

УДК 681.518

Г.Ю. КОНЦЕВИЧ<sup>1</sup>, К.В. ЦОЙ<sup>1</sup>, В.В. НЕРУБАССКИЙ<sup>2</sup>, А.П. МАЗУРКОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>ГП НПКГ «Зоря-Машпроект», Николаев, Украина<sup>2</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

## СОПРОВОЖДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГП НПКГ «ЗОРЯ» – «МАШПРОЕКТ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА И СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Рассмотрена современная концепция повышения эксплуатационных характеристик ГТД с использованием удаленного мониторинга и системы технической диагностики. Описаны структура и основные программно-технические компоненты центра удаленного мониторинга. Приведена схема взаимодействия центра удаленного мониторинга и системы технической диагностики с использованием глобальной сети Internet. Дан перечень базовых алгоритмов, которые встроены в систему технической диагностики, с указанием используемого математического аппарата, а также некоторые особенности их программной реализации.*

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, эксплуатация, удаленный мониторинг, техническая диагностика, программное обеспечение системы технической диагностики.

### Введение

Разработанная концепция технической политики комплекса «Сопровождение эксплуатации и сервисное обслуживание газотурбинных двигателей ГП НПКГ «Зоря» – «Машпроект» с использованием удаленного мониторинга и системы технической диагностики» определила основные направления создания на предприятии центра удаленного мониторинга. Указанная концепция была разработана ЦНИОКР «Машпроект» в 2005-2007 гг. совместно с ОАО «Элемент» (г. Одесса), Национальным аэрокосмическим университетом «ХАИ» (г. Харьков), фирмой «CCS» (США), при участии и методологической поддержке ИТЦ «Огртехдиагностика» ДАО «Оргэнергогаз» (ОАО «Газпром») и ЗАО «Система-Сервис» (г. С.-Петербург).

Центры удаленного мониторинга (ЦУМ) и диагностики созданы и успешно эксплуатируются ведущими зарубежными производителями газотурбинных энергетических установок, в частности – «General Electric» (г. Варингтон, Великобритания), «Mitsubishi» (г. Токашаго, Япония), «Siemens» (г. Эрлангер, Германия), «Alstom» (г. Баден, Швейцария). Эти центры, работающие в режиме 24/7/365, предлагают своим заказчикам широкий доступ к информации и техническим ресурсам, связанным с эксплуатирующимся оборудованием.

Удаленный мониторинг позволяет уменьшить расходы на поездки, минимизируя необходимость перемещения людей с места на

место с целью сбора данных (**принцип перемещения данных, а не людей**).

В структуру центра удаленного мониторинга и диагностики входит служба диагностики энергетических установок. Задачей службы диагностики энергетических установок является анализ изменения характеристик оборудования (выявление трендов) с целью повышения надежности за счет раннего обнаружения аномальных состояний, до того, как они перейдут в дорогостоящую стадию простоя.

В дополнение к этим преимуществам, сбор и мониторинг данных о ГТД предоставляет производителю двигателей ключевую информацию, которая может быть использована для улучшения характеристик ГТД и качества обслуживания. Конкретные улучшения могут включать увеличение срока службы, повышение отказоустойчивости, повышение надежности запуска, оптимизацию системы управления, продолжительности технического обслуживания и т.д. [1 – 4].

Успешная работа ЦУМ обеспечивается за счет разработки специальных инструментов (программ) мониторинга и диагностики, основанных на использовании, в том числе, методов искусственного интеллекта, позволяющих сканировать большие объемы данных для выявления наличия аномальных тенденций изменения параметров двигателя, чтобы затем предупредить специальный мониторинговый персонал о необходимости проведения более детального анализа.

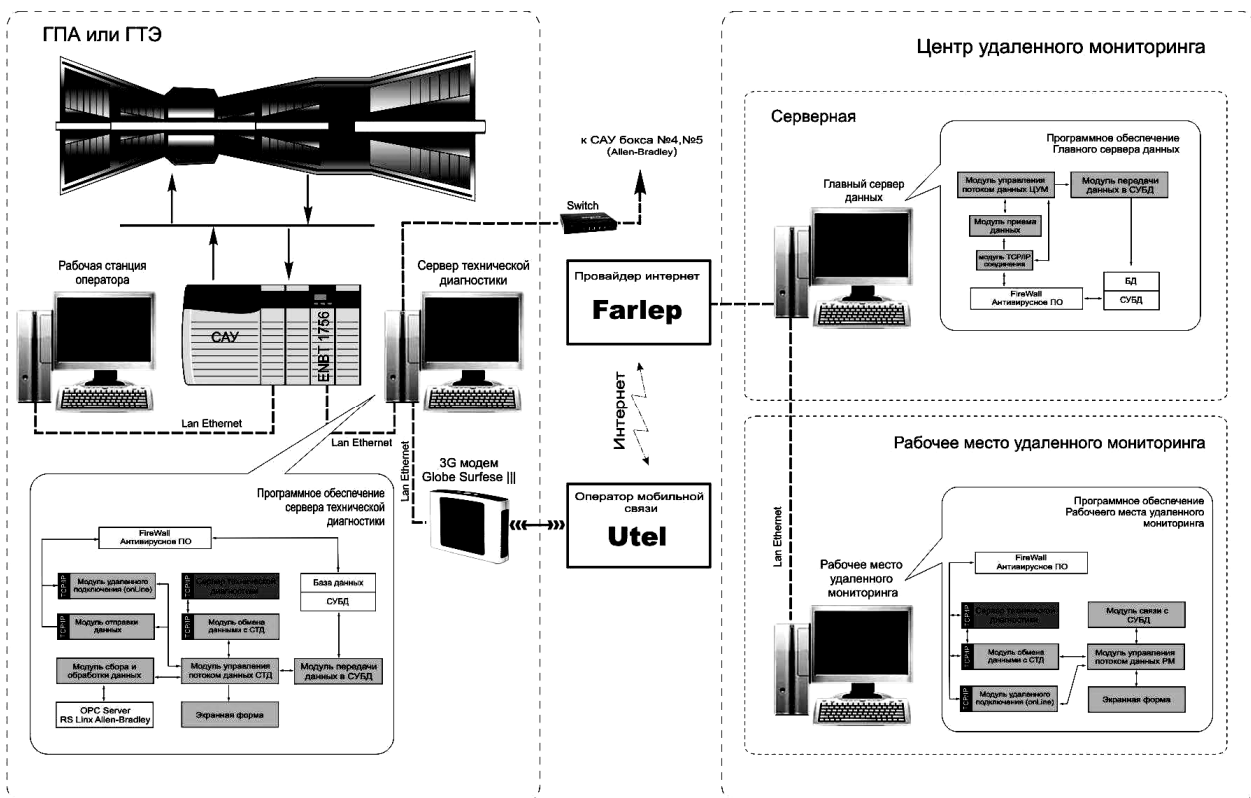


Рис. 1. Структурная схема связи диагностируемого объекта и ЦУМ с использованием сети Internet

## 1. Состав комплекса программно-технических средств

### 1.1. Технические средства

В соответствии со структурной схемой связи диагностируемого объекта и ЦУМ с использованием сети Internet (рис.1), в состав комплекса технических средств включено следующее оборудование.

Для *диагностируемого объекта* (газоперекачивающий агрегат или газотурбинная электростанция):

- коммуникационный модуль (выбирается в зависимости от используемых ПТС CAU). Предназначен для приема-передачи данных из CAU в модуль приема и обработки данных системы технической диагностики (СТД);
- Ethernet-коммутатор (Switch). Предназначен для построения сети передачи данных от нескольких CAU к компьютеру (серверу) СТД;
- компьютер (сервер) СТД;
- доступ в Internet с постоянным IP адресом. Возможно как кабельное высокоскоростное соединение, так и применение беспроводных технологий доступа в Internet (GSM/GPRS и EDGE, UMTS/HSDPA), с использованием 3G роутеров;
- рабочая станция диагностики (при необходимости организации удаленного места оператора-диагноста на объекте).

Для *ЦУМ* (ГП НПКГ «Зоря» – «Машпроект»):

- компьютер (сервер) СТД, имеющий выход в

сеть Internet, с RAID-массивом жестких дисков, который предназначен для повышения надежности работы, обеспечения дублирования записываемой информации и сохранности архивов параметров. RAID-массив из шести жестких дисков по 500 Гб позволит хранить информацию о параметрах всего жизненного цикла для 10–20 двигателей;

- Ethernet-коммутатор (HUB). Предназначен для построения сети передачи данных от компьютера (сервера) СТД к компьютерам рабочих мест операторов-диагностов;
- компьютеры рабочих мест операторов-диагностов. Предназначены для осуществления анализа параметров диагностируемых ГТД, выдачи рекомендаций, мониторинга параметров двигателей в режиме on-line.

Указанное оборудование не является специализированным, имеется в свободной продаже и может быть приобретено на тендерной основе в соответствии с требованиями, сформированными по результатам разработки инженерного проекта системы удаленного мониторинга.

### 1.2. Программные средства

Программное обеспечение (ПО) системы удаленного мониторинга включает в себя следующие составляющие:

- программный модуль передачи данных от CAU к компьютеру технической диагностики;

- программный модуль обеспечения автоматической «упаковки» (сжатия) архивов параметров;
- программный модуль обеспечения автоматической «распаковки» архивов параметров;
- модуль создание архивного файла, и отправки его в центр удаленного мониторинга;
- модуль передачи данных в систему управления базами данных (СУБД);
- модуль обмена данными с СТД;
- модуль on-line подключения, для удаленного доступа в реальном времени.

ПО СУБД – стандартное. База данных (БД) предназначена для записи, хранения архивов параметров и обеспечения диагностических алгоритмов необходимой информацией. ПО обеспечивает запись данных в БД и предоставляет механизм запроса данных из БД. Привязка данного ПО осуществляется при разработке программного обеспечения передачи данных.

Для функционирования компьютера СТД требуются следующие программные средства:

- ПО системы параметрической диагностики. Данная система производит анализ параметров двигателя на предмет выявления наличия аномальных тенденций их изменения. Работа ведется со стационарными параметрами, а также с журналами запусков, выбегов, данными о наработке ГТД, в том числе, с наработкой ГТД на режиме максимальной мощности, значениями наработок на переменных режимах, данными о количестве нормальных и ускоренных пусков, количестве аварийных остановок. При наличии аномальных тенденций изменения параметров двигателя выдаются сообщения о необходимости проведения более детального анализа. Программное обеспечение СТД разработано специалистами кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета «ХАИ» (г. Харьков);

- ПО связи компьютера технической диагностики с GPRS/GSM-модемом. Стандартное ПО на базе ОС Windows, входит в комплект поставки модема;

- система удаленного доступа к компьютеру VNC версии 4.1.1 (или выше). Предназначено для обеспечения работы компьютера рабочего места оператора-диагноста. Стандартное ПО на базе ОС Windows;

- ПО прямого доступа к контроллерам САУ (OPC Server);

- ПО предотвращения несанкционированного доступа из сети Internet к ОС (FireWall). Стандартное ПО на базе ОС Windows. Привязка данного ПО осуществляется при разработке ПО передачи данных;

- антивирусное ПО.

## 2. Принцип работы удаленного мониторинга и СТД

Программное обеспечение системы удаленного мониторинга и технической диагностики устанавливаются на отдельном компьютере, который связан с САУ с помощью коммуникационного модуля. ПО удаленного мониторинга производит считывание показаний датчиков непосредственно с САУ объекта мониторинга. Далее происходит обработка данных и их распределение:

- передача данных серверу технической диагностики и прием результатов обработанных данных;
- запись данных файл бинарного типа с последующим архивированием;
- запись параметров в базу данных согласно серийному номеру двигателя;
- интерактивное представление данных.

Один раз в сутки происходит передача архивного файла в центр удаленного мониторинга, через выделенный канал связи Интернет. Система удаленного мониторинга позволяет принимать подключения в режиме реального времени и передавать весь пакет данных удаленному клиенту. Интерфейс программы представлен на рис. 2.

Программное обеспечение центра удаленного мониторинга устанавливается на специализированном сервере, который хранит информацию, поступающую со всех объектов мониторинга, согласно принятому формату. Данные принимаются в архивных файлах, после чего производится их разархивирование, обработка и запись данных в базу данных согласно серийному номеру двигателя. Данный сервер входит в локальную сеть с рабочими станциями операторов, что позволяет операторам с помощью ПО выполнять следующее:

- подключение в режиме on-line к системам удаленного мониторинга (при наличии сети Internet);
- подключение и просмотр архивов с баз данных как локально, так и удаленно;
- построение графиков с баз данных и с архивных файлов.

## 3. Особенности алгоритмического обеспечения СТД

Алгоритмическое обеспечение СТД представляет собой универсальный набор программно реализованных алгоритмов диагностирования технического состояния, а также программных и методических средств их адаптации к особенностям конкретного объекта. Ниже приведен ориентировочный состав алгоритмов:

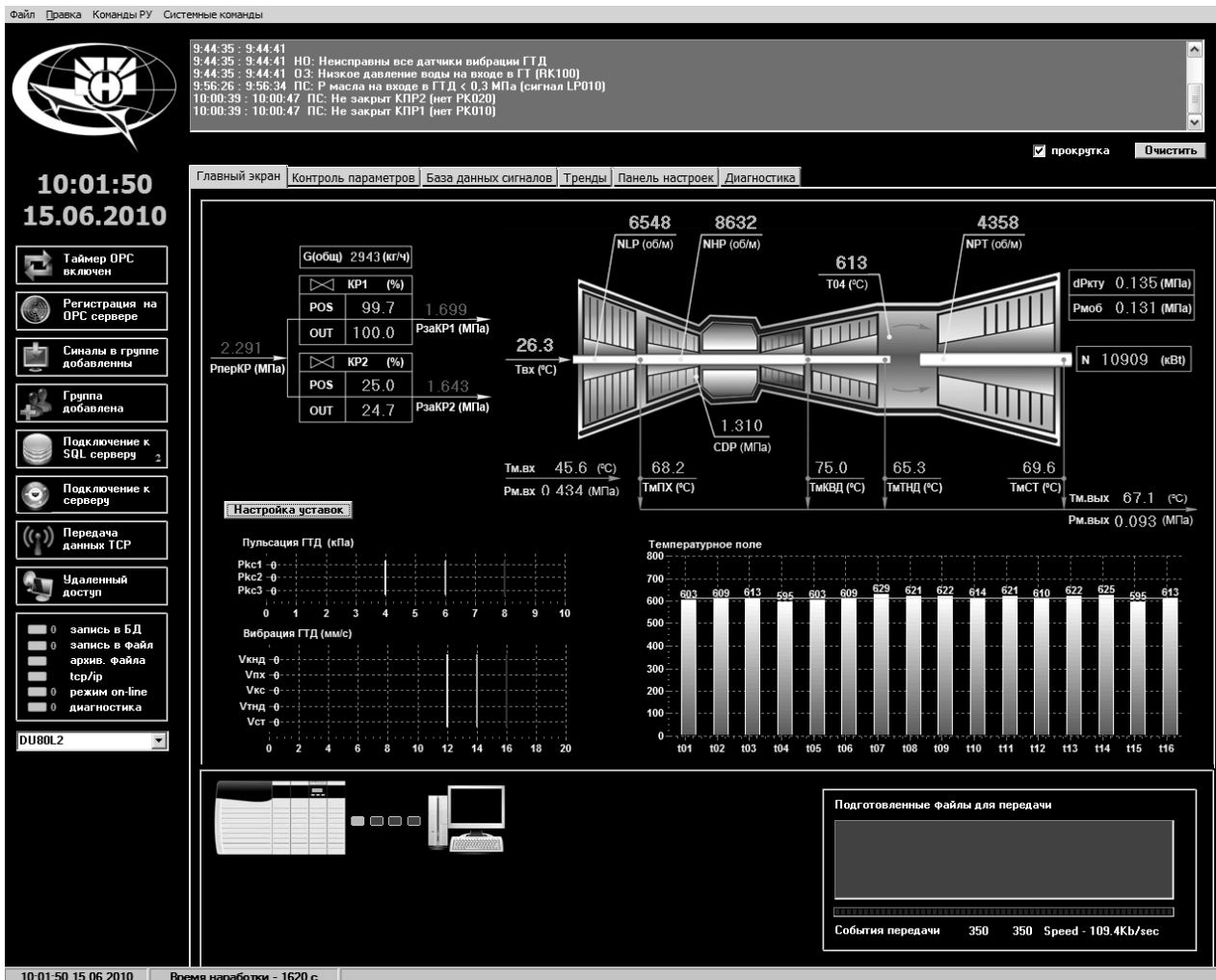


Рис. 2. Интерфейс системы удаленного мониторинга

- входной контроль и проверка кондиционности параметров ГТД;
- идентификация режима работы ГТД;
- диагностика технического состояния (ТС) ГТД по параметрам газозвдушного тракта;
- диагностика ТС ГТД по давлению в разгрузочной полости;
- диагностика ТС ГТД по параметрам топливной системы;
- диагностика ТС ГТД по вибрации и пульсации давления в камере сгорания;
- диагностика ТС ГТД по степени неравномерности температурного поля за турбиной;
- диагностика ТС ГТД по параметрам масло-системы;
- диагностика ТС ГТД по параметрам запуска или холодной прокрутки;
- диагностика ТС ГТД по параметрам останова ГТД;
- запись диагностических архивов параметров (на установившихся режимах, запусках, остановках и т.д.);

- оперативный тренд-анализ и прогнозирование параметров ГТД.

Алгоритмы СТД через модуль обмена данными обрабатывают полученную от САУ информацию и формируют диагностические параметры и сообщения. В функции алгоритмов СТД входит функция формирования информации, помещаемой в БД, или архивы, для ее последующего анализа. Результаты работы алгоритмов СТД в виде значений вычисленных параметров и отклонений контролируемых параметров от норм, а также сообщений, передаются для отображения на диагностических экранах.

Основным методом диагностирования является допусковый контроль. При этом по вычисленным базовым значениям  $Z_{\text{БАЗ}}$  рассчитываются отклонения контролируемых параметров ГТД  $\Delta Z = Z - Z_{\text{БАЗ}}$ , которые сравниваются с допустимыми — нижним  $D_{\text{Н}}$  и верхним  $D_{\text{В}}$ :

$$D_{\text{Н}} < \Delta Z < D_{\text{В}}$$

В качестве базовых значений для расчета отклонений могут использоваться как математические модели исправного состояния, так и формулярные характеристики ГТД.

Для обнаружения тренда (т.е. статистически значимого изменения параметра) используется непараметрический  $g$ -критерий Хальда-Аббе. При наличии тренда выполняется прогнозирование с использованием регрессионных моделей с экспоненциальным сглаживанием.

В целом алгоритмы СТД имеют модульную архитектуру и, при необходимости, их состав может быть расширен. Для настройки алгоритмов и самой СТД используется универсальная БД, что обеспечивает простую адаптацию системы к любым конфигурациям ГТД и составу измеряемых параметров.

### Заключение

Описанная концепция работы системы удаленного мониторинга в составе СТД успешно реализована и тестируется в испытательном цехе ГП

НПКГ «Зоря» – «Машпроект». Запланированы эксплуатационные испытания системы удаленного мониторинга и ее коммерческое использование.

### Литература

1. *Нерубаский В.В. Анализ системы запуска авиационного газотурбинного двигателя как объекта диагностирования / В.В. Нерубаский // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 9 (45). – С. 92-96.*
2. *Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, Б.И. Кузнецов и др. – К.: Техніка, 1998. – 312 с.*
3. *Добрянский Г.В. Динамика авиационных ГТД / Г.В. Добрянский, Т.С. Мартынова. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.*
4. *Кац Б.М. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей / Б.М. Кац, Э.С. Жаров, В.К. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1976. – 220 с.*

Поступила в редакцию 29.05.2010

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент И.Лобода, Национальный политехнический институт, Мехико, Мексика.

### СУПРОВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ДП НВКГ «ЗОРЯ» – «МАШПРОЕКТ» З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ТА СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

*Г.Ю. Концевич, К.В. Цой, В.В. Нерубаский, А.П. Мазурков*

Розглянута сучасна концепція підвищення експлуатаційних характеристик ГТД з використанням віддаленого моніторингу та системи технічної діагностики. Дано опис структури та основні програмно-технічні компоненти центру віддаленого моніторингу. Наведена схема взаємодії центру віддаленого моніторингу та системи технічної діагностики з використанням глобальної мережі Internet. Поданий перелік базових алгоритмів, які вбудовані в систему технічної діагностики, з посиланням на математичний апарат, а також деякі особливості їх програмної реалізації.

**Ключові слова:** газотурбінний двигун, експлуатація, сервісне обслуговування, віддалений моніторинг, технічна діагностика, програмне забезпечення системи технічної діагностики.

### MAINTENANCE AND TECHNICAL SERVICE OF ZORYA-MASHPROEKT TURBINE ENGINES USING REMOTE MONITORING AND TECHNICAL DIAGNOSTICS

*G.J. Kontsevich, K.V. Tsoy, V.V. Nerubaskyi, A.P. Mazurkov*

State-of-the-art concept of the turbine engine maintenance performances enhancement using remote monitoring and technical diagnostics is reported. The structure and main software-hardware components of remote monitoring centre are described. The interaction between remote monitoring centre and technical diagnostics system via Internet global networking is depicted. The list of base algorithms been integrated in technical diagnostics system with appropriate mathematical methods and some features of the software implementation are reviewed.

**Key words:** gas turbine engine, maintenance, technical service, remote monitoring, technical diagnostics, technical diagnostic system software.

**Концевич Георгий Юрьевич** – канд. техн. наук, начальник отдела систем автоматического управления ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», Николаев, Украина, e-mail: ykntsevich@mail.ru.

**Цой Константин Викторович** – инженер-конструктор III категории ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», Николаев, Украина, e-mail: TsoyKV@gmail.com.

**Нерубаский Вадим Владимирович** – старший научный сотрудник кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина, e-mail: aedlab@gmail.com.

**Мазурков Анатолий Павлович** – старший научный сотрудник кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина, e-mail: aedlab@gmail.com.