

нотойкости приповерхностных слоев; исследование накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности в устье усталостной трещины в категориях теории технологического наследования.

5. Развитие представлений о наследственных программах нагружения в наноразмерном диапазоне, классификация упрочняющих деформирующих процессов на основе метода энтропийного анализа.

6. Уточнение основных положений методики проектирования упрочняющих технологий, обеспечивающих ресурсосбережение в процессах изготовления и высокую долговечность в процессах эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Блюменштейн, В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

**УДК 621.313**

### **ДИАГНОСТИКА ГТУ ПО СПЕКТРАМ МОДУЛЯЦИЙ ИХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ**

**Г. Н. Здор, В. Б. Тимошевич, И. Н. Северин**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

*Показана возможность контроля технического состояния газотурбинных установок (ГТУ) на газоперекачивающих станциях (ГПС) в реальном масштабе времени с использованием разработанного для поставленных задач программного продукта «Радиоспектр-1».*

Газотурбинные двигатели широко используются в промышленности из-за их высокой эффективности, энергоемкости, возможности продолжительной работы, и к тому же они не требуют внешних источников электроэнергии. Их применяют в авиации, в составе мобильных электростанций небольшой мощности, в ГТУ в составе ГПС.

ГТУ в составе ГПС должны работать непрерывно в течение тысяч часов до плановой остановки на профилактику. Время от пуска до остановки определяется экспериментально и должно быть существенно меньше времени наработки на отказ в связи с серьезными затратами на ремонт, например, при оторвавшейся лопатке турбины. С другой стороны, при отсутствии серьезных повреждений безаварийный пуск остановленной турбины вовсе не гарантирован. Дело в том, что при увеличении частоты вращения турбокомпрессора, а затем и свободной турбины проходят величины, соответствующие резонансным частотам механических элементов ГТУ либо сопряженных с ней, как то опоры турбины и компрессора и другие корпусные детали. При этом

вибрации могут превысить допустимые значения, что вызовет аварийное отключение запуска. Таким образом, оптимальной можно считать ситуацию, когда ГТУ функционирует не межремонтный промежуток времени, а до появления информации об аварийных дефектах. Это увеличивает интервал работы ГТУ без снижения надежности работы.

Основными дефектами ГТУ являются механические. К ним относятся: износ подшипников, резонансные колебания, дисбаланс роторов, ослабление жесткости соединений, дефекты муфт и редукторов, трещины лопаток и другие. Главным методом их выявления в настоящее время является метод вибрационной диагностики, при котором контролируется виброскорость и виброускорение в заданном интервале частот. Каждый из дефектов проявляется на характерной частоте и имеет гармоники определенных амплитуд и добротностей. Изменения амплитуды либо добротности, а также сигналы на комбинационных частотах могут служить сигналом к остановке ГТУ.

При всех достоинствах вибрационной диагностики ей присущи определенные недостатки. К ним можно отнести зависимость сигнала от места и надежности установки, фиксированный для данного датчика достаточно узкий частотный диапазон, чувствительность только в одном направлении, ухудшение параметров с течением времени. С этой точки зрения кажется целесообразным использование датчиков, не уступающих датчикам вибраций, а в чем-то и превосходящих их.

К ним можно отнести радиодатчик [1, 2], фиксирующий радиоизлучение исследуемого объекта и позволяющий определить независимые величины: средний уровень сигнала (математическое ожидание), его флуктуации (дисперсию) и спектральный состав (автокорреляционную функцию), а также спектральный состав модуляций сигнала (взаимокорреляционная функция) при одном измерении. Радидатчик устанавливается в ближней от исследуемого объекта зоне, где имеет место максимальное отношение сигнал / шум, либо в дальней зоне, где сформировалась электромагнитная волна (на расстоянии 3–5 длин волн) на кронштейне, и ориентируется по максимальному уровню излучения. Он настраивается на частотный диапазон с максимальным отношением сигнал / шум. В качестве примера можно привести спектры радиоизлучения ГТУ № 16 Невской ГПС в период эксплуатации и непосредственно перед аварийной остановкой.

Спектральные характеристики радиоизлучения сходны с такими же при вибродиагностике, что позволяет задействовать большой аналитический и статистический материал, накопленный при вибродиагностике, для контроля технических параметров и диагностики возникающих дефектов ГТУ по их собственному радиоизлучению. При этом необходимо учитывать, что часть дефектов при вибродиагностике проявляет себя не в виде

прогнозируемых частотных откликов, а как сигнал в некоторой частотной области, определенный статистически.

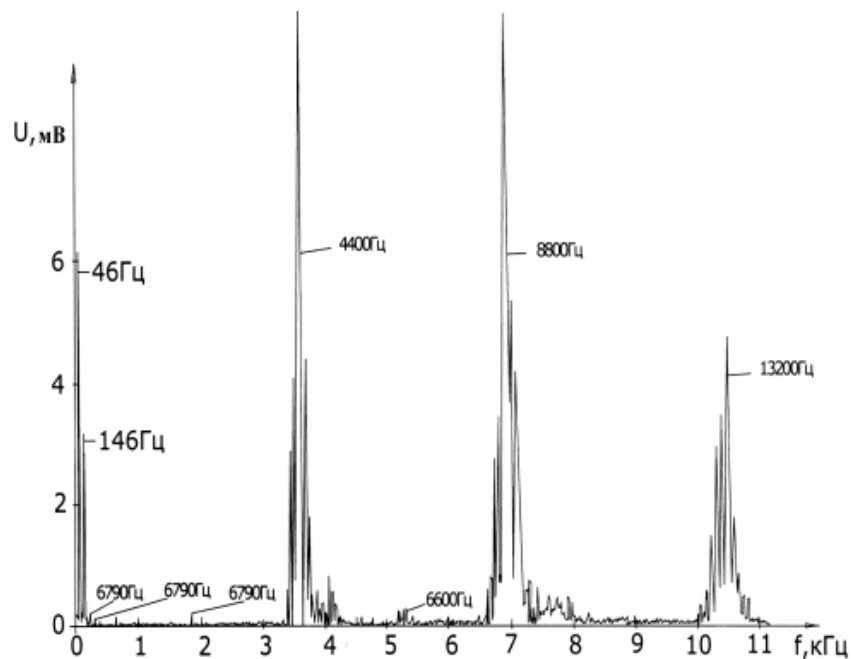


Рис. 1. Спектр АМ радиоизлучения 16-той ГТУ перед аварией

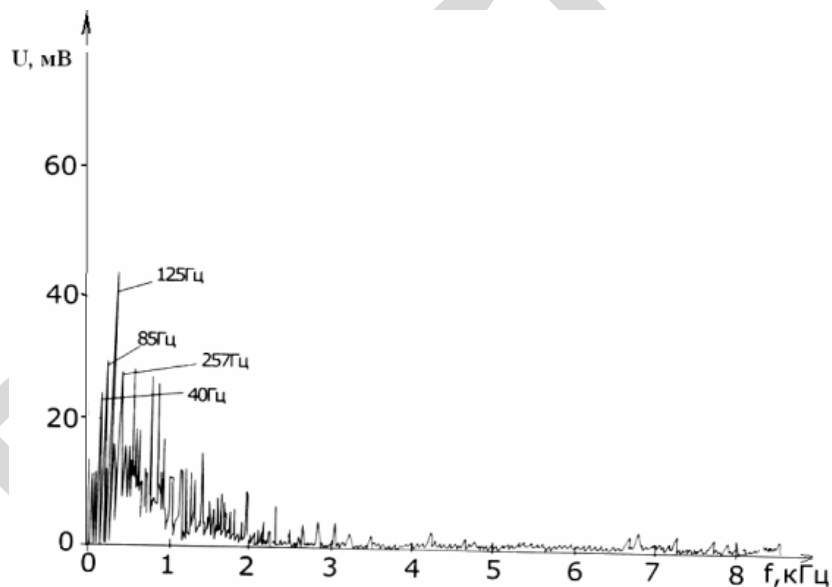


Рис. 2. Спектр АМ радиоизлучения 16-той ГТУ

Существующая противоречивость требований максимально возможного срока безостановочной работы ГТУ и недопустимости аварийных ситуаций вызывает необходимость внедрения методов контроля и диагностики в реальном масштабе времени. Этому в какой-то мере соответствуют используемые программные продукты, применяющие быстрое Фурье-преобразование. Однако их возможности, цена и ориентированность на виб-

родиагностику и конкретные технологические объекты не позволяют воспользоваться ими для диагностики ГТУ по спектрам радиоизлучения (как, впрочем, и многих других радиоизлучающих технологических процессов и объектов). Это вызвало необходимость разработки программного продукта «Радиоспектр-1», имеющего следующие возможности: снимаются данные, поступающие через аудио-вход звуковой карты компьютера, и производится быстрое Фурье-преобразование; полученный результат визуализируется на мониторе в виде построенной АЧХ. Этот программный продукт позволяет: проводить различные Фурье-преобразования, как то окно Ханна, окно Хеминга, окно Блэкмана; изменять частотный диапазон видимости, количество областей преобразования (для большего сглаживания или детализации спектра); отслеживать пики и выводить информацию о них (частоту, амплитуду, добротность); ограничивать число отслеживаемых пиков заданным диапазоном добротности; определять средний уровень сигнала (математическое ожидание), флуктуации (дисперсию), что позволяет осуществить контроль и диагностику состояния ГТУ в реальном масштабе времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гречихин, Л. И. Аппаратура и методы измерений флуктуационных характеристик радиосигналов, возникающих в различных технологических процессах / Л. И. Гречихин, В. Б. Тимошевич // Приборостроение. – Минск, 1989. – Вып. 11.
2. Здор, Г. Н. Собственные радиоизлучения и ток электрического разряда как инструмент контроля и управления процессом электроимпульсного полирования / Г. Н. Здор [и др.] // Известия АН Беларуси. – 2009. – № 2.

**УДК 621.833;539.3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШУМА И ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ**

**В. Н. Русецкий**

*Минский автомобильный завод, Минск*

**В. Е. Антонюк**

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск*

**Э. М. Дечко**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

*Обосновывается необходимость использования методики двухпрофильного контроля для контроля конических зубчатых передач. Из-за отсутствия централизованного изготовления приборов двухпрофильного контроля для конических колес и измерительных колес этот метод не получил широкого распространения.*