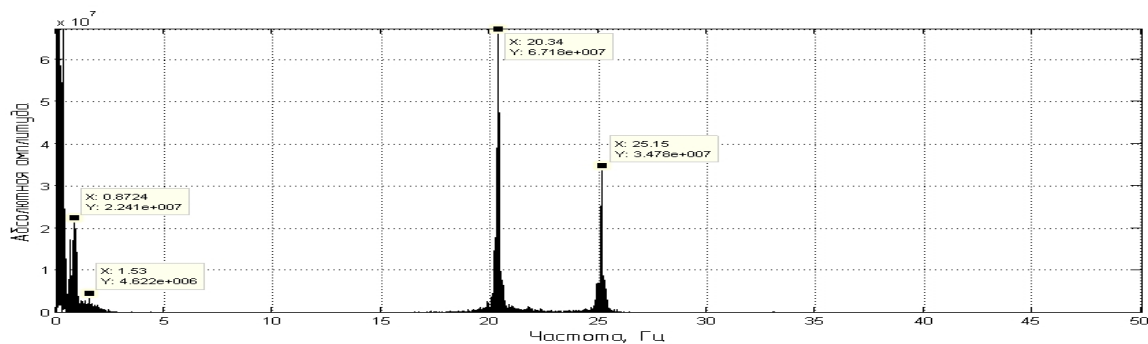


Рисунок 2 – Спектр крутильных колебаний валапровода

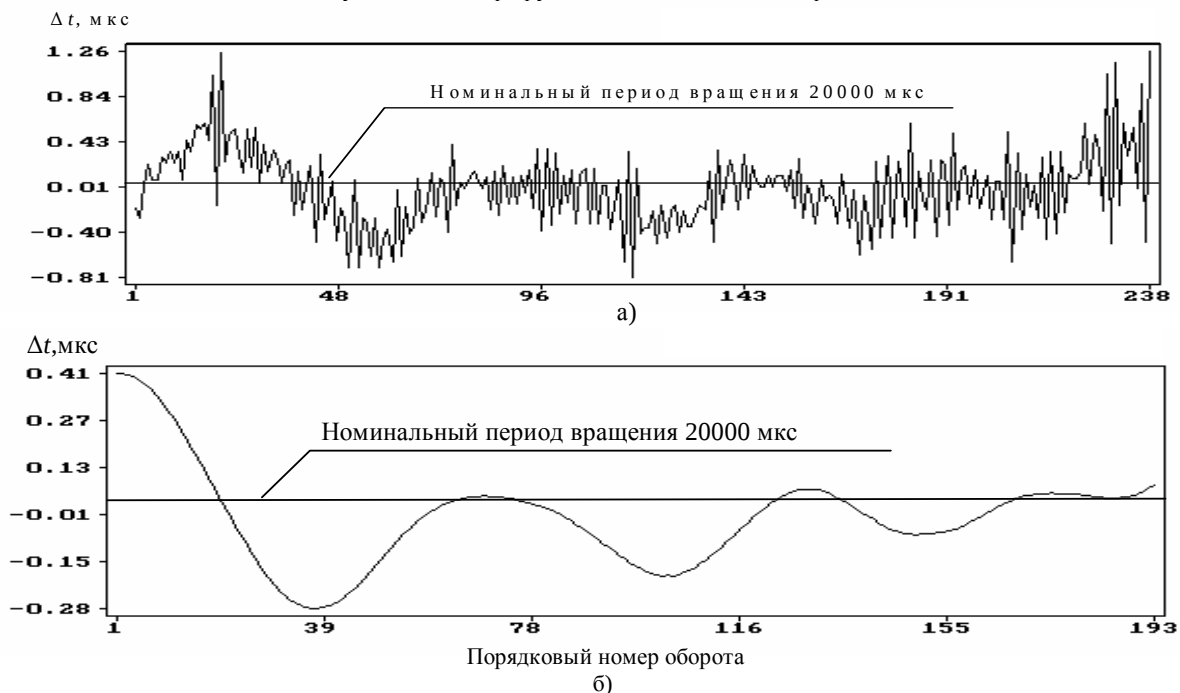


Рисунок 3 – Хронограммы: а) – вращения валапровода турбоагрегата;
б) – крутильных колебаний после математической фильтрации

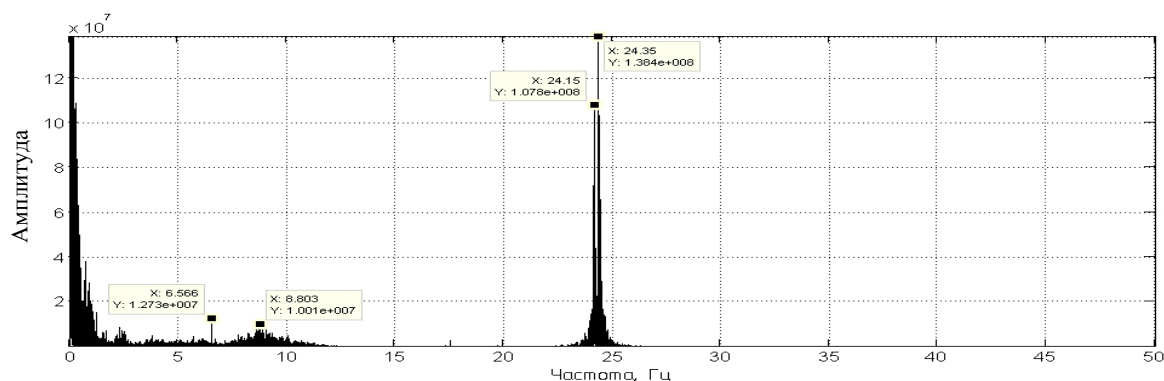


Рисунок 4 – Спектр крутильных колебаний валопровода ненормально функционирующего турбоагрегата

амплитуда этих низкочастотных крутильных колебаний. Установлено, что получаемые результаты чувствительны к индивидуальным особенностям каждого турбоагрегата. Так, на рисунке 4 изображён спектр крутильных колебаний валопровода ненормально функционирующего турбоагрегата.

Развитый подход применялся к целому ряду объектов циклического действия, в том числе к часовым механизмам.

Для интерпретации экспериментальных результатов с целью мониторинга или прогноза технического состояния объекта необходима разработка многофакторной математической модели его функционирования в хронометрическом представлении.

Для интерпретации экспериментальных результатов с целью мониторинга или прогноза технического состояния объекта необходима разработка многофакторной математической модели его функционирования в хронометрическом представлении.

Результаты проведённых исследований свидетельствуют об универсальности фазового метода и его эффективности в применении к циклическим системам.

Библиографический список

1. Киселёв М.И. Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода / М.И. Киселёв, В.И. Пронякин // Измерительная техника. — 2001. — № 9. — С. 15–18.
2. Киселёв М.И. Проблема точности при метрологическом обеспечении производства и эксплуатации машин и механизмов / М.И. Киселев, В.И. Пронякин // Проблемы машиноведения: точность, трение и износ, надёжность, перспективные технологии. — СПб, 2005. — С. 7–24.
3. Прецизионное исследование работы турбоагрегата оптико-электронными средствами / М.И. Киселёв [и др.] // Теплоэнергетика. — 2006. — № 11. — С. 10–13.

Поступила в редакцию 8.10.2008 г.