

**Д.М. Косьмин¹, И.В. Котельников¹, В.Н. Осадчий¹,
А.Л. Некрасов², А.Б. Козырев¹**

¹ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

²ОАО «Силовые машины»

СВЧ высокоточная многоканальная система прямых бесконтактных измерений в реальном времени колебаний лопаточного венца турбинных установок

В статье рассмотрена СВЧ высокоточная многоканальная система прямых бесконтактных измерений в реальном времени колебаний лопаточного венца турбинных установок. Система опробована в работе в модельной экспериментальной турбине ЭТП-2 ОАО «Силовые машины» при повышенных температуре и влажности. Приведены примеры результатов сеанса измерений при испытаниях и основные технические параметры системы.

Ключевые слова: СВЧ, датчик, механические смещения, турбинные установки, безопасность эксплуатации

Для повышения надёжности работы наиболее нагруженных рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин необходимо проведение контроля колебаний лопаточного аппарата во влажнопаровом потоке. Такой контроль в период пуско-наладочных работ на электростанции даёт возможность получить достоверную информацию об изменении вибрации лопаток в зависимости от режима работы турбоагрегата и, в случае необходимости, рекомендовать внесение целесообразных изменений в инструкцию по эксплуатации или в конструкцию рабочих и направляющих лопаток для повышения надёжности их работы.

Для контроля необходимо измерение синхронных (резонансных) колебаний и несинхронных колебаний (автоколебаний) лопаточного венца последней ступени:

- амплитуды и фазы;
- формы колебаний;
- частоты колебаний;
- угла поворота;
- проверка целостности бандажа.

Основными измеряемыми величинами являются мгновенное значение отклонения каждой турбинной лопатки от исходного значения при осевом расположении датчиков $D_{x_{ос}}$ и мгновенное значение отклонения лопаточного аппарата от исходного значения $D_{x_{рад}}$ при расположении датчика в радиальном направлении (при дополнительном контроле целостности бандажа, радиальных зазоров и возможных задеваний) во время вращения лопаточного аппарата (рис.1 (а) - осевое расположение датчиков, (б) - расположение датчика в радиальном направлении).

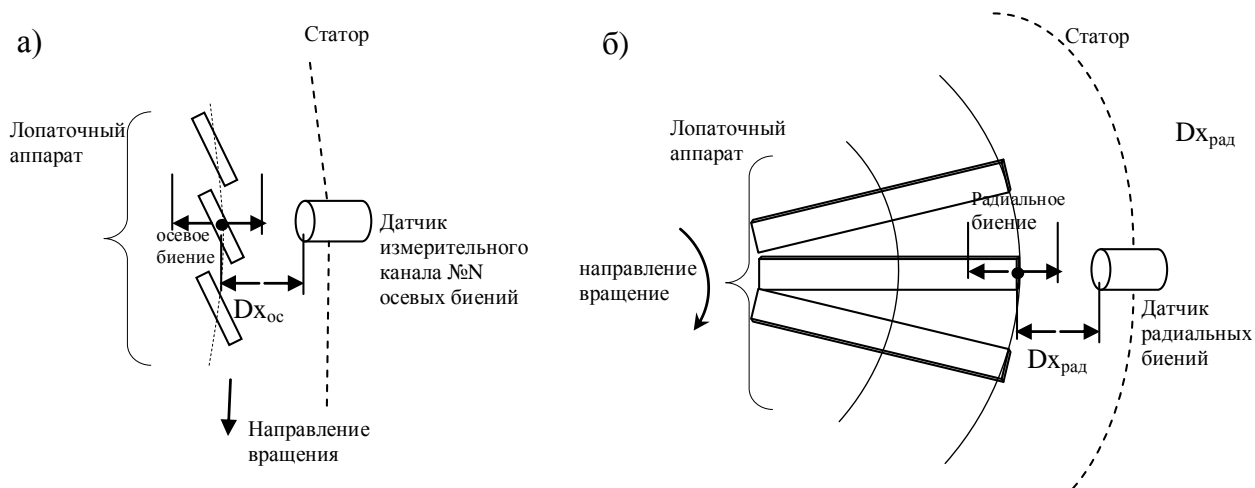


Рисунок 1

Для решения поставленной задачи, на основе подхода, рассмотренного ранее в работе [1], была разработана и реализована СВЧ высокоточная многоканальная система прямых бесконтактных измерений в реальном времени колебаний лопаточного венца.

Рассматриваемая система была опробована в работе в модельной экспериментальной турбине ЭТП-2 ОАО «Силловые машины» при повышенных температуре и влажности. На рис.2 показана фотография смонтированных СВЧ зондов системы на статоре турбины.

Примеры результатов сеанса измерений при испытаниях показаны на рис.3 и рис.4.

На рис.3 показана осциллограмма отклика зонда при вращении колеса турбины (частота вращения колеса турбины - 3555 об/мин). Рис.4 демонстрирует зависимость частоты вращения ротора турбины от времени в течение эксперимента и зарегистрированные зоны резонансов рабочего колеса.



Рисунок 2

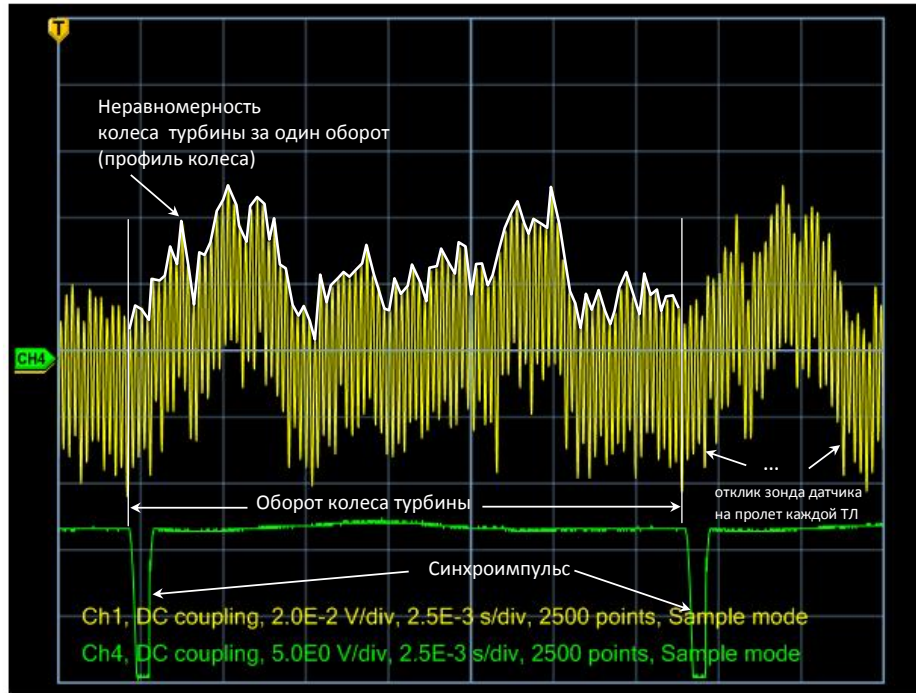


Рисунок 3

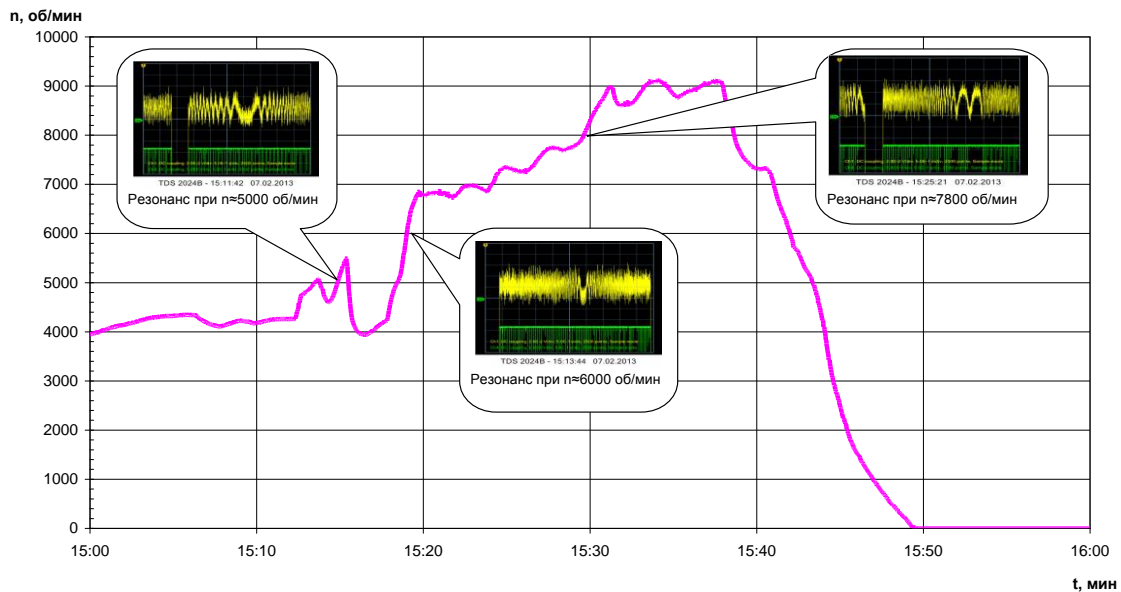


Рисунок 4

Во время испытаний была проверена работоспособность системы и подтверждены её основные технические параметры.

СВЧ высокоточная многоканальная система прямых бесконтактных измерений в реальном времени колебаний лопаточного венца турбинных установок обеспечивает:

- определение не менее 10 узловых диаметров колебаний рабочего колеса;
- измерение перемещений как металлических, так и диэлектрических объектов;
- возможность измерений колебаний лопаток в диапазоне температур от 20 °С до 350 °С;
- контроль целостности бандажа, с помощью мониторинга углов поворотов отдельных лопаток венца;

- определение форм, амплитуд и частот колебаний лопаточного венца;
- частотные диапазоны одновременно анализируемых сигналов не хуже 20кГц;
- калибровка измерительного канала производится индивидуально;
- идентичность каналов в полосе пропускания 1 %;
- регистрация и беспроводная передача данных всех измерительных каналов на пульт оператора;
- скорость обмена по беспроводному каналу 10 Мбит/с;
- регистрация и проводная передача данных всех измерительных каналов на пульт оператора;
- скорость обмена по проводному каналу 100 Мбит/с;
- установка зондов датчиков в технологические отверстия с диаметром до 32 мм;
- наличие режима калибровки и поверки в статическом режиме;
- диапазон регистрируемых осевых механических смещений – 10 мкм – 10 мм с погрешностью измерений не более 10 мкм, но не менее значения шероховатости поверхности лопатки в зоне измерений;
- время передачи сигнала для канала измерений не более 10 мкс;
- полоса пропускания для фиксации механических вибраций – вплоть до частот 100 кГц.

Лопаточный венец может состоять из как рабочих лопаток с бандажами и связями, так и свободностоящих лопаток со связями и без.

Все измерения производятся в реальном времени и отображаются на мониторе пульта рабочей станции оператора.

Особенности используемых бесконтактных высокотемпературных керамических зондов:

- внешний диаметр не более 30мм;
- максимальный диапазон измерений расстояний от 10 до 100мм;
- возможность измерения смещений от 10мкм до 10мм;
- рабочий диапазон температур от 20 °С до 350 °С;
- не чувствителен к влажности и пыли;
- возможна корректировка размеров и способа установки в соответствии с ТЗ заказчика

Библиографический список

1. Д.М. Косьмин, И.В. Котельников, В.Н. Осадчий, А.Л. Некрасов, Е.А. Ненашева, А.Б. Козырев Комплекс для динамического мониторинга механических смещений и вибраций элементов турбинных установок. Всероссийская конференция «Микроэлектроника СВЧ», С.-Петербург, СПбГЭТУ. 4-7июня, 2012 г. Сборник трудов, т. 2, с.390-394.