

УДК 621.45.017

**И.В. ЕГОРОВ**

*ФГУП ЦИАМ им. П.И.Баранова, Россия*

## КОМПЛЕКСНАЯ СЕТЕВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Представлены основные функциональные характеристики Комплексной сетевой системы диагностирования авиадвигателей. На примере вибродиагностики показана эффективность применения нейросетевых алгоритмов для выявления скрытого тренда вибраций. Продемонстрированы возможности Интернет версий программ трендового анализа параметров двигателей для принятия решений в удаленном диагностическом центре.

**авиадвигатели, газотурбинные установки, техническое состояние, диагностика, контроль вибраций, трендовый анализ**

В соответствии с Федеральной целевой программой "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года", ФГУП «ЦИАМ» проводит опытно-конструкторскую разработку Комплексной сетевой системы диагностики авиадвигателей (КССД). Соисполнителями работы являются ФГУП «ЛИИ», ОАО «Техприбор», ФГУП УНПП "Молния" и ОАО НПО «Прибор».

Унифицированная система диагностирования должна обеспечить комплексный анализ данных от различных средств мониторинга и неразрушающего контроля авиадвигателей посредством внедрения сетевого информационного обмена. Принятие диагностических решений осуществляется на центральном сервере с применением программного обеспечения, созданного на базе математических моделей двигателей и нейросетевых алгоритмов. Состав КССД включает:

- первичные средства контроля (бортовые системы диагностики, регистраторы полетных данных, виброаппаратуру, анализаторы частиц износа в масле, эндоскопию, радиолокационные датчики и др.);
- интерфейсы сетевого обмена между средствами контроля и диагностическим сервером;

- диагностический сервер и базу данных, обеспечивающие реализацию алгоритмов диагностирования и принятия решений по комплексу признаков.

В число основных функций КССД входит:

- измерение и контроль параметров по перечню стандарта требований к контролепригодности двигателя (ОСТ 100788-2000) и стандарта требований к бортовой системе контроля (ОСТ 10 2621-96);
- передача данных контроля на удаленный диагностический сервер;
- контроль вибрационных и кинематометрических характеристик элементов трансмиссий и редукторов двигателей;
- радиолокационный контроль повреждений и колебаний рабочих лопаток турбин и компрессоров;
- трендовый анализ комплексных диагностических признаков;
- оценка выработки ресурса с учетом малоцикловой и многоцикловой повреждаемости;
- управляемый доступ к большим массивам диагностической информации, накопленной за длительный период эксплуатации двигателей различного назначения;

- автоматизированное принятие диагностических решений в условиях не полных и зашумленных исходных данных;
  - сигнализация при возникновении внештатных ситуаций, связанных с техническим состоянием двигателя;
  - адаптация к действующим нормам и методикам контроля;
  - взаимодействие с системами контроля летательного аппарата;
  - визуализация и документирование результатов диагностирования с применением современных офисных технологий;
  - обеспечение информационной защиты от несанкционированного доступа.
- На рис. 1 представлена структура взаимосвязи между основными модулями КССД.

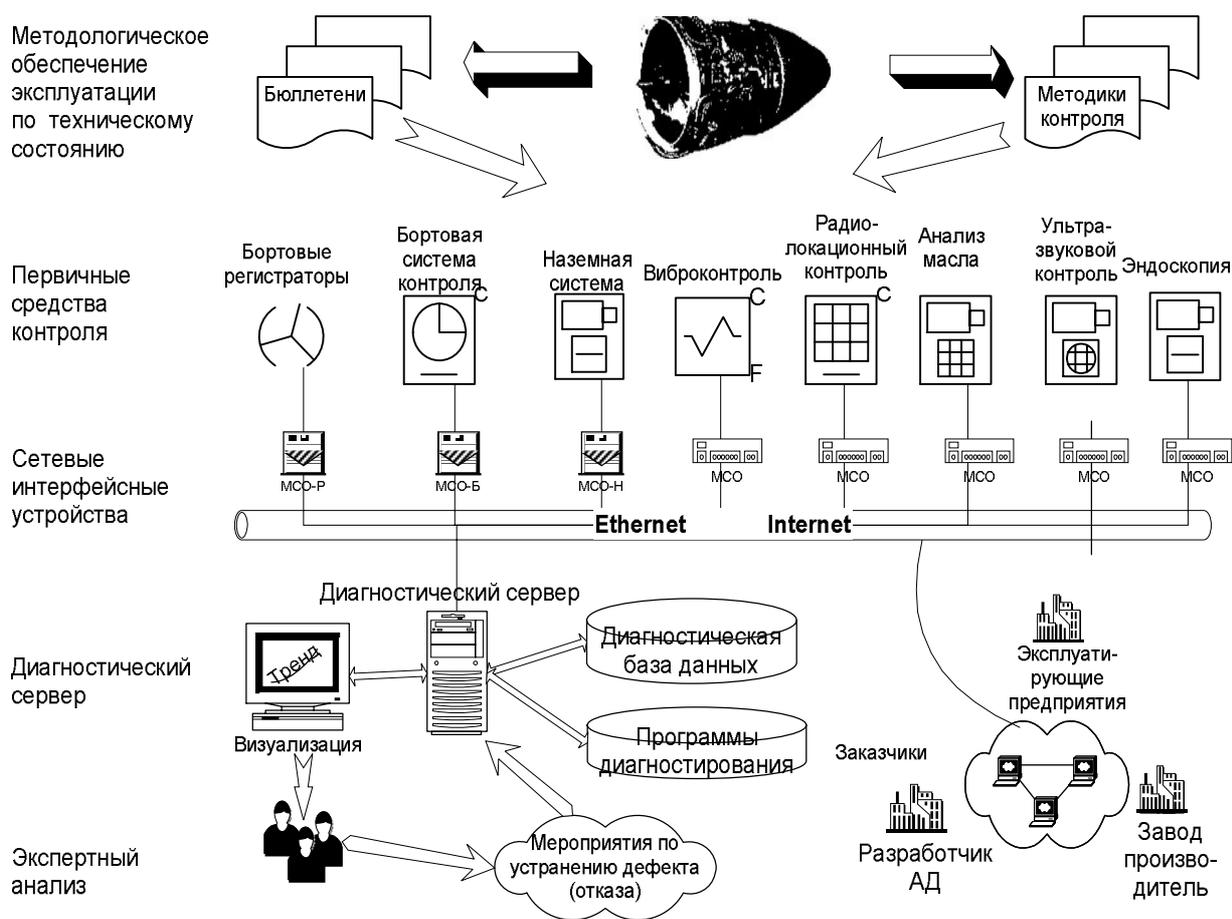


Рис. 1. Структурная схема КССД

Результативность применения в частности нейросетевых программ для диагностики технического состояния двигателя показана ниже на примере обнаружения момента попадания постороннего предмета на вход двигателя по измерению общих вибраций корпуса и частот вращения роторов.

На графике рис. 2 показано изменение виброскорости, измеренной по одному из датчиков в процессе эксплуатации двигателя. Визуальный анализ последовательности точек не позволяет с достаточной достоверностью выявить качественные изменения в уровне вибраций после момента времени предпола-

гаемого попадания постороннего предмета на вход двигателя (18 декабря отмечено стрелками на графике). Однако, нейросетевой анализ временной реализации вибраций совместно с параметром частоты вращения ротора (рис. 3) практически точно разделил реализацию на два класса (с точками до и после 18 декабря). Физическую интерпретацию данного факта иллюстрирует рис. 4, а. На трехмерном изображении изменения уровня вибраций по времени в зависимости от частоты вращения ротора отчетливо выявляется амплитудно-частотная характеристика

двигателя в точке установки вибродатчика. Учет этой характеристики снимает неопределенность в изменении виброскорости по наработке двигателя и указывает на скачкообразный рост уровня вибраций после даты 18 декабря. Аналогичная картина разделения множества точек вибраций на классы наблюдается на трехмерном графике показаний двух вибродатчиков по наработке двигателя (рис. 4, б).



Рис. 2. Изменение вибраций по наработке двигателя

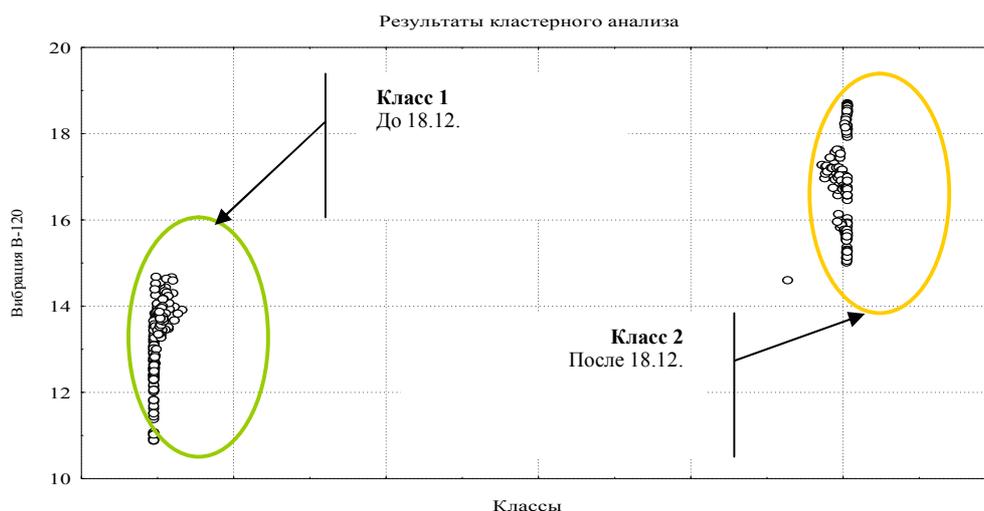


Рис. 3. Нейросетевая классификация процесса вибраций

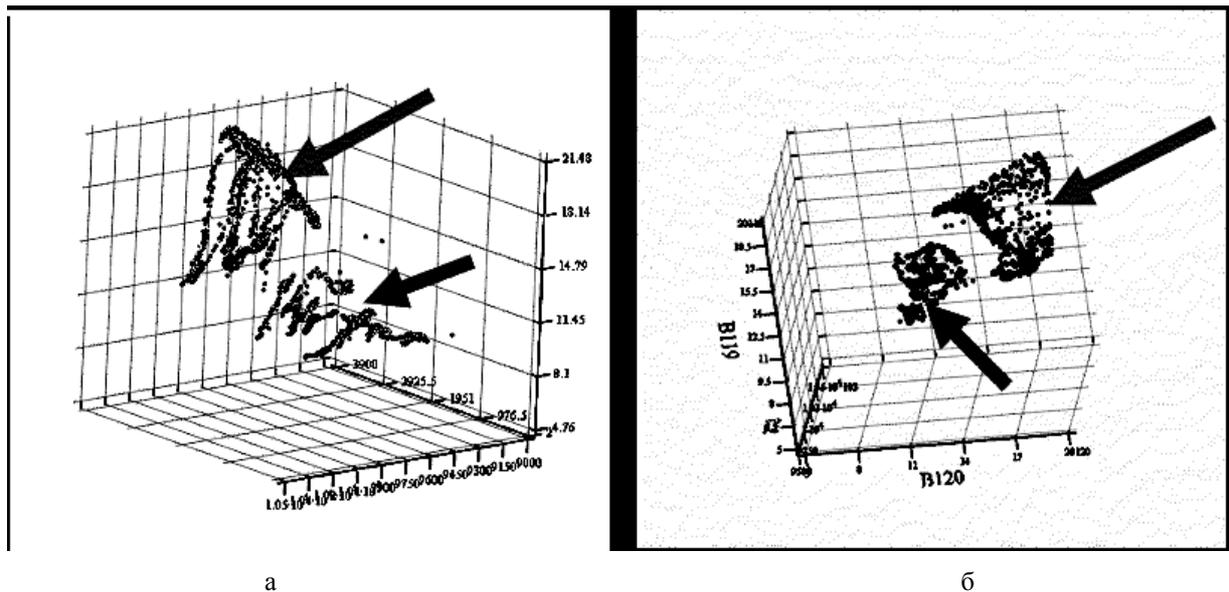


Рис. 4. Классификация в трехмерном представлении

Подтверждена эффективность диагностики на удаленном диагностическом сервере с использованием сетевого обмена информацией. На рис. 5 представлен фрагмент изображения пользовательского интерфейса программы, реализующей удаленную диагностику газотурбинной установки ГТУ-55-СТ-20, которая эксплуатируется в г. Новополоцк (Беларусь). Специалисты московских предприятий

разработчиков основных модулей ГТУ могут без выезда на место в реальном масштабе времени наблюдать вибрационные процессы, тренды, а также другие контролируемые параметры и оперативно давать рекомендации по обслуживанию газотурбинной установки при возникновении внештатных ситуаций.

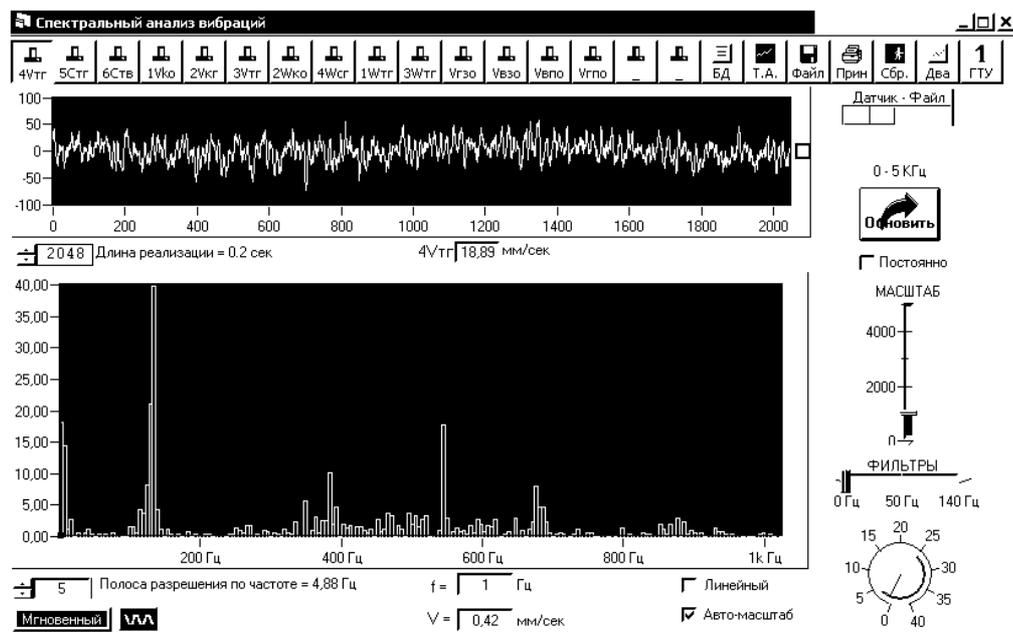


Рис. 5. Анализ вибраций на удаленном диагностическом центре

Другим примером реализации удаленной диагностики является Интернет версия программы

«Тренд-30-NET» (рис. 6), осуществляющей трендовый анализ параметров двигателей.

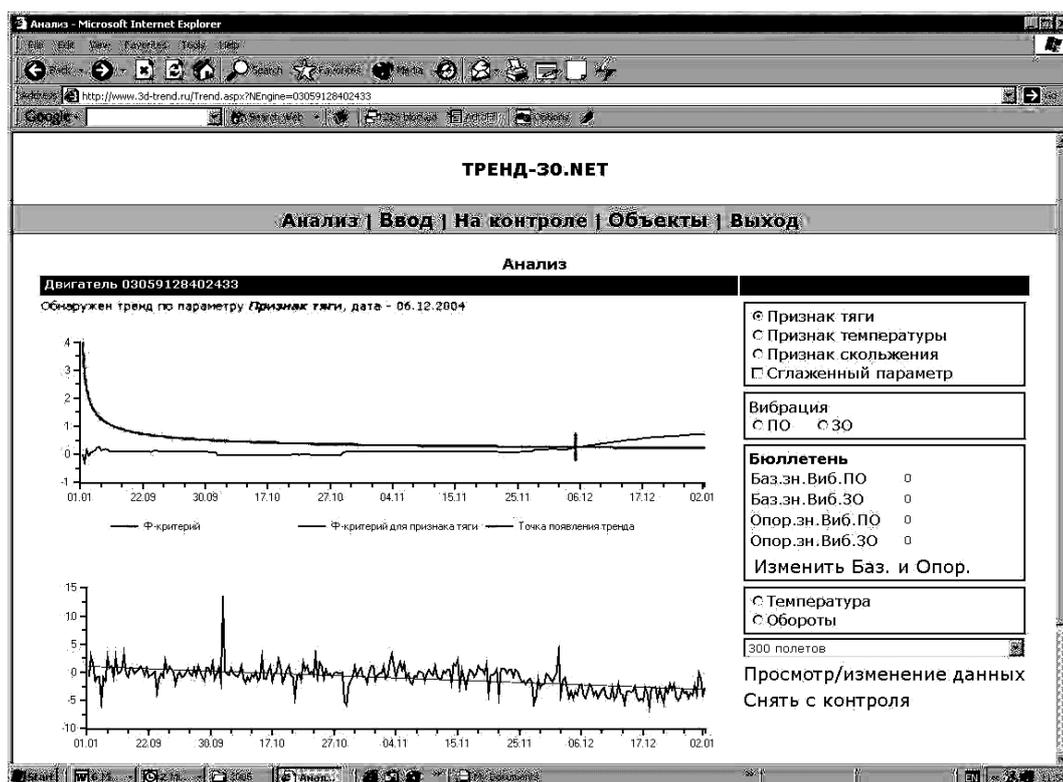


Рис. 6. Интернет версия программы трендового анализа параметров двигателей

Программа позволяет вводить данные с полетных карт в любом аэропорту посадки и мгновенно передавать их на диагностический сервер для анализа и принятия решений о техническом состоянии двигателя.

Данная технология существенно экономит затраты на диагностическое обслуживание и повышает безопасность полетов посредством оперативного анализа данных в диагностическом центре при эксплуатации самолетов вне базового аэропорта.

Результаты испытаний созданных макетных образцов основных модулей КССД подтверждают эффективность комплексной сетевой стратегии диагностирования двигателей, что выражается в следующем:

- в несколько раз повышена достоверность обнаружения тренда диагностического комплекса параметров, обусловленного процессом развития дефекта от повреждения деталей проточной части двигателя;

- существенно снижена вероятность ложного

диагноза, в частности, при вибрационном контроле двигателя посредством учета изменения признаков, полученных при спектральном и феррографическом анализе масла;

- реализация удаленного диагностического центра предоставляет возможность при внештатных ситуациях с авиадвигателем принимать экспертные решения в режиме реального времени с привлечением специалистов предприятия разработчика двигателя, территориально отдаленного от места эксплуатации;

- систематизация в диагностических базах данных статистической информации по результатам контроля парка двигателей позволяет автоматизировать процесс адаптации алгоритмов диагностирования по результатам фактической эксплуатации двигателей.

*Поступила в редакцию 29.04.2005*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Елифанов, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков.