

А. Г. БУРЯЧЕНКО, Д. С. БУРУНОВ, В. М. ГРУДИНКИН, А. О. ТАРАНИШИН

АО «Элемент», Одесса, Украина

СТЕНД-ИМИТАТОР АВИАДВИГАТЕЛЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ РЕГУЛЯТОРОВ

Описана работа, проведенная на предприятии АО «Элемент», по созданию специализированных стендов-имитаторов авиационных ГТД, служащих для обеспечения настройки, отладки и испытаний ряда цифровых регуляторов вертолетных и самолетных двигателей (турбовальных и турбовинтовых), разработчиком и изготовителем которых является предприятие. Компактные стенды-имитаторы обеспечивают проверку всех функций регулятора и позволяют отказаться от использования громоздких полунатурных стендов, по крайней мере, для 95 % испытаний. Стенд-имитатор представляет собой программно-аппаратный комплекс, имитирующий двигатель как взаимодействующую с регулятором систему за счет имитации всех аналоговых, дискретных и цифровых сигналов. Стенд имитирует сигналы, поступающие к регулятору от датчиков, агрегатов и систем двигателя, обеспечивает прием управляющих сигналов от регулятора. Кроме того, стенд выполняет вычисления и формирует множества взаимозависимых значений параметров (в виде аналоговых, дискретных и цифровых сигналов), каждое из которых соответствует одному из режимов работы двигателя согласно заранее заданным функциональными зависимостям, отражающим характеристики двигателя – математической модели двигателя. Стенды проходят аттестацию в объеме программы, согласованной с ГП «Запорожьстандартметрология» и верифицируются посредством сравнения результатов испытаний регулятора на стенде-имитаторе и в составе двигательных стендов Заказчика (разработчика двигателя). Показано, что модульная структура первого из разработанных на предприятии стендов-имитаторов (базового) и резерв, предусмотренный в его структуре, способствовали упрощению его последующей адаптации под реализацию моделей новых типов двигателей. Приведены сведения о стендах, имитирующих двигатели AI-450M, AI-450C, AI-450C-1, AI-450T (для беспилотного летательного аппарата) и MC-500B-02C. Показано, что стенды-имитаторы обеспечивают комплекс испытаний при разработке и серийном выпуске на предприятии регуляторов РДЦ-450M, РДЦ-450M-C, РДЦ-450M-C-1, РДЦ-450M-C-T-P, РДЦ-450C-500.

Ключевые слова: комплектующее изделие авиационной техники; испытательное оборудование; математическая модель; модульная структура.

Введение

АО «Элемент» является разработчиком и изготовителем бортовой электронной аппаратуры, в том числе – ряда регуляторов двигателей, обеспечивающих контроль, защиту и управление режимами работы авиационных ГТД, а именно:

– РДЦ-450M – для семейства турбовальных двигателей AI-450M вертолетов Ми-2М и Ми-2МСБ – регулятор имеет Свидетельство о годности комплектующего изделия от Авиационного регистра Межгосударственного авиационного комитета и аналогичное Свидетельство от Госавиаслужбы Украины [1];

– РДЦ-450M-C – для турбовинтового самолетного двигателя AI-450C – регулятор сертифицирован в составе двигателя согласно действующим Авиационным правилам Украины АПУ-21;

– РДЦ-450M-C-1 – для модификации двигателя AI-450C (AI-450C-1) – регулятор квалифициро-

ван в Авиационном регистре Межгосударственного авиационного комитета;

– РДЦ-450M-C-T-P – для двигателя AI-450T – регулятор прошел межведомственные испытания, документации присвоена литера «O₁»;

– РДЦ-450C-500 – для турбовинтового двигателя MC-500B-02C – регулятор проходит испытания в составе двигателя.

Одно из важнейших условий успешного выполнения разработок, сертификации (квалификации) разработанных регуляторов, их постановки на производство, а также их дальнейшего серийного выпуска – это проведение комплекса необходимых испытаний, от предварительных до квалификационных и от приемо-сдаточных до периодических и типовых, как на стадии, предшествующей серийному выпуску, так и после его освоения. Поэтому одним из направлений деятельности АО «Элемент» является создание специализированного испытательного оборудования, в частности – стендов-

имитаторов авиадвигателя, обеспечивающих отработку и проверку выполнения регулятором функций по управлению, защите и контролю.

Стенд-имитатор [2] представляет собой программно-аппаратный комплекс, имитирующий двигатель как взаимодействующую с регулятором систему за счет:

- имитации всех аналоговых, дискретных и цифровых сигналов, поступающих к регулятору от датчиков, агрегатов и систем двигателя;
- приема управляющих сигналов от регулятора;
- выполнения вычислений и формирования множеств взаимозависимых значений параметров (в виде аналоговых, дискретных и цифровых сигналов), каждое из которых соответствует одному из режимов работы двигателя, согласно заранее заданным функциональными зависимостям, отражающим характеристики двигателя – математической модели двигателя.

1. Постановка задачи

Уже на первом этапе работ по созданию регуляторов авиадвигателей, а именно при разработке регулятора двигателя цифрового РДЦ-450М, задача по обеспечению отладки и испытаний регулятора была сформулирована как необходимость максимально достижимой замены традиционных для предшествующих стадий громоздких и энергозатратных полунатурных стендов на компактный автоматизированный стенд-имитатор, основой которого является математическая модель двигателя, интегрированная в состав программного обеспечения стенда.

Предпосылками возможности такой замены явились достигнутые к тому времени:

- достаточно высокий уровень изучения характеристик двигателя (включая датчики, агрегаты и исполнительные механизмы) и режимов его работы, обеспечивший формирование адекватной математической модели;
- развитие электронных компонентов, имеющих высокую степень интеграции, включая широкое распространение микроконтроллеров, и возможность программной реализации упомянутой математической модели на их базе.

Решение АО «Элемент» указанной задачи в отношении регулятора РДЦ-450М можно считать полностью решенной к 2013 году. Математическая модель двигателя АИ-450М, насоса-дозатора НД-450М и винта, сформированная в результате сотрудничества ГП «Ивченко-Прогресс», НАУ им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» и АО «Элемент», получила программную реализацию

в составе стенда-имитатора СИ-450М, который по размерам не превышал системного блока персонального компьютера тех лет.

Стенд был верифицирован посредством сравнения с результатами, полученными при испытаниях регулятора в составе реального объекта, и прошел государственную аттестацию в ГП «Запорожье-стандартметрология».

Таким образом, задача обеспечения испытаний регулятора РДЦ-450М турбовального вертолетного двигателя была решена, однако вскоре после его постановки на производство перед АО «Элемент» была поставлена задача разработки регуляторов для турбовинтового самолетного двигателя АИ-450С и его модификаций, а затем – для турбовинтового двигателя МС-500В-02С. Это повлекло за собой постановку задачи создания соответствующих специализированных стендов-имитаторов.

2. Результаты

Уже при разработке СИ-450М были учтены и использованы подходы, применявшиеся при разработке собственно регулятора РДЦ-450М и способствующие повышению как ремонтпригодности, так одновременно и «модифицируемости» изделия, то есть облегчению последующей целенаправленной адаптации его под новые задачи, а именно:

- разработка модульной электрической (схемотехнической) структуры аппаратной базы стенда, отражающей разделение на модули по выполняемым функциям;
- использование модульной (легкоразъемной) конструкции, отражающей схемотехническое структурирование и представляющей систему взаимосвязанных и в тоже время относительно автономных модулей;
- построение программного обеспечения как системы программных модулей, взаимосвязанных в смысле обмена информацией и одновременно достаточно обособленных в смысле выполняемых функций;
- наличие резерва как в части аппаратных модулей, электросоединений и входных-выходных контактов, так и в части объема памяти микроконтроллеров, быстродействия и пропускной способности каналов цифрового обмена.

Структурная схема СИ-450М приведена на рис.1, на котором также показаны основные взаимосвязи (каналы обмена) с РДЦ-450М и с контрольно-проверочной аппаратурой КПА-450, которая обеспечивает взаимодействие оператора со стендом-имитатором и визуализацию процессов настройки и испытаний регулятора (рис.2).

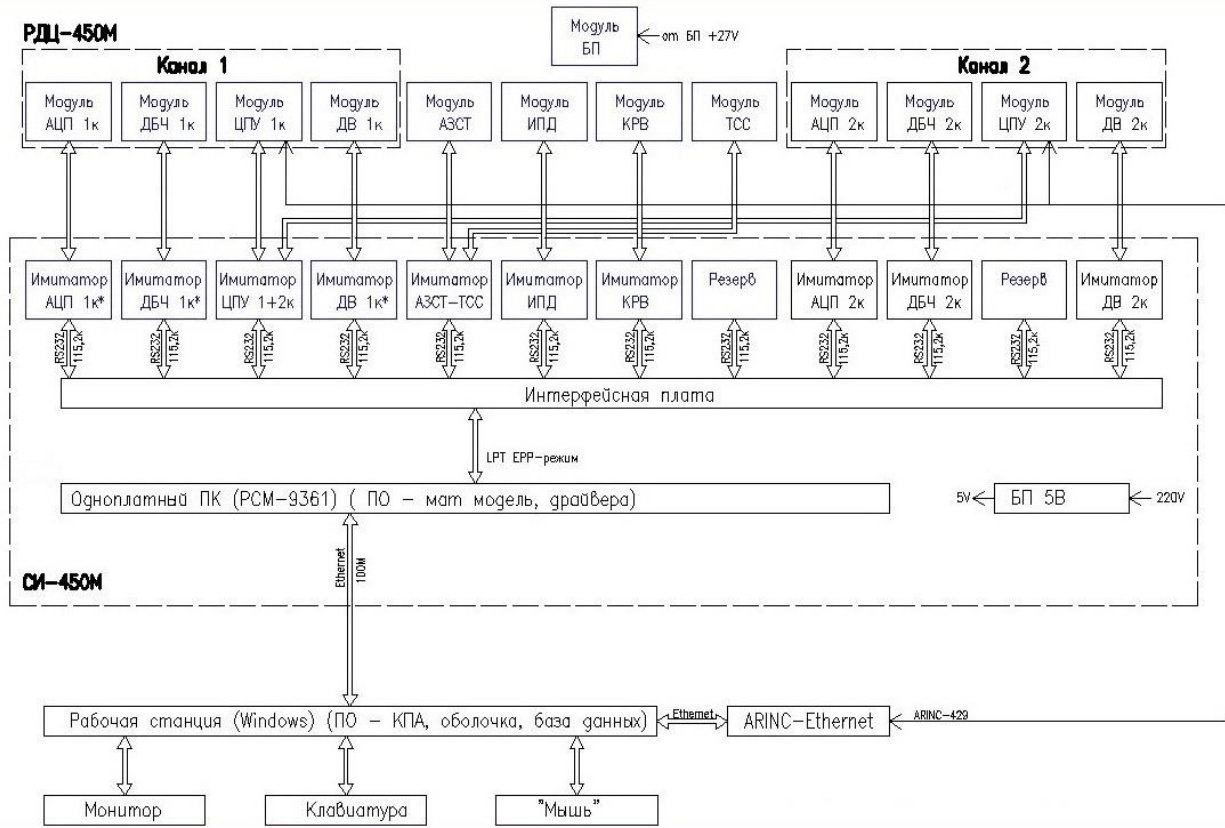


Рис. 1. Структурная схема СИ-450М

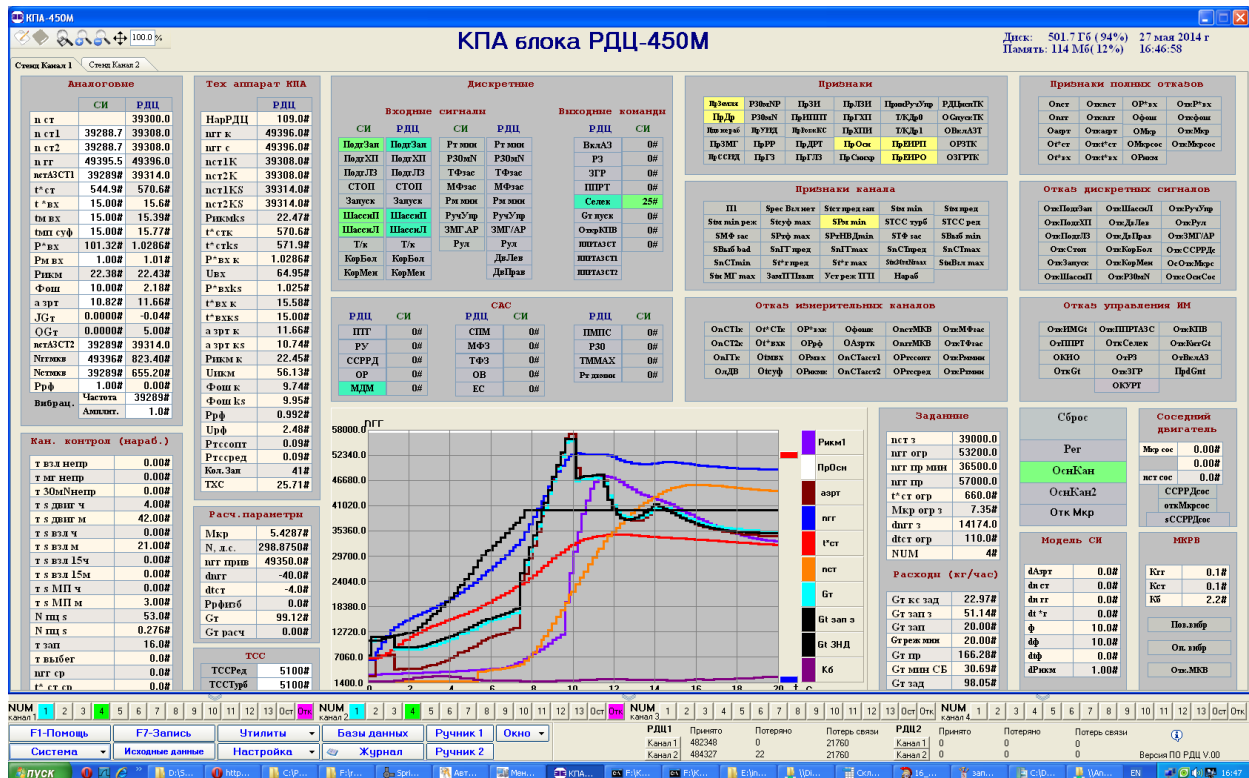


Рис. 2. Экран рабочей станции КПА-450М

КПА представляет собой персональный компьютер (рабочая станция) с установленной на нем специально разработанной в АО «Элемент» программой, обеспечивающей наблюдение за процессом и управление процессом со стороны оператора посредством:

- вывода на экран (в виде числовых значений и в виде графиков) текущих значений параметров процесса имитации режима работы двигателя;
- возможности задания с клавиатуры как параметров процесса, так и настроек регулятора (регуляторов);
- записи базы данных процесса и предоставления возможности их просматривать.

Следует отметить, что КПА является самостоятельным изделием, которое обеспечивает работу не только со стендом-имитатором, но предоставляет возможность работы непосредственно с регулятором – считывание информации и введение регулировок, в том числе в эксплуатации. Собственно, стенд СИ-450М обеспечил:

- выдачу на вход регулятора 25 аналоговых сигналов и прием аналогового сигнала «ток управления» от регулятора;
- выдачу 22 выходных и прием 20 входных дискретных сигналов;
- реализацию математической модели двигателя посредством функционирования вычислительных каналов стенда.

Стенд-имитатор СИ-450М обеспечил испытания при разработке и постановке на производство регулятора РДЦ-450М, продолжает быть основным средством проверки изделий при выпуске из производства и послужил базовой моделью для решения задач по обеспечению испытаний новых регуляторов для других типов двигателей.

Благодаря заложенному при разработке базовой модели резерву модификация в каждом случае не потребовала существенных изменений аппаратной части и состояла, прежде всего, в доработке программного обеспечения с учетом математической модели имитируемого двигателя.

К настоящему времени для испытаний каждого из регуляторов изготовлен стенд-имитатор соответствующего двигателя, а именно:

- АІ-450М (турбовальный);
- АІ-450С (турбовинтовой);
- АІ-450С-1 (турбовинтовой);
- АІ-450Т (для беспилотного летательного аппарата);
- МС-500В-02С (турбовинтовой).

Все стенды аттестованы метрологической службой АО «Элемент» в объеме Программы, ранее согласованной с аккредитованным региональным

центром ГП «Запорожьстандартметрология». Результаты испытаний регуляторов, выполненных на стендах-имитаторах, подтверждаются результатами их испытаний в составе двигателей.

Таким образом, разработанные и изготовленные АО «Элемент» стенды-имитаторы обеспечивают практически весь комплекс необходимых испытаний регуляторов по проверке выполнения ими функций по назначению, в том числе и при воздействии дестабилизирующих механических и климатических факторов. Исключение составляют:

- исследование метрологических характеристик измерительных каналов регулятора;
- испытания на электромагнитную совместимость.

Исследование метрологических характеристик измерительных каналов, несмотря на то, что стенд-имитатор двигателя имитирует все необходимые сигналы, признано целесообразным выполнять с использованием другого специализированного стенда, имитирующего сигналы двигательных датчиков и также разработанного в АО «Элемент» [3]. Это обусловлено необходимостью обеспечить определенный коэффициент точности (метрологический запас) и удобство подключения стандартизованных поверенных (калиброванных) средств измерительной техники.

При испытаниях на электромагнитную совместимость в силу специфики воздействия, схема подключения регулятора во время воздействия дестабилизирующих факторов максимально приближена к реальной – используется насос-дозатор и ряд датчиков. Однако полномасштабная проверка работоспособности регулятора после воздействия проводится опять с помощью стенда-имитатора.

Заключение

1. В АО «Элемент» в рамках обеспечения разработки и серийного выпуска регуляторов двигателей создан ряд стендов-имитаторов, имитирующих двигатель как взаимодействующую с регулятором систему. Стенды представляют собой модификации базовой модели, разработанной в начале двухтысячных и адаптируемой под каждый новый тип двигателя с минимальными затратами, благодаря модульной конструкции и заложенному изначально резерву как в части аппаратных модулей, электросоединений и входных-выходных контактов, так и в части объема памяти микроконтроллеров, быстродействия и пропускной способности каналов цифрового обмена.

2. Разработка и изготовление стендов-имитаторов авиадвигателей является важной частью проводимых на предприятии мероприятий по обеспечению

печению разработки и подготовки производства регуляторов двигателей. Стенды-имитаторы обеспечивают настройку, полноценную проверку и отладку регулятора, его предварительные, межведомственные, квалификационные, приемо-сдаточные, периодические и типовые испытания регуляторов для двигателей AI-450M, AI-450C, AI-450C-1, AI-450T и MC-500B-02C.

Литература

1. Регулятор двигателя AI-450M – результаты разработки и квалификации на категорию A [Текст] / Г.С. Ранченко, А. Г. Буряченко, В. М. Грудинкин и др. // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – №10 (117) – С. 93 – 98.
2. Буряченко, А. Г. Стенд-имитатор турбовального двигателя AI-450M 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.
3. Буряченко, А. Г. Метрологическое обеспечение испытаний электронных регуляторов ГТД – стенд-имитатор двигательных датчиков [Текст] / А. Г. Буряченко, И. К. Лопашенко // *Авиационно-*

космическая техника и технология. – 2018. – №7 (151) – С. 101 – 106

References

1. Ranchenko, G. S., Burjachenko, A. G., Grudinkin, V. M., Golubev, N. L., Danilov, V. V. Reguljator dvigatelja – rezultaty razrabotki i kvalifikacii na kategoriju A [Engine AI-450M regulator – results of development and qualification for category A]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologija – Aerospace technic and technology*, 2014, no. 10 (117), pp. 93-98.
2. Burjachenko, A. G., Grudinkin, V. M., Burunov, D. S. Stend-imitator turbovalnogo dvigatelja. Metrologicheskoe obespechenie i attestacija stenda. [Test bench-imitator of engine AI-450M for engine regulator testing. Metrological security and test bench verification]. *Vestnikd vigatelestroenija – Engine building messenger*, 2015, no. 2, pp. 95-101.
3. Burjachenko, A. G., Lopaschenko, I. K. Metrologicheskoe obespechenie ispitaniy electronnyh reguljatorov GTD – stend-imitator dvigatelnyh datchikov [Metrological supply of electronic regulatorsfor GTE – stand-imitator of engine sensors] *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologija – Aerospace technic and technology*, 2018, no.7 (151), pp. 101-106.

Поступила в редакцию 02.06.2020, рассмотрена на редколлегии 15.08.2020

СТЕНД-ІМІТАТОР АВІАДВИГУНА ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЗАСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБКИ ТА ВИПРОБУВАНЬ РЕГУЛЯТОРІВ

Г. Г. Буряченко, Д. С. Бурунов, В. М. Грудинкин, А. О. Таранішин

Описана работа, проведена на підприємстві АТ «Елемент», по створенню спеціалізованих стендів-імітаторів авіаційних ГТД, службовців для забезпечення налаштування, налагодження і випробувань ряду цифрових регуляторів вертолітних і літакових двигунів (турбовальних і турбогвинтових), розробником і виробником яких є підприємство. Компактні стенди-імітатори забезпечують перевірку всіх функцій регулятора і дозволяють відмовитися від використання громіздких напівнатурних стендів, принаймні, для 95 % випробувань. Стенд-імітатор являє собою програмно-апаратний комплекс, що імітує двигун як взаємодіючу з регулятором систему з допомогою імітації всіх аналогових, дискретних і цифрових сигналів. Стенд імітує сигнали, що надходять до регулятора від датчиків, агрегатів і систем двигуна, забезпечує прийом сигналів від регулятора. Крім того стенд виконує обчислення і формує множини взаємозалежних значень параметрів (у вигляді аналогових, дискретних і цифрових сигналів), кожна з яких відповідає одному з режимів роботи двигуна згідно заздалегідь заданим функціональним залежностям, що відображають характеристики двигуна – математичної моделі двигуна. Стенди проходять атестацію в обсязі програми, узгодженої з ДП «Запоріжжястандартметрологія», і верифікуються за допомогою порівняння результатів випробувань регулятора на стенді-імітатор і в складі двигунних стендів Замовника (розробника двигуна). Показано, що модульна структура першого з розроблених на підприємстві стендів-імітаторів (базового) і резерв, передбачений в його структурі, сприяли спрощення його подальшої адаптації під реалізацію моделей нових типів двигунів. Наведено відомості про стенди, що імітують двигуни AI-450M, AI-450C, AI-450C-1, AI-450T (для безпілотного літального апарату) і MC-500B-02C. Показано, що стенди-імітатори забезпечують комплекс випробувань при розробці і серійному випуску на підприємстві регуляторів РДЦ-450M, РДЦ-450M-C, РДЦ-450M-C-1, РДЦ-450M-C-T-P, РДЦ-450C-500.

Ключові слова: комплектуючий виріб авіаційної техніки; випробувальне обладнання; математична модель; модульна структура.

STAND IMITATOR OF THE ENGINE AS A UNIVERSAL MEANS OF ENSURING THE DEVELOPMENT AND TESTING OF REGULATORS

A. Buryachenko, D. Burunov, V. Grudinkin, A. Taranishin

There is described the work on the project, carried out at the enterprise Element JSC for the creation of aircraft gas turbine engine simulator stands, for the maintenance and testing of some digital regulators for helicopter and aircraft engines (turboshaft and turboprops), which the company is the developer and manufacturer of. Compact simulator stands test all the functions of the regulator and allows you to abandon the use of bulky semi-natural stands, at least for 95% of the tests. The stand simulator is a hardware-software complex that simulates the engine as a system interacting with the regulator by simulating all analog, discrete and digital signals. The stand imitates the signals arriving at the regulator from sensors, aggregates, and engine systems that provide reception of control signals from the regulator. Besides, stand performs calculations and generates sets of interdependent parameter values (in the form of analog, discrete, and digital signals), each of which corresponds to one of the engine operating modes according to predetermined functional dependencies that reflect the characteristics of the engine – a mathematical model of the engine. The stands undergo certification in the scope of the program agreed with the State Enterprise “Zaporizhiastandardmetrology” and are verified by comparing the test results of the regulator on a simulator stand and as part of the motor stands of the Customer (engine developer). It is shown that the modular structure of the first of the simulator stands (basic) developed at the enterprise and the reserve provided for in its structure helped simplify its subsequent adaptation to the implementation of models of new types of engines. There is given the information on the stands simulating the AI-450M, AI-450S, AI-450S-1, AI-450T engines (for an unmanned aerial vehicle), and MS-500V-02S. It has been shown that simulator stands provide a set of tests for the development and serial production of regulators RDC-450M, RDTs-450M-S, RDTs-450M-S-1, RDTs-450M-C-T-P, RDTs-450S-500 at the enterprise.

Keywords: aviation equipment component; test equipment; mathematical model; modular structure.

Буряченко Анна Григорьевна – главный метролог АО «Элемент», Одесса, Украина.

Бурунов Дмитрий Сергеевич – начальник бюро АО «Элемент», Одесса, Украина.

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

Таранишин Андрей Олегович – инженер АО «Элемент», Одесса, Украина.

Anna Buryachenko – Chief Metrologist of JSC “Element”, Odessa, Ukraine,
e-mail: annaodessa55@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0003-4480-6965.

Dmitriy Burunov – head of department of JSC “Element”, Odessa, Ukraine,
e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID Author ID: 0000-0003-2864-2681.

Viacheslav Grudinkin – Deputy Chief Designer of JSC “Element”, Odessa, Ukraine,
e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID Author ID: 0000-0002-2766-1162.

Andrey Taranishin – engineer of JSC “Element”, Odessa, Ukraine,
e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID Author ID: 0000-0001-5320-4857.