

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИМИТАТОРА СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**И. А. Шалатонин, А. А. Спиридонов, В. А. Сачников,  
А. В. Волков, В. В. Домбровский, Д. В. Сацута, Б. В. Колтун,  
Д. С. Станкевич, О. А. Орлов, В. В. Граевский**

---

*Белорусский государственный университет*

*Минск, Беларусь*

*e-mail: [shalatbsu@tut.by](mailto:shalatbsu@tut.by)*

Рассматриваются лабораторные испытания имитатора сверхмалого космического аппарата. Описывается управление, прием и передача телеметрической информации имитатора при различных режимах его работы.

*Ключевые слова:* сверхмалый космический аппарат; лабораторные испытания; имитатор космического аппарата.

## LABORATORY TESTING SMALL SATILITE SIMULATOR

**I. A. Shalatonin, A. A. Spiridonov, V. A. Saechnikov,  
A. V. Volkov, V. V. Dombrovski, D. V. Sacuta, B. V. Koltun,  
D. S. Stankevich, O. A. Orlov, V. V. Graevski**

---

*Belarusian State University*

*Minsk, Belarus*

Laboratory testing small satellite simulator are considered. Simulator control, reception and transmission of telemetry information for different operational modes are described.

*Keywords:* small satellite; laboratory testing; satellite simulator.

Современный сверхмалый космический аппарат (СМКА) немислим без применения новейших информационных технологий в составе бортовой и научной аппаратуры. Разработка подобных аппаратов может быть выполнена специалистами, владеющими современной схмотехникой, знаниями и навыками в области построения систем управления, сбора и передачи информации. Подготовка данной категории специалистов предполагает создание соответствующего программно-аппаратного и методического обеспечения. Одним из эффективных путей подготовки студентов, специализирующихся в ракетно-космической отрасли, является их практическое участие в учебных и реальных космических проектах.

В рамках работ, выполняемых в БГУ по программе «Мониторинг-СГ», разработан имитатор СМКА. Имитатор космического аппарата предназначен: для лабораторной отработки программно-аппаратных средств комплексов управления, функциональных модулей и узлов бортовой и обеспечивающей аппаратуры нано- и пикоспут-

ников ДЗЗ (ПАС ЛО); обработки бортовых систем космического аппарата; обработки научной аппаратуры космического аппарата, научных экспериментов; обучения операторов ПАС ЛО; обработки линии радиосвязи с космическим аппаратом, обеспечивающей достаточно уверенный обмен радиосигналами при ненаправленном излучении с борта космического аппарата, что, в свою очередь, обеспечивает взаимодействие с неориентированными космическими аппаратами; проверки и обработки эксплуатационной документации

Имитатор космического аппарата выполнен на нерадиационно-стойкой элементной базе и включает в себя все основные бортовые системы реального сверхмалого КА: корпус; бортовой компьютер для системы управления обработкой информации и телеметрии имитатора; радиотехнический комплекс (приемопередатчики команд управления и телеметрии имитатора; приемопередающие антенны); систему электропитания (контроллер системы управления энергопитанием, источники электроэнергии).

Основные функциональные модули имитатора космического аппарата расположены на электронных печатных платах и выполнены по стандарту CubeSat. Этот стандарт предполагает, что все основные платы электронных модулей выполнены в одном форм-факторе и могут объединяться в стек с помощью разъемов PC-104. Назначение контактов в этом разъеме тоже стандартизировано и позволяет организовать несколько интерфейсных шин управления или обмена данными (UART, CAN, I<sup>2</sup>C и т. д.) и несколько шин питания между соединяемыми модулями – батарейное питание, вторичные напряжения питания.

Имитатор СМКА работает в следующих режимах: аварийный – режим, в который он автоматически переходит при аппаратном сбое; минимальное энергопотребление – режим, при котором передается только основная телеметрия бортовых систем (переход осуществляется при низком заряде аккумуляторных батарей); номинальный режим – основной режим работы; режим работы с полезной нагрузкой – режим работы с обрабатываемым оборудованием.

В ходе испытаний проверялась работоспособность основных систем и программного обеспечения имитатора космического аппарата. Отрабатывались следующие задачи: проверка работоспособности систем имитатора (системы энергоснабжения; системы связи; системы управления, сбора и обработки данных; интерфейсов подключения модуля обрабатываемого оборудования); проверка основных функций имитатора космического аппарата (формирование регулируемых напряжений питания 3,3В; 5В; контроль работоспособности бортовых систем; формирование кадров передачи информации по радиоканалу; временная привязка команд и параметров к бортовому времени; информационный обмен с обрабатываемой аппаратурой по протоколам I<sup>2</sup>C, SPI RS232/RS422; сбор и передача по радиоканалам телеметрической информации о параметрах работы бортовых систем; управление имитатором космического аппарата по радиоканалу от станции наземного пункта связи; возможность удаленного перепрограммирования; возможность обработки технологии сбора служебной и целевой информации с аппаратуры).

Для системы энергоснабжения проводилась проверка ее характеристик и функционирования совместно с бортовыми системами имитатора при питании от сети и от химических батарей на основных режимах работы (аварийный, минимального энергопотребления, номинальный режим, режим работы с полезной нагрузкой). Была проверена возможность передачи телеметрии системы энергоснабжения на примере передачи текущего напряжения аккумуляторных батарей. С помощью команды «переход

имитатора КА в номинальный режим» и в «режим минимального энергопотребления», передаваемой мобильным модулем комплекса дистанционного управления (КДУ) имитатору для отработки оборудования, было получено от имитатора текущее напряжение аккумуляторных батарей, как показано на рис. 1.

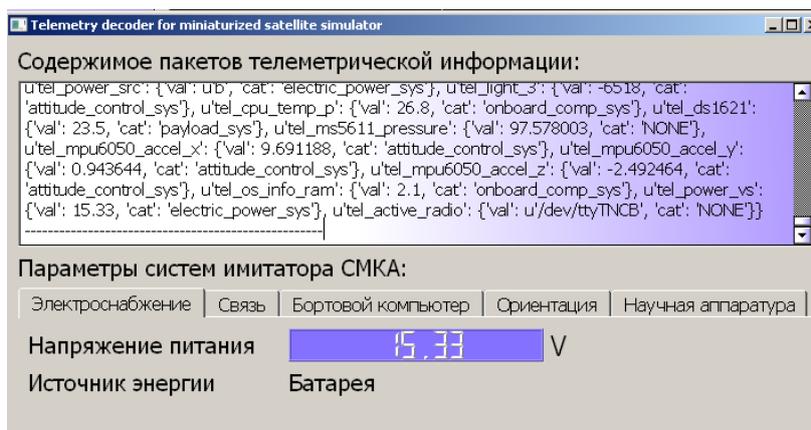


Рис. 1. Графическое окно ПО КДУ имитатора: текущее напряжение аккумуляторных батарей

Также данные были переданы через интернет на удаленный сервер – сайт данных бортовой аппаратуры имитатора и обрабатываемого оборудования.

Осуществлена проверка сбора, обработки информации и формирование кадров передачи информации по радиоканалу на борту имитатора КА. Были проверены технические данные датчика температуры DS1621, фоторезистивного датчика освещенности, гироскопа и акселерометра MPU6050, магнетометра HMC5883L, датчика атмосферного давления MS5611. Через интерфейсы обрабатываемого оборудования они были подключены к имитатору КА. С помощью управляющих команд, посылаемых от КДУ, имитатором были установлены время и дата выполнения посылаемых команд и выбор типа передатчика, дата и время на имитаторе КА, выбран режим работы имитатора с полезной нагрузкой. Команды по радиоканалу были посланы на имитатор космического аппарата.

С помощью команды «переход имитатора КА в режим работы с полезной нагрузкой», передаваемой от модуля КДУ, были получены от датчиков данные (проверка информационного обмена с обрабатываемой аппаратурой), осуществлена временная привязка команд и параметров к бортовому времени и сформированы кадры для передачи информации по радиоканалу.

В ходе испытаний проверялось управление имитатором космического аппарата по радиоканалу от станции наземного пункта связи, сбора и передачи по радиоканалу телеметрической информации о параметрах работы бортовых систем. С помощью команды «переход имитатора КА в режим работы с полезной нагрузкой», передаваемой модулем КДУ, были получены данные датчиков полезной нагрузки и данные о работоспособности бортовых систем по радиоканалу телеметрической информации и через интернет с удаленного сервера – сайта данных бортовой аппаратуры имитатора и обрабатываемого оборудования. С помощью команды «переход имитатора КА в номинальный режим работы», передаваемой модулем КДУ, были получены данные датчиков полезной нагрузки и данные о работоспособности бортовых систем по радиоканалу телеметрической информации и через интернет с удаленного сервера. Контроль

осуществлялся по монитору, подключенному к мобильному модулю КДУ и АРМ оператора обработки телеметрии и целевой аппаратуры.

На рис. 2 представлено графическое окно ПО КДУ имитатора: отображение пакетов принятой необработанной телеметрии и данные по датчикам системы ориентации, которые выполняли роль обрабатываемого оборудования.

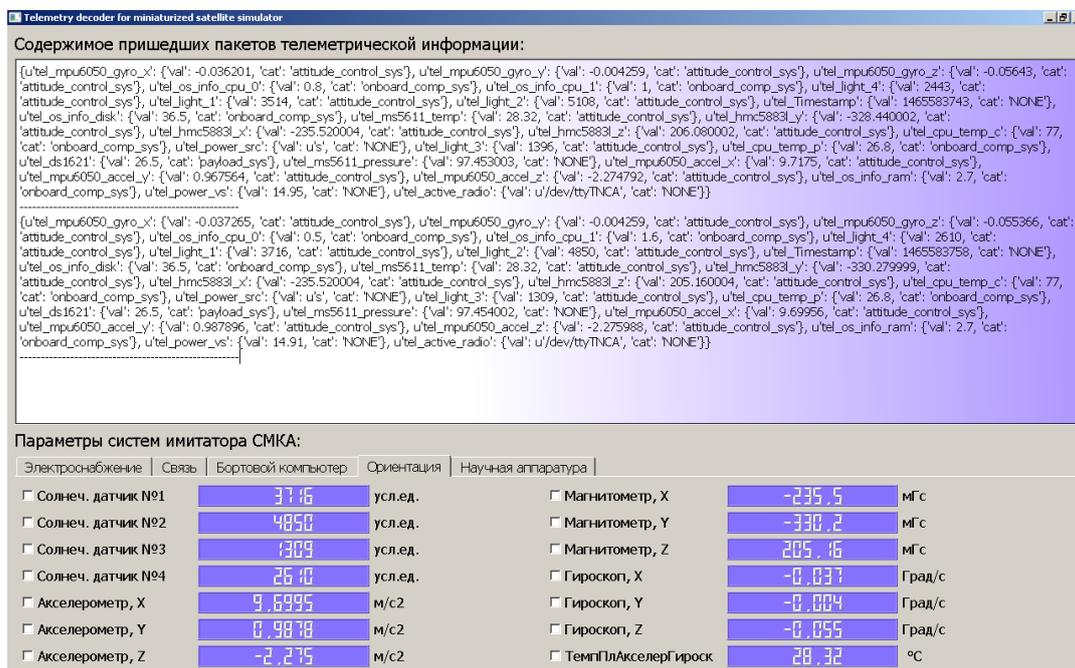


Рис. 2. Графическое окно ПО КДУ имитатора космического аппарата: отображение пакетов принятой необработанной телеметрии и данные по датчикам системы ориентации

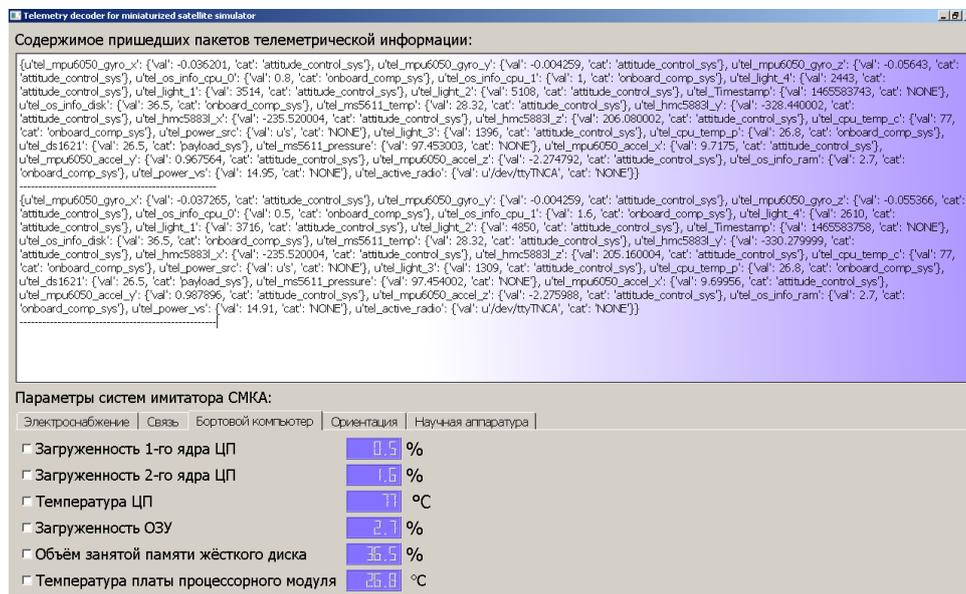


Рис. 3. Графическое окно ПО КДУ имитатора космического аппарата: отображение пакетов принятой необработанной телеметрии и данные по работоспособности бортовых систем

На рис. 3 представлено графическое окно ПО КДУ имитатора космического аппарата: отображение пакетов принятой необработанной телеметрии и данные по работоспособности бортовых систем – системы управления, сбора и обработки данных на основе промышленного компьютера СМ-720, выполняющего роль бортового компьютера.

Экспериментальная проверка подтвердила, что измеренные значения и функциональные возможности имитатора космического аппарата соответствуют требуемым значениям технического задания. Спроектированный и реализованный имитатор СМКА планируется использовать как при отработке бортовых систем и полезной нагрузки нано- и пикоспутников, так и при подготовке специалистов на кафедре физики и аэрокосмических технологий БГУ.