

УДК 681.518:681.515:621.452.3

Д. С. БУРУНОВ, А. О. ТАРАНИШИН

АО «Элемент», Одесса, Украина

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ГТД

Описаны основные проблемы при проведении испытаний современных электронных регуляторов газотурбинных двигателей (ГТД). Рассмотрена возможность автоматизации испытаний при серийном производстве регуляторов ГТД на примере электронных регуляторов двигателя семейства РДЦ-450М. Приведены результаты работы по созданию программного обеспечения, которое позволит автоматизировать проверку функционирования электронных регуляторов РДЦ-450М. По результатам проделанной работы были сделаны выводы о дальнейшем развитии направления автоматизации проверки электронных регуляторов двигателя семейства «РДЦ-450М».

Ключевые слова: электронный регулятор, автоматизация испытаний, стенд-имитатор, плагин.

Введение

Электронный регулятор ГТД представляет собой многофункциональное устройство, с большим количеством алгоритмов управления и исполняющих функций, число и сложность которых только увеличивается с усовершенствованием двигателей. Так как надежность является первостепенным требованием к авиационному оборудованию, это приводит к увеличению качественных и количественных показателей испытаний, необходимых на различных стадиях жизненного цикла электронного регулятора ГТД.

1. Постановка задачи

Сегодня АО «Элемент» разрабатывает и представляет электронные регуляторы ГТД семейства РДЦ-450М для различных типов и модификаций двигателей, среди которых: АИ-450М, АИ-450М-Б, АИ-450-В, АИ-450СР-2 и др. Для обеспечения требуемой надежности электронных регуляторов необходим комплекс испытаний, который можно разделить на две категории:

- метрологические исследования и калибровка измерительных и вычислительных каналов регулятора;
- проверка работы алгоритмов управления и контроля.

Метрологические исследования и калибровка проводятся при помощи стандартных и специализированных средств измерительной техники. Примером является разработанный АО «Элемент» стенд для градуировки СГ-450 (децимальный номер АХША.442293.082), который обеспечивает имитацию выходных сигналов датчиков неэлектрических

величин в заданных диапазонах и предназначен для использования при градуировке и проверке характеристик каналов преобразования аналоговых сигналов электронных регуляторов семейства РДЦ-450М.

Для проверки работы алгоритмов управления и контроля необходимо наличие:

1. Специализированного стенда-имитатора газотурбинного двигателя с интегрированной математической моделью (ММ), который позволит проводить испытания электронных регуляторов без реального двигателя. Для этого стенд-имитатор должен обладать следующей функциональностью:

- имитацией всех аналоговых и дискретных сигналов, поступающих к регулятору от узлов, агрегатов и датчиков двигателя;
- приемом управляющих сигналов от электронного регулятора;
- выполнением вычислений и формированием множеств взаимозависимых значений параметров (в виде аналоговых, дискретных и цифровых сигналов) каждое из которых соответствует одному из режимов работы двигателя, согласно заранее заданным зависимостям, отражающим характеристики реального двигателя в виде математической модели АИ-450М [1].

2. Требуется контрольно-проверочная аппаратура (КПА), которая позволяет проводить настройку, контроль состояния и техническое обслуживание агрегатов и систем ГТД (в нашем случае это стенд-имитатор ГТД) через взаимодействие с блоком РДЦ-450М.

КПА электронного регулятора двигателя должна выполнять следующие функции:

- ввод эксплуатационных и доводочных регулировок для корректировки законов управления двигателем;

- считывание и редактирование информации с блока электронного регулятора двигателя;

- регистрацию параметров при проведении приемо-сдаточных и других наземных испытаний электронного регулятора путем формирования и записи баз данных, на основе представленных в цифровой форме выдаваемых электронным регулятором параметров;

- сохранение баз данных на цифровой носитель информации;

- калибровку насоса-дозатора [2].

3. Необходимо специализированное ПО которое позволит проводить проверку работы алгоритмов контроля и управления, взаимодействуя с КПА, стендом-имитатором (СИ) и электронным регулятором РДЦ-450М.

Первая разработка АО «Элемент» специализированного стенда для имитации работы ГТД АИ-450 (СИ-450М) относится к 2003-2005 годам. На сегодняшний день это современный, хорошо отлаженный и функционирующий прибор, который прошел государственную аттестацию (аттестат №3-0139 от 02.09.2013). СИ-450М имеет всю необходимую функциональность, позволяющую построить на его основе систему проверки работы алгоритмов контроля и управления электронных регуляторов двигателя «РДЦ-450М».

Разрабатываемая АО «Элемент» КПА-450М состоит из устройства согласования (УС) и программного изделия (ПИ), устанавливаемого на персональный компьютер. Базовый вариант программного изделия КПА-450М обладает полной функциональностью, которая позволяет испытателю (путем взаимодействия КПА-450М, СИ-450М и РДЦ-450М) проводить проверку работы алгоритмов управления и контроля электронных регуляторов.

Увеличивающиеся темпы производства, вызванные большой потребностью рынка в данных регуляторах и необходимость обеспечения их надежности приводят к значительному увеличению трудозатрат и времени, которое требуется для проведения испытаний, что особенно важно при серийном производстве.

Одним из вариантов уменьшения трудозатрат при одновременном повышении качественных показателей испытаний является автоматизация этого процесса. Автоматизация – высший этап в развития техники, для которого характерно осуществление производственных, управленческих и иных общественно необходимых процессов без непосредственного участия в них человека.

Повышение степени автоматизации производственных процессов ведет к повышению стабильности технологического процесса, уменьшению воздействия человеческого фактора, сокращению сро-

ков технологических циклов, что в конечном итоге положительно сказывается на качестве готовой продукции и ведет к снижению ее себестоимости. Достижение этой цели обеспечивается:

- автоматизацией процессов сбора, накопления и обработки результатов испытаний;

- автоматизацией управления испытательным и задающим (температура, напряжение, влажность, давление) оборудованием и объектами испытаний;

- применением вычислительной техники [2].

Первоочередной является автоматизация проверки работы алгоритмов управления и контроля электронных регуляторов РДЦ-450М. Проверка работы таких сложных алгоритмов, которые характеризуются большим количеством взаимосвязей, требует значительного количества времени и человеческих ресурсов.

Базу, необходимую для автоматизации составляют:

- СИ-450М с интегрированной математической моделью, который позволяет заменить реальный двигатель, имитируя все аналоговые и дискретные сигналы, поступающие к регулятору от узлов, агрегатов и датчиков двигателя;

- КПА которая в совокупности с ПО, СИ-450М и электронным регулятором РДЦ-450М позволяет проводить испытания.

Для автоматизации проверки работы алгоритмов управления и контроля, необходимо специализированное ПО, которое способно с минимальным участием человека проводить проверку алгоритмов управления и контроля согласно техническим условиям на электронный регулятор РДЦ-450М. Комплекс можно представить в виде блок-схемы, показанной на рисунке 1.

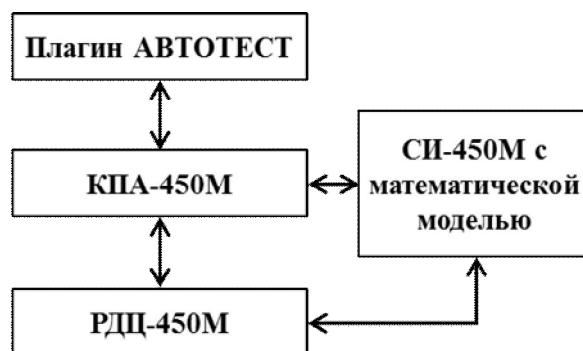


Рис. 1. Структура комплекса автоматизированной проверки алгоритмов блока РДЦ-450М

Где плагин «АВТОТЕСТ» это – программное обеспечение, позволяющее расширить функциональность программного изделия КПА-450М, обеспечивая возможность автоматизации проверки работы алгоритмов управления и контроля.

2. Решение задачи

Был разработан плагин, который взаимодействуя с программным изделием КПА-450М и СИ-450М, будет осуществлять (согласно методикам, изложенным в ТУ на регулятор) автоматическую проверку работы алгоритмов контроля и управления электронного регулятора РДЦ-450М, десятичный номер АХША.421417.002.

Скриншот окна запущенного плагина «АВТОТЕСТ» представлен на рисунке 2. После запуска плагин начинает проводить проверку работы алгоритмов управления и контроля в автоматическом режиме. На экране отображается описание и номер проверки (согласно техническим условиям). В столбцах «Состояние» и «Результат» отображается ход выполнения и результат каждой проверки соответственно. В окне плагина отображается номер текущей проверки и общий ход выполнения. Независимо от результата проверки каждого конкретного пункта (пройдено или не пройдено) производится запись базы данных, с отображением ее названия (название базы привязывается ко времени). При необходимости можно открыть базу данных и выполнить ее анализ. Применение автоматизации процесса проверки позволит:

- исключить влияние человеческого фактора;

- сократить затрачиваемое время на проверку алгоритмов управления и контроля времени выполнения.

При одновременном сокращении времени испытаний будет обеспечено повышение показателей качества и надежности производимых АО «Элемент» электронных регуляторов.

В результате трудозатраты, которые необходимы для проверки работы алгоритмов одного электронного регулятора будут уменьшены в 4-4,5 раз.

3. Направления дальнейшего развития

Такие электронные регуляторы ГТД как РДЦ-450М являются многофункциональными устройствами, для которых необходим комплекс испытаний, таких как:

- метрологические исследования и калибровка измерительных и вычислительных каналов регулятора;

- проверка работы алгоритмов управления и контроля.

Разработанный плагин для программного изделия КПА-450М позволит автоматизировать проверку работы алгоритмов управления и контроля, но он не может использоваться для исследования метрологических характеристик регулятора.

№	п.п. ТУ	п.п. ТЗ	Описание пункта проверки	Состояние	Результат	База
0	-	-	Версия MyShell.exe	выполнено	пройдено	
1	-	-	Версия rcmngr.exe	выполнено	пройдено	
2	-	-	Входные сигналы	выполнено	пройдено	07:46:42
3	-	-	Выходные команды	выполнено	пройдено	07:47:42
4	-	-	Сигналы САС	выполнено	пройдено	07:47:05
5	4.13.1.1	-	Формирование признака S tct пред зап	выполнено	пройдено	07:48:10
6	4.13.1.2	-	Формирование признака S t*r max	выполнено	пройдено	07:48:14
7	4.13.1.3	-	Формирование признака S t*r пред	выполнено	пройдено	07:48:31
8	4.13.1.4	-	Формирование признака S ngr max	выполнено	пройдено	07:49:00
9	4.13.1.5	-	Формирование признака S ngr пред	выполнено	пройдено	07:49:46
10	4.13.1.6	-	Формирование признака S nct max	выполнено	пройдено	07:50:44
11	4.13.1.7	-	Формирование признака S nct пред	выполнено	пройдено	07:51:25
12	4.13.1.8	-	Формирование признака S nct min	выполнено	пройдено	07:51:54
13	4.13.2.1	-	Формирование признака S tm пред	выполнено	пройдено	07:52:27
14	4.13.2.2	-	Формирование признака S tm min реж	выполнено	пройдено	07:52:48
15	4.13.2.3	-	Формирование признака S tm min	выполнено	пройдено	07:53:08

Следующая проверка № 17 / 51 Разрешить повторные проверки

Рис. 2. Окно запущенного плагина АВТОТЕСТ

Метрологические исследования и калибровка менее трудозатратны (примерно в 1,5 раза) чем проверка работы алгоритмов. Однако, их автоматизация более сложная, но не менее необходимая задача. Одним из направлений, разрабатываемых в АО «Элемент» является автоматизация исследования метрологических характеристик.

На сегодняшний день для градуировки каналов преобразования РДЦ-450М используется стенд для градуировки СГ-450. Автоматизация такого устройства требует новых программных и аппаратных решений, которые позволят автоматически осуществлять множественные переключения, измерения и градуировку каналов преобразования. Кроме того, для проведения всех необходимых метрологических исследований необходимо автоматизировать целый ряд оборудования:

- программно-управляемую камеру тепла и холода КТХ, которая должна быть настроена на поддержание определенных режимов работы и иметь возможность двухстороннего обмена с компьютером;

- программно-управляемый источник питания, который служит для проверки алгоритмов управления и контроля при повышенном и пониженном напряжении питания;

- программно-управляемый датчик давления, который необходим для калибровки встроенного в регулятор датчика давления наружного воздуха;

- программно-управляемую камеру влажности, которая используется при проверке выполнения алгоритмов контроля и управления в условиях повышенной влажности. Камера влажности должна быть настроена на поддержание определенных режимов и иметь возможность двухстороннего обмена с компьютером.

Главную роль будет выполнять специализированное программное обеспечение, которое позволит автоматизировать не только проверку алгоритмов контроля и управления, но и метрологические исследования, и калибровку измерительных и вычислительных каналов регулятора, взаимодействуя с большим количеством оборудования.

Работа в этом направлении уже ведется АО «Элемент».

Заключение

Функциональность современных регуляторов двигателей будет расти, что в свою очередь определит рост количественных показателей испытаний.

Автоматизация испытаний нужна как для уменьшения необходимого времени, так и для повышения качества этих испытаний, так как надежность это требование номер 1 для любой авиационной аппаратуры, тем более такой значимой и сложной как электронный регулятор ГТД.

Реализация автоматизации проверки алгоритмов контроля и управления определила необходимость разработки плагина для программного изделия КПА-450М. Плагин «АВТОТЕСТ» разработан АО «Элемент» и позволит автоматизировать проверку алгоритмов управления и контроля, снижая трудозатраты на этапе производства регуляторов.

Следующим шагом является автоматизация исследования метрологических характеристик.

Литература

1. Буряченко, А. Г. Стенд-имитатор турбовального двигателя АИ-450М для испытаний регулятора двигателя. Метрологическое обеспечение и аттестация стенда [Текст] / А. Г. Буряченко, В. М. Грудинкин, Д. С. Бурунов // Вестник двигателестроения. – 2015. – № 2. – С. 95–101.

2. Нерубасский, В. В. Перспективы развития контрольно-проверочной аппаратуры для семейства электронных САУ АО «Элемент» [Текст] / В. В. Нерубасский, И. К. Лопашенко // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2017. – № 8. – С. 139–142.

References

1. Buryachenko, A. G., Grudinkin, V. M., Burunov, D. S. Stend-imitator turboval'nogo dvigatelya AI-450M dlya ispytaniy regul'yatora dvigatelya. Metrologicheskoe obespechenie i attesta-tsiya stenda [Test bench-imitator of engine AI-450M for engine regulator testing. İetrological security and test bench verification]. *Vestnik dvigate-lestroeniya*, 2015, no. 2, pp. 95–101.

2. Nerubasskij, V. V., Lopashhenko, I. K. Perspektivy razvitija kontrol'no-proverochnoj apparatury dlja semejstva jelektronnyh SAU AO «Jelement» [The future of the checkout equipment for the family of ECU developed by JSC «Element»]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2017, no. 8(143), pp. 139–142.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИПРОБУВАНЬ ЕЛЕКТРОННИХ РЕГУЛЯТОРІВ ГТД*Д. С. Бурунов, А. О. Таранишин*

Описано основні проблеми при проведенні випробувань сучасних електронних регуляторів газотурбінних двигунів (ГТД). Розглянуто можливість автоматизації випробувань при серійному виробництві регуляторів ГТД на прикладі електронних регуляторів двигуна сімейства РДЦ-450М. Наведено результати роботи по створенню програмного забезпечення, що дозволить автоматизувати перевірку функціонування електронних регуляторів РДЦ-450М. За результатами проведеної роботи були зроблені висновки про подальший розвиток напрямку автоматизації перевірки електронних регуляторів двигунів сімейства «РДЦ-450М».

Ключові слова: електронний регулятор, автоматизація випробувань, стенд-імітатор, плагін.

AUTOMATION OF VERIFICATION OF ELECTRONIC REGULATORS OF GTE*D. S. Burunov, A. O. Taranishin*

To ensure the required reliability of electronic regulators, a complex of tests is required, consisting of metrological studies and testing of the operation of control and monitoring algorithms. Metrological studies and calibration are carried out using standard and specialized measuring equipment. To test the control and monitoring algorithms a specialized gas turbine engine simulator with a built-in mathematical model is required. In addition, control and verification equipment and specialized software are needed. The increasing production rates caused by the large market demand in these regulators and the need to ensure reliability lead to a significant increase in labor costs and the time required for testing, which is especially important in batch production. One of the options for reducing labor costs and improving the quality of test scores is the automation of this process. Automation - the highest stage in the development of technology, which is characterized by the implementation of production management and other socially necessary processes without direct participation in them. Increasing the degree of automation of the enterprise leads to an increase in the stability of the technological process, reducing the impact of the human factor, improving the transparency of production, which ultimately positively affects the quality of finished products. The use of automation of the testing process excludes the influence of the human factor, allows for more extensive testing of the operation of the control and monitoring algorithms. When testing time is shortened, the quality and reliability indicators of Element electronic regulators produced by Element JSC are improved. As a result, the estimated effort required to test the operation of the algorithms of one electronic regulator will be reduced by 4-5 times. The main problems in testing modern electronic gas turbine engine (GTE) regulators are described. The possibility of test automation in the mass manufacturing of gas turbine regulators by the example of the electronic regulators of an engine of a family RDTs-450M. Future direction of testing development of had detected.

Keywords: electronic regulator, test automation, simulator stand, plug-in

Бурунов Дмитрий Сергеевич – ведущий инженер, начальник бюро разработки аппаратных средств АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua.

Таранишин Андрей Олегович – инженер-электроник бюро разработки аппаратных средств, АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua.

Burunov Dmitry Sergeevich – leading engineer, head of the hardware development bureau, JSC «Element, Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua.

Taranishin Andrey Olegovich – electronics engineer of the hardware desing bureau, JSC «Element», Odessa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua.