

2. Назаров В. И., Вакулич Е. В. К расчету изменения экономичности работы теплофикационного энергоблока при впрыске воды в промпрегреватель. – Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2003. – № 1. – С. 53–57.

3. Ривкин С. Л., Александров А. А. Термодинамические производные для воды и водяного пара. – М., 1977.

4. Кроль Л. Б., Кемельман Г. Н. Промежуточный перегрев пара и его регулирование. – М., 1970.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 13.09.2002

УДК 621.311

## **ПРОГНОЗ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОТЫ СЛОЖНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ГЕНЕРИРУЕМОМУ РАДИОШУМУ**

**Докт. физ.-мат. наук, проф. ГРЕЧИХИН Л. И., ТИМОШЕВИЧ В. Б.**

*Белорусский национальный технический университет*

Энергетические системы эксплуатируются длительное время. Многие из них являются взрывоопасными и нуждаются в непрерывной безразборной технической диагностике и оптимальном управлении. Существующие системы контроля технического состояния позволяют устанавливать преимущественно факт выхода из строя контролируемой системы. Это не обеспечивает надежную безопасность эксплуатации и не позволяет заранее предвидеть возможность выхода из строя, а, следовательно, и не допустить разрушения сложной энергосистемы. Назрела необходимость обеспечить прогноз надежности и долговечности отдельных узлов и отдельных элементов конструкций в сложной энергосистеме, контролируя работу каждого узла и каждого его элемента. Задача сложная, но решаемая. Такая принципиальная возможность применительно к двигателям внутреннего сгорания показана в [1...3]. Ниже рассмотрим научно-технические принципы, на которых основано решение поставленной задачи.

Большинство конструкционных деталей изготавливается с применением композиционных материалов, которые бывают трех типов: аморфные, смесевые и эвтектические. Аморфные композиционные материалы представляют собой хаотическое распределение решеточных кластерных структур разных веществ друг относительно друга. Взаимодействие между такими структурами осуществляется только ковалентной связью и адгезионным взаимодействием в местах спайности. При разогреве такого материала энергия тратится только на возбуждение колебаний и разрыв связей для каждого вещества в отдельности, а на разрыв связей между разнородными кластерами энергия практически не потребляется.

Смесевые композиционные материалы представляют собой систему независимых кластерных решеточных структур, которые вставлены друг в друга, а взаимодействие между ними осуществляется путем ковалентной связи между кластерами разных веществ и адгезионного взаимодействия атомов контактирующих поверхностей разнородных кластеров.

Эвтектические композиционные материалы – это единая кристаллическая структура, формируемая кластерами, состоящими из атомов разнородных веществ. Межкластерное взаимодействие в таких структурах определяется ковалентной связью и обменом свободными атомами в межкластерном объеме.

Аморфные композиционные материалы практически не используются для изготовления конструкционных деталей, так как обладают хрупким разрушением<sup>1</sup>. Это обусловлено тем, что энергия связи между кластерами преимущественно определяется площадью их соприкосновения, которая является стохастической величиной. В местах с минимальной площадью соприкосновения кластеров и происходит разрушение.

Эвтектические материалы в точке эвтектики обладают худшими механическими и тепловыми свойствами по сравнению с исходными чистыми материалами. Поэтому их применение в машиностроении весьма ограничено. Смесеые композиционные материалы и эвтектические материалы вдали от точки эвтектики – это основные материалы в машиностроительном производстве. Для этих материалов ковалентная связь между разнородными кластерами является определяющей. Площадь спайности между разнородными кластерами максимальная и существенно не изменяется вследствие механических и тепловых воздействий. Адгезионная связь в этом случае формируется двумя причинами: 1 – ковалентной связью между контактирующими атомами, возникающей вследствие обмена валентными электронами атомов второй, третьей и т. д. кратности ионизации, и 2 – электростатическим взаимодействием, обусловленным контактной разностью потенциалов, которая представляет собой разность между потенциалами ионизации разнородных контактирующих кластеров.

В качестве примера кратко рассмотрим смесевой материал – никелид титана – и эвтектический материал – никелид железа. Никелид титана не может быть сформирован путем образования единой кластерной решеточной структуры. В разогретой жидкости титана с никелем в равной пропорции по мере остывания начнет вначале формироваться кристаллическая структура титана, а затем никеля. Только после сформирования кластеров титана и никеля со второй координационной сферой начнут образовываться бинарные структуры титана с никелем. Это должно происходить в местах спайности между кластерами никеля и титана, а в последующем начнет формироваться третья координационная сфера, обеспечивая взаимную связь между этими кластерами. Решеточная структура никеля будет деформирована до размеров решеточной структуры титана. В нормальных условиях связь с третьей координационной сферой разрушена как для титана, так и для никеля. Решеточная кластерная структура никеля вставлена в аналогичную структуру титана на глубину одного монослоя никеля.

---

<sup>1</sup> Например, использование керамики для производства камер сгорания в двигателях внутреннего сгорания не дало ожидаемого результата [1].

Места спайности осуществляются по площади каждой грани трехгранной бипризмы основного кластера никеля. Контактная разность потенциалов в местах спайности кластеров никеля и титана составляет 0,67 В, а для эвтектики Fe–Ni – 0,27 В. Оценки энергий связи межкластерного взаимодействия при обмене валентными электронами, адгезионной связи вследствие обмена валентными электронами атомов второй и третьей степеней ионизации, а также вследствие электростатического взаимодействия при возникновении контактной разности потенциалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Энергия межкластерного взаимодействия, обусловленная ковалентной и адгезионной связями (эВ)

Параметр	Материал	
	Ti – Ni	Fe – Ni
$E_{\text{св. ков}}$	0,0948	0,0357
$E_{\text{св. адг., 1}}$	0,0175	0,0397
$E_{\text{св. адг., 2}}$	0,0086	0,0069
$E_{\text{св. рез}}$	0,1209	0,0823

Возникновение контактной разности потенциалов между кластерами приводит к появлению дипольного электрического момента, величина которого равна

$$p_{3,0} = \frac{U_{\text{к}}}{\epsilon_0} S, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь контактирующих разнородных кластеров;  $U_{\text{к}}$  – контактная разность потенциалов;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума. При возникновении механических колебаний дипольный электрический момент будет промодулирован этими колебаниями. Тогда

$$p_3 = p_{3,0} + \Delta p_3 \cos(\omega t), \quad (2)$$

а  $\Delta p_3 = U_{\text{к}} \Delta S / \epsilon_0$  – амплитуда изменения дипольного электрического момента под воздействием механических колебаний. Общая мощность излучения колеблющегося электрического диполя в соответствии с [4] равна

$$N = \frac{1}{6\epsilon_0 c^3} \left| \frac{d^2 p_3}{dt^2} \right|^2. \quad (3)$$

Здесь  $c$  – скорость света в вакууме.

Конкретные оценки для разнородных кластеров в никелиде титана при частоте колебаний 1 кГц и изменении площади соприкосновения в области упругой деформации  $\Delta S = 0,005S$  дают значение  $5,34 \cdot 10^{-20}$  Вт. Объемная мощность излучения составит  $6,5 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>3</sup>. Тогда двойной монослой никелида титана площадью  $10^{-2}$  м<sup>2</sup> сформирует импульс радиозума мощно-

стью 0,3 мВт. Если рассмотреть возможность модуляции этим видом излучения более мощного источника излучения, то возникший шумовой радиосигнал может быть зарегистрирован существующими приемниками электромагнитных волн. Аналогичная ситуация имеет место и для никелида железа.

Наличие в твердом теле разного рода дислокаций и микротрещин существенно снижает механические свойства твердых тел. В процессе внешнего механического воздействия разного рода дислокации являются источниками появления новых микротрещин, а существующие микротрещины развиваются в макротрещины. Каждая микротрещина является генератором радишума. Мощность радишума линейно связана с плотностью возникающих микротрещин. На частотном спектре относительно детерминированных частот возникают комбинационные модуляционные частоты. Их частотный спектр и интенсивность свидетельствуют о возникновении предаварийной ситуации. Устанавливая соответствующий порог по ширине частотной полосы и интенсивности, можно спрогнозировать возможный выход из строя вполне определенной детали в сложной энергетической системе. Конкретный алгоритм обработки радиосигнала приведен в [5]. Установить порог выхода из строя конкретной энергетической установки возможно после проведения соответствующего мониторинга. Такой мониторинг был проведен для турбокомпрессорного двигателя НК-12СТ, используемого в качестве привода нагнетателя газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 на Несвижской газоперекачивающей станции.

Мониторинг проводился следующим образом. На каждом газоперекачивающем агрегате в непосредственной близости от камер сгорания и кольцевого коллектора устанавливался выносной блок радиодатчика ВБ (рис. 1), содержащий магнитную антенну WA1, которая представляла собой параллельный контур из катушки индуктивности L1 и конденсатора C1.

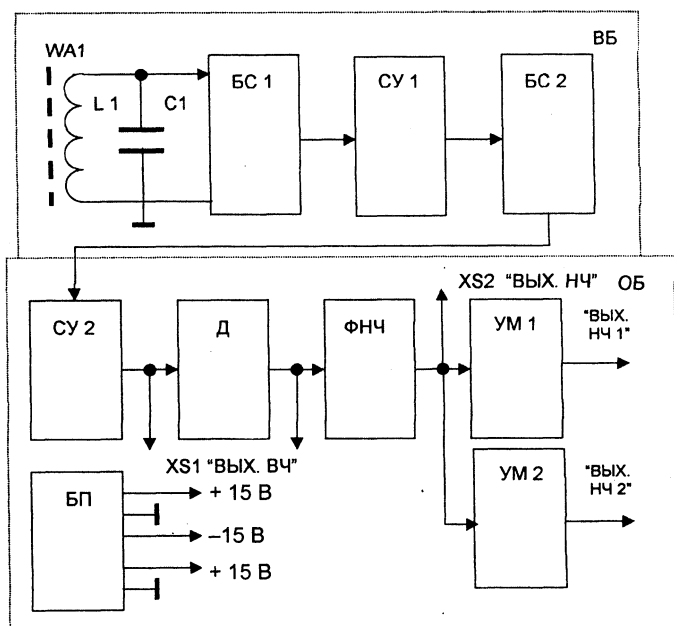


Рис. 1. Блок-схема радиодатчика, используемого при проведении мониторинга

Сигнал с LC-контура подавался на первый блок согласования БС1, затем селективным усилителем СУ1 усиливался и поступал на второй блок согласования БС2. Основной блок (ОБ) соединялся с выносным блоком (ВБ) кабелем и располагался в приборном отсеке, что обеспечивало его теплоту и виброустойчивость. ОБ содержал второй селективный усилитель СУ2, детектор Д, фильтр низких частот ФНЧ, усилители мощности УМ1 и УМ2, а также независимый блок питания БП.

Запись собственного радиоизлучения газотурбинных установок осуществлялась на протяжении трех лет с перерывами, а с последнего третьего года – еженедельно.

Спектральный анализ амплитудно-частотных модуляций для одной из непрерывно работающих газотурбинных установок при нормальной работе и накануне выхода из строя приведен на рис. 2.

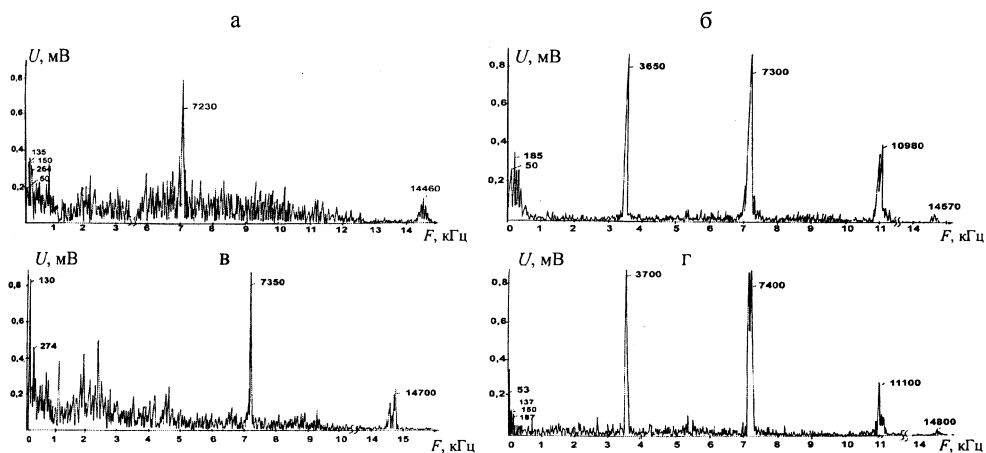


Рис. 2. Спектры амплитудных модуляций радишума, полученных от двигателя НК-12СТ для нормально работающего двигателя: а – вблизи кольцевого газового коллектора; б – вблизи жаровых камер и накануне выхода его из строя; в – вблизи кольцевого газового коллектора; г – вблизи жаровых камер

В области частот 1...3 кГц проявляется эрозионное горение сажевой пленки на стенках жаровых камер и сажевых частиц, образующихся при сгорании горючих газов. Эта область промодулирована частотой вращения турбокомпрессора и свободной турбины, и поэтому в этой области частот спектр носит почти непрерывный характер. На спектре амплитудных модуляций четко выделяются частоты возмущения газового потока лопатками компрессора низкого давления. Накануне выхода из строя несколько возрастает частота вращения турбокомпрессора и свободной турбины работающего двигателя. При этом существенно изменяется спектр в области частот до 1 кГц. В области 1...3 кГц, где реализуется эрозионное горение сажи, спектр частот претерпевает также заметное изменение.

## ВЫВОД

Возникновение двойных электрических слоев в местах спайности кластеров разных веществ является источником возникновения радиоизлучения дипольного типа. При наличии камер сгорания для различных топлив в

энергетических системах возникает сравнительно мощное радиоизлучение, которое промодулировано слабым радиоизлучением, возникающим внутри композиционных материалов вследствие механического и теплового воздействия. Когда корпус является антенным излучателем, радиоизлучение промодулировано по частоте колебаний этого корпуса, образуя комбинационные частоты относительно несущей частоты. Изменение частоты и интенсивности комбинационных частот свидетельствует об отклонениях от нормальной работы системы. Если эти отклонения превышают установленный порог, то энергетическая система находится накануне выхода из строя. Начало момента выхода из строя определяется по изменению спектрального характера собственного радиоизлучения рассматриваемой энергосистемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г р е ч и х и н Л. И. Двигатели внутреннего сгорания: Физические основы технической диагностики и оптимального управления. – Мн.: Навука і тэхніка, 1995. – 270 с.
2. Г р е ч и х и н Л. И., Т и м о ш е в и ч В. Б. Безопасность полетов // Труды V Международ. науч.-техн. конф. «АВИА-2003». – Киев, НАУ, 23–25 апреля 2003 г.
3. Г р е ч и х и н Л. И., Т и м о ш е в и ч В. Б. Прогнозирование времени разрушения отдельных конструктивных деталей сложной механической системы // Машиностроение. – 2003. – Вып. 19.
4. З о м м е р ф е л ь д А. Электродинамика. – М.: Изд-во. иностр. лит., 1958. – 501 с.
5. Г р е ч и х и н Л. И. Устройство для технической диагностики двигателей внутреннего сгорания. Государственный патент Республики Беларусь № 2033 от 14. 10. 1997 г.

Представлена кафедрой  
основ машиностроительного производства  
и профессионального обучения

Поступила 29.04.2003

УДК 004.021:004.942

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КАСКАДА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРА**

**Канд. техн. наук, доц. ДОРОГОВ Н. Н.**

*Могилевский государственный университет продовольствия*

В условиях постоянного роста цен на энергоносители и сырье, при дефиците собственного сырья остро встает вопрос об экономии энергетических и материальных ресурсов для большинства производств. Характерно это и для производства полимера полиэтилентерефталата (ПЭТФ) на Могилевском производственном объединении «Химволокно». Оно отличается высокой энерго- и материалоемкостью. Затраты на сырье и материалы со-