

УДК 681.518:629.7.018:629.735.45

Н. Н. ЛОПУНОВА, В. В. НЕРУБАССКИЙ*АО «Элемент», Одесса, Украина***МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПТК-МСБ-2
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ВЕРТОЛЁТОВ**

Приводится общее описание состава и структуры открытого стенда для ресурсных испытаний вертолёт МСБ-2. Указано, что основным средством автоматизации стенда является программно-технический комплекс ПТК-МСБ-2. Описываются основные элементы и принципы работы аппаратной части ПТК-МСБ-2. Детально рассмотрены программные средства ПТК-МСБ-2, их основные функции и особенности функционирования. Перечисляются цели модернизации ПТК-МСБ-2, описываются принципы реализации алгоритмов аварийной защиты и автоматизации ресурсных испытаний вертолёт. Кратко изложены особенности автоматизации испытаний в штатных и нештатных ситуациях.

Ключевые слова: программно-технический комплекс, ресурсные испытания, открытый стенд ресурсных испытаний, автоматизация испытаний, дистанционное управление

Введение

АО «Мотор Сич», развивая своё вертолётное производство, большое внимание уделяет созданию инфраструктуры, обеспечивающей полный цикл разработки и испытаний новых и усовершенствованных узлов и агрегатов вертолёт. Важное место в этом процессе занимает открытый стенд для ресурсных испытаний силовой установки, несущей системы и трансмиссии вертолёт МСБ-2.

Составной частью этого стенда является программно-технический комплекс ПТК-МСБ-2, разработанный АО «Элемент», и введённый в эксплуатацию в 2017 г. До настоящего времени (май 2018 г.) проведено пять 300-600-часовых программ испытаний, направленных на исследование ресурсных характеристик усовершенствованных главного редуктора, лопастей несущего винта и трансмиссии вертолёт.

Основываясь на накопленном опыте, АО «Элемент» предложило программу модернизации ПТК-МСБ-2, направленную на расширение его функциональных возможностей.

Целью данной работы является описание основных направлений модернизации ПТК-МСБ-2 для автоматизации ресурсных испытаний вертолёт.

1. Состав и структура стенда

Открытый стенд для ресурсных испытаний вертолёт МСБ-2 (далее - стенд) представляет собой стационарное сооружение с кольцевой огороженной площадкой диаметром 50 м, внутри которой на поворотной платформе установлен вертолёт. Снаружи

площадки установлены боксы с оборудованием стенда, в том числе и аппаратной частью ПТК-МСБ-2. Общая структура стенда показана на рис. 1.

В состав оборудования стенда входят пульт управления со средствами дистанционного управления вертолёт, источники питания, датчики и исполнительные механизмы, каналы связи. Пульт управления позволяет выполнять все технологические операции по запуску/останову двух двигателей АИ-450М, дистанционное управление вертолёт по семи каналам (с использованием семи сервоусилителей/серводвигателей).

Основным средством отображения и регистрации состояния систем стенда, а также результатов испытаний служит ПТК-МСБ-2.

**2. ПТК-МСБ-2
как информационно-измерительный комплекс**

ПТК-МСБ-2 как средство автоматизации испытаний реализует следующие функции [1]:

- управление режимами работы вертолёт, двигателей и стендовых систем в соответствии с технологическим процессом испытаний;
- автоматический контроль исправности вертолётных, стендовых и двигательных датчиков, исполнительных механизмов, их линий связи и самоконтроль ПТК;
- автоматическое измерение параметров вертолёт, двигателей и стендовых систем;
- математическая обработка измеренных пара-

метров;

- анализ параметров на соответствие заданным требованиям;

- отображение на мониторах информации о состоянии вертолёта, двигателей и стендовых систем в процессе испытаний;

- выдача протокола испытаний с результатами регистрации и обработки параметров;

- определение метрологических характеристик измерительных каналов ПТК при проведении их метрологической проверки;

- сохранение результатов испытаний в базе

данных для последующей обработки и анализа;

- сопровождение архивов трендов, аварий, событий.

ПТК-МСБ-2 включает в себя комплекс аппаратных средств и программное обеспечение.

3. Аппаратные средства ПТК

Аппаратная часть ПТК-МСБ-2 состоит из двух иерархических уровней: нижнего и верхнего.

Нижний уровень – шкафы устройства связи с

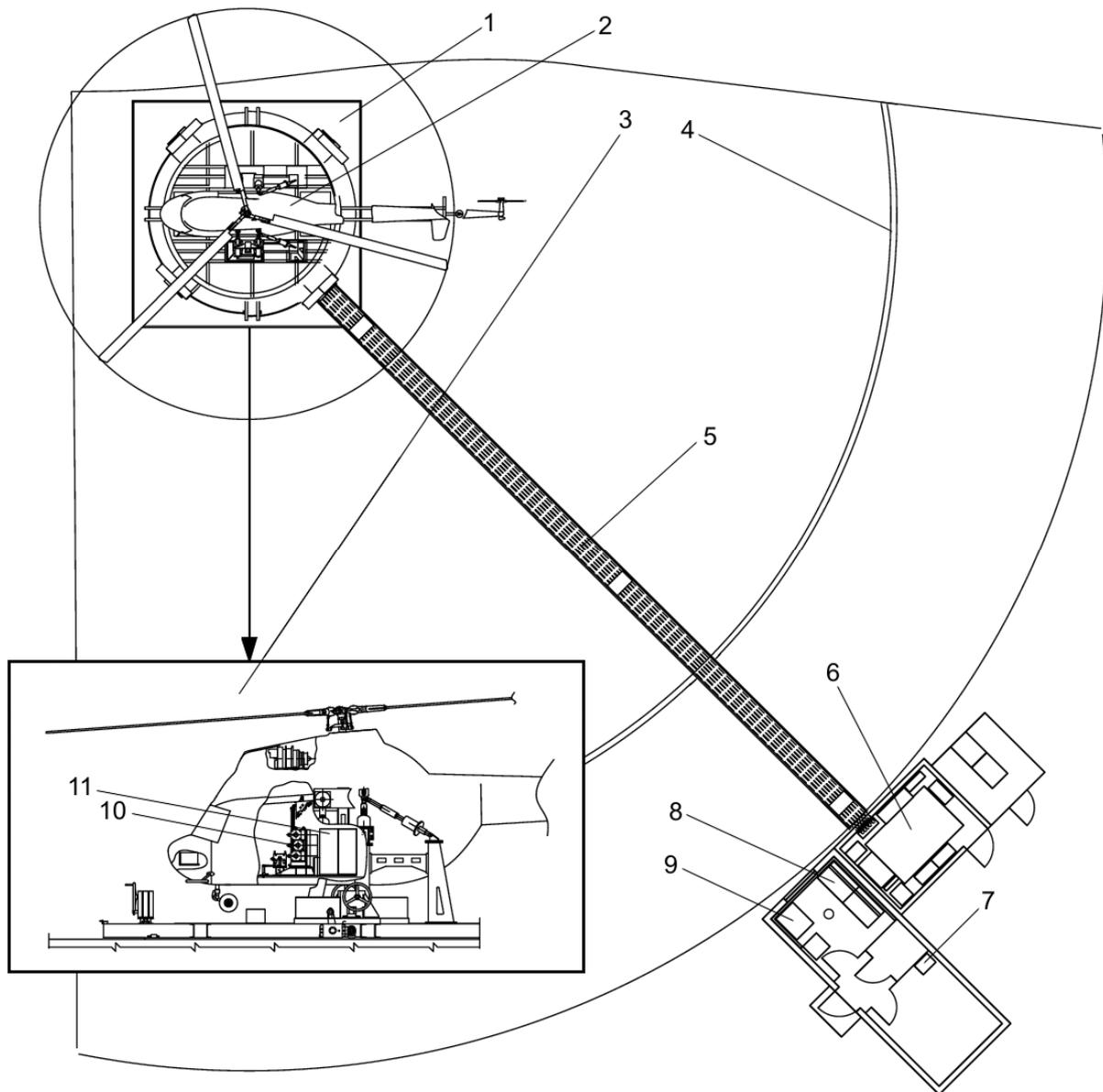


Рис. 1. Общая схема ресурсного стенда:

1 – поворотная платформа; 2 – вертолет МСБ-2; 3 – врезка с боковым видом платформы и вертолета;

4 – защитное ограждение; 5 – кабельный канал; 6 – бокс источников питания и сервоусилителей;

7 – шкаф УСО2; 8 – пульт управления; 9 – стойка с PC1 и PC2 ПТК-МСБ-2;

10 – кронштейны с серводвигателями управления вертолетом; 11 – шкаф УСО1

объектом (УСО) – УСО1 и УСО2. Шкаф УСО1 установлен непосредственно в вертолёт, а шкаф УСО2 – в специальном боксе за пределами защитного ограждения (см. рис. 1).

Модули измерительных блоков шкафов УСО1 и УСО2 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 контроллер УСО.

Контроллер УСО выполняет сбор и обработку данных от модулей ЛК, модулей дискретного ввода-вывода и, а также выдачу сигналов и управляющих команд с периодом 20 мс по сети Ethernet 100BaseT.

Верхний уровень ПТК – две рабочие станции (PC1 и PC2) и принтер. Рабочие станции реализованы на базе промышленных компьютеров и работают под управлением ОС реального времени QNX 4.25 и оболочки Photon 1.14.

В ПТК реализованы две сети - локальная сеть Ethernet 100BaseT и измерительная сеть RS-485 1 Мбит. Сеть Ethernet объединяет через сетевой концентратор PC1, PC2 и контроллер УСО.

К сети Ethernet подключён ARINC-модуль, обеспечивающий приём информации от САУД двигателей АИ-450М – двух блоков РДЦ-450М.

Управление серводвигателями/сервоусилителями осуществляется по технологическому каналу с использованием 8-портового асинхронного сервера RS-232/422/485 в Ethernet MOXA NPort 5600-8-DT, установленного в шкафу УСО2.

4. Программное обеспечение ПТК

Программное обеспечение (ПО) ПТК делится на общесистемное (протокол TCP/IP, графическая среда Photon, набор русских шрифтов для графической среды Photon, драйвер кириллицы) и специальное. Основные функции ПО:

- управление программами и протоколами данных;
- реализация технологических операций;
- контроль, обработка и регистрация параметров объекта, ведение и просмотр баз данных;
- автоматическое управление;
- метрологические исследования, калибровка и поверка измерительных каналов;
- настройка и подготовка ПТК к испытанию объекта;
- предоставление справочной информации.

ПО ПТК работает в режиме испытаний и автономном режиме. Выбор режима выполняется перед запуском ПО в программе авторизации доступа.

В режиме испытаний запускаются программы УСО и выполняется приём и обработка сигналов с датчиков, выдача дискретных команд управления.

В автономном режиме УСО не активны, а на PC можно выполнять просмотр ранее записанных баз данных и выполнять настройку ПО ПТК.

ПО ПТК обладает следующими временными характеристиками:

- период поступления данных с датчиков составляет 20 мс;
- период осреднения и визуализации данных составляет 200 мс.

В ходе запуска ПО в режиме испытаний выполняются следующие проверки с уведомлением пользователя:

- объёма оперативной памяти на сетевых узлах ПТК;
- свободного места на дисках PC1 и PC2;
- верификация программного изделия;
- доступности сетевого узла;
- тестирование измерительных каналов.

В ходе работы автоматически выполняется следующие проверки:

- тестирование измерительных каналов;
- обнаружение сбоя при обмене с контроллером УСО.

Запуск ПИ возможен при отказе отдельных измерительных каналов, а также при отказе PC2. При этом прекращается выполнение функций отказавших компонентов.

ПО обеспечивает формирование выходных данных ПТК в следующих видах:

- в визуальном виде, когда текущие значения параметров отображаются на экранах рабочих станций в графической и табличной форме. При этом выполняется контроль ошибок, осреднение параметра за период, равный интервалу визуализации и, при необходимости, математическая обработка;

- в виде протокола испытания, который представляется в двух видах: экранном и печатном. Форма протокола зависит от конкретной технологической операции и может задаваться с помощью текстовых файлов-шаблонов с помощью специального редактора шаблонов протоколов. Данные печатаются в соответствии с этой формой из специального буфера, в котором содержатся протоколируемые значения. Этот буфер подготавливается главным модулем программы при печати протокола контрольной точки и модулем операции запуска при печати протоколов запуска;

- в виде баз данных, просмотр которых возможен при помощи интегрированной программы просмотра;

- в виде сообщений, которые выводятся на экран или в электронный журнал;

- в виде управляющих воздействий, обеспечивающих реализацию функций управления стендовыми системами по заданным алгоритмам.

5. Разработка средств автоматизации ресурсных испытаний

Целью модернизации являются:

- введение автоматической аварийной защиты;
- автоматизация управления циклическими испытаниями агрегатов, узлов, силовой установки и несущей системы вертолѐта МСБ-2.

Автоматическая защита объекта испытаний при возникновении аварийных ситуаций обеспечена существующими программными средствами ПТК-МСБ-2. Реализовано 17 алгоритмов, позволяющих анализировать параметры и сигналы, характеризующие работу силовой установки, трансмиссии, гидросистемы и агрегатов дистанционного управления вертолѐтом. Результатом работы алгоритмов является выдача управляющих сигналов на сервоусилители, блоки РДЦ-450М и насосы-дозаторы НД-450М, препятствующих аварийным ситуациям.

Выбранный принцип автоматизации циклических испытаний базируется на понятиях режима испытаний, цикла испытаний и этапа испытаний.

Режим испытаний представляет собой режим работы двигателя, при котором поддерживается заданная мощность двигателя N_e как функция общего шага несущего винта $\phi_{\text{ош}}$. Для компенсации разворота вертолѐта на платформе предусмотрено изменение общего шага рулевого винта $\phi_{\text{рв}}$ по режимам.

Предусмотрен редактор режимов, в котором задаётся наименование режима, характеристика режима по N_e и соответствующих ей $\phi_{\text{ош}}$ и $\phi_{\text{рв}}$.

Минимальной единицей автоматизации является испытательный цикл (ИЦ), состоящий из набора режимов работы двигателя и временных переходов от одного режима к другому.

Предусмотрен редактор ИЦ, который предоставляет оператору возможность задать название ИЦ (тип ИЦ), количество режимов и переходов, длительность режимов (в минутах и секундах), длительность переходов (в секундах).

Максимальной единицей автоматизации является этап. Типичный этап испытаний состоит из запуска двигателя, выхода на режим ЗМГ, последовательности ИЦ, снижения режима до ЗМГ, охлаждения и останова двигателя.

Процесс начала этапа (запуск двигателя, выход на режим ЗМГ, прогрев) и конца этапа (возврат на режим ЗМГ, охлаждение и останов) не автоматизируются и выполняется оператором в соответствии с требованиями, изложенными в [2, 3]. Предусмотрен

редактор этапов, в котором задаются название этапа (тип этапа), количество и тип ИЦ.

Для коррекции изменения N_e в зависимости от внешних условий (P_n , t_n) и направления ветра программно реализован пропорциональный регулятор, подбирающий требуемый $\phi_{\text{ош}}$.

Предусмотрено нормальное и аварийное прерывание ИЦ. Аварийное прерывание выполняется автоматически – по результатам работы алгоритмов автоматической защиты или по выбору оператора – согласно указаниям, приведенным в РЭ вертолѐта. При аварийной остановке двигателя оператором ПТК, согласно указаниям в РЭ вертолѐта, обеспечивается возможность в последующем продолжить испытания с текущего (прерванного) ИЦ. Нормальное прерывание ИЦ выполняется по выбору оператора после его окончания с последующей остановкой двигателей вручную согласно указаниям, приведенным в РЭ вертолѐта. Нормальное прерывание ИЦ используется для проведения плановых технических осмотров или для дозаправки вертолѐта топливом. При нормальном прерывании предусмотрено возобновление этапа со следующего ИЦ.

В любой момент циклических испытаний оператор имеет возможность перейти на ручное управление ПТК изменив рычагом на пульте управления положение $\phi_{\text{ош}}$ или нажав соответствующую кнопку. При выполнении перехода на ручное управление ПТК выдаёт управляющий сигнал на серводвигатель задания $\phi_{\text{ош}}$, соответствующий положению минимального шага и выдаёт в РДЦ-450М сигнал “ЗМГ/АР” (минимальный установившийся режим работы двигателя).

Заключение

Описанные в разделе 5 средства разработаны, протестированы, прошли опережающие испытания на полигоне ПТК на АО “Элемент”. Проводится поэтапное уточнение и внедрение указанных средств непосредственно на ресурсном стенде.

Литература

1. Программно-технический комплекс ПТК-МСБ-2. Руководство пользователя. АХ-ША.442293.005-13 ИЗ [Текст]. – АО “Элемент”, 2017. – 32 с.
2. Турбовальный двигатель АИ-450М, АИ-450М1. Руководство по технической эксплуатации. 4500050000 РЭ [Текст]. – ГП “Ивченко-Прогресс”, 2012. – 318 с.
3. Стенд ресурсных испытаний вертолѐта МСБ-2. Руководство по эксплуатации. У6894-5200 РЭ [Текст]. – АО “Мотор Сич”, 2017. – 117 с.

References

1. *Programmno-tekhnicheskii kompleks PTK-MSB-2. Rukovodstvo pol'zatelya. AKhShA.442293.005-13 I3* [Program-technical complex PTK-MSB-2. User Guide AHSNA.442293.005-13 I3]. JSC "Element", 2017. 32 p.
2. *Turboval'nyi dvigatel' AI-450M, AI-450M1. Rukovodstvo po tekhnicheskoi ekspluatatsii.*

4500050000 RE [AI-450M, AI-450M1 Turboshift engine. Technical Operation Manual. 4500050000 RE]. SE "Ivchenko-Progress", 2012. 318 p.

3. *Stend resursnykh ispytaniy vertoleta MSB-2. Rukovodstvo po ekspluatatsii. U6894-5200 RE* [Resource test stand for the helicopter MSB-2. User manual. U6894-5200 RE]. JSC "Motor Sich", 2017. 117 p.

Поступила в редакцию 24.04.2018, рассмотрена на редколлегии 27.07.2018

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПТК-МСБ-2 ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕСУРСНИХ ВИПРОБУВАНЬ ВЕРТОЛЬОТІВ

Н. М. Лопунова, В. В. Нерубаський

Наводиться загальний опис складу та структури відкритого стенду для ресурсних випробувань вертольоту МСБ-2. Зазначено, що основним засобом автоматизації стенду є програмно-технічний комплекс ПТК-МСБ-2. Описуються основні елементи і принципи роботи апаратної частини ПТК-МСБ-2. Детально розглянуті програмні засоби ПТК-МСБ-2, їх основні функції та особливості функціонування. Перераховуються цілі модернізації ПТК-МСБ-2, описуються принципи реалізації алгоритмів аварійного захисту і автоматизації ресурсних випробувань вертольотів. Скорочено викладені особливості автоматизації випробувань в штатних і позаштатних ситуаціях.

Ключові слова: програмно-технічний комплекс, ресурсні випробування, відкритий стенд ресурсних випробувань, автоматизація випробувань, дистанційне керування

MODERNIZATION OF THE PTK-MSB-2 PROGRAMM-TECHNICAL COMPLEX FOR AUTOMATION OF HELICOPTERS RESOURCE TESTING

N. N. Lopunova, V. V. Nerubaskiy

Today, Motor Sich JSC is developing its helicopter production. At the same time, great attention is paid to the creation of an infrastructure that should provide a full cycle of development and testing of new and modernized helicopter assemblies. For resource testing of the power plant, the carrier system and transmission of the MSB-2 helicopter was created an open stand. To modernization the stand the program-technical complex PTK-MSB-2 was developed and implemented.

A general description of the composition and structure of the open rig for resource testing of the MSB-2 light helicopter is given. The rig equipment includes a control panel with helicopter remote control, power supplies, sensors and actuators, communication channels. The control panel allows performing all technological operations for start/stop of two AI-450M turboshaft engines, helicopter remote control along seven channels (using seven servo-amplifiers/servomotors). It is indicated that the main means of automation of the rig is the PTC-MSB-2 program-technical complex. The basic elements and principles of operation of the hardware of PTC-MSB-2 are described. PTC-MSB-2 hardware consists of two hierarchical levels: the lower and the upper. Lower level consists of the cabs of the communication device with the object. The upper level of the PTC is two workstations (WS1 and WS2) and matrix printer. The software tools of PTC-MSB-2, their main functions and features of functioning are considered in detail. It is noted that the Running the software components is possible when the individual measuring channels fail, and when the WS2 fails. At the same time, the functions of the failed components are terminated.

The goals of the modernization of the PTC-MSB-2 are listed, the principles for the implementation of algorithms for emergency protection and automation of helicopter resource testing are described. The chosen principle of automation of cyclic tests is based on the concepts of test mode, test cycle and test stage. There is a normal and emergency interruption of the test cycle. With a normal interruption, it is possible to resume the test stage from the next test cycle. The features of testing automation in regular and abnormal situations are briefly described.

Keywords: program-technical complex, resource tests, open resource test rig, test automation, remote control.

Лопунова Ніна Николаевна – ведуший программіст бюро розробки програмного забезпечення, АО «Елемент», Одеса, Україна, e-mail: odessa@element.od.ua.

Нерубаський Вадим Владимирович – старший научний співробітник бюро розробки програмного забезпечення, АО «Елемент», Одеса, Україна, e-mail: odessa@element.od.ua.

Lopunova Nina Nikolayevna – leading programmer of software development bureau, JSC «Element», Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua.

Nerubasskiy Vadym Vladimirovich – senior researcher of software development bureau, JSC «Element», Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua.