УДК 621.45.018.2:681.513.2

doi: 10.32620/aktt.2021.4sup1.20

В. В. НЕРУБАССКИЙ, В. М. ГРУДИНКИН, Д. А. ЛАВРЕНЮК*АО «Элемент», Одесса, Украина*

УДАЛЕННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Во вводной части статьи приводится информация о том, что АО «Элемент» является одним из ведущих предприятий Украины по научно-техническому направлению «Электронные системы измерения, контроля параметров и управления авиационными двигателями». В результате сотрудничества коллектива АО «Элемент» и ряда подразделений АО «Мотор Сич» для автоматизации технологических процессов стендовых испытаний авиационных двигателей были разработаны программно-технические комплексы (ПТК). За 15 лет более 20 таких ПТК было поставлено АО «Мотор Сич». Важной задачей АО «Элемент» стало обеспечение сопровождения своих ПТК, оперативное решение вопросов, связанных с их работоспособностью и модернизацией по мере появления новых требований и технологических процессов. Основным инструментом при решении указанных задач стал созданный АО «Элемент» Полигон ПТК. Дается описание Полигона ПТК, представляющего собой функционально стандартный ПТК, но с уменьшенным составом измерительных модулей. Полигон ПТК состоит из двух иерархических уровней: нижнего и верхнего. Нижний уровень Полигона ПТК – это устройство связи с объектом, основными задачами которого является преобразование параметров, поступающих с датчиков и первичная обработка информации, управление технологическими операциями и аварийная защита двигателя. Верхний уровень – это две рабочие станции, выполняющие отображение информации и обеспечивающие взаимодействие оператора и системы. В состав Полигона ПТК входит программное изделие (ПИ), функционирующее в среде операционной системы реального времени QNX 4.25. Главная особенность Полигона ПТК – это возможность запускать ПИ любого из разработанных ПТК, адаптированного к работе с имеющимся комплектом измерительных модулей. Приводится перечень наиболее часто выполняемых работ в ходе послегарантийного обслуживания ПТК, в том числе при введении новых технологических операций и алгоритмов. Отмечается, что Полигон ПТК оказался удачным решением по удаленному сопровождению испытаний авиационных двигателей на стендах АО «Мотор Сич». Он позволяет решать большинство проблем, выявленных в работе оборудования испытательных стендов и ПТК, а также обеспечивает модернизацию и доработку алгоритмов без выезда специалистов на объект. Возможность удаленного сопровождения ПТК особенно актуально в условиях пандемии Covid-19 и карантинных ограничений на Украине.

Ключевые слова: авиационный двигатель; программно-технический комплекс; стендовые испытания двигателей; удаленное сопровождение испытаний.

Введение

АО «Элемент» является одним из ведущих предприятий Украины по научно-техническому направлению «Электронные системы измерения, контроля параметров и управления авиационными двигателями», имеет Сертификаты Разработчика и Изготовителя комплектующих изделий авиационной техники, выданные АР МАК и ГАСУ. Предприятие располагает замкнутым циклом разработки и серийного производства как аппаратной части своих электронных систем авиационного применения (АП), так и специального программного обеспечения (ПО).

В ходе многолетнего сотрудничества и совместной работы коллектива АО «Элемент» с ведущими специалистами Управления главного техноло-

га, Управления главного метролога, цехов № 39 и № 639 АО «Мотор Сич» был выполнен большой объем работ по автоматизации и совершенствованию процесса стендовых испытаний авиационных двигателей. Результатом этих работ стали программно-технические комплексы (ПТК) стендовых приемо-сдаточных и ресурсных испытаний опытных и серийных ГТД, обеспечивающих разработку, доводку и сертификацию большинства современных авиационных двигателей отечественного производства: АИ-222/322, АИ-450, МС-500, МС-14, Д-436Т1/ТП, Д-436-148 и других [1].

До 2017 г. АО «Элемент» поставило АО «Мотор Сич» и ряду инозаказчиков более 20 таких ПТК. Все ПТК прошли метрологическую аттестацию в органах Госстандарта и последующую сертифика-

Рис.1. Общий вид Полигона ПТК:

1 – рабочее место оператора; 2 – шкаф УСО; 3 – матричный принтер формата А3

цию в составе моторных стендов с участием специалистов ЦИАМ.

После поставки и приемки ПТК самой главной задачей АО «Элемент» стало обеспечение бесперебойной работы оборудования и программного изделия (ПИ) при испытаниях двигателей, практически в режиме 24/7/365. Причем сжатые сроки для устранения проблем часто делали невозможным выезд специалистов на объект. Поэтому для удаленного сопровождения испытаний был разработан Полигон ПТК.

1. ПТК в миниатюре

Полигон ПТК представляет собой полнофункциональный ПТК, содержащий все аппаратные компоненты, но с уменьшенным составом измерительных модулей [2]. Общий вид Полигона ПТК представлен на рис. 1.

Как и полноразмерный ПТК, Полигон ПТК состоит из двух иерархических уровней: нижнего и верхнего. Нижний уровень ПТК – это устройство связи с объектом (УСО) или шкаф УСО.

УСО выполняет:

- преобразование в коды электрических эквивалентов входных физических параметров, поступающих с датчиков, первичная обработка информации, преобразование кодов в значения параметров физических величин;

- преобразование дискретных входных и выходных сигналов;

- управление технологическими операциями испытания двигателей;

- аварийную защиту двигателя;

- формирование пакетов информации для передачи на верхний уровень.

В состав шкафа УСО входят:

- модули измерения аналоговых сигналов;

- модули локальных контроллеров;

- модули входных и выходных дискретных сигналов с цифровым интерфейсом (RS-485);

- контроллер УСО (одноплатный промышленный компьютер IOWA-LX-600 и 4-портовая плата RS-422/85 «МОХА» в корпусе IPS-6006/S);

- аварийный контроллер (одноплатный промышленный компьютер IOWA-LX-600 в корпусе IPS-6006/S);

- сетевой концентратор;

Рис. 2. Структурная схема ПТК и Полигона ПТК

- сигнальные кабели.

Модули измерительных блоков шкафа УСО измеряют электрические сигналы датчиков и преобразуют их в коды. Преобразованные в коды сигналы поступают на локальный контроллер измерительного блока. Локальные контроллеры выполняют сбор сигналов и передают информацию по информационной сети на основной контроллер. Минимальный период ввода и обработки информации – 0,02 с.

Верхний уровень системы – рабочие станции, реализованные на базе персональных компьютеров.

Рабочая станция 1 (PC1) выполняет отображение на экране своего дисплея значения физических величин измеренных параметров.

Рабочая станция 2 (PC2) выполняет отображение на экране своего дисплея информации, обеспечивающей взаимодействие оператора и системы.

Принтер, управляемый PC2, предназначен для печати протоколов испытания двигателя.

Структурная схема ПТК приведена на рис.2.

Программное изделие (ПИ) ПТК эксплуатируется в среде операционной системы реального времени (ОС РВ) QNX 4.25 на четырех компьютерах – основной контроллер УСО, аварийный контроллер, рабочие станции PC1 и PC2.

ПИ ПТК состоит из общего и функционального программного изделий. Общее программное изделие

кроме ОС РВ включает в себя драйверы устройств и файловых систем, средства разработки, графический оконный интерфейс с поддержкой кириллических шрифтов, принтеров, указывающих устройств; обеспечивает работу в реальном времени, многозадачность, многопользовательский режим работы, сетевую поддержку (протоколы TCP/IP и FLEET).

Функциональное программное изделие ПТК обеспечивает:

- управление программами и протоколами данных;
- реализацию технологических операций;
- контроль, обработку и регистрацию параметров объекта, ведение и просмотр баз данных;
- автоматическое управление и аварийную защиту объекта;
- метрологические исследования, поверки, калибровку и аттестацию измерительных каналов;
- настройку и подготовку ПТК к испытанию объекта;
- предоставление справочной информации.

Информационные линии реализованы по стандарту Ethernet 100BaseTX в виде двух подсетей - общей, включающей PC1 и PC2 (выходы сетевых адаптеров для подключения в сеть предприятия) и измерительной, включающей контроллер УСО, ава-

рийний контроллер, PC1, PC2 (объединены сетевым концентратором).

Сохранение параметров в базу данных выполняется дублировано на обеих РС и настраивается пользователем. Для синхронизации записей в базе данных предусмотрена синхронизация календарного времени РС.

Отказы технических средств и ПИ ПТК не приводят к аварийным ситуациям в работе двигателя и стендовых систем.

ПИ выполняет отбраковку искаженной информации по контрольным суммам, восстановление искаженной информации за счёт использования информационной избыточности, выявление и отбраковку ложных результатов измерения с учетом СТ СЭВ 545-77.

Главная особенность Полигона ПТК – это возможность запускать ПИ любого из разработанных ПТК, адаптированного к работе с имеющимся комплектом измерительных модулей.

2. Использование Полигона ПТК

На этапе послегарантийного обслуживания ПТК специалистам АО «Элемент» наиболее часто приходится выполнять следующие виды работ:

- реконфигурация измерительной сети ПТК при замене измерительных модулей из комплекта ЗИП;
- метрологическая проверка измерительных модулей после ремонта [3];
- анализ база данных испытаний при сбоях в работе стендового оборудования и ПТК, поиск неисправностей и выдача рекомендаций [4];
- расширение состава вычислительных каналов, введение новых технологических операций и алгоритмов.

Все вышеуказанные работы могут выполняться на Полигоне ПТК, причем без выезда на объект. В большинстве случаев удается найти решение возникающих проблем в течение 1-2 рабочих дней. Результаты своевременно доводятся до инженерно-технического персонала цехов №39 и №639 АО «Мотор Сич», что способствует не только повышению их квалификации, но и обеспечивает минимальные простои стендового оборудования. Например, в 2016 г. совместно была разработана и опробована инструкция по замене модулей ПТК, которая используется до настоящего времени.

Наибольший объем работ с использованием Полигона ПТК выполняется для расширения состава вычислительных каналов при введении новых технологических операций и алгоритмов. Ниже приводится неполный список таких работ:

- вычисление нормальных и нормально-номинальных значений параметров двигателя

АИ-450М на ПТК-450М и ПТК-500В/450М;

- вычисление нормальных значений параметров двигателей Д-436, Д-436ТП, Д-436-148 и Д-436-148ФМ на ПТК-436 и ПТК-436/36;

- вычисление нормальных значений параметров двигателей АИ-25, АИ-25ТЛ, АИ-222, АИ-322 на ПТК-222/25, ПТК-Д5Т и ПТК-Д5Т1;

- расчет параметров дроссельной характеристики двигателей АИ-222 и АИ-322 на ПТК-Д5Т;

- расчет, анализ и регистрация параметров емкости и сброса двигателей АИ-222 и АИ-322 на ПТК-Д5Т и ПТК-Д5Т-1;

- автоматизация проведения циклических испытаний на ПТК-МСБ2;

- обеспечение приема и регистрации информации с электронных систем управления ЭСУ-222 и ЭЦР-41 на ПТК-Д5Т и ПТК-Д5Т-1;

- алгоритмическая проверка работоспособности КПЗУ, СПЗ и АВРР, характеристики РНА в ЭЦР-41 на ПТК-Д5Т;

- обеспечение приема и регистрации информации с внешних и самолетных систем БУК-148, БСКВ-148, БСКД-436-200, ЭСУ-436, ЭРРД-436 с использованием СИАС 148-01 и модуля ARINC-Ethernet на ПТК-436, ПТК-436/36 и другие.

Указанные работы выполнялись удаленно, доработанные ПИ ПТК тестировались на Полигоне ПТК и высылались заказчику на электронных носителях. В большинстве случаев удаленно выполнялись и пусконаладочные работы.

Заключение

Полигон ПТК оказался удачным решением по удаленному сопровождению испытаний авиационных двигателей на стендах АО «Мотор Сич». Он позволяет решать большинство проблем, выявленных в работе оборудования испытательных стендов и ПТК, ускорить внедрение доработок ПИ (см. раздел 2) и экономить средства предприятия, выделяемые на командировки.

Кроме того, в 2020-2021 гг. в условиях пандемии Covid-19 и карантинных ограничений на Украине Полигон ПТК стал вообще безальтернативным средством, обеспечившим удаленное послегарантийное обслуживание, доработку и решение технических проблем ПТК на АО «Мотор Сич».

Литература

1. Ранченко, Г. С. Научно-методическая деятельность ОАО «Элемент» по обеспечению направления головной организации. [Текст] / Г. С. Ранченко // Вестник двигателестроения. – 2008. – № 3. – С. 37-40.

2. Программно-технический комплекс для испытаний авиационных двигателей. Технические условия АХША.442293.000 ТУ. Редакция 3 [Текст]. – Одесса. – 2008.

3. Программно-технические комплексы для испытаний ГТД: математическое и алгоритмическое обеспечение [Текст] / А. Г. Буряченко, Д. И. Волков, С. Н. Долгий [и др.] // Сборник тезисов II Международной научно-технической конференции ЦИАМ «Авиадвигатели XXI века». – М., 2005. – том III. – С. 235.

4. Миргород, В. Ф. Виртуальный стенд для моделирования систем авиационных двигателей [Текст] / В. Ф. Миргород, В. М. Грудинкин // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 186-191.

lestroenija – Engine building messenger, 2008, no. 3, pp. 37-40.

2. Programmno-tehnicheskii kompleks dlya ispytaniy aviatsionnykh dvigatelei. Tekhnicheskie usloviya AKhShA.442293.000 TU. Redaktsiya 3 [Software and hardware complex for aircraft engines testing. Technical conditions]. Odessa, 2008.

3. Buryachenko, A. G., Volkov, D. I., Dolgii, S. N., Sirotkin, V. V. Programmno-tehnicheskii kompleksy dlya ispytaniy GTD: matematicheskoe i algoritmicheskoe obespechenie [Software and hardware complexes for testing gas turbine engines: mathematical and algorithmic support]. Sbornik tezisev II Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii TsIAM «Aviadvigateli XXI veka» – Collection of theses of the CIAM II International Scientific and Technical Conference "Aircraft Engines of the XXI Century", Moscow, 2005, vol. III, pp. 235.

4. Mirgorod, V. F., Grudinkin, V. M. Virtual'nyi stend dlya modelirovaniya sistem aviatsionnykh dvigatelei [Virtual stand for modeling aircraft engine systems]. Iskustvennyi intellekt – Artificial Intelligence, 2006, no. 3, pp. 186-191.

References

1. Ranchenko, G.S. Nauchno-metodicheskaya deyatel'nost' OAO «Element» po obespecheniyu napravleniya glavnoi organizatsii. [Scientific and methodological activities of JSC "Element" to ensure the direction of the parent organization]. Vestnik dvigate-

Надійшла до редакції 01.06.2021, розглянута на редколегії 16.08.2021

ВІДДАЛЕНИЙ СУПРОВІД ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

В. В. Нерубаський, В. М. Грудинкін, Д. О. Лавренюк

У вступній частині статті наводиться інформація про те, що АТ "Елемент" є одним з головних підприємств України з науково-технічного напрямку «Електронні системи вимірювання, контролю параметрів і управління авіаційними двигунами». В результаті співпраці колективу АТ «Елемент» та ряду підрозділів АТ «Мотор Січ» для автоматизації технологічних процесів стендових випробувань авіаційних двигунів були розроблені програмно-технічні комплекси (ПТК). За 15 років більш ніж 20 таких ПТК було поставлено АТ «Мотор Січ». Важливим завданням АТ «Елемент» стало забезпечення супроводу своїх ПТК, оперативне вирішення питань, пов'язаних з їх працездатністю і модернізацією в міру появи нових вимог і технологічних процесів. Основним інструментом при вирішенні зазначених завдань став Полігон ПТК. Дається опис Полігону ПТК, що представляє собою функціонально стандартний ПТК, але зі зменшеним складом вимірювальних модулів. Полігон ПТК складається з двох ієрархічних рівнів: нижнього і верхнього. Верхній рівень Полігону ПТК - це пристрій зв'язку з об'єктом, основними завданнями якого є перетворення параметрів, що надходять з датчиків і первинна обробка інформації, управління технологічними операціями і аварійний захист двигуна. Верхній рівень - це дві робочі станції, які виконують відображення інформації і забезпечують взаємодію оператора і системи. До складу Полігону ПТК входить програмний виріб (ПВ), що функціонує в середовищі операційної системи реального часу QNX 4.25. Головна особливість Полігону ПТК – це можливість запускати ПВ будь-якого з розроблених ПТК, адаптованого до роботи з наявним комплектом вимірювальних модулів. Наводиться перелік найбільш часто виконуваних робіт в ході післягарантійного обслуговування ПТК, в тому числі при введенні нових технологічних операцій і алгоритмів. Відзначається, що Полігон ПТК виявився вдалим рішенням по віддаленому супроводу випробувань авіаційних двигунів на стендах АТ «Мотор Січ». Він дозволяє вирішувати більшість проблем, виявлених в роботі обладнання випробувальних стендів і ПТК, а також забезпечує модернізацію та доопрацювання алгоритмів без виїзду фахівців на об'єкт. Можливість віддаленого супроводу ПТК особливо актуально в умовах пандемії Covid-19 і карантинних обмежень на Україні.

Ключові слова: авіаційний двигун; програмно-технічний комплекс; стендові випробування двигунів; віддалений супровід випробувань.

REMOTE SUPPORT AND UPGRADE OF PROGRAM-TECHNICAL COMPLEX FOR AIRCRAFT ENGINES TESTING

V. Nerubaskyi, V. Hrudinkin, D. Lavreniuk

The introductory part of the article provides information that JSC "Element" is one of the leading enterprises of Ukraine in the scientific and technical direction "Electronic systems for measuring, monitoring parameters and aircraft engine control". As a result of cooperation between the team of Element JSC and a number of divisions of Motor Sich JSC, software and hardware complexes (SHC) were developed to automate the technological processes of bench tests of aircraft engines. For 15 years, about 20 such SHCs have been supplied to Motor Sich JSC and other enterprises. An important task of Element JSC was to provide support for its hardware and software complexes, to promptly resolve issues related to their performance and modernization as new requirements and technological processes emerge. The SHC Polygon became the main tool in solving these problems. The description of the SHC Polygon is given, which is a functionally standard SHC, but with a reduced composition of measuring modules. The SHC polygon consists of two hierarchical levels: lower and upper. The upper level of the PTK Polygon is a device for communication with the object, the main tasks of which are the transformation of parameters coming from the sensors and the primary processing of information, control of technological operations, and emergency protection of the engine. The upper level is two workstations that display information and provide interaction between the operator and the system. The Polygon SHC includes a software product (SP) operating in the environment of the QNX 4.25 real-time operating system. The main feature of the SHC Polygon is the ability to launch the SP of any of the developed SHC, adapted to work with the existing set of measuring modules. A list of the most frequently performed works in the course of post-warranty maintenance of the hardware and software complex, including the introduction of new technological operations and algorithms, is given. It is noted that the SHC Polygon turned out to be a successful solution for remote support of aircraft engine tests at the stands of Motor Sich JSC. It allows you to solve most of the problems identified in the operation of the equipment of test stands and hardware and software systems, and also provides modernization and refinement of algorithms without specialists visiting the site. The possibility of remote maintenance of the SHC is especially important in the context of the Covid-19 pandemic and quarantine restrictions in Ukraine.

Keywords: aviation engine; program-technical complex; engine bench tests; remote support of engine testing.

Нерубасский Вадим Владимирович – старший научный сотрудник бюро разработки программного обеспечения, АО «Элемент, Одесса, Украина.

Грудинкин Вячеслав Михайлович – заместитель главного конструктора, АО «Элемент, Одесса, Украина.

Лавренюк Денис Александрович – инженер-программист бюро разработки программного обеспечения, АО «Элемент, Одесса, Украина.

Vadym Nerubasskyi – senior scientist, software development bureau, JSC «Element», Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID: 0000-0002-7145-5753.

Viacheslav Hrudinkin – deputy chief designer, JSC «Element», Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID: 0000-0002-2766-1162.

Denys Lavreniuk – engineer-programmer, software development bureau, JSC «Element», Odessa, Ukraine, e-mail: denys.lavreniuk@stud.onu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-4741-3964.