



Автоматизированная система контроля испытаний газотурбинных двигателей

Николай Севрюгин, Игорь Потапов, Александр Попов, Андрей Цирихов

Описан опыт внедрения в ОАО НПО «Сатурн» автоматизированной системы контроля испытаний авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) в процессе серийного производства. Обсуждаются проблемы создания и применения подобных систем.

ВВЕДЕНИЕ

ОАО НПО «Сатурн» — одно из крупнейших предприятий России, выпускающее широкий спектр сложной наукоемкой техники. Среди выпускаемой продукции главное место занимают авиационные ГТД типа Д30-КУ(КП) и их модификации, устанавливаемые на авиалайнерах ИЛ-62М, ТУ-154М, ИЛ-76. Достижение высокого качества производства стало возможным только благодаря тому, что современная система контроля качества продукции охватывает все составляющие производственного процесса.

Завершающим и одним из важнейших звеньев в производственной цепи является испытание готового двигателя.

На этой стадии производства проверяется соответствие показателей работы двигателя нормам технических условий, производится настройка агрегатов и систем изделия, рассчитываются характеристики ГТД и т. д.

Процесс испытания состоит из двух видов работ: работы, производимые на неработающем изделии (монтаж, осмотры, перемонтаж систем, демонтаж и т. п.), и работы, связанные со сжиганием топлива (газовая наработка изделия).

Применение автоматизированной системы контроля испытаний (АСКИ) наиболее целесообразно во время газовой наработки ГТД. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что

- именно при этих работах определяются значения основных показателей работы двигателя;
- необходимо минимизировать газовую наработку (без ухудшения качества испытания)
 - для снижения расхода топлива,
 - для уменьшения влияния вредных факторов на здоровье исполнителей,
 - для уменьшения выброса отходов горения топлива в атмосферу;
- необходимо снизить влияние субъективного фактора для повышения объективности результатов испытания.

Но и работы, выполняемые на остановленном изделии, также должны быть максимально охвачены автоматизированным контролем, поскольку качественная подготовка двигателя к запуску — залог успешного функционирования работающего двигателя.

ЦЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСКИ

Работа ГТД оценивается множеством параметров. Полный и минимально необходимый перечень этих параметров, задействованных для оценки работы двигателя при серийных испытаниях, представлен в табл. 1. Для проведения исследовательских работ при испытаниях ГТД этот список может быть существенно увеличен.

Результаты работ, проводимых в процессе испытания, заносятся в протокол испытания. В отличие от автоматических систем автоматизированные системы предполагают работу человека в процессе



Монтаж изделия на испытательном стенде

Таблица 1. Перечень параметров, задействованных для оценки работы двигателя при серийных испытаниях

Измеряемый параметр	Тип датчика или сигнального устройства	Полное количество	Минимальное количество
Давление	Датчик давления	119	40
Температура	Термопара Термосопротивление	23 25	12 8
Частота	Датчик оборотов	12	4
Тяга	Тензорезисторный мост ТВС-20	2	1
Вибрация	Вибродатчик типа МВ-25, МВ-04	3	3
Аналоговый сигнал	Датчики угла поворота лопаток, положения рычага управления двигателем (РУД) и т.п.	15	2
Дискретный сигнал	Сигнальные лампочки, тумблеры, переключатели и т.п.	310	64
ИТОГО		509	134

эксплуатации системы. Для эффективной работы людей в составе АСКИ все оперативные данные, характеризующие работу изделия, должны быть представлены в удобном для восприятия наглядном виде. Также в удобном виде должны быть выведены значения, отправляемые в протокол испытания. Итоговое заключение о пригодности ГТД к эксплуатации принимается на основании данных, представленных в протоколе испытания. Поэтому основной целью функционирования АСКИ, в конечном итоге, является протокол испытания, формируемый системой и представленный на машинных носителях информации или на бумаге. В настоящее время юридическую силу имеет протокол на бумаге, содержащий необходимые подписи исполнителей и представителей контролирующих подразделений, что определено стандартом предприятия СТП 503.08.014-99. Необходимо подчеркнуть, что целью работы автоматизированной системы контроля испытаний является именно протокол испытания, а не двигатель, готовый к эксплуатации. Собранный, отрегулированный, проверенный и годный к эксплуатации двигатель является результатом работы множества производственных подразделений и служб, оснащенных различными автоматизированными системами. Только при применении автоматической системы испытаний можно делать акцент на то, что результатом её работы является годное изделие, а не протокол испытания.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АСКИ

Поскольку протокол испытания изделия является основной целью рабо-

ты системы, его формированию необходимо уделять особое внимание. Данные, заносимые в протокол, должны быть достоверны. Достоверность данных обеспечивается соответствием методов их получения, обработки и представления нормативной документации, в частности, ГОСТ 8.207-76 [1]. Вместе с тем достоверность данных должна быть обеспечена требуемой скоростью ввода данных. Достичь высокой скорости работы программного обеспечения (ПО) системы сложно, так как в цикле работы АСКИ большое количество времени занимает визуализация данных, которая связана со скоростью реакции человека, составляющей в среднем 0,1 с. Поэтому увеличение частоты цикла отображения в

программе свыше 10 Гц нецелесообразно. С другой стороны, чтобы обеспечить требуемую точность и достоверность отдельных параметров, необходимо иметь частоту цикла работы не ниже 130 Гц. Для решения этой коллизии АСКИ разбивается на две крупные подсистемы: систему сбора данных и систему визуализации. Система сбора данных работает в режиме реального времени технологического процесса, а система визуализации — в реальном времени реакции человека, которое на порядки больше дискрета времени, необходимого для эффективного контроля испытания. Обе подсистемы работают на собственных, достаточно недорогих процессорах, которые соединяются средствами сетевого обеспечения. Структурная схема АСКИ представлена на рис. 1.

Разделение системы контроля на подсистемы сбора данных и визуализации позволяет регистрировать параметры ГТД с высокой точностью и эффективностью. Это достигается за счет того, что значения параметров испытуемого изделия опрашиваются системой сбора данных всегда с высокой частотой и постоянной дискретностью, так как эта система не выполняет действий, которые могут увеличить время цикла опроса. Более того, в системе сбора данных, реализующей ввод информации от объекта испытания, её первичную обработку либо выдачу управляющих сигналов, существует возможность за счет новых программно-аппаратных решений уменьшать время цикла опроса, а следовательно, повышать точность и достоверность данных. Все действия, связанные с обработкой команд, поступающих от оператора, выполняет система визуализации, она же обеспечивает хранение данных, их документирование, наглядное текстовое и графическое представление и так далее.

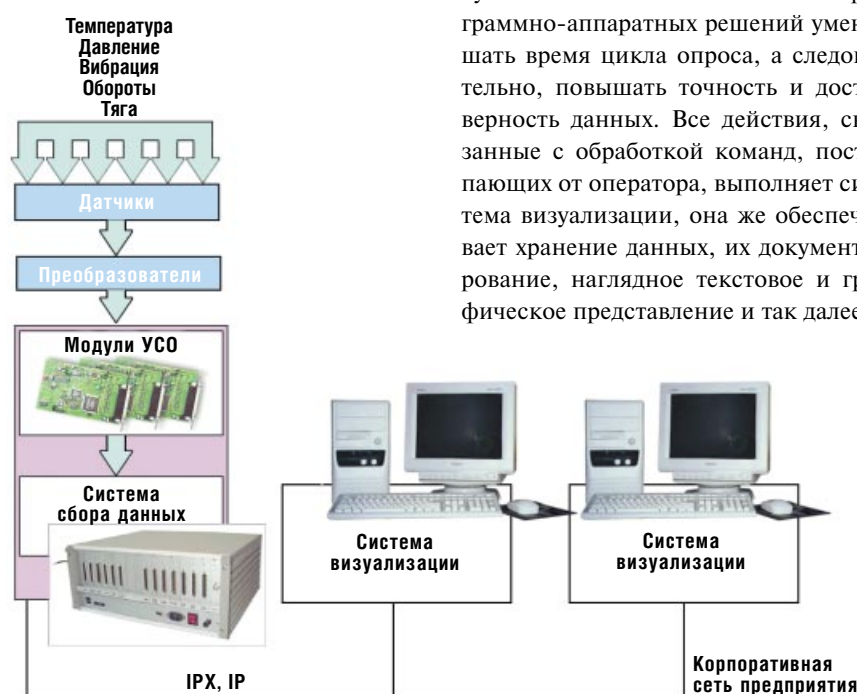


Рис. 1. Структурная схема АСКИ



Рис. 2. Операторский пульт АСКИ

ВЫБОР ПУТЕЙ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

Приобретение системы или ее частей — сама по себе задача непростая. Первое, на что обращается внимание, — надежность. Постоянно отказывающая и даже просто регулярно дающая сбои система не устраивает никого, особенно при испытаниях ГТД, так как здесь в последнее время выходит на передний план проблема экономии топлива при испытаниях, а сбои системы ведут к его непродуктивным потерям. Второй показатель — точность. Точность системы должна быть не ниже той, которая уже достигнута при испытаниях.

В качестве делового партнера по созданию АСКИ серийных ГТД было выбрано научно-производственное предприятие «МЕРА», основными видами продукции которого являются комплексы для проведения стендовых испытаний, системы мониторинга, портативные анализаторы, специализированное программное обеспечение.

Такой выбор был обусловлен также и тем, что ОАО НПО «Сатурн» уже имело положительный опыт совместных работ с этой фирмой.

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСКИ

Аппаратура созданной системы размещена в пульте операторского управления (рис. 2) и аппаратной стойке

(рис. 3). Все соединительные провода и кабели между пультом управления и объектом контроля проложены таким образом, что пространство между стенами кабины наблюдения и пультом управления не имеет препятствий для передвижения обслуживающего персонала.

Система сбора данных построена на базе измерительно-вычислительного комплекса MIC-400, зарегистрированного в Государственном реестре средств измерений под № 20859-01. Состав базового комплекса MIC-400:

- приборный корпус серии Progras (фирма Schroff);
- процессорная плата, жесткий диск;
- крейт-контроллер (НПП «МЕРА»);
- источник вторичного электропитания класса AC/DC серии NLP40 (компания Artesyn Technologies);
- стандартный источник компьютерного питания 300 Вт формата PS/2 ATX (фирма Advantech).

В состав модулей УСО (НПП «МЕРА»), обеспечивающих функционирование АСКИ, входят:

- модуль для ввода сигналов с вибродатчиков (рис. 4);
- модуль для ввода сигналов с тензодатчиков, измеряющих тягу двигателя;
- модуль-преобразователь сигналов с датчиков давления, выдающих ток-овый сигнал;
- модуль-преобразователь сигналов с термодатчиков;



Рис. 3. Аппаратная стойка

- модуль-преобразователь сигналов с термосопротивлений;
- модуль-преобразователь частотных сигналов;
- модуль ввода дискретных сигналов;
- модуль вывода дискретных сигналов.

Поскольку АСКИ работает в условиях повышенных вибраций, вызванных работой ГТД, применение в системе офисных компьютеров нецелесообразно [2], поэтому в качестве базового компьютера для системы визуализации используется компьютер в промышленном исполнении на базе шасси IPC-610 (фирма Advantech).



Рис. 4. Модуль для ввода сигналов с вибродатчиков (МС-201)

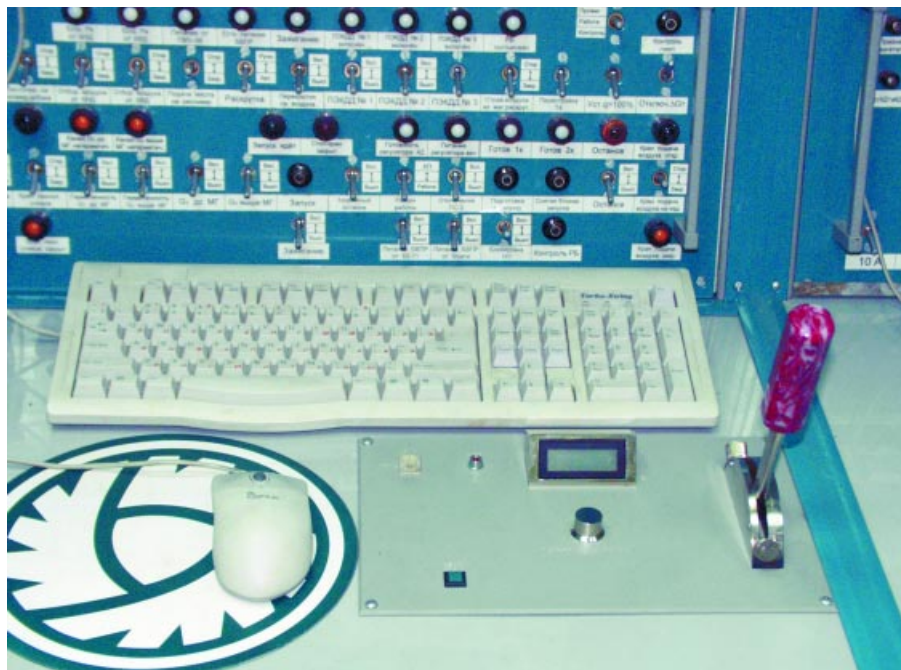


Рис. 5. Органы управления ГТД при испытаниях

Всесторонний контроль испытаний ГТД на современном уровне развития техники полностью автоматическим сделать весьма затруднительно. Это связано с тем, что некоторые дефекты в работе двигателя можно обнаружить только визуально, например течи двигателя, искрение или появление факела в реверсивном устройстве. С помощью обычного окна наблюдения обнаружить течи двигателя во время его работы невозможно. В этом случае на помощь испытателям приходит телеаппаратура. Применение поворотных телекамер с изменяемым углом зрения как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях, а также с функ-

цией масштабирования изображения позволяет вести наблюдение за испытанием на экране монитора и обнаруживать дефекты на ранней стадии их проявления. При применении телеаппаратуры необходимо обеспечить достаточную освещенность испытываемого двигателя.

Разработанный НПП «МЕРА» рычаг управления двигателем (РУД) обеспечивает простоту и удобство управления двигателем при испытаниях, а модуль вывода дискретных сигналов, сопровождаемый специальным программным обеспечением, позволяет расширить функции автоматического управления. Органы управления

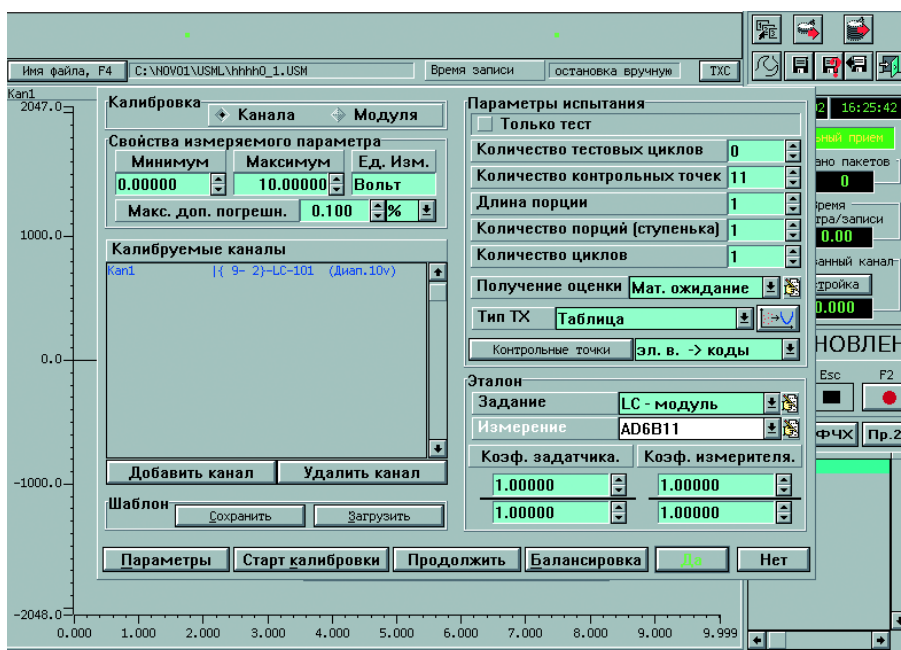


Рис. 6. Окно режима калибровки канала измерения термоздс

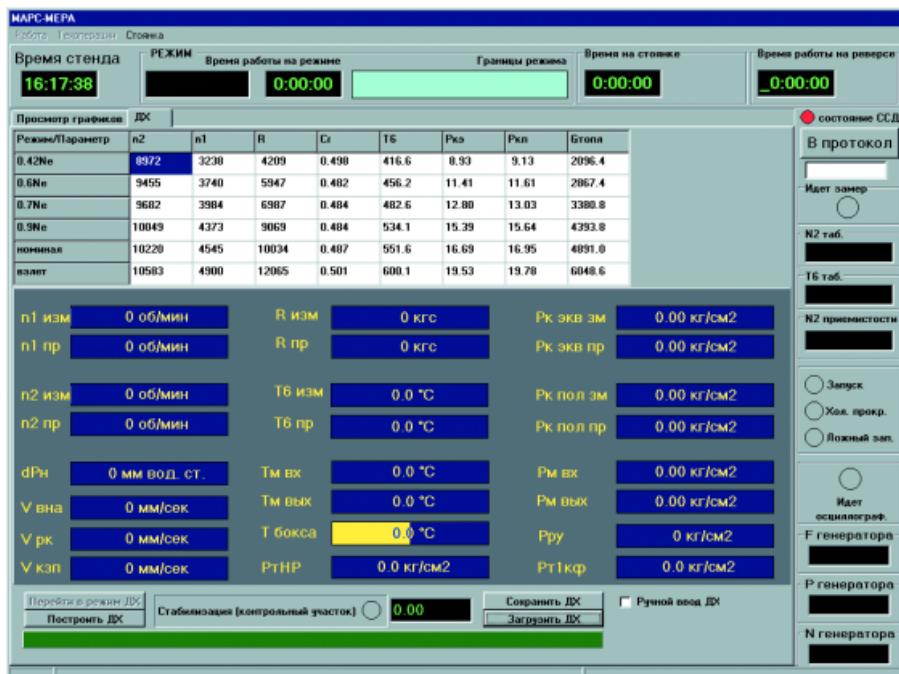


Рис. 7. Окно системы визуализации в режиме снятия дроссельной характеристики ГТД

двигателем при испытаниях представлены на рис. 5.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

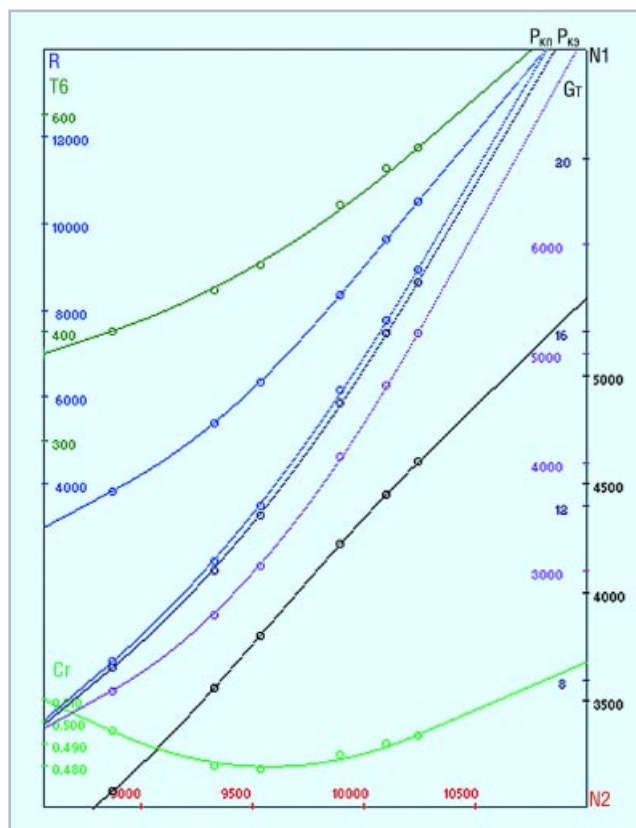
Развитые программные средства, выпускаемые НПП «МЕРА» (пакеты программ ПОС-М, WinPOS), позволяют быстро настраивать программ-

ное обеспечение АСКИ при изменении технологии испытаний или при внедрении в производство новых типов изделий. Использование сетевых ресурсов позволяет строить АСКИ, которая, включаясь в общезаводскую корпоративную сеть на базе Novell Netware, оперативно обеспечивает все

заинтересованные подразделения необходимой информацией о прохождении испытаний ГТД, о состоянии испытательных боксов и всей испытательной станции.

Программное обеспечение (ПО) можно разбить на три уровня.

- Нижний уровень — программы интеллектуальных модулей. Эти программы выполняют операции по обмену данными, исключению грубых промахов измерений, преобразованию данных в требуемый формат. ПО нижнего уровня, реализуемое в сигнальных цифровых процессорах модулей УСО, также призвано разгрузить центральный процессор системы сбора данных.
- Сервер данных — программа системы сбора данных. Она обеспечивает обмен с ПО нижнего уровня, предварительную обработку данных (например, приведение к физическим величинам), выполняет ряд необходимых расчетов (приведение значения параметра к стандартным атмосферным условиям, вычисление оценочных параметров и т.д.), накапливает данные быстропеременного режима (например, при осциллографировании параметров), обеспечивает



Условные обозначения:

N1 — частота вращения ротора компрессора низкого давления;

N2 — частота вращения ротора компрессора высокого давления;

T6 — температура газов за турбиной;

R — тяга двигателя;

R_{кп} — давление воздуха в газозвдушном тракте полное;

R_{кэ} — давление воздуха в газозвдушном тракте эквивалентное;

G_t — часовой расход топлива;

C_г — удельный расход топлива.

Рис. 8. Графики дроссельной характеристики

передачу данных системе визуализации. На сервер данных также возложена метрологическая поддержка комплекса (согласно ГОСТ 8.207-76) и функция калибровки измерительных каналов. На рис. 6 показано изображение экрана монитора при калибровке канала измерения термоэдс.

- Система визуализации. Программа этого уровня обеспечивает наглядное и удобное представление данных на мониторе системы, ведение протокола испытания, поддерживает интерфейс оператор-компьютер.

При написании программных модулей использованы универсальные средства быстрой разработки Delphi и Visual C++, протоколы IPX, IP.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ АСКИ

Как уже отмечалось, основная цель работы АСКИ — создание протокола, содержащего необходимую информацию о прохождении испытания. Официальный протокол серийного приемосдаточного испытания, выведенный на бумажный носитель, состоит из 100...150 листов формата A4. Он содержит как текстовую, так и графическую информацию. Размер шрифта текста и межстрочные промежутки выбраны такими, чтобы на одной странице помещались 63 строки, включая обязательные строки

оформления (первую и две последние). Такое количество строк обеспечивает оптимальное соотношение удобства восприятия информации и компактности протокола. Из этих же соображений графики размещаются по два на странице (с обязательным присутствием строк оформления). В качестве примера на рис. 7 и 8 показаны соответственно значения и графики дроссельной характеристики двигателя.

Интерфейс общения АСКИ и пользователя разработан с учетом обеспечения максимального удобства для пользователя. На рис. 9 показан вывод некоторых параметров изделия, а также меню, предоставляющее выбор действий испытателю для проведения работ на остановленном двигателе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедренная на ОАО НПО «Сатурн» автоматизированная система контроля испытаний позволила решить вопросы, связанные с сертификацией производства, повысить эффективность процесса испытания. Так как все получаемые в процессе испытаний графические зависимости просматриваются на экране в процессе работы двигателя и существует возможность проводить регулировку агрегатов двигателя, не останавливая изделие, то в итоге удаётся сократить время испытаний на 2-3 часа и снизить расход топлива на 9,63%.

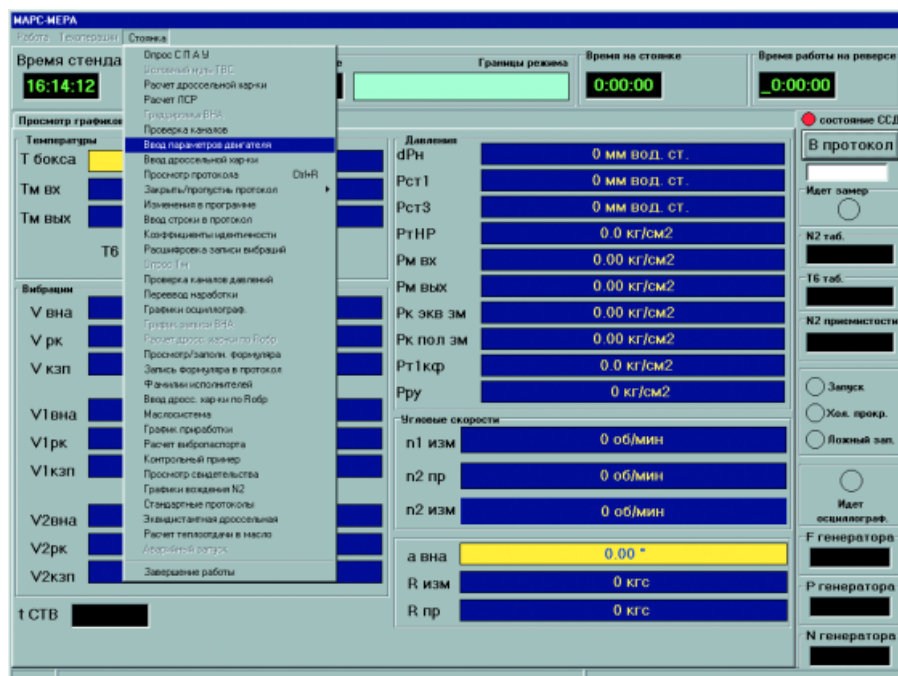


Рис. 9. Окно системы визуализации в режиме общего мониторинга и меню управления при остановленном ГТД

Аппаратная часть АСКИ является универсальным средством. Что касается программного обеспечения, то специализированным является та его часть, которая реализует технологический цикл испытаний двига-

теля (в большей степени это касается системы визуализации); при перенастройке системы на другой тип двигателя именно эта часть программного обеспечения потребует доработки.

Внедрение АСКИ позволило повысить уровень автоматизации процесса испытания и сделать реальный шаг в направлении перехода к автоматическому испытанию двигателей. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. — М.: Издательство стандартов, 1977.
2. Л.В. Тонкий, Н.Н. Севрюгин, И.Р. Щёголев. Автоматизированная система контроля испытаний серийных ГТД на базе локальной вычислительной сети//Вестник Верхне-Волжского отделения АТН РФ. Сер. Высокие технологии в машиностроении и приборостроении. — 1995. — Вып. 2. — С. 141-145.

**Н.Н.Севрюгин — сотрудник
ОАО НПО «Сатурн»**

Телефон: (0855) 24-3478

Факс: (0855) 21-1605

**Остальные авторы — сотрудники
ООО НПП «МЕРА»**

**Телефон/факс: (095) 516-8916,
513-1022**