

УДК 681.518

А. Г. БУРЯЧЕНКО¹, К. М. СИДЯК¹, В. В. КОНДРАТЮК¹, В. А. КАЧУРА²¹ АО «Элемент», г.Одесса, Украина² ПАО «Мотор Сич», г.Запорожье, Украина

АТТЕСТАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Отражена наблюдавшаяся с конца прошлого столетия тенденция развития требований государственного надзора к информационно-измерительным системам и автоматизированным системам управления в части аттестации каналов, предназначенных для выполнения косвенных измерений. Описаны результаты внедрения рассматриваемых требований непосредственно в разработки программно-технических комплексов для испытаний авиационных двигателей – формирование методик для конкретных изделий, создание инструментов аттестации в виде интерфейса и эталонного программного обеспечения для проведения исследований характеристик каналов косвенных измерений.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, измерительный канал, погрешность измерений, косвенные измерения, программное обеспечение.

Введение

Будучи разработчиком и изготовителем программно-технических комплексов для испытаний авиационных газотурбинных двигателей (за последние 13 лет на ПАО «Мотор Сич» поставлено 20 таких комплексов), АО «Элемент» оказалось непосредственно вовлечено в процесс развития требований государственного (и межгосударственного) надзора за допуском к эксплуатации информационно-измерительных систем и автоматизированных систем управления, имеющих в своем составе измерительные каналы с вычислительным компонентом [1, 2]. Речь идет, прежде всего, о каналах, предназначенных для выполнения косвенных измерений, оценка погрешностей которых, вплоть до начала нынешнего столетия, выполнялась аналитически [3], в отличие от обязательных (регламентированных, например, в [4]) экспериментальных исследований характеристик погрешностей каналов, выполняющих прямые измерения.

Структура канала косвенных измерений показана на рис. 1.

Развитие требований обусловлено с одной стороны тем, что с конца 90-х годов прошлого столетия в состав измерительных каналов все чаще включается программное обеспечение, а с другой стороны тем, что с расширением использования персональных компьютеров становится более доступным моделирование экспериментальных исследований. Так, введенный в 2000 году документ [5] рекомендует при определении характеристик погрешности моделировать измерительные сигналы, т.е. заменять

электрические сигналы, поступающие на вход вычислительного компонента, массивами числовых данных, сформированных с помощью специальных программ-генераторов случайных чисел.

Первым этапом развития требований к каналам косвенных измерений в составе информационно-измерительных систем и автоматизированных систем управления явилось требование, заявленное в [2], об аттестации. Единственным нормативным документом, содержащим рекомендации по практической реализации этого требования, был документ [5].

Базируясь на рекомендациях [5], специалисты АО «Элемент» разработали методику аттестации каналов косвенных измерений для первого, изготовленного по заказу ПАО «Мотор Сич» в 2001 году комплекса – автоматизированной системы сбора и обработки данных для испытаний двигателя ВК-1500 – АССОД-ВК.

Было разработано специализированное программное изделие (в настоящее время интегрируемое в состав всех программно-технических комплексов, изготавливаемых АО «Элемент»), позволяющее в автоматизированном режиме выполнять моделирование экспериментальных исследований и статистическую обработку полученного массива данных. Структура разработанного программного изделия, проведение исследований и полученные результаты описаны в [6].

В итоге к 2001 году требования [2] были выполнены, но дальнейшее развитие ситуации продемонстрировало, что этот этап является необходимым, но недостаточным.

1. Формулирование проблемы

Описанный в [6] эксперимент ориентирован на исследование характеристик погрешностей канала косвенных измерений с учетом погрешностей, входящих в его состав каналов прямых измерений, что наглядно иллюстрируется схемой испытаний, реализованной в специальном программном обеспечении, разработанном в АО «Элемент» для исследования характеристик погрешностей (рис. 2).

Понятно, что значение результирующей погрешности (т.е. погрешности канала косвенных из-

мерений) определяют уровни погрешностей каналов прямых измерений, а также в существенной степени сочетание значений результатов прямых измерений (набор значений входных величин), следствием чего является:

- оценочный, а не отбраковочный (как для каналов прямых измерений) характер исследований по отношению к собственно вычислительному компоненту;
- отсутствие функциональной зависимости между значением измеряемой величины и погрешностью, что проиллюстрировано примерами в [6].

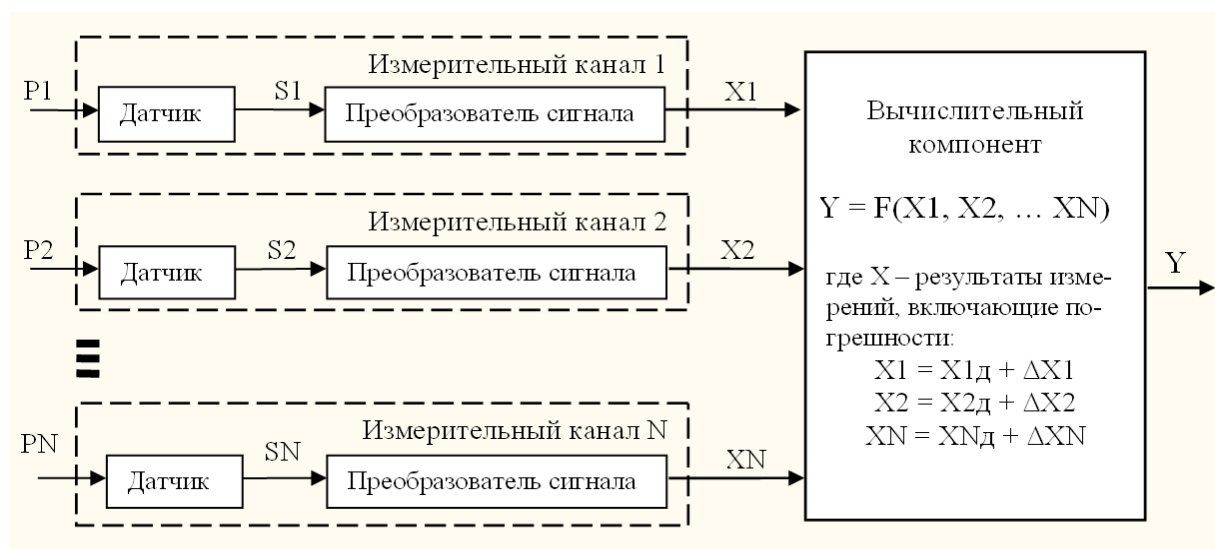


Рис. 1. Структура канала косвенных измерений



Рис. 2. Схема исследований характеристик погрешности канала косвенных измерений

Эти особенности во многом обусловили тот факт, что проведение описываемых исследований, будучи важным этапом испытаний, было, однако, признано недостаточным для приемки межгосударственной комиссией (с участием представителей ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова», г. Москва) программно-технических комплексов (а, точнее, испытательных стендов ПАО «Мотор Сич», в состав которых входят комплексы), как, впрочем, и других подобных изделий.

Но в 2001 году, нормативных документов, предлагавших иные варианты аттестации каналов косвенных измерений, не было. Только в 2009 году в России введен государственный стандарт [7], регламентирующий требования к программному обеспечению средств измерений, в том числе его аттестацию, что для АО «Элемент» определило новые задачи в части обеспечения процедур по введению в эксплуатацию программно-технических комплексов испытаний двигателей, в частности, для каждого такого комплекса необходимо было разработать и согласовать с ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»:

- методику аттестации программного обеспечения (программного изделия), содержащую, в том числе, и обоснованные пределы допускаемых погрешностей, вносимых вычислительным компонентом;
- эталонное программное обеспечение, используемое в качестве инструмента формирования массива действительных значений результатов косвенных измерений;
- дополнительный интерфейс, как один из инструментов выполнения аттестации, обеспечивающий взаимодействие оператора с объектом исследования.

Решение проблемы

Методика аттестации программного обеспечения (программного изделия) средств измерительной техники предусматривает ряд проверок, таких как:

- проверка методов идентификации;
- проверка структуры;
- определение уровня защиты от непреднамеренных и преднамеренных изменений.

Но главной задачей аттестации является оценка влияния программного изделия на метрологические характеристики.

Для выполнения аттестации был выбран метод сравнительных испытаний с применением специально разработанного эталонного программного обеспечения с функциями, идентичными аттестуемому. Этот метод позволяет максимально учитывать особенности аттестуемого программного изделия и рекомендуется как основной (другие методы используют в тех случаях, когда вследствие сложности

алгоритмов аттестуемого программного изделия затраты на разработку эталонного программного обеспечения оказываются слишком велики).

Схема исследований показана на рис. 3. По одним и тем же входным данным выполняются вычисления эталонным программным обеспечением и вычислительным компонентом аттестуемого канала, затем вычисляется разница результатов, которая и принимается за оценку погрешности.

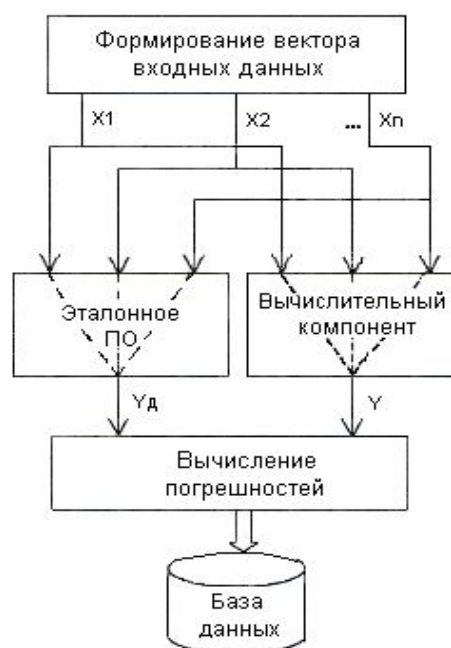


Рис. 3. Схема исследований влияния программного изделия на метрологические характеристики канала косвенных измерений

В отличие от схемы, предоставляющей широкие возможности для исследований, показанной на рис.2, схема рис.3 является узконаправленной и ориентирована на вычленение одной составляющей погрешности – составляющей, вносимой собственно вычислительным компонентом, однако именно это дает возможность жестко регламентировать границы допуска.

Аттестуемое программное изделие работает в операционной системе QNX (она выбрана для программно-технических комплексов как система реального времени), язык программирования – C++.

После анализа задачи и консультаций с представителями ФГУП «ЦИАМ им.П.И.Баранова» разработку эталонного программного обеспечения было решено выполнить в среде MatLab. После тестирования разработанное эталонное программное обеспечение было признано пригодным к использованию.

Следующей задачей было согласование нормируемых границ исследуемых характеристик. В качестве критерия выбора регламентируемых при атте-

станции границ допустимого влияния программного изделия на метрологические характеристики канала было предложено использовать данные о заданных пределах погрешностей для каналов прямых измерений аттестуемых программно-технических комплексов.

Практически наиболее жестким среди типичных требований к пределам допускаемой погрешности каналов прямых измерений является уровень $\pm 0,05$ % от измеряемого значения. Исходя из этих данных, для составляющей, обусловленной влиянием программного изделия, были заданы границы на порядок уже, а именно, $\pm 0,005$ % от измеряемого значения.

Для предоставления оператору, проводящему исследование, возможности ввода-вывода информации разработан и интегрирован в состав программного изделия специализированный интерфейс.

В результате в 2012 году в АО «Элемент» были разработаны и согласованы с ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова» методики и программные инструменты аттестации программных изделий программно-технических комплексов испытаний авиационных двигателей для двух стендов ПАО «Мотор Сич» (для двигателей МС-500, АИ-450МС и Д-436-148). В феврале 2013 года работы по аттестации программных изделий этих комплексов были завершены. Получены Свидетельства от ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова».

К настоящему времени по аналогичным методикам аттестованы программные изделия восьми комплексов и, начиная с 2013 года, в состав обязательных процедур, предшествующих введению вновь изготовленных для ПАО «Мотор Сич» программно-технических комплексов, наряду с государственной метрологической аттестацией, введена государственная аттестация программного изделия, обеспечивающая проведение всесторонних исследований его метрологически значимой части.

Таким образом, изучение характеристик погрешностей каналов косвенных измерений на сегодняшний день включает в себя моделирование экспериментальных исследований по оценке:

- результирующей погрешности с учетом границ погрешностей каналов прямых измерений, входящих в состав исследуемого канала;
- уровня составляющей погрешности, вносимой программным изделием (вычислительным компонентом).

Что касается первого пункта, то в настоящее время при проведении освоенных ранее исследований по определению результирующей погрешности особое внимание уделяется задаче, отмеченной в [6], а именно формированию для каждой точки множества значений входных величин, сочетание которых

соответствует наиболее вероятному среди реализуемых на практике (в эксплуатации) сочетаний, и исключению из исследуемых множеств сочетаний значений, практически невероятных при испытаниях двигателя, что в ряде случаев требует достаточно глубокого знания технологического процесса испытаний.

Следует подчеркнуть, что выполнение указанных условий не просто желательно, но становится принципиально значимым вследствие упомянутого выше отсутствия функциональной зависимости между значением измеряемой величины и погрешностью.

Относительно второго пункта, следует отметить, что по результатам аттестации программных изделий первых восьми программно-технических комплексов подтверждено соответствие их программных изделий требованиям к минимизации влияния на результат косвенных измерений – границы $\pm 0,005$ % от измеряемого значения не превышены, т.е. можно утверждать, что влияние вычислительного компонента пренебрежимо мало.

Заключение

1. В программно-технических комплексах АО «Элемент» для авиационных испытательных стендов ПАО «Мотор Сич» внедрены новейшие требования государственного надзора к аттестации программного изделия. Специально разработанное программное обеспечение моделирования испытаний позволяет в автоматизированном режиме выполнить:

- экспериментальные исследования характеристик суммарной погрешности канала косвенных измерений с учетом характеристик каналов прямых измерений;
- оценку влияния метрологически значимой части программного изделия на погрешность косвенных измерений.

2. При выполнении оценки влияния метрологически значимой части программного изделия на погрешность косвенных измерений при испытаниях двигателей установлены границы допуска $\pm 0,005$ % от измеряемого значения, что пренебрежимо мало по сравнению с влиянием результатов прямых измерений.

3. Аттестация программного изделия предусмотрена для каждого изготавливаемого в АО «Элемент» программно-технического комплекса и выполняется под методическим контролем ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова» (г. Москва) с выдачей Свидетельства установленного образца. К настоящему времени получены Свидетельства на восемь программно-технических комплексов.

Литература

1. Программно-технические комплексы для испытаний ГТД: математическое, метрологическое и алгоритмическое обеспечение [Текст] / А. Г. Буряченко, Д. И. Волков, С. Н. Долгий, В. В. Сироткин // *Авиадвигатели XXI века : сб. тез. 2 Междунар. научно-техн. конф. ЦИАМ. – М., 2005. – Т. 3. – 235 с.*
2. ДСТУ 2709-94. Метрология. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Метрологическое обеспечение. Основные положения [Текст]. – Введ. 01.01.1995. – К. : Госстандарт Украины, 1994. – 10 с.
3. МИ 2083-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей [Текст]. – Введ. 01.01.1992. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 10 с.
4. ОСТ 1 00487-83 Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Метро-

логическая аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем [Текст]. – Введ. 01.07.1984. – 20 с.

5. Р 50-076-98 Рекомендации. Метрология. Измерительные информационные системы и автоматизированные системы управления технологическими процессами. Методика определения характеристик погрешности измерительных каналов, в состав которых входит вычислительный компонент [Текст]. – Введ. 01.01.2000. – К. : Госстандарт Украины, 1999. – 13 с.

6. Ранченко, Г. С. Оценка погрешностей косвенных измерений при испытаниях газотурбинных двигателей [Текст] / Г. С. Ранченко, А. Г. Буряченко, Д. И. Волков // *Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – № 6 (41). – С. 174 – 177.*

7. ГОСТ Р 8.654-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения [Текст]. – Введ. 01.01.2010. – М. : Стандартинформ, 2009. – 19 с.

Поступила в редакцию 2.05.2014, рассмотрена на редколлегии 12.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник В. Ф. Миргород, АО «Элемент», г. Одесса.

АТЕСТАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Г. Г. Буряченко, К. М. Сидяк, В. В. Кондратюк, В. А. Качура

Відображено тенденцію розвитку вимог державного нагляду, що спостерігалася із закінчення попереднього століття, до інформаційно-вимірювальних систем та автоматизованих систем керування щодо атестації каналів, призначених для опосередкованих вимірювань. Описано результати впровадження розглянутих вимог безпосередньо до розробок програмно-технічних комплексів для випробувань авіаційних двигунів – формування методик для конкретних виробів, створення інструментів атестації у вигляді інтерфейсу та еталонного програмного забезпечення для проведення опосередкованих вимірювань.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, вимірювальний канал, похибка вимірювань, опосередковане вимірювання, програмне забезпечення.

ATTESTATION OF SOFTWARE FOR INDIRECT MEASUREMENTS OF GAS-TURBINE ENGINE TESTING

A. G. Buryachenko, K. M. Sydyak, V. V. Kondratyuk, V. A. Kachura

The tendency of the state inspectorate requirements development for informational measuring systems and for automated control systems concerning the indirect measurement channels which was observed since the end of the past century is shown. There are described the results of these requirements application to development of program-technical complexes of aircraft engines testing. This application includes the development of methodic for the concrete unit, creation of the instruments for indirect measurement channel characteristics investigation, such as interface and software models (standards).

Key words: informational measuring system, measuring channel, error of measurement, indirect measurement, software.

Буряченко Анна Григорьевна – Главный метролог АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: annaodessa2007@rambler.ru.

Сидяк Константин Михайлович – руководитель направления АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua

Кондратюк Виктория Викторовна – инженер по метрологии АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua.

Качура Владимир Андреевич – заместитель начальника цеха ПАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: basutp.uvtis@motorsich.com.