

УДК 629.7.05.018

doi: 10.32620/aktt.2021.4sup1.19

А. Г. БУРЯЧЕНКО, А. А. ЦАРЕВ

АО «Элемент», Одесса, Украина

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ СТАРТЕРАМИ-ГЕНЕРАТОРАМИ

Описаны результаты создания разработчиком бортовой аппаратуры – АО «Элемент» – усовершенствованного специализированного испытательного оборудования для проверки параметров бортовых блоков управления стартерами-генераторами постоянного тока – стенда-имитатора стартера-генератора. Усовершенствование ранее разработанного варианта выполнено с целью повышения автоматизации испытаний в связи с подготовкой к этапу серийного производства блоков управления. Кроме того, в процессе усовершенствования расширен перечень имитируемых стартеров-генераторов, а именно, к имитируемым в первом варианте стенда стартерам-генераторам производства Франции (THALES), России (СТГ9М-1, СТГ-3) и Украины (8260-12УД, 8260-9УД, СТГ-150УД) для двигателя АИ-450М и его модификаций, с которыми работал блок БЗГ-450, обеспечивающий управление запуском и генерированием, добавлен стартер-генератор СТГ-12ТМО-1000 двигателя АИ-25ТЛТ, для которого в АО «Элемент» в настоящее время разрабатывается блок запуска и генерирования SGU-25. Усовершенствование стенда-имитатора базировалось на дополнительном экспериментальном изучении взаимодействия блоков запуска и генерирования с реальным объектом в процессе испытаний на двигательных стендах и летательных аппаратах ГП «Ивченко–Прогресс» и АО «Мотор Сич». Показаны достигнутые результаты, приведена структурная схема усовершенствованного стенда-имитатора и рабочий экран специализированного программного обеспечения, устанавливаемого на персональный компьютер и предоставляющего оператору возможность управлять процессом испытаний. Дан перечень имитируемых аналоговых и частотных сигналов с указанием диапазонов и погрешностей. Кроме описания стенда, уделено также внимание способу проверки качества монтажа печатных плат блоков запуска и генерирования посредством термографирования под электрической нагрузкой и сравнения со специально заготовленной эталонной картиной распределения температуры. Необходимость такого особо тщательного контроля при приемо-сдаточных испытаниях обусловлена уровнем протекающих токов – до 20 А.

**Ключевые слова:** комплектующее изделие авиационной техники; стенд-имитатор; автоматизация испытаний.

### Введение

Среди разработок АО «Элемент» – сертифицированного разработчика и изготовителя комплектующих изделий авиационной техники – определяющее место занимают электронные регуляторы параметров работы двигателя, от «однопараметрических», таких как, например, блок регулирования температуры газов БРТ, вплоть до семейства регуляторов двигателя цифровых РДЦ-450М для ГТД вертолетов, самолетов и беспилотных летательных аппаратов, обеспечивающих контроль всех параметров, управление режимами работы, а также защиту двигателя [1, 2].

Относительно новой задачей в 2016 году явилась разработка по техническому заданию ГП «Ивченко–Прогресс» блока запуска и генерирования БЗГ-450, обеспечивающего управление электрическими стартерами-генераторами постоянного тока производства Франции (THALES), России (СТГ9М-1, СТГ-3) и Украины (8260-12УД,

8260-9УД, СТГ-150УД) для двигателя АИ-450М и его модификаций. В настоящее время начата новая аналогичная разработка – блок SGU-25 для двигателя АИ-25ТЛТ.

БЗГ-450 выполняет управление стартерами-генераторами в стартерном и генераторном режимах, включая обеспечение перекрестного запуска и выравнивание токов двух стартеров-генераторов на двухдвигательном летательном аппарате, а также выполняет ряд функций по защите стартера-генератора.

БЗГ-450, будучи очевидно проще в части алгоритма работы, нежели РДЦ-450М, потребовал, тем не менее, решения ряда новых специфических задач, начиная с необходимости более детального определения требований по взаимодействию с объектом управления, чем это было изложено в первоначальном варианте технического задания.

Существенным отличием от предыдущих разработок была и необходимость обеспечить протекание через блок в процессе его функционирования

токов более 10 А (а для вновь разрабатываемого блока SGU-25 – до 20 А), что практически на два порядка превышает рабочие токи упомянутых выше традиционных изделий АО «Элемент». Это предопределяет особые требования как к аппаратной части БЗГ-450, так и к специально разработанному испытательному стенду, имитирующему стартер-генератор (стенду-имитатору), а кроме того накладывает особые требования на соблюдение технологических аспектов обеспечения условий теплоотвода для элементов схемы блоков БЗГ-450 и SGU-25.

## 1. Постановка задачи

Первый вариант специализированного стенда, имитирующего стартер-генератор как взаимодействующую с БЗГ-450 систему, описанный в [3] был разработан и изготовлен в 2018 году.

Он обеспечил необходимый для выполнения разработки БЗГ-450 объем настроек, проверок характеристик блока и выполнения им основных функций по назначению, включая обеспечение перекрестного запуска и выравнивание токов двух стартеров-генераторов, работающих на общую бортовую сеть на двухдвигательном летательном аппарате.

Однако, этот стенд предусматривал постоянное участие оператора в управлении процессом испытаний, что видно уже по обилию ручек управления, кнопок и тумблеров на передней панели стенда (рис. 1). Степень автоматизации испытаний была весьма низка, и это вполне естественно (и отнюдь не является недостатком) для первых этапов разработки изделия, когда испытания носят, прежде всего, исследовательский характер, а количество испытываемых образцов весьма ограничено.

Но по мере перехода к этапу подготовки производства вопрос о повышении степени автоматизации испытаний БЗГ-450 в условиях предприятия-изготовителя становится все более актуальным. Таким образом к 2020 году специалисты АО «Элемент» поставили задачу усовершенствовать стенд-имитатор стартера-генератора, обеспечив максимально возможную автоматизацию выполняемых проверок. При этом предусматривалось сохранение возможности работы в ручном режиме по выбору оператора.

Кроме того, в 2020 году АО «Элемент» получило заказ на разработку блока управления стартером-генератором СТГ-12ТМО-1000 двигателя AI-25TLT, поэтому была поставлена еще одна задача – новый усовершенствованный стенд должен дополнительно к перечисленным выше стартерам-генераторам обеспечивать имитацию СТГ-12ТМО-1000, который существенно отличается по характеристикам.

Таким образом, были определены следующие задачи усовершенствования стенда:

- обеспечить возможность проведения испытаний блоков управления стартером-генератором как в ручном, так и в автоматическом режиме;
- расширить перечень имитируемых стартеров-генераторов с целью проведения испытаний не только ранее разработанного БЗГ-450 для двигателей семейства AI-450M, но и вновь разрабатываемого SGU-25 для двигателя AI-25TLT.



Рис. 1. Первый(вверху) и усовершенствованный варианты стенда-имитатора стартера-генератора

Еще одной задачей испытаний и проверок при выпуске из производства (кроме обеспечения полноценной проверки функционирования блоков БЗГ-450 и SGU-25) была признана задача особо тщательного контроля соблюдения технологии обеспечения требуемых условий теплоотвода при монтаже элементов схемы в связи наличием рабочих токов уровня 10... 20 А.

## 2. Результаты

Решение поставленной задачи по усовершенствованию стенда потребовало в первую очередь

дополнительного изучения объектов имитации – стартеров-генераторов – и характеристик их взаимодействия с блоками. Такое изучение было проведено прежде всего для БЗГ-450 в рамках ряда испытаний блока на двигательных стендах АО «Мотор Сич» и в составе вертолета, по результатам которых разработчиками АО «Элемент»:

- совместно со специалистами ГП «Ивченко-Прогресс» и АО «Мотор Сич» были уточнены требования к самому блоку БЗГ-450 (прежде всего в части выполнения перекрестного запуска и выравнивания токов двух СТГ на двухдвигательном летательном аппарате);

- сформулированы детализированные требования к новому стенду-имитатору стартера-генератора.

В результате проведенной работы создан стенд-имитатор, структурная схема которого показана на рисунке 2.

Повышение автоматизации процесса проверки функционирования блоков БЗГ-450 (SGU-25) до-

стигнута прежде всего за счет увеличения числа встроенных программно-управляемых имитаторов сигналов.

Так, например, в отличие от первого варианта стенда, к которому надо было подключать, так сказать, реальные, используемые на объекте, трансформаторы ТТ-450, обеспечивающие выдачу сигнала в БЗГ-450 о коротком замыкании или обрыве в цепи стартера-генератора, усовершенствованный вариант стенда имеет встроенный имитатор ТТ-450, представляющий собой программно-управляемый источник электрических импульсов. Одновременно при прохождении импульсов обеспечивается автоматический контроль целостности линии противофазного соединения (внутри БЗГ) двух ТТ-450.

Также в усовершенствованном стенде имитация реле контроля запуска (являющегося одним из элементов коммутации на объекте) осуществляется путем программного управления выдачей соответствующих сигналов в отличие от использования реального реле в первом варианте стенда.

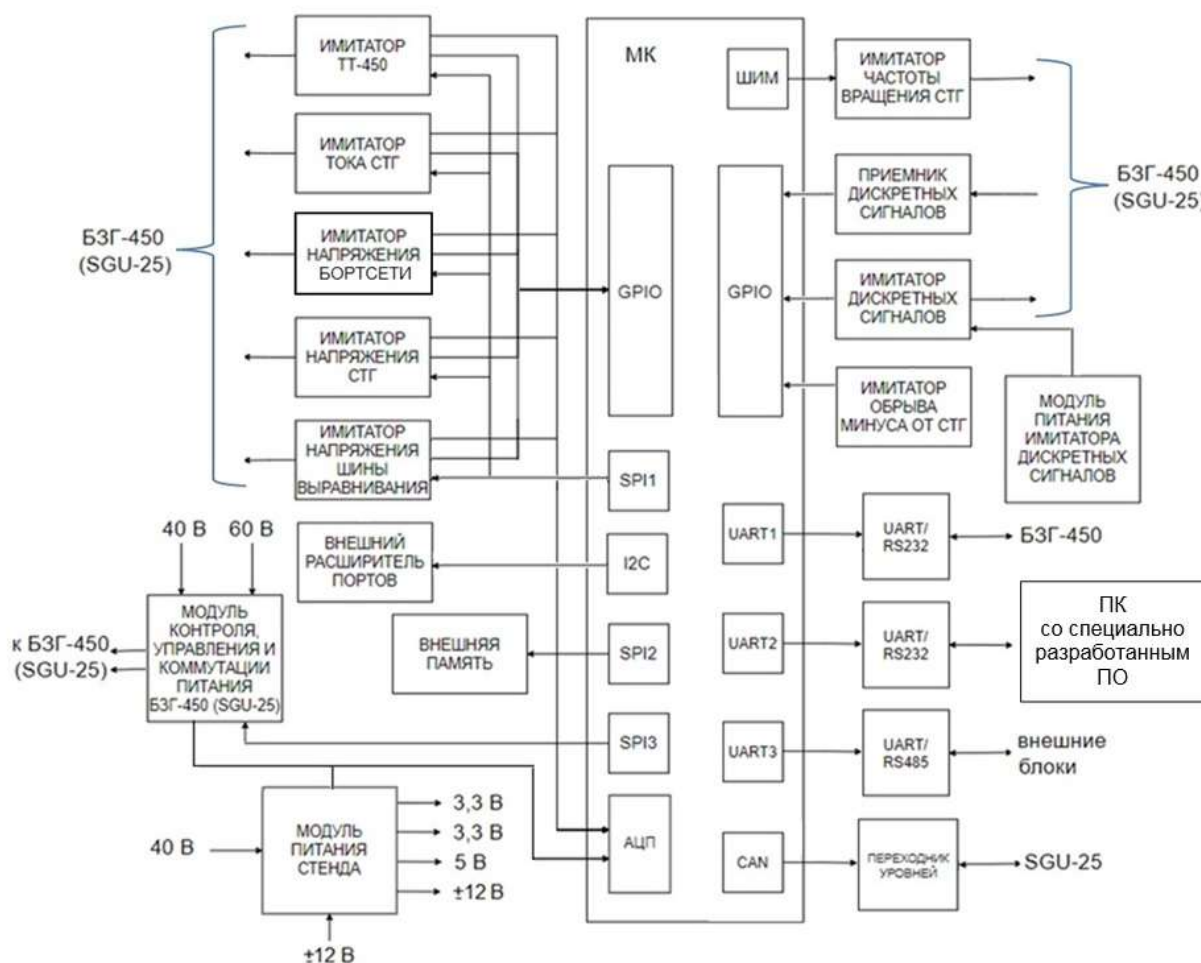


Рис. 2. Структурная схема усовершенствованного стенда-имитатора стартера-генератора

Дополнительно при проверке функционирования блоков БЗГ-450 и SGU-25 обеспечено выполнение автоматической проверки целостности линии измерения частоты вращения ротора стартера-генератора – эта проверка отсутствовала в первом варианте стенда-имитатора.

Для предоставления оператору, проводящему испытания, возможности контролировать процесс, стенд-имитатор подключают к компьютеру, оснащенный специально разработанным программным обеспечением, рабочий экран которого показан рисунке 3.

С клавиатуры компьютера оператор может задавать необходимые параметры испытаний, устанавливать ручной или автоматический режим проведения проверок и наблюдать за их ходом, в том числе вывода на экран графики изменения параметров во времени.

Так, например, вводя в соответствующие поля секции «Установка аналоговых параметров» заданные значения сигналов, оператор видит в соответствующих полях секции «Принятые аналоговые сигналы» значения, поступившие на вход стенда в виде задания на выдачу сигналов (столбец «Уст.») и значения выданных аналоговых сигналов, измеренных встроенными средствами стенда (столбец «Изм»), что позволяет оценить отклонение выданного значения от заданного.

Аналоговые и частотные сигналы с указанием диапазонов воспроизведения перечислены в таблице 1, где также приведены диапазоны воспроизведе-

ния, допускаемые отклонения и пределы погрешностей измерений встроенных средств стенда. Заданная точность частотного сигнала обеспечивается настройкой и может быть проконтролирована внешними средствами измерительной техники (СИТ).

Конструкция стенда-имитатора и вспомогательная технологическая оснастка разработаны с учетом обеспечения контроле пригодности стенда. Все выдаваемые и принимаемые сигналы могут быть измерены стандартными поверенными средствами измерительной техники. Предусмотрен систематический полный контроль характеристик стенда, включая погрешности измерений встроенных средств стенда.

Таким образом, разработка усовершенствованного стенда-имитатора стартера-генератора решает задачу обеспечения практически всех необходимых проверок функционирования блоков БЗГ-450 и SGU-25 при выпуске из производства.

Что касается следующей упомянутой выше задачи – особо тщательного соблюдения технологии обеспечения требуемых условий теплоотвода при монтаже элементов схемы – то она решается путем термографирования печатных плат в условиях заданной электрической нагрузки и сравнения полученной картины распределения температуры с заранее созданным эталонным изображением, что позволяет выявить дефекты (прежде всего – недостаточно качественные контакты), приводящие к локальному повышению электрического сопротивления, а значит, и температуры участка.

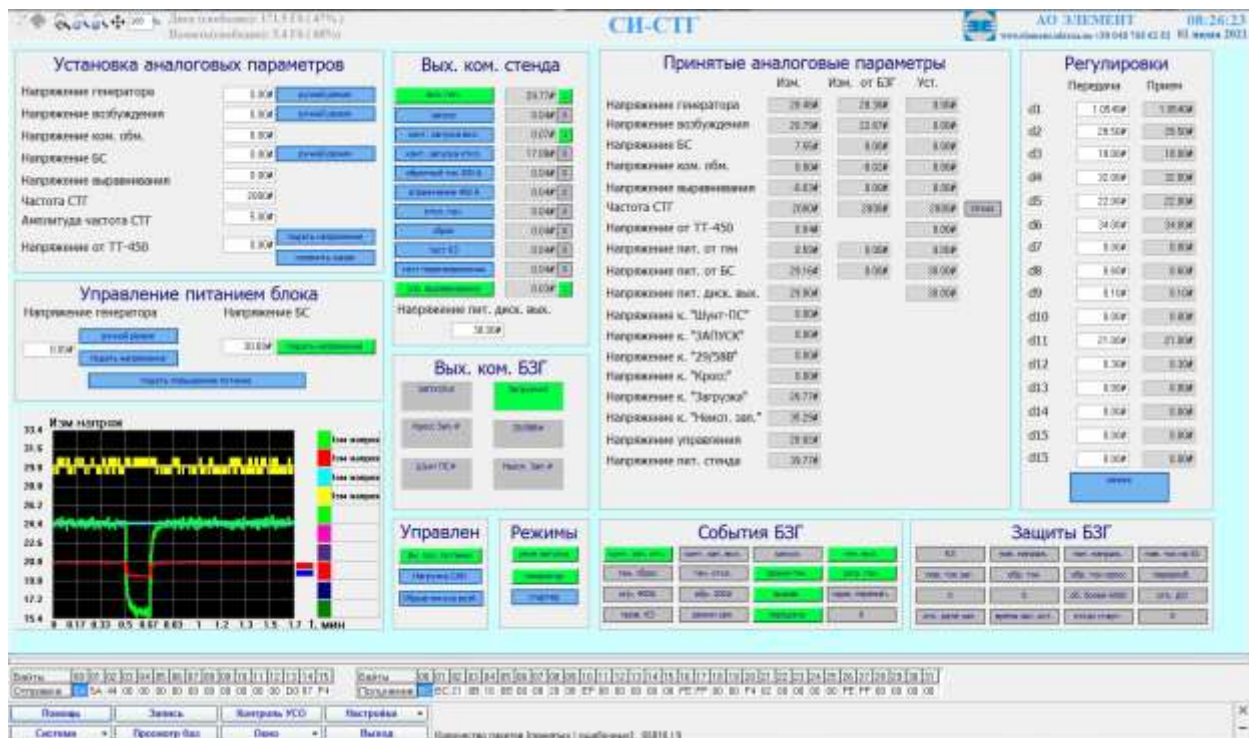


Рис. 3. Рабочий экран усовершенствованного стенда-имитатора

Таблица 1

Аналоговые и частотные сигналы, выдаваемые стендом-имитатором

Наименование сигнала	Диапазон задаваемых значений	Допускаемое отклонение от заданного значения	Пределы погрешности измерений встроенных средств стенда
1. Напряжение генератора	от 0,1 до 36 В	$\pm 0,5$ В	$\pm 0,08$ В
2. Напряжение бортовой сети	от 0,1 до 36 В	$\pm 0,5$ В	
3. Напряжение с датчика тока генератора	от минус 5 до 5 В	$\pm 0,2$ В	
4. Напряжение на шине выравнивания	от минус 5 до 5 В	$\pm 0,2$ В	
5. Напряжение с ТТ-450	от 0,1 до 9 В	$\pm 0,5$ В	
6. Частотный сигнал с датчика скорости вращения ротора генератора	от 0 до 2500 Гц (от 0 до 12500 об/мин); амплитуда 0,1 – 5 В	$\pm 5$ Гц, $\pm 0,1$ В	Контроль внешними СИТ
7. Напряжение питания блока – канал 1	от 0,1 до 35 В	$\pm 0,5$ В	$\pm 0,1$ В
8. Напряжение питания блока – канал 2	от 0,1 до 35 В	$\pm 0,5$ В	

### Заключение

1. В рамках обеспечения испытаний блоков управления стартерами-генераторами БЗГ-450 и SGU-25 при серийном производстве в АО «Элемент» создан усовершенствованный стенд-имитатор стартера-генератора, позволяющий выполнить практически все необходимые проверки функционирования блоков, в том числе ряд проверок – в автоматическом режиме.

2. Учитывая протекание через блоки в процессе их функционирования токов 10... 20 А выполняется контроль обеспечения условий теплоотвода при монтаже элементов схемы путем термографирования печатных плат в условиях заданной электрической нагрузки и сравнения полученной картины распределения температуры с заранее созданным эталонным изображением

### Литература

1. Регулятор двигателя АИ-450М – результаты разработки и квалификации на категорию А [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. Модификация типовой конструкции регулятора двигателя АИ-450М – сущность, процедуры и результаты. [Текст] / А. Г. Бу-

ряченко, Г. С. Ранченко, Д. С. Бурунов // *Вестник двигателестроения*. – 2017. – № 2. – С. 86-89.

3. Буряченко, А. Г. Стенд-имитатор стартер-генератора с функцией имитации работы двух стартер-генераторов на общую бортовую сеть [Текст] / А. Г. Буряченко, Г. Ф. Цалимов, А. А. Царев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2018. – № 8 (152) – С. 123-127.

### References

1. Ranchenko, G. S., Burjachenko, A. G., Grudinkin, V. M., Golubev, N. L., Danilov, V. V. *Reguljator dvigatelja – rezul'taty razrabotki i kvalifikacii na kategoriju A* [Engine AI-450M regulator – results of development and qualification for category A]. *Aviacionno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2014, no. 10 (117), pp. 93-98.

2. Ranchenko, G. S., Burjachenko, A. G., Burunov, D. S. *Modifikacija tipovoj konstrukcii reguljatora dvigatelja AI-450M – suzhnost, prozedury i rezul'taty* [Modification of the engine AI-450M regulator standard model – essence, procedure and results]. *Vestnik dvigatelestroenija – Engine building messenger*, 2017, no. 2, pp. 86-89.

3. Burjachenko A. G., Tsalmov G. F., Tsarev A. A. *Stend-imitatorstarer-generatora s funktsiejimitatsirabotidvuh starter-generatorov na obschuju bortset'* [On-board starter-generator control unit tests providing]. *Aviacionno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2018, no. 8 (152), pp. 123-127.

Надійшла до редакції 28.05.2021, розглянута на редколегії 16.08.2021

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ БОРТОВИХ БЛОКІВ УПРАВЛІННЯ СТАРТЕРАМИ-ГЕНЕРАТОРАМИ

А. Г. Буряченко, А. А. Царев

Описано результати створення розробником бортової апаратури – АТ «Елемент» – удосконаленого спеціалізованого випробувального устаткування для перевірки параметрів бортових блоків управління старте-



рами-генераторами постійного струму – стенда-імітатора стартера-генератора. Удосконалення раніше розробленого варіанту виконано з метою підвищення автоматизації випробувань у зв'язку з підготовкою до етапу серійного виробництва блоків управління. Крім того, в процесі удосконалення розширено перелік імітованих стартерів-генераторів, а саме, до імітованих в першому варіанті стенду стартерів-генераторів виробництва Франції (THALES), Росії (СТГ9М-1, СТГ-3) і України (8260-12УД, 8260-9УД, СТГ-150УД) для двигуна AI-450M і його модифікацій, з якими працював блок БЗГ-450, що забезпечує управління запуском і генеруванням, доданий стартер-генератор СТГ-12ТМО-1000 двигуна AI-25TLT, для якого в АТ «Елемент» в даний час розробляється блок запуску і генерування SGU-25. Удосконалення стенда-імітатора базувалося на додатковому експериментальному вивченні взаємодії блоків запуску і генерування з реальним об'єктом в процесі випробувань на моторних стендах і літальний апаратах ДП «Івченко-Прогрес» і АТ «Мотор Січ». Показані досягнуті результати, наведено структурну схему вдосконаленого стенду-імітатора і робочий екран спеціалізованого програмного забезпечення, що встановлюється на персональний комп'ютер і надає оператору можливість управляти процесом випробувань блоку запуску та генерування. Наведений перелік імітованих аналогових і частотних сигналів із зазначенням діапазонів і похибок. Крім опису стенду, приділено також увагу способу перевірки якості монтажу друкованих плат блоків запуску і генерування за допомогою термографування під електронавантаженням та подальшого порівняння зі спеціально заготовленою еталонною картиною розподілу температури. Необхідність такого особливо ретельного контролю при прийнятно-здавальних випробуваннях обумовлена рівнем струмів, що протікають – до 20 А.

**Ключові слова:** комплектуючий виріб авіаційної техніки; стенд-імітатор; автоматизація випробувань.

## ON-BOARD STARTER-GENERATOR CONTROL UNIT TESTS PROVIDING

*A. Buryachenko, A. Tsarev*

There are described the results of the creation by the developer of the on-board equipment – JSC "Element" – improved specialized test equipment for checking the parameters of the on-board control units of DC starter-generators – a stand-simulator of the starter-generator. The previously developed version improvement was carried out to increase the tests automatization because of preparation for control units' serial production stage. In addition, during the improvement process, the list of simulated starter-generators has been expanded, namely, to the starter-generators produced in France (THALES), Russia (STG9M-1, STG-3), and Ukraine (8260-12UD, 8260-9UD, STG-150UD) for the AI-450M engine and its modifications (with which the BZG-450 unit worked, providing control of start-up and generation) the STG-12TMO-1000 starter-generator was added. This STG-12TMO-1000 works with the AI-25TLT engine, for which Element JSC is currently developing an SGU-25 unit for control of start-up and generation. Stand-simulator improvement was based on an additional experimental study of the interaction between mentioned control units and real objects. The interaction was studied during the test process on the engine stand and aircraft of the State Enterprise "Ivchenko-Progress" and JSC "Motor Sich". The results achieved are shown. There are shown the structural diagram of improved stand-simulator and working screen of specialized software installed on a personal computer and providing the operator with the ability to control the test process. A list of simulated analog and frequency signals with ranges and errors indication is given. In addition to the stand-simulator description, attention is also paid to the quality checking method of the installation of printed circuit boards of control units by thermography means under electrical load and comparison with a specially prepared reference picture of temperature distribution. The need for such especially careful control during acceptance tests is due to the level of flowing currents – up to 20 A.

**Keywords:** aviation equipment component; stand-simulator; tests automatization.

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

**Царев Андрей Анатольевич** – инженер-электроник АО «Элемент», Одесса, Украина.

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

**Andrey Tsarev** – engineer electronic, JSC "Element", Odessa, Ukraine,  
e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID: 0000-0001-6768-1494.