

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Г.С. Ранченко, канд. техн. наук, А.Г. Буряченко, Д.И. Волков,

КБ «Элемент», г. Одесса, Украина

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Постоянное повышение требований к уровню автоматизации и качеству испытаний газотурбинных двигателей (ГТД) обусловило поиск новых методов проверки параметров автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) испытаний ГТД. Такие методы должны обладать следующими обязательными качествами:

- обеспечивать полноту и объективность получения информации,
- требовать минимум трудозатрат персонала при проведении исследований,
- максимально сокращать время проведения исследований,
- решать задачу исследований широкого круга объектов при оперативной реконфигурации.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Современные требования к метрологическому обеспечению АСУ ТП испытаний ГТД [1] предполагают проведение экспериментальных исследований, направленных на определение метрологических характеристик измерительных каналов АСУ. Причем, если методика исследований каналов, предназначенных для проведения прямых измерений, подробно изложена в отраслевом стандарте [2], давно и широко применяется при аттестации АСУ ТП испытаний ГТД, то отраслевой документ, регламентирующий исследования каналов, обеспечивающих косвенные измерения, на сегодняшний день отсутствует. Оценка погрешностей косвенных измерений при испытаниях ГТД до сих пор проводится преимущественно расчетными методами в соответствии с [3]. Единственным в Украине нормативным документом, освещающим общие вопросы методики таких исследований, явля-

ются Рекомендации, утвержденные Госстандартом в декабре 1998 г. [4].

Канал, предназначенный для косвенных измерений рис. 1, состоит из ряда каналов прямых измерений (далее – измерительных компонентов), результаты которых необходимы для расчета значения искомой величины, и вычислительного компонента, обеспечивающего расчет. Погрешность каждого конкретного результата косвенных измерений определяется погрешностями прямых измерений, видом функции  $Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$  и сочетанием значений  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Метод определения характеристик погрешности такого канала, предложенный в Рекомендациях [4], «основан на моделировании электрических сигналов измерительных компонентов, поступающих в вычислительный компонент».

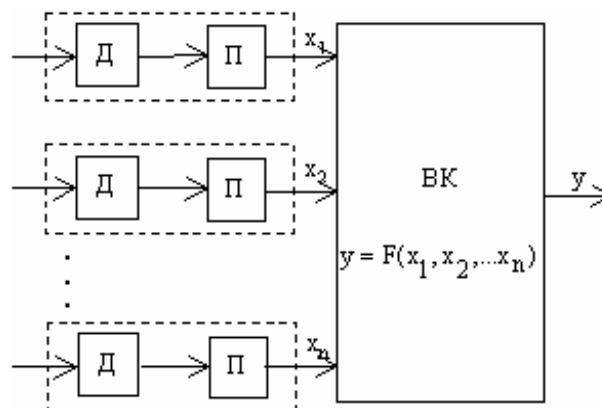


Рис. 1. Структура измерительного канала для косвенных измерений:

Д – датчик;  
 П – преобразователь сигнала;  
 ВК – вычислительный компонент

Результаты исследований. Указанные Рекомендации реализованы КБ «Элемент» при создании автоматизированной системы сбора и обработки данных,

предназначенной для испытаний двигателя ВК-1500 (АССОД-ВК), а затем при создании программно-технического комплекса АСУ ТП испытаний вертолетных двигателей малой размерности (ПТК ВДМР), для чего разработана и включена в состав программного обеспечения специальная программа, обеспечивающая проведение эксперимента и обработку результатов. С помощью разработанной программы бы-

ли проведены исследования ряда измерительных каналов АССОД-ВК и ПТК ВДМР.

Схема проведения исследований, реализованная в разработанной программе, показана на рис. 2. При проведении исследований на вход вычислительного компонента вместо измерительных компонентов подключается программный имитатор.

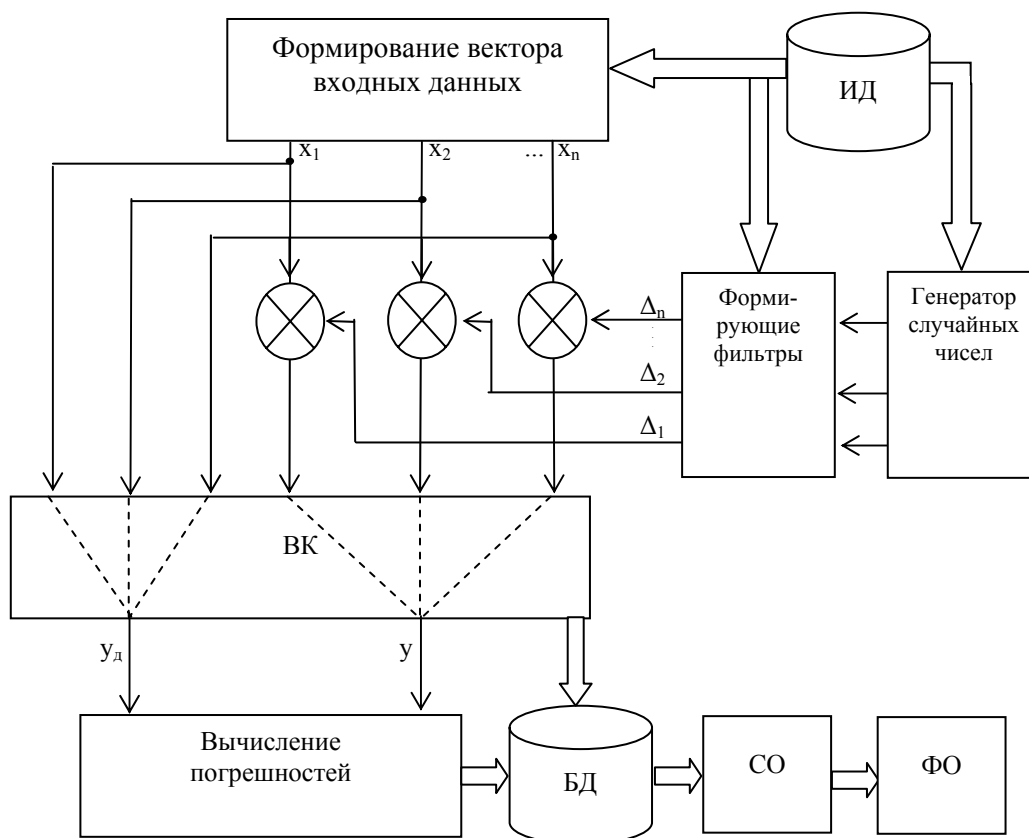


Рис. 2. Схема проведения исследований:

ИД – исходные данные о диапазонах изменения и характеристиках погрешностей результатов прямых измерений;

ВК – вычислительный компонент;

БД – база данных;

СО – статистическая обработка;

ФО – формирование отчета

Эксперимент заключается в том, что с помощью генератора случайных чисел в соответствии с исходными данными о диапазонах изменения результатов прямых измерений и характеристиках их погрешностей моделируются наборы значений входных (для вычислительного компонента) величин, реализуемые при испытаниях двигателя. Результаты расчетов, вы-

полненных вычислительным компонентом для каждого набора, есть результаты косвенных измерений, в которых присутствует погрешность, обусловленная погрешностями прямых измерений. Поскольку генератор случайных чисел формирует ряд значений каждой из входных величин вокруг некоторой наперед заданной точки – действительного значения (значения

Таблица 1

Обозначение и размерность	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности
$P_{икм}$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,5...10	±0,5% ВП
$n_{ст}$ , об/мин	450...49000	±0,15% ИЗ
$P_{вх}$ , кгс/см <sup>2</sup>	1,020... 1,050	±0,05% ВП
$T_{вх1}$ , К	233,15... 323,15	±1,6 К
$T_{вх2}$ , К	233,15... 323,15	±1,6 К
$T_{вх3}$ , К	233,15... 323,15	±1,6 К

«без погрешности»), то действительное значение результата косвенного измерения для каждой комбинации известно, что позволяет вычислить погрешность каждого из полученных результатов. При достижении заданного объема выборки проводится дальнейшая статистическая обработка.

Важными условиями получения полных и объективных данных являются:

– знание законов распределения погрешностей результатов прямых измерений,

– наличие сведений о наиболее вероятных сочетаниях значений входных величин.

Необходимость учета законов распределения подчеркивается в Рекомендациях [4], и такой учет обеспечен в разработанной программе – последовательность значений погрешности каждого прямого измерения получают от стандартного генератора случайных чисел через специальный фильтр, который формирует заданный в исходных данных каждого измерительного компонента закон распределения.

Что касается второго условия – выбора сочетания значений входных величин, – то по понятным причинам указания о выборе экспериментальных точек в [4] даны в наиболее общем виде: «.. осуществляют... на основании информации об измерительных компонентах, о виде и свойствах функции преобразования». Между тем, фактор этот настолько важен для дальнейшей интерпретации результатов исследований, что уместно проиллюстрировать его следующим примером. Для расчета параметра «мощность двигателя по ИКМ приведенная» при разработке ПТК-ВДМР была задана формула:

$$N_{дв.икм.пр} = K \frac{P_{икм} \cdot n_{ст}}{P_{вх}} \sqrt{\frac{288,15}{\frac{1}{3}(T_{вх1} + T_{вх2} + T_{вх3})}} \quad (1)$$

где  $K=const$  – коэффициент, зависящий от размерности;

$P_{икм}$ ,  $n_{ст}$ ,  $P_{вх}$ ,  $T_{вх1}$ ,  $T_{вх2}$ ,  $T_{вх3}$  – величины, подлежащие прямым измерениям, характеристики которых приведены в табл. 1.

Предельно достижимая относительная погрешность результата  $\delta_{прN}$  при заданном соотношении (1) может быть вычислена для каждой точки по формуле:

$$\delta_{пр.N} = \delta_{пр.P_{икм}} + \delta_{пр.n_{ст}} + \delta_{пр.P_{вх}} + \delta_{пр.T} / 2, \quad (2)$$

где  $\delta_{пр.P_{икм}}$ ,  $\delta_{пр.n_{ст}}$  ... – предельно достижимые относительные погрешности результатов прямых измерений.

Теперь, если в формулу (1) поочередно подставить два сочетания значений  $P_{икм}$  и  $n_{ст}$ , приведенные в табл. 2, сохраняя неизменными значения  $P_{вх}$ ,  $T_{вх1}$ ,  $T_{вх2}$ ,  $T_{вх3}$ , то совершенно очевидно, что получим два одинаковых значения  $N_{дв.икм.пр}$ , но при этом значение предельно достижимой погрешности согласно (2) будет равно:

- в первом случае примерно 11 % ИЗ,
- во втором – 1,5 % ИЗ.

Приведенный пример ярко иллюстрирует отсутствие однозначной зависимости между значением

Таблица 2

Параметр	1-й вариант		2-й вариант	
	Значение	Погрешность	Значение	Погрешность
$P_{икм}$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,5	10 %ИЗ	10	0,5% ИЗ
$n_{ст}$ , об/мин	20000	0,15 %ИЗ	1000	0,15% ИЗ
$P_{икм} \cdot n_{ст}$	10000	10,15 %ИЗ	10000	0,65% ИЗ

результата косвенного измерения и его погрешностью (в то время, как при прямых измерениях такая зави-

симось всегда определена). Это обстоятельство делает особо актуальной задачу оценки погрешности каждого полученного при проведении косвенных измерений результата с учетом исходного набора данных, поскольку если известен только результат, то, даже зная характеристики канала, далеко не всегда можно сказать, в каких границах лежит погрешность.

В связи с этим после создания и опробования первой версии программы, в которой предусматривается анализ десяти сочетаний значений входных величин, задаваемых метрологом-экспериментатором, программа была модифицирована. Вторая версия программы обеспечивает разбивку диапазонов изменения входных величин на  $N$  интервалов и автоматический перебор всех вариантов сочетаний при заданном числе точек ( $N + 1$ ) для каждой величины с дальнейшей автоматической сортировкой результатов и представлением экспериментатору всей необходимой для анализа информации в упорядоченном виде. Программа предоставляет экспериментатору возможность оперативного редактирования вида исследуемых функциональных зависимостей и характеристик результатов прямых измерений, служащих входными данными.

Перспективы дальнейших исследований. Проведенные с помощью разработанной программы исследования подтвердили перспективность как самого метода, так и разработанного КБ «Элемент» специального программного обеспечения для его реализации. Разработанное программное обеспечение позволяет быстро и эффективно провести исследования для любой заданной функции  $Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Дальнейшие перспективы заключаются в совершенствовании программного обеспечения в целях повышения удобства в использовании.

Выводы. Разработка и опробование специального программного обеспечения является одним из первых шагов на пути внедрения метода определения характеристик погрешности косвенных измерений, выпол-

няемых измерительными каналами АСУ ТП испытаний ГТД, который основан на моделировании электрических сигналов измерительных компонентов, поступающих в вычислительный компонент. После совершенствования программного обеспечения этот метод безусловно найдет широкое применение в области создания таких АСУ.

### Литература

1. ДСТУ 2709-94 Метрология. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
2. ОСТ 1 00487-83 Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Метрологическая аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем.
3. МИ 2083-90 ГСИ Рекомендация. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
4. Р 50-076-98 Метрология. Измерительные информационные системы и автоматизированные системы управления технологическими процессами. Методика определения характеристик погрешности измерительных каналов, в состав которых входит вычислительный компонент.

*Поступила в редакцию 02.06.03*

**Рецензенты:** ученый секретарь научно-технического совета Н.П. Волошина, КБ «Элемент», г. Одесса; д-р техн. наук, профессор Л.В. Коломиец, директор ОНПУ, г. Одесса.