

УДК 681.518

А. Г. БУРЯЧЕНКО, Г. С. РАНЧЕНКО, С. М. СЕМЧИШИН

АО «Элемент», Одесса, Украина

НАЗЕМНЫЕ И БОРТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ – РАЗРАБОТКА И ВВЕДЕНИЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Описан опыт разработки наземных и бортовых испытательных программно-технических комплексов и введения их в эксплуатацию с учетом требований к метрологическому обеспечению, включая аттестацию программного обеспечения. Приведена типовая структура программно-технического комплекса, изготавливаемого с использованием модулей разработки АО «Элемент». Основное внимание уделено разработке бортового регистратора параметров систем, устройств и агрегатов вертолета МСБ-2, выполненной в 2016 году – показана конструкция регистратора, построенного на базе измерительных модулей National Instruments, описано программное обеспечение, которое кроме основных функций по назначению выполняет также и вспомогательную – автоматизацию исследования метрологических характеристик измерительных каналов регистратора.

Ключевые слова: измерительный канал, программное обеспечение, бортовой регистратор параметров.

Введение

Создание программно-технических комплексов для испытаний авиационных двигателей – одно из направлений деятельности АО «Элемент».

В части разработки наземных комплексов [1] накоплен многолетний опыт – на АО «Мотор Сич» поставлено уже 20 таких комплексов, обеспечивающих автоматизацию технологического процесса испытаний различных типов двигателей. Запрос на разработку аналогичного комплекса бортового применения поступил впервые в 2015 году. До настоящего времени при испытательных полетах используется бортовая система «Регата» российского производства.

Следует отметить, что заказу на разработку отечественного бортового испытательного комплекса предшествовала организация специалистами АО «Элемент» исследования метрологических характеристик упомянутой системы «Регата» с целью, так сказать, «узаконить» ее эксплуатацию путем получения Свидетельства от организации, имеющей соответствующие полномочия в Украине – работа проведена с ГП «Запорожжестандартметрология».

Для выполнения этой задачи потребовалось разработать не только методику исследований, но и специальное программное обеспечение автоматизации регистрации и обработки результатов исследований, а также формирования таблиц протокола, поскольку надо было исследовать более 400 измерительных каналов с проведением градуировок не менее, чем по 10 точкам диапазона измерений согласно требованиям отраслевого стандарта [2], а встро-

енные средства автоматизации процесса исследований в «Регате» отсутствовали.

1. Формулирование проблемы

К началу разработки бортового регистратора параметров созданные АО «Элемент» наземные комплексы уже обеспечивали испытания серийных и опытных двигателей, выпускаемых АО «Мотор Сич». В процессе создания наземных комплексов (начиная с 2000 года) следовало решить ряд важных задач, в том числе:

- организация изготовления измерительных модулей собственной разработки, заменивших применяемые первоначально импортные;

- разработка базового программного изделия, структура которого обеспечивает автоматизацию всех основных и вспомогательных технологических операций испытаний различных типов двигателей при минимальной доработке под каждый тип, а также предусматривает защиту двигателя при возникновении аварийных ситуаций;

- разработка и внедрение методик и программных инструментов исследования метрологических характеристик измерительных и вычислительных каналов, а также аттестации программного изделия.

Первоначально проектировались стационарные программно-технические комплексы (ПТК), габариты которых предполагали монтаж в специально приспособленных помещениях (рис. 1), однако уже в 2004 году была поставлена задача изготовления АРПП – автоматизированного регистратора пара-

метров переносного (наземного применения). АРПП [3] представляет собой малогабаритный блок, обеспечивающий, тем не менее, выполнение большинства функций стационарных ПТК.



Рис. 1. Общий вид одного из первых ПТК разработки АО «Элемент»

Таким образом, при разработке бортового регистратора параметров систем, устройств и агрегатов вертолета МСБ-2 (БРП-МСБ), специалисты АО «Элемент», базируясь на имеющемся опыте создания наземных комплексов, должны были решить следующие дополнительные задачи:

- достичь максимального снижения массогабаритных показателей при увеличении количества измерительных каналов (со 100 – 150 для ПТК и АРПП до 300 – 400 для БРП-МСБ);

- расширить состав и допустимые пределы внешних воздействующих (дестабилизирующих) факторов, при которых обеспечивается надежная работа регистратора;

- сделать доступным в эксплуатации процесс реконфигурации технических средств регистратора, в частности, путем наращивания количества однотипных модулей, а также обеспечить надежность подключения к объекту при одновременном упрощении последующего демонтажа;

- предусмотреть расширение возможностей редактирования пользователем ряда файлов программного изделия регистратора (в рамках настройки под тип двигателя и расширения задач исследования) при одновременном повышении защиты от несанкционированного доступа.

При этом, разумеется, необходимо обеспечить выполнение процедур подтверждения заданных характеристик и функций регистратора (с участием специализированных организаций), для чего, в частности, интегрировать в состав программного изделия соответствующие инструменты автоматизации исследований.

1. Решение проблемы

Типовая структура ПТК разработки АО «Элемент» показана на рис. 2.

Устройство связи с объектом испытаний (УСО), обеспечивает преобразование и передачу сигналов от датчиков (первичных преобразователей) и исполнительных механизмов на верхний уровень и передачу управляющих команд (дискретных сигналов) от верхнего уровня к исполнительным механизмам. Типичный состав принимаемых от датчиков сигналов приведен в таблице 1.

В первых изготовленных ПТК в структуре УСО использовались в основном импортные покупные модули, например, измерительные модули фирмы Greyhill Inc. (США). К настоящему времени практически все модули – измерительные, дискретные, имитационные и интерфейсные – это модули, разработанные и изготавливаемые в АО «Элемент».

Вся информация о ходе испытаний в режиме реального времени выводится на экраны двух рабочих станций (промышленных персональных компьютеров), предоставляя оператору возможность управлять технологическим процессом, а также сохраняется в базе данных.

Таблица 1
Типичный состав измеряемых ПТК сигналов

Сигналы	Количество каналов
1) датчиков ДБСКТ	12
2) датчиков частоты переменного тока от 20 до 17000 Гц	16
3) датчиков давления от 4 до 20 мА	45 max
4) датчиков давления RS-485	45 max
5) термопреобразователей сопротивления (типично – 100П)	48
6) термоэлектрических преобразователей (ХА, ХК)	10
7) напряжение постоянного тока до 50 В	12
8) сила постоянного тока	6
9) напряжение переменного тока	3
10) сила переменного тока	3

Отдельно организована автоматическая защита двигателя при возникновении аварийных ситуаций – канал аварийного контроллера реализует заданные алгоритмы защиты (по условиям достижения установленных пределов, как абсолютных значений параметров, так и скорости их изменения).

По мере внедрения новых разработок ПКТ решались и вопросы, касающиеся методов доказатель-

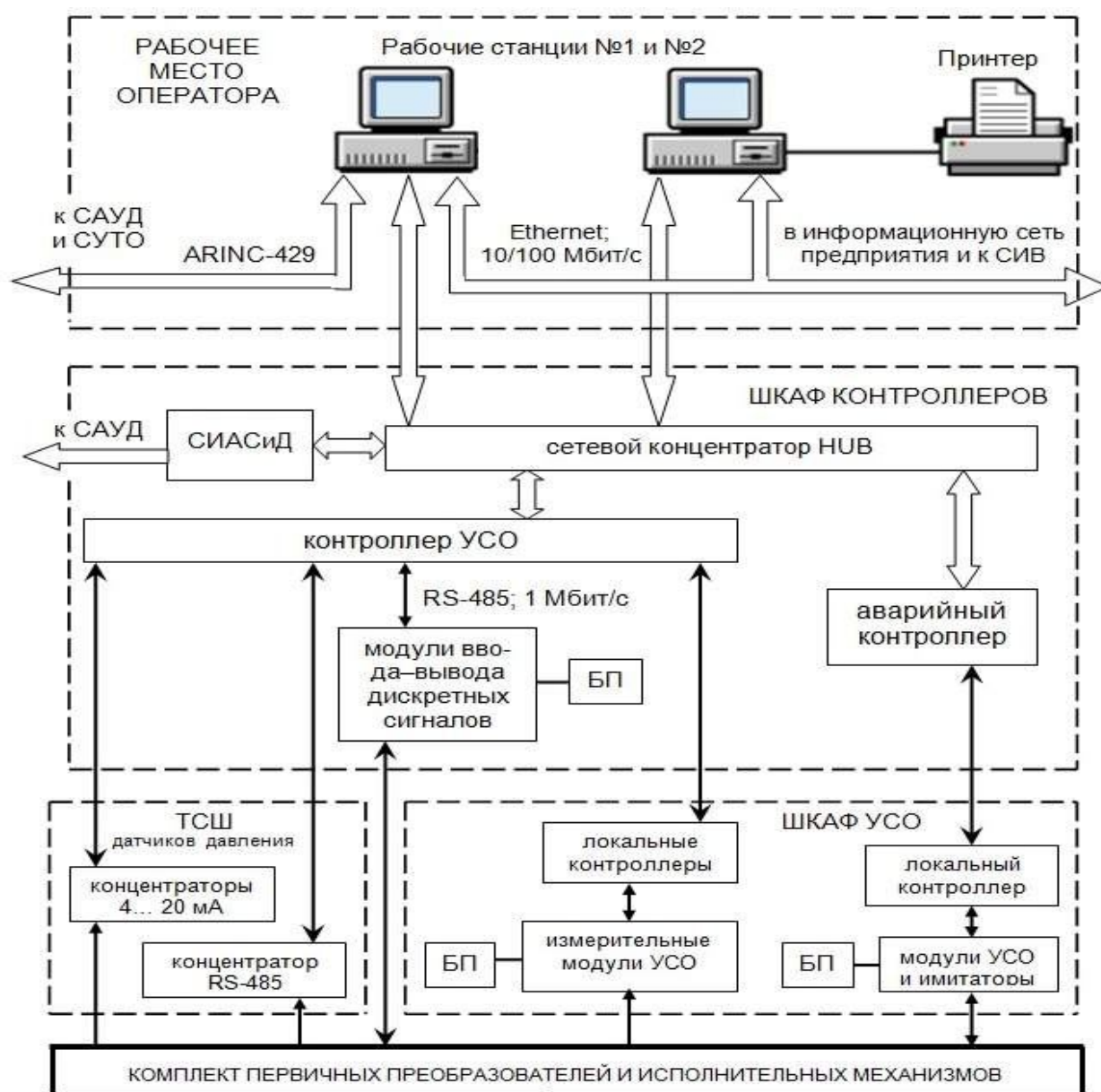


Рис. 2. Типовая структура программно-технического комплекса разработки АО «Элемент»: САУД – система автоматического управления двигателем, СУТО – система управления технологическим оборудованием, СИБ – система измерения вибрации, СИАСиД – стендовый имитатор агрегатов самолета и двигателя; УСО – устройство связи с объектом испытаний; БП – блок питания; ТСиШ – термостатируемый шкаф

ства соответствия их заданным требованиям, включая как традиционные (детализированные в существовавшей к началу разработок нормативной документации), так и новые, выдвигаемые надзорными органами в процессе развития АСУ ТП и расширения функций программного обеспечения. В рамках реализации упомянутых методов в состав специализированного программного изделия ПТК, полностью разработанного в АО «Элемент» (на базе ОС QNX), потребовалось включить программные инструменты исследования характеристик ПТК, достаточно полно описанные в [4].

К настоящему времени разработан и внедрен ряд методик исследований характеристик ПТК и все выпускаемые наземные комплексы проходят:

- государственную метрологическую аттестацию (с 2016 года в связи с изменениями в Законе о метрологии – калибровку) измерительных каналов;
- метрологическую аттестацию (калибровку) вычислительных каналов;
- государственную аттестацию программного изделия;
- предварительные испытания;
- опытную эксплуатацию и затем приемочные

испытания, завершающиеся вводом в постоянную эксплуатацию.

При разработке бортового регистратора параметров БРП-МСБ с учетом накопленного опыта и перечисленных выше новых задач, прежде всего, был проведен выбор технических средств.

Первый образец БРП-МСБ решено было создать на базе измерительных, дискретных модулей и контроллеров компании National Instruments (США), которые, будучи компактными, многоканальными и работоспособными в условиях заданных воздействий внешних факторов, характеризуются приемлемым соотношением цена-качество.

Следует отметить, что в номенклатуре измерительных модулей National Instruments отсутствуют модули, измеряющие частоту сигнала произвольной формы в достаточно широком диапазоне. Эта проблема решена за счет разработки специалистами АО «Элемент» специального преобразователя частотных сигналов.

Также был разработан модуль питания датчиков ДБСКТ (СКТ), поскольку модули National Instruments, обеспечивают только измерение выходного сигнала указанных датчиков угла (в отличие от модулей разработки АО «Элемент» аналогичного назначения, используемых в ПТК и совмещающих функции питания и измерения).

Кроме того, в составе БРП-МСБ используется модуль информационного обмена ARINC-Ethernet разработанный в АО «Элемент» для ПТК.

В качестве рабочей станции для БРП-МСБ выбран специализированный ударостойкий персональный компьютер типа notebook фирмы Getac (Тайвань) с твердотельным накопителем и «антивандалным» покрытием экрана и работающий при питании от бортовой сети 27 В.

Конструкция БРП-МСБ, разработанная с учетом изложенных выше требований, показана на рис. 3, общий вид вместе с компьютером notebook – на рис. 4.

Этажерочно-модульный тип позволяет достаточно просто монтировать и демонтировать модули, изменяя конфигурацию регистратора, например, наращивать количество измерительных каналов, корректировать их состав. Специальные амортизаторы обеспечивают устойчивость к механическим воздействиям.

Специально разработанное в АО «Элемент» программное изделие (ПИ) БРП-МСБ состоит из ПИ верхнего уровня, устанавливаемого на notebook, и ПИ нижнего уровня, распределенного между контроллерами – рис. 5.

ПИ верхнего уровня, устанавливаемое на notebook, разработано на базе ОС Windows, что обеспечивает наиболее рациональную организацию фор-

мирования баз данных и их последующего использования.

ПИ нижнего уровня разработано на базе ОС RT Linux, использование которой гарантирует регистрацию входных данных с частотой до 100 кГц.

Задача реализации информационного обмена с участием двух различных ОС, с приемом информации от шести «сборщиков» нижнего уровня (пять контроллеров и модуль ARINC-Ethernet), с обеспечением синхронизации потоков данных была решена путем разработки специализированного протокола информационного обмена.

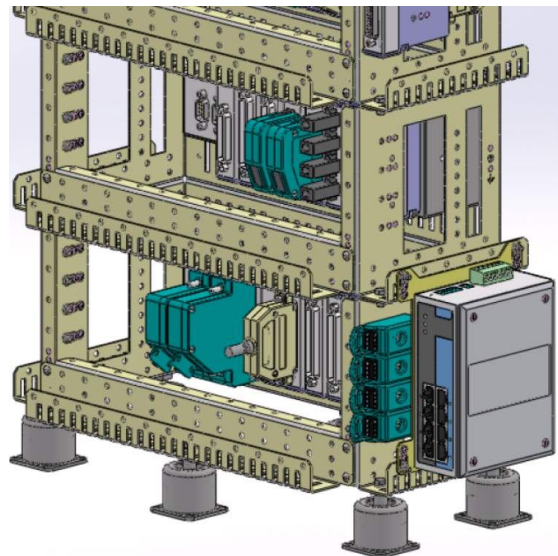


Рис. 3. Фрагмент конструкции БРПМСБ-2

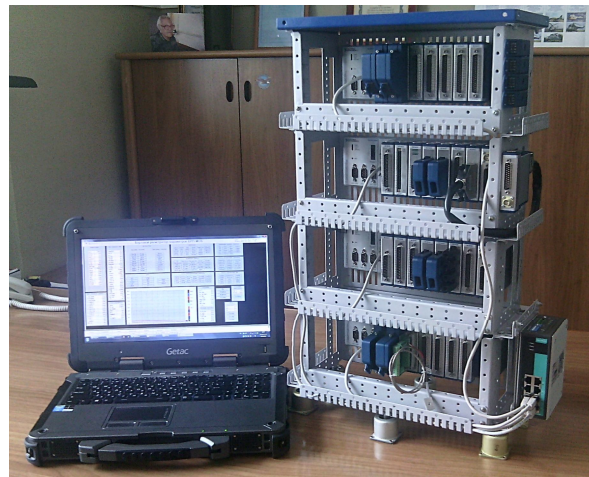


Рис. 4. Общий вид БРПМСБ-2

Один контроллер опрашивает до 8 многоканальных модулей (нескольких типов), обрабатывающих, в свою очередь, сигналы от датчиков и исполнительных механизмов (до 32 сигналов на один модуль), при этом частота опроса задается индивидуально для каждого модуля.

ПИ верхнего уровня обеспечивает выполнение

всех функций по обработке измерительной информации, включая вычисления значений измеряемых параметров в соответствии с заданными градуировками датчиков, вывод результатов измерений на экран и формирование базы данных.

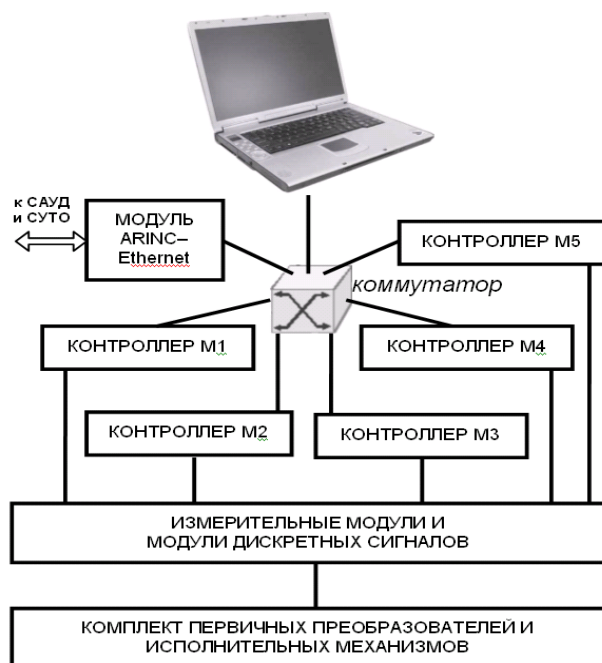


Рис. 5. Упрощенная структура БРП-МСБ

Как и в ПТК, в БРП-МСБ в составе ПИ предусмотрены программные инструменты автоматизации исследования характеристик измерительных каналов. Среди функций БРП-МСБ, в отличие от ПТК, отсутствует аварийная защита объекта испытаний, однако это обусловлено отсутствием требований со стороны Заказчика. В случае, если такие требования будут сформулированы, их реализация вполне доступна в рамках уже созданной структуры.

К настоящему времени БРП-МСБ успешно прошел предварительные испытания на площадке АО «Элемент», в том числе проверку работоспособности в условиях воздействия дестабилизирующих факторов окружающей среды и исследования характеристик измерительных каналов.

Заключение

1. АО «Элемент» разработаны и поставляются на АО «Мотор Сич» наземные программно-технические комплексы для испытаний авиационных двигателей, обеспечивающие автоматизацию технологического процесса испытаний и защиту двигателя при возникновении аварийной ситуации. Практически все применяемые для комплектации наземных комплексов модули – измерительные, дискретные, имитационные и интерфейсные – это модули, разработанные и изготавливаемые в

АО «Элемент». Все выпускаемые комплексы проходят полный цикл испытаний, включая исследование метрологических характеристик измерительных и вычислительных каналов и государственную аттестацию программного обеспечения.

2. Базируясь на опыте разработки, изготовления и аттестации наземных комплексов, специалисты АО «Элемент» в 2016 году выполнили разработку первого отечественного бортового комплекса для вертолета МСБ-2 – бортового регистратора параметров БРП-МСБ, обеспечивающего все заданные Заказчиком функции по автоматизации процесса летных испытаний, что к настоящему времени подтверждено предварительными испытаниями, включая исследования метрологических характеристик с участием специализированного предприятия ГП «Запорожжестандартметрология».

3. Дальнейшие работы состоят в завершении полного цикла испытаний БРП-МСБ, включая его опытную эксплуатацию и ввод в постоянную эксплуатацию.

4. Целесообразной представляется перспектива расширения состава функций БРП-МСБ, по крайней мере, до набора, характерного для выпускаемых АО «Элемент» наземных ПТК, для чего имеются все необходимые технические предпосылки. Реализация этой перспективы будет определяться, прежде всего, организационно-методическими аспектами, связанными с формулировкой требований к разрешенным функциям подобной системы при летных испытаниях образца авиационной техники.

Литература

1. Программно-технические комплексы для испытаний ГТД : математическое, метрологическое и алгоритмическое обеспечение [Текст] / А. Г. Буряченко, Д. И. Волков, С. Н. Долгий [и др.] // *Авиадвигатели XXI века : сб. тез. II Междунар. науч.-техн. конф. ЦИАМ. – М., 2005. – Т. 3. – С. 235*
2. ОСТ 1 00487-83. Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Метрологическая аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем [Текст]. – Введ. 1984-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 20 с.
3. Семчишин, С. М. Автоматизированный регистратор параметров переносной – расширение функциональных возможностей [Текст] / С. М. Семчишин, В. А. Качура // *Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 8(125). – С. 130-133*
4. Аттестация программного обеспечения косвенных измерений при испытаниях газотурбинных двигателей [Текст] / А. Г. Буряченко, К. М. Сидяк, В. В. Кондратюк [и др.] // *Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 7(64). – С. 159-163.*

References

1. Burjachenko, A. G., Volkov, D. I., Dolgij, S. N., Sirotkin, V. V. Programmno-tehnicheskie komplekсы dlja ispytaniy GTD : matematicheskoe, metrologicheskoe i algoritmicheskoe obespecheni [Program technical complexes for gas-turbine engines testing : mathematical, metrological and algorithmic assurance]. *Sbornik tezisov II Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii TsIAM «Aviadvigateli KhKhI veka* [Airengine XXI. Theses of 2th Int. sci. tech. conf. CIAM]. Moscow, 2005, vol. 3, p. 235. (In Russian).
2. OST 1 00487-83 Metrologicheskoe obespechenie ispytaniy gazoturbinnnyh dvigatelej. Metrologicheskaja attestacija izmeritel'nyh kanalov informacionno-izmeritel'nyh sistem. [Branch standard 1 00487-1984. Metrological assurance of gas-turbine engines testing. Metrological attestation for the measurement channels of the informational-measurement systems]. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 20 p.
3. Semchishin, S. M., Kachura, V. A. Avtomatizirovannyj registrator parametrov perenosnoj – rasshirenie funkcional'nyh vozmozhnostej [Automated portable parameters recorder - capabilities extension]. *Aerospace techic and technology*, 2015, no. 8, pp. 130-133.
4. Burjachenko, A. G., Sidjak, K. M., Kondratjuk, V. V., Kachura, V. A. Attestacija programmnoho obespechenija kosvennyh izmerenij pri ispytaniyah gazoturbinnnyh dvigatelej [Soft ware attestation for indirect measurements during gas-turbine engines testing] *Aerospace techic and technology*, 2014, no. 7(64), pp. 159-163.

Поступила в редакцию 12.05.2016, рассмотрена на редколлегии 14.06.2016

НАЗЕМНІ ТА БОРТОВІ КОМПЛЕКСИ ВИПРОБУВАНЬ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ – РОЗРОБКА ТА ВВЕДЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ

А. Г. Буряченко, Г. С. Ранченко, С. М. Семчішин

Описано досвід розробки наземних та бортових випробувальних програмно-технічних комплексів та введення їх в експлуатацію з урахуванням вимог до метрологічного забезпечення, включаючи атестацію програмного забезпечення. Наведено типову структуру програмно-технічного комплексу, що виготовляється з використанням модулів розробки АТ "Елемент". Головна увага приділена розробці бортового реєстратора параметрів систем, пристроїв та агрегатів гелікоптера МСБ-2, що здійснена у 2016 році – показано конструкцію реєстратора, що побудований на базі вимірювальних модулів National Instruments, описано програмне забезпечення, яке окрім головних функцій за призначенням виконує також і допоміжну – автоматизацію досліджень метрологічних характеристик вимірювальних каналів реєстратору.

Ключові слова: вимірювальний канал, програмне забезпечення, бортовий реєстратор параметрів.

AVIONICS AND GROUND TESTING OF AIRCRAFT ENGINES – DESIGN AND COMMISSIONING

A. G. Buryachenko, G. S. Ranchenko, S. M. Semchishin

The design experience of the ground and onboard test program-technical complexes is described including the permission for exploitation, taking into account the metrological requirements. The program-technical complex typical structure based on the modules designed and produced by JSC "Element" is shown. The main attention is given to the onboard registrar of the parameters of helicopter MSB-2 systems, which was designed in 2016. The structure of registrar based on the modules produced by "National Instruments" is shown. The soft ware is described including its auxiliary function concerning the automation of registrar measurement channels metrological investigation.

Key words: measuring channel, soft ware, onboard registrar of the parameters.

Буряченко Анна Григорьевна – главный метролог АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: annaodessa55@gmail.com.

Ранченко Геннадий Степанович – канд. техн. наук, главный конструктор АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua.

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

Buryachenko Anna Grigorievna – chief metrologies JSC “Element”, Odessa, Ukraine, e-mail: annaodessa55@gmail.com.

Ranchenko Gennadii Stepanovich – Ph.D, chief designer, JSC “Element”, Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua.

Semchishin Sviatoslav Mihaylovich – chief developer, JSC “Element”, Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua.