ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ЭТАПЕ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Курбатов, Д.А. Кондрашов, И.А. Драничников, Ф.А. Попов

АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», г. Бийск, Российская Федерация

Рассматривается разработанная на АО «ФНПЦ «Алтай» информационно-измерительная система (ИИС), предназначенная для автоматизации сбора и обработки результатов измерений при стендовых испытаниях изделий из высокоэнергетических материалов. Ее основной задачей является многоканальный сбор данных о результатах стендовых испытаний, обработка, документирование и хранение результатов измерений. Показано, что в процессе разработки, производства, доводки и серийного выпуска изделий из высокоэнергетических материалов особо важными являются прочностные испытания, позволяющие оценить работоспособность и технические характеристики, а также сроки хранения и эксплуатации.

Ключевые слова: информационные технологии, информационно-измерительные системы.

ВВЕДЕНИЕ

Современные изделия спецхимии повышенной эффективности активно применяются для обеспечения работы орбитальной космической техники. Создание работоспособных и эффективных изделий из высокоэнергетических материалов неразрывно связано с решением задач оценки и снижения напряженности конструкции топливного элемента (ТЭ) на всех этапах жизненного цикла.

Использование модельных изделий при экспериментальной отработке прочности наряду с полномасштабными инертными макетами позволяет сократить временные и финансовые затраты на создание новых изделий спецхимии, но, вместе с тем, повышает требования к номенклатуре (объему) измеряемых параметров, точности и надежности средств измерений (СИ) [1].

Автоматизация сбора, хранения, обработки измерительных сигналов как необходимая часть измерений решает важные системные вопросы [2], обеспечивая:

1. Высокую оперативность проведения обработки данных эксперимента – за счет высокой производительности современных вычислительных средств;

2. Повышенную точность экспериментального определения параметров – за счет возможности применения сложных алгоритмов обработки данных, полученных при измерениях;

3. Оперативную информационную связь разных иерархических уровней анализа данных эксперимента – за счет использования единого машинного формата представления данных.

Повышение требований к параметрам надежности и гарантийным срокам эксплуатации изделий из высокоэнергетических материалов, предопределяет

необходимость уточненной экспериментальной оценки внешних силовых нагрузок и параметров прочностной работоспособности (реакции) элементов изделий спецхимии в условиях длительного действия нагрузок.

Так как последние могут необратимо изменять параметры механического состояния конструктивных и высокоэнергетических материалов, что оказывает негативное влияние на механический ресурс системы «топливный элемент (ТЭ) – корпус».

Увеличение параметров надежности ТЭ, оптимизация по параметрам цена-качество и срокам экспериментальной отработки прочности, может быть достигнуто за счет повышения информативности и достоверности экспериментальных данных о закономерностях нагружения и деформирования элементов конструкции ТЭ [4].

Основными целями измерения параметров при нагружении изделий из высокоэнергетических материалов являются:

1. определение фактических уровней

вибрационных и ударных нагрузок;

2. экспериментальная оценка напряженного состояния и перемещений системы ТЭ - корпус;

3. экспериментальная оценка амплитудно-частотных характеристик (в том числе, возможности реализации резонансных явлений) системы ТЭ - корпус;

4. определение закономерности изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) системы ТЭ-корпус при различных сочетаниях статических и вибрационных нагрузок.

Первые три задачи решаются в процессе транспортных испытаний полномасштабного инертного макета, по геометрическим и физико-

механическим характеристикам эквивалентного натурному изделию спецхимии. Четвертая задача решается в процессе серии эксплуатационных (прочностных) стендовых испытаний.

Известно, что испытуемые изделие из высокоэнергетических материалов - дорогостоящее уникальное оборудование одноразового действия, поэтому к стендовым испытаниям предъявляются повышенные требования по надежности, точности и достоверности оценки параметров.

Как объект измерений они характеризуются большим разнообразием параметров (десятки видов) и числом измерительных каналов (сотни и тысячи), жесткими требованиями к точности измерений и ко времени выдачи полного отчета по результатам испытаний, сложной совместной обработкой различных параметров и др.

Соответственно для достижения целей требуется ИИС, укомплектованная соответствующими системами измерениями, которые отвечали бы требуемым техническим характеристикам [5].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Создание изделий из высокоэнергетических материалов требует проведения как расчетно-проектных работ, так и большого объема испытаний систем в стендовых и рабочих условиях. Поэтому успех, надежность и безопасность во многом определяется надежностью и эксплуатационной безопасностью элементов, из которых состоит изделие.

При этом возможность эффективного контроля качества изготовления изделий спецхимии во многом зависит от принятых проектных решений при разработке. Одной из наиболее кардинальных мер контроля качества являются так называемые огневые стендовые испытания (ОСИ) полностью собранного изделия [3].

В соответствии с жесткими критериями качества ИИС должна выполнять следующие функции:

1. ввод, контроль, редактирование, документирование и хранение исходных служебных данных;
2. цифровое преобразование сигналов датчиков, регистрация параметров в процессе проведения стендовых испытаний и хранение зарегистрированной информации;
3. выдача измерительной информации на видеомонитор по выбранным каналам в реальном времени при проведении испытания;
4. обработка и контроль измерительных данных;
5. вывод результатов регистрации и обработки в виде графиков и таблиц на бумажный или электронный носитель.

В соответствии с широким диапазоном параметров, которые измеряются при ОСИ, ИИС должна обеспечивать измерения нескольких сотен

различных параметров: тяги, давления, усилий, температуры, деформаций, расхода, вибраций, перемещений и т.д. [6]. Типы, количества и диапазоны измерительных каналов ИИС приведены в таблице 1 и соответствуют максимальному числу измеряемых параметров при ОСИ.

Табл. 1. Состав измерительных каналов ИИС

Каналы	Количество	Диапазон
Тензометрические	88	-10...10 мВ
Потенциометрические	288	0...5 В
Температурные с термометрами сопротивления	176	0...400 Ом
Температурные с термопарами	176	-400...400 мВ
Деформационные	36	-32.5...32.5 мОм/Ом
Вибрационные	56	-10...10 В
Частотные	16	10...500 Гц
Сигнальные	112	0...120 с

Во всех случаях вклад погрешности датчика является определяющим для погрешности измерений и вклад ИИС в погрешность измерений приведенный в таблице 2 в большинстве случаев пренебрежимо мал.

Табл. 2. Характеристики измерительных каналов ИИС

Наименование ИК	Значение приведенной погрешности, %	
	Полученное	Допустимое по ЭД
Тензометрические	±0.07	±0.15
Потенциометрические	±0.06	±0.10
Температурные с термометрами сопротивления	±0.06	±0.10
Температурные с термопарами	±0.13	±0.20
Деформационные	±0.20	±0.25
Вибрационные	±0.30	±1.00
Частотные	±0.19	±0.25

Соответственно, разработанная система базируется на современной аппаратно-программной базе, учитывающей особенности прочностных испытаний изделий из высокоэнергетических материалов и передовых информационных технологий измерительной техники. К числу этих особенностей можно отнести следующие:

1. Малое время активной фазы испытания, практически исключая возможность проведения оператором какого-либо анализа и корректировки режима работы в ходе испытания;

2. Повышенная взрывоопасность изделия при испытаниях, связанная главным образом, с применением высокоэнергетических наполнителей;

3. Отсутствие возможности повторения опыта на одном и том же изделии, вследствие необратимости процессов, происходящих с наполнителем.

Очевидно, что ряд важнейших параметров высокоэнергетических наполнителей изделий спецхимии, таких, как скорость горения, температура, давление, вибрация позволяют оценить качество исследуемого продукта и внести корректировку в состав испытуемого образца. Следовательно, высокая точность, надежность и скорость получения результатов являются первоочередными факторами, учитываемыми в системе.

В соответствии с поставленными задачами ИИС представляет собой совокупность автоматизированных рабочих мест измерителя (АРМ), контролируемых автоматизированной системой «Центральный пульт» (АСЦП).

Каждый АРМ измеряет собственный набор параметров, обрабатывает результаты измерений, обеспечивает визуализацию сигналов. Единая база данных (БД) сервера хранит всю совокупность информации по испытаниям и позволяет предоставить к ним удобный доступ через локальную сеть. Структура системы представлена на рис. 1.

ЦБД – централизованная база данных;
ИТС – информационно-технологическая система;
ИСС – информационно-справочная система;
МССД – многоканальная система сбора данных;
КБС – коммуникационный блок связи;
БУиС ИА – блок управления и синхронизации измерительной аппаратуры;
АРМ 1, АРМ 2, АРМ 3 – автоматизированное рабочее место оператора

Рис. 1. Структура автоматизированной информационно-измерительной системы прочностных испытаний изделий спецхимии

В данной структуре выделены:

1. Многоканальная система сбора данных на базе LTR-крейтов производства ООО «Л Кард» (Госреестр №35234-07) с измерительными модулями [7];

2. Коммуникационный блок, объединяющий все узлы системы в рамках единой локальной компьютерной сети;

3. Блок управления и синхронизации, предназначенный для выработки синхронизирующих и управляющих сигналов, обеспечивающих в автоматическом режиме координацию совместной работы измерительной аппаратуры в соответствии с заранее подготовленным сценарием;

4. Информационно-технологическая система, предназначенная для сбора, обработки, сохранения, передачи данных, обеспечивающая протоколирование хода испытания, коммуникацию АРМов, визуализацию данных с АРМов в реальном времени и передачу их на информационную панель;

5. Централизованная база данных, содержащая первичные сведения о результатах испытаний изделий, представленные в слабоструктурированном виде;

6. Информационно-справочная система, обеспечивающая представление и хранение данных о результатах измерений в структурированном виде;

7. Автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов постов: тензометрического, вибрационного, температурного.

Основным измерительным компонентом АРМ выступает измерительная установка LTR. Измерительная установка оснащается измерительными модулями рис. 2 в соответствии с измерительными задачами, возложенными на АРМ.

Рис. 2. Внешний вид измерительной установки LTR и измерительного модуля

Программной частью ИИС является разработанная платформа «АРМ-УНИВЕРСАЛ» [8]. Платформа позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными затратами решать возникающие измерительные задачи. Разработанное программное обеспечение (ПО) платформы обеспечивает широкий спектр видов измерений по нескольким сотням измерительных каналов. Динамически формируемый на конкретные измерения интерфейс на основе конфигурационной базы данных позволяет настроить систему под техническое задание без изменения кода ПО.

Программное обеспечение представляет собой комплекс функциональных модулей, отвечающих за подготовку к измерениям, настройку измерительных каналов, визуализацию измерительных данных и т.д.

Функциональная структура программного обеспечения приведены на рис. 3.

Рис. 3. Функциональная структура программного обеспечения ИИС

Модульность платформы обеспечивает возможность подключения новых специальных интерфейсов отображения данных во время измерений и работы с полученными измерительными сигналами. Возможность подключения модулей обмена данными к оборудованию различных фирм, позволяет использовать новое оборудование совместно с использующимися измерительными модулями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием полученных на разработанной ИИС данных оптимизированы конструктивные параметры наполнителя и обоснованы требования по механическим характеристикам ряда изделий из высокоэнергетических материалов. В свою очередь, это позволило избежать необоснованной отбраковки нескольких изделий.

Применение при отработке изделий спецхимии обеспечило рациональную схему проведения и сокращение объемов испытаний, что привело к сокращению затрат. Общие затраты на разработку ИИС несопоставимы с затратами, которые должны были быть без использования системы, таким образом, экономический эффект от снижения затрат за счет реализации представленной работы составил несколько сотен млн. рублей.

Автоматизация измерений средствами разработанной ИИС позволила приблизительно в 1,5 раза сократить трудозатраты и существенно уменьшить время работы людей с изделиями спецхимии во вредных и опасных для жизни условиях.

Рассматриваемая ИИС легко настраивается на особенности предметной области может применяться для проведения измерений при эксплуатационных нагрузках практически любых видов

промышленных изделий из высокоэнергетических материалов.

В целом создание ИИС позволило повысить информативность и достоверность экспериментальных данных при испытаниях изделий из высокоэнергетических материалов, а также существенно снизить затраты на экспериментальные исследования и определение эксплуатационных характеристик, сократить цикл отработки изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драничников И.А., Хохлов Р.О., Бубнов Г.А. Автоматизация процессов измерения при стендовых испытаниях // Труды XIV международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». – Новосибирск, 2018. – С. 89-91.
2. Жарков А.С., Звольский Л.С., Литвинов А.В., Попов Ф.А. Проблемы создания интегрированных АСУ для производств спецхимии и пути их решения (монография). – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – 266 с.
3. Солнцев В.Л., Радугин И.С., Задеба В.А. Основные требования к маршевым двигателям перспективных ракет // Космическая техника и технологии. - 2015. - №2. С 25-38.
4. Моисеев Ю.А., Челышев С.В. Методические основы технологической отработки сложных изделий на надежность (монография). – Москва: Изд-во Госпредприятия «МИТ», 2001.- 174 с.
5. Драничников И.А., Бубнов Г.А. и др. Автоматизация измерений скорости горения и стендовых испытаний малогабаритных изделий // Материалы и технологии XXI века. Доклады V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 4-6 сентября 2019 г., Бийск:АлтГТУ, 2019. – С. 79-81.
6. Хохлов Р.О., Кобяков А.В., Торопчин А.Н., Пальчун Ю.А. Измерительно вычислительный комплекс стендовых испытаний: разработка, внедрение, метрологическое обеспечение // Труды XIII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2016, г. Новосибирск, НГТУ. – С. 89 – 93.
7. Установка измерительная LTR. Руководство по эксплуатации. – Москва: ООО «ЛКард», 2019. – 28 С. – Текст: электронный // URL: https://www.lcard.ru/download/descr_type_ltr.pdf (дата обращения: 11.03.2020).
8. Попов Ф.А., Драничников И.А., Бубнов Г.А., Хохлов Р.О. Программно-аппаратная платформа «АРМ-Универсал» для проектирования измерительно-вычислительных комплексов и информационных систем // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2019). Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. - Бийск: 2019. – С. 369-370.

Курбатов Андрей Валерьевич – Зам. генерального директора-гл. конструктор по НИОКР АО «ФНПЦ «Алтай».

Кондрашов Денис Андреевич – начальник отдела 91, АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», тел. (3854)301867.

Драничников Иван Анатольевич – начальник сектора отдела 91, АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», тел. (3854)30184, e-mail: akaLiic1@gmail.com.

Попов Федор Алексеевич – д.т.н., профессор, АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», Отделение Вычислительной Техники и Автоматизации (ОВТИА), главный научный сотрудник. e-mail: pfa2004@mail.ru

INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF STRENGTH TESTS AT THE STAGE OF STAND TESTS OF PRODUCTS FROM HIGH-ENERGY MATERIALS

A.V. Kurbatov, D.A. Kondrashov, I.A. Dranichnikov, F.A. Popov

JSC "Altai Federal Research and Production Center, Biysk, Altai Territory

The paper considers the information and measuring system (IMS) developed at the Altai Federal Research and Production Center JSC, designed to automate the collection and processing of measurement results during bench tests of products made of high-energy materials. Its main task is multichannel collection of data on the results of bench tests, processing, documentation and storage of measurement results. It is shown that in the process of development, production, fine-tuning and serial production of products made of high-energy materials, strength tests are especially important, which make it possible to assess the performance and technical characteristics, as well as the storage and operation periods.

Index terms: Information technologies, information-measuring systems.

REFERENCES

1. Dranichnikov I.A., Khokhlov R.O., Bubnov G.A. Automation of measurement processes during bench tests // Proceedings of the XIV international conference "Actual problems of electronic instrumentation". - Novosibirsk, 2018. -- S. 89-91.
2. Zharkov A.S., Zvolsky L.S., Litvinov A.V., Popov F. Problems of creating integrated automated control systems for the production of special chemistry and ways to solve them (monograph). - Biysk: Publishing house Alt. state tech. University, 2014. -- 266 p.
3. Solntsev V.L., Radugin I.S., Zadeba V.A. The main requirements for sustainer engines of promising rockets // Space technology and technology. - 2015. - No. 2. From 25-38.
4. Moiseev Yu.A., Chelyshev S.V. Methodological foundations technological development complex products for reliability (monograph). - Moscow: Publishing house of the State Enterprise "MIT", 2001. - 174 p.
5. Dranichnikov I.A., Bubnov G.A. etc. Automation combustion rate measurements and bench tests of small-sized products // Materials and technologies of the XXI century. Reports of the V All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists, September 4-6, 2019, Biysk: AltGTU, 2019. - pp. 79-81.
6. Khokhlov R.O., Kobayakov A.V., Toropchin A.N., Palchun Yu.A. Measuring and computing complex of bench tests: development, implementation, metrological support // Proceedings of the XIII international scientific and technical conference "Actual problems of electronic instrumentation" APEP-2016, Novosibirsk, NSTU. - S. 89 - 93.
7. Installation measuring LTR. Guide exploitation. - Moscow: LLC "LKard", 2019. - 28 S. - Text: electronic // URL: https://www.lcard.ru/download/descr_type_ltr.pdf (date accessed: 03/11/2020).
8. Popov F.A., Dranichnikov I.A., Bubnov G.A., Khokhlov R.O. Hardware and software platform "ARM-Universal" for the design of measuring and computing complexes and information systems // Measurements, automation and modeling in industry and scientific research (IAMP-2019). Materials of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation. - Biysk: 2019. -- S. 369-370.

Kurbatov Andrey Valerievich - Deputy. General Director-Ch. R&D designer at FNPC Altai JSC.

Kondrashov Denis Andreevich - Head of Department 91, JSC "Federal Research and Production Center" Altai ", tel. (3854) 301867.

Dranichnikov Ivan Anatolyevich - head of the sector of department 91, JSC "Federal Research and Production Center" Altai ", tel. (3854) 301842. e-mail: akaLiic1@gmail.com.

Popov Fedor Alekseevich - Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC "Federal Research and Production Center" Altai ", Department of Computing Technology and Automation (OVTLA), Chief Researcher. e-mail: pfa2004@mail.ru