

Автоматизация прочностных испытаний несущей системы вертолетов

Владимир Наумов, Андрей Наумов, Владимир Барбашов, Валерий Пахов, Станислав Бастраков, Сергей Михайлов, Сергей Ичанкин

В статье рассматривается возможность применения современных компьютерных технологий для автоматизации наземных прочностных испытаний элементов конструкций летательных аппаратов.

Введение

«Испытания авиационной техники — комплекс работ, проводимых в процессе создания, производства и эксплуатации летательного аппарата (ЛА) и его составных частей с целью проверки их работоспособности, выявления и устранения недостатков, проверки соответствия фактических характеристик расчетным данным и установленным требованиям, и подтверждения заданного уровня надежности. Различают наземные испытания и летные испытания, в которых, в свою очередь, могут быть выделены отдельные виды испытаний...»

(Авиация: Энциклопедия.– М.: Большая Российская Энциклопедия, 1994.)

Существуют два вида наиболее часто выполняемых в наземных условиях прочностных испытаний:

- статические испытания, во время которых нагрузки на конструкцию ЛА последовательно увеличиваются вплоть до разрушающих, при этом оценивается фактическая прочность конструкции;
- испытания на сопротивление усталости, при которых оценивается способность конструкции противостоять действующим в процессе эксплуатации ЛА повторяющимся нагрузкам.

При проведении прочностных испытаний получают большой объем измерительной информации, требующий значительных затрат времени на обработку как в ходе эксперимента, так и после его окончания. Для повышения достоверности результатов математической обработки измерительной информации, оперативности их получения и представления в форме, адаптированной для анализа и принятия решений (таблицы, эпюры, графики), в настоящее время широко используются автоматизированные системы сбора, обработки и представления измерительной информации. Одновременно с процессом обработки результатов измерения они, как правило, решают задачи управления экспериментом в режиме реального времени.

Перспективным направлением автоматизации измерительно-вычислительных операций и управления прочностными испытаниями элементов конструкций ЛА является применение промышленных микроконтроллеров, конструктивно и программно совместимых с IBM PC. Наиболее полно жестким требованиям испытательной лаборатории (повышенный уровень вибраций, электрические помехи и пр.), по нашему мнению, удовлетворяет набор технических средств семейства MicroPC фирмы Octagon Systems (США).

Объекты испытаний и испытательные стенды

В качестве объектов испытаний в статье рассматриваются отдельные агрегаты опытного вертолета «АНСАТ» (рис. 1), разрабатываемого ОАО «Казанский вертолетный завод» при участии Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева в лице исследовательского центра «Омега» и отраслевой научно-исследовательской лаборатории (ОНИЛ) прочности и надежности конструкций летательных аппаратов.

В ОНИЛ разработаны испытательные стенды, оснащенные современными средствами управления экспериментом,



Рис. 1. Опытный вертолет «АНСАТ»

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

средствами контроля и регистрации измерительной информации: стенд для испытаний на статическую прочность несущего и рулевого винтов, стенд для испытаний на износ автомата перекоса (рис. 2), стенд для испытаний на усталость элемента забустерного управления, стенд для испытаний на усталость втулки несущего винта (рис. 3) и др.

Совокупность силовых воздействий (нагружение) на объекты испытаний осуществляется гидравлическими силовозбудителями, поэтому набор технических средств для управления нагружением стендов является типовым и рассматривается как подсистема управления нагружением стенда. Аналогично

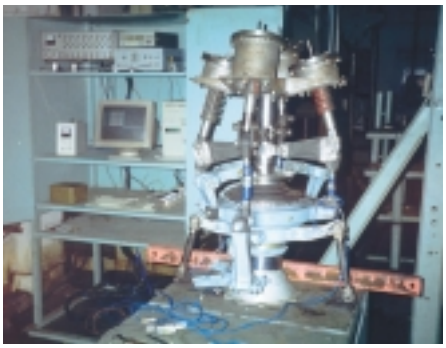


Рис. 2. Стенд для испытаний на износ автомата перекоса



Рис. 3. Стенд для испытаний на сопротивление усталости втулки несущего винта

и измерительно-вычислительные операции для каждого стенда осуществляются типовым набором технических средств, выделенных в подсистему сбора, обработки и представления измерительной информации стенда. Рассмотрим подробнее эти две подсистемы.

Подсистема управления нагружением

Подсистема управления нагружением построена на базе технических средств семейства MicroPC и может быть установлена в непосредственной близости от испытательного стенда. Основная задача подсистемы — многоканальная (N=1,...,n) генерация сигналов синусоидальной формы $F_n=A_n\sin(2\pi f_n t+\varphi_n)$ для управления силовозбудителями с раздельным регулированием амплитуд A_n, частот f_n, фаз φ_n в реальном масштабе времени. Номинальные значения данных параметров определяются программой испытаний. При регулировании фазы предполагается изменение фазы всех или отдельно взятых каналов по отношению к первому в пределах от 0 до 2π. Фазовый сдвиг задает, если требуется по условиям выполнения программы, асинхронность в работе силовозбудителей при периодическом нагружении конструкции. Подсистема рассчитана на генерацию сигналов частотой до 50 Гц по 12 каналам. Функциональная схема подсистемы управления нагружением показана на рис. 4.

Центральной частью подсистемы является контроллер MicroPC (рис. 5), в состав которого входят следующие аппаратные модули фирмы Octagon Systems:

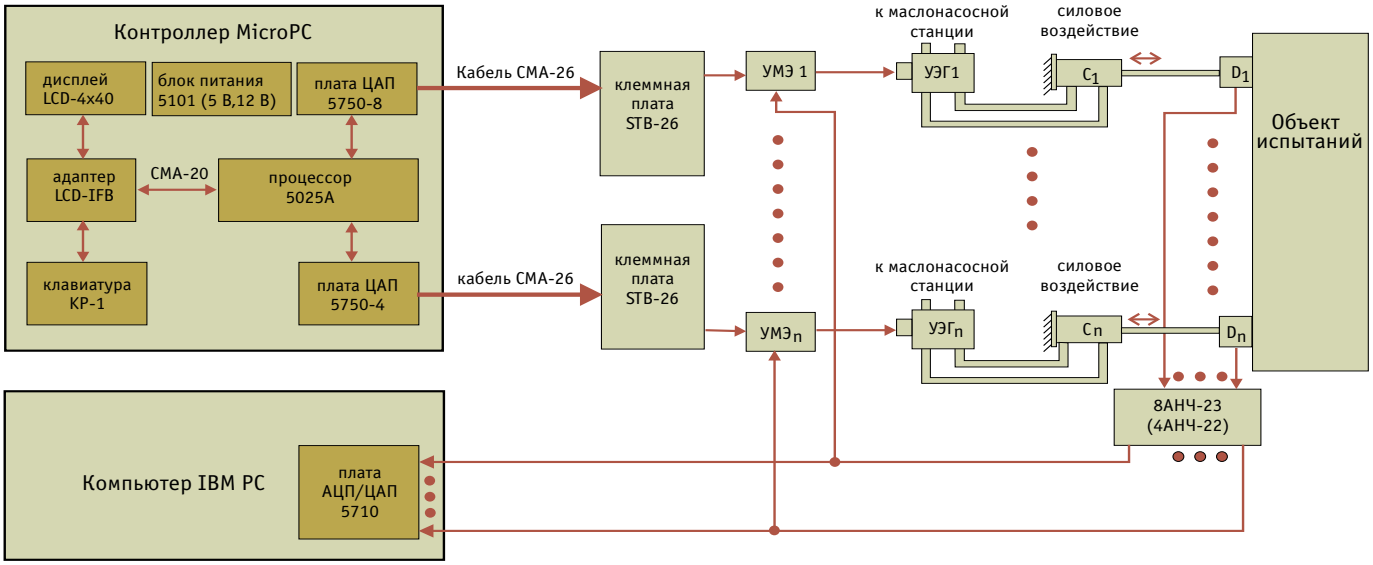
а) плата 5025A-486-50-8 – процессорный модуль;

б) плата 5750-8 – 8-канальный цифро-аналоговый преобразователь;

в) плата 5750-4 – 4-канальный цифро-аналоговый преобразователь;

г) адаптер дисплея и клавиатуры LCD-IFB;

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Условные обозначения:
8АНЧ-23 (4АНЧ-22) — комплект стандартной аналоговой тензометрической аппаратуры,
УМЭ — усилитель мощности,
УЭГ — усилитель электрогидравлический,
С — гидроцилиндры,
D — тензометрические датчики.

Рис. 4. Функциональная схема подсистемы управления нагружением

д) клавиатура KP-1 (16 клавиш);

е) жидкокристаллический символьный дисплей LCD-4 × 40 (4 строки по 40 символов);

ж) блок питания 5101 (выходные напряжения 5 В, 12 В, мощность 40 Вт).

Платы MicroPC установлены в монтажном каркасе 5204TM, имеющем 4 посадочных места. К каркасу крепится блок питания 5101. Параллельный порт LPT1 процессорной платы 5025A соединен кабелем CMA-20 с адаптером LCD-IFB, который служит аппаратным интерфейсом связи с клавиатурой KP-1 и с жидкокристаллическим дисплеем LCD-4 × 40. Запуск программ управления нагружением и коррекция параметров осуществляются с помощью клавиатуры KP-1. Контроль параметров нагружения производится по табло жидкокристаллического дисплея. При настройке стендов регулирование параметров осуществляется в реальном времени, и подобранные значения сохраняются в памяти для воспроизведения при остановах и перезапусках стендов.

С выходов плат 5750 контроллера генерируемые аналоговые сигналы управления нагружением подаются посредством кабелей CMA-26 на клеммные платы STB-26 Octagon Systems, откуда поступают на суммирующие входы усилителей мощности УМЭ, выполненных на операционных усилителях. С выходов усилителей мощности сигналы поступают на усилители электрогидравлические УЭГ, которые регулируют подачу масла от маслонасосной станции в полости гидроцилиндров $C_1, ..., C_n$, обеспечивая возвратно-поступательное движение штоков гидроцилиндров. Гидроцилиндры создают постоянные и переменные нагрузки, приводящие к возникновению изгибающих и крутящих моментов в испытываемой конструкции. Тензометрические датчики $D_1, ..., D_n$ вырабатывают электрические сигналы, пропорциональные нагрузкам, которые усиливаются комплектами стандартной аналоговой тензометрической аппаратуры типа 8АНЧ-23, 4АНЧ-22. С выходов этой аппаратуры сигналы подаются на входы УМЭ для стабилизации режимов нагружения (отрицательная обратная связь) и в компьютер IBM PC на платы аналого-цифрового преобразования 5710 (Octagon Systems) для организации непрерывного контроля режимов нагружения.

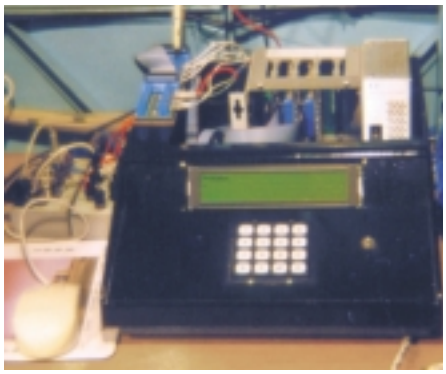


Рис. 5. Контроллер MicroPC

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

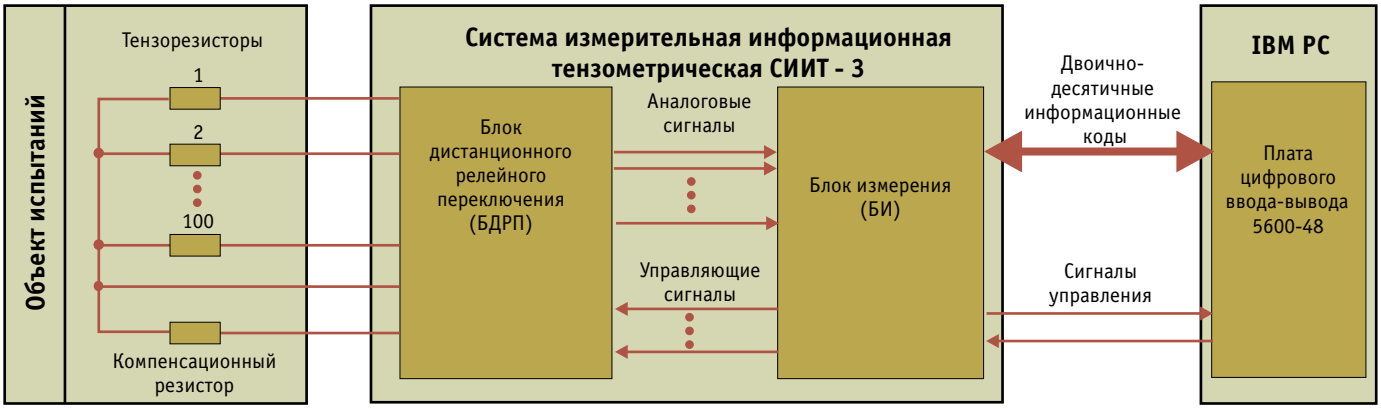


Рис. 6. Структурная схема ИВК для статических испытаний

Подсистема сбора, обработки и представления измерительной информации

Рассматриваются два варианта исполнения подсистемы:

- для проведения статических испытаний;
- для проведения испытаний на сопротивление усталости.

При проведении статических испытаний нагружение конструкции происходит поэтапно, на каждом этапе нагрузка фиксируется и производится регистрация измеряемых параметров: нагрузок, моментов, перемещений, механических напряжений, действующих в конструкции. При этом в качестве преобразователей механических параметров в электрические используются тензорезисторные датчики.

На рис. 6 представлена структурная схема измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) для контроля и регистрации параметров при проведении статических испытаний. Изображенная на структурной схеме стандартная измерительная информационная тензометрическая система СИИТ-3 предназначена для измерения выходных сигналов тензорезисторов и представления отсчетов в цифровом виде. СИИТ-3 состоит из двух частей – блока дистанционного релейного переключения (БДРП) и блока измерения (БИ).

БДРП предназначен для последовательной коммутации тензорезисторов со входом БИ в соответствии с поступающими на него управляющими сигналами от БИ. БДРП содержит 110 трехконтактных герконовых реле типа РЭС 44, разбитых на 10 групп и коммутирующих измерительные шины. Максимальное количество измерительных каналов, подключаемых к БДРП при работе системы, — 100. Коммутируемые БДРП тензорезисторы включаются в мостовую измерительную схему БИ.

БИ предназначен для усиления сигнала мостовой измерительной схемы и преобразования его в цифровую форму с помощью интегрирующего АЦП. Параллельные двоично-десятичные коды измерения и номер канала поступают на разъем для подключения внешнего устройства.

Связь между СИИТ-3 и персональным компьютером осуществляет плата цифрового ввода-вывода 5600-48 из

семейства MicroPC фирмы Octagon Systems. По импульсу запуска длительностью 25 мкс плата воспринимает двоично-десятичные коды с уровнями 0-5 В и вырабатывает сигналы готовности по окончании приема данных.

Быстродействие системы – 20 измерений в секунду – определяется временем переключения герконовых реле и быстродействием интегрирующего АЦП.

Все обменные операции между компьютером и системой СИИТ-3 осуществляются программным путем. Программное обеспечение комплекса позволяет выполнять тарировку выбранных каналов по нагрузкам, моментам, перемещениям перед началом испытаний, производить опрос каналов в процессе проведения испытаний, вычислять нагрузки, моменты, перемещения с использованием тарировочных коэффициентов, вычислять механические напряжения по показаниям тензорезисторов.

При испытаниях на сопротивление усталости к конструкции прикладываются периодические нагрузки в диапазоне частот от инфранизких до 50 Гц в течение длительного времени. На рис. 7 показана структурная схема ИВК подсистемы сбора, обработки и представления измерительной информации при испытаниях на сопротивление усталости втулки несущего винта опытного вертолета «АНСАТ».

Изображенные на схеме комплексы стандартной аналоговой тензометрической аппаратуры 8АНЧ-23 и 4АНЧ-22 предназначены для усиления динамических сигналов полумостовых и мостовых измерительных схем из тензорезисторов. Аппаратура 8АНЧ-23 содержит 8 измерительных каналов, аппаратура 4АНЧ-22 — 4 измерительных канала. Выходным параметром каждого канала аппаратуры является напряжение с диапазоном ±5 В, что соответствует входному диапазону платы 5710.

Основное назначение подсистемы сбора, обработки и представления измерительной информации - обработка периодических сигналов. Форма выходного сигнала тензометрической аппаратуры при измерении в любом сечении испытываемой конструкции представлена на рис. 8.

В задачу программного обеспечения подсистемы входит определение значений постоянных (статических) составляющих и амплитудных значений переменных (динамических) составляющих измеряемых параметров. Для этого измеренные в дискретные моменты времени величины сигналов оцифровываются аналого-цифровыми преобразователями (платы 5710-1) и сортируются с целью определения максимальных и минимальных значений. Подсчет количества максимальных или минимальных значений сигналов обеспечивает подсчет количества периодов нагружения.

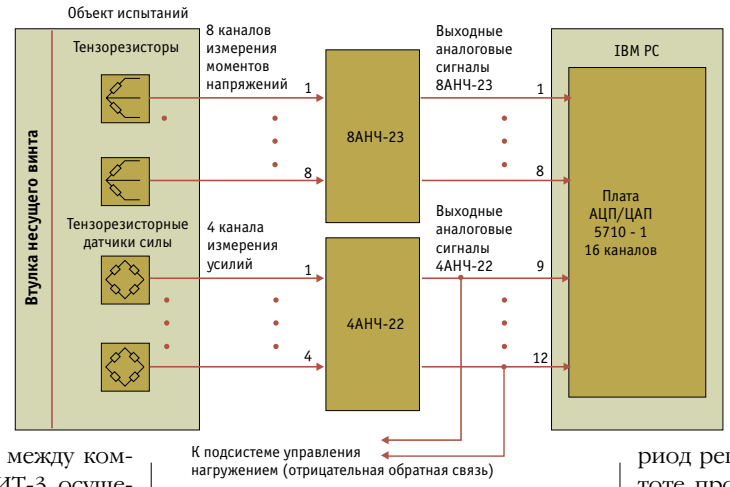


Рис. 7. Структурная схема ИВК при испытаниях на сопротивление усталости

При архивировании значений параметров на жестком диске компьютера нет необходимости фиксировать каждый максимум и каждый минимум сигнала. Вводится понятие периода регистрации. За время периода регистрации усредняются все максимальные значения и все минимальные. Продолжительность периода регистрации зависит от частоты измеряемого процесса. Чем выше частота процесса, тем короче период регистрации. Например, при частоте процесса f = 16 Гц он составляет 1-2 секунды.

Для определения значений постоянных составляющих измеряемых параметров за период регистрации ($U_{пост.ср.}$) выполняются следующие вычисления:

$$U_{пост.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_{i\,max} + \sum_{i=1}^{n} U_{i\,min}}{2n}$$

Здесь n – количество периодов нагружения за период регистрации,

U_i – значения измеряемого параметра.

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

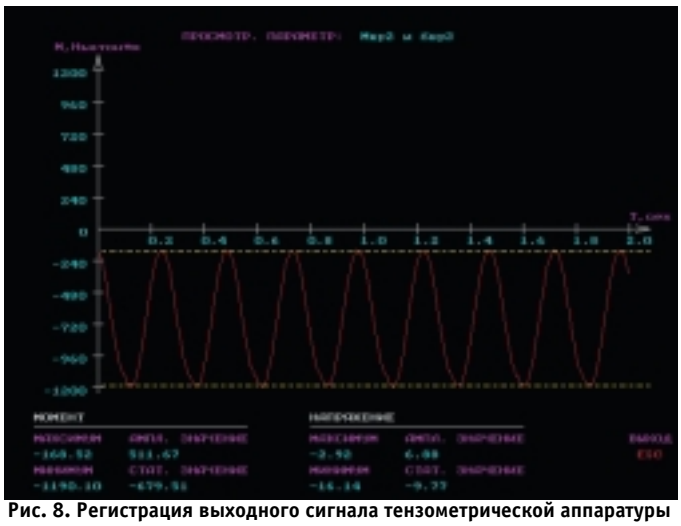


Рис. 8. Регистрация выходного сигнала тензометрической аппаратуры в реальном времени

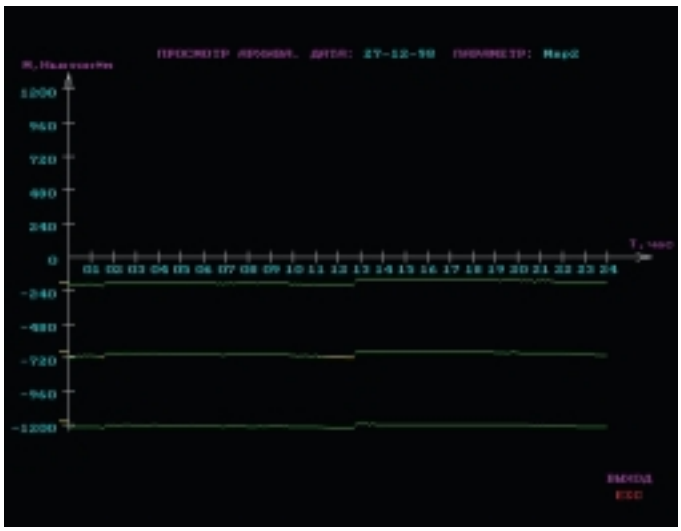


Рис. 9. Графическое представление размаха и постоянной составляющей периодического процесса за 24 часа испытаний в архивном файле

Если вычисленные $U_{пост.ср.}$ умножить на соответствующие коэффициенты тарировок, то получим масштабированные значения постоянных составляющих моментов напряжений в контролируемых сечениях.

Для определения среднеамплитудных значений переменных составляющих измеряемых параметров ($U_{ампл.ср.}$) проводятся вычисления:

$$U_{ампл.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_{i\,max} - \sum_{i=1}^{n} U_{i\,min}}{2n}$$

Умноженные на соответствующие коэффициенты тарировок, вычисленные $U_{ампл.ср.}$ будут соответствовать амплитудным значениям моментов, напряжений в контролируемых сечениях. Усредненные данные каждого периода регистрации записываются на жесткий диск компьютера и образуют архивную базу данных по испытаниям. Графическая форма представления одного из архивных файлов показана на рис. 9. Зеленый цвет графика означает, что величина отклонения значения регистрируемого параметра от заданного по программе испытаний находится в пределах ±5%, желтый — в пределах от ±5% до ±10%, красный — свыше ±10% (нежелательный предаварийный режим работы стенда). Допустимое значение отклонения параметра от номинального задается программой испытаний, которую разрабатывают проектировщики вертолета.

Непрерывный контроль режимов испытаний осуществляется с помощью выведенных на экран монитора измерительных шкал (рис. 10). Перемещения маркеров под шкалами в пределах выставленных меток определяют рабочий режим размахов значений измеряемых параметров. В табличках над шкалами в цифровой форме отображаются выделенные амплитудные и постоянные (статические) составляющие контролируемых величин. Цвет чисел в табличках (зеленый, желтый, красный) также меняется в зависимости от величины отклонения значений этих составляющих от программных.



Рис. 10. Шкалы на экране монитора для наблюдения за процессом испытаний

Отладка подсистемы управления нагружением и подсистемы сбора, обработки и представления измерительной информации проводилась в условиях полигона, имитирующего поведение объектов испытаний под действием нагрузок.

Выводы

Внедрение современных компьютерных технологий в процесс проведения наземных прочностных испытаний позволяет поднять уровень испытаний на качественно новую ступень. Можно выделить следующие преимущества применения промышленных вычислительных систем в прочностных испытаниях:

- полная автоматизация опроса и регистрации измеряемых параметров;
- гибкость в выборе режимов нагружения;
- программная и аппаратная совместимость с IBM PC;
- обеспечение высокой надежности работы в экстремальных условиях;
- высокая скорость опроса каналов;
- высокая достоверность и точность обработки результатов измерений (точностные характеристики удалось повысить в 3-5 раз);
- непрерывный контроль режимов испытаний по экрану монитора;
- большой объем регистрируемой информации;
- регистрация измерительной информации в форме, удобной для дальнейшей обработки по сложным алгоритмам;
- архивирование результатов испытаний. ●

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru