

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ МАКЕТОВ МИКРОСПУТНИКОВ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

А. В. НЕБЫЛОВ<sup>1</sup>, В. В. ПЕРЛЮК<sup>1</sup>, ХУ СЯОЯН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
190000, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: perlvy@mail.ru*

<sup>2</sup>*Шэньянский политехнический университет, Шэньян, Китай*

Представлен анализ комплекса научно-образовательных мероприятий по повышению мотивации современной молодежи к занятию техническим творчеством в аэрокосмической отрасли. Особое внимание уделяется опыту Европейского космического агентства и, в частности, Норвежского центра космического образования. Рассматриваются результаты и планы по развертыванию многоуровневой подготовки молодых специалистов в содружестве с промышленными предприятиями Санкт-Петербурга, осуществляющими на базе современных технологий организацию молодежных проектов по разработке макетов микроспутников. Отмечается опыт по участию в международных молодежных соревнованиях „CanSat“ и организации аналогичных соревнований в России.

**Ключевые слова:** макет микроспутника CanSat, учебная ракета, приборное оборудование микроспутников, наземная приемная станция

Реалии современного общества диктуют необходимость возрождения интереса молодежи, в том числе российской, к сфере аэрокосмоса [1]. Согласно концепции „школа — вуз — производство“ один из путей решения этой проблемы — всесторонняя поддержка профессионального и мотивационного самоопределения учащихся, что требует совместных усилий образовательных учреждений всех ступеней, а также предприятий и общественных организаций.

Таким масштабным научно-техническим образовательным проектом являются молодежные соревнования по строительству микроспутников CanSat. „CanSat“ — это соревнование по разработке и созданию простых и недорогих макетов космических спутников, все основные системы которого повторяют работу реальных космических аппаратов. В настоящее время соревнования „CanSat“ проводятся в США, Японии, Нидерландах, Норвегии и других странах. Цель этих соревнований — вовлечь учащихся в проекты, связанные с инновационными технологиями и образовательным проектированием, а также способствовать практическому усвоению передовых знаний из различных областей науки и техники.

*В 2011 г. в годовщину 50-летия полета Юрия Гагарина впервые три российские команды из Казани, Санкт-Петербурга и Москвы были приглашены к участию в соревнованиях чемпионата „CanSat“ на космодроме Андойя в Норвегии. Участие России*

было организовано Северо-Западным межрегиональным отделением Федерации космонавтики России (ФКР), Норвежским центром космического образования (NAROM) и норвежской компанией „AeroTitanium“. Команда от Санкт-Петербурга была сформирована из воспитанников юношеской школы „Авионика“ (при Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения — СПбГУАП) и клуба космонавтики им. Г. Титова. Российская сборная достойно выступила на соревнованиях и заняла 2-е место. В 2012 г. уже 8 команд из Санкт-Петербурга и области успешно выступили на первом российском чемпионате „CanSat“ в Калуге, проводимом совместно ФКР и НИИ ядерной физики (Москва). В том же году по инициативе космонавта Г. Гречко и при поддержке генерального директора компании „AeroTitanium“ Д. Иванова была сформирована санкт-петербургская молодежная сборная команда „CanSat“ международного уровня, получившая название „Спутник“. Работа команды „Спутник“ осуществляется в рамках образовательных проектов центра технического творчества Китяж-плюс. Дебют ее участия в международных соревнованиях состоялся в 2013 г. на космодроме Андойя, где команда успешно выступила.

Накопленный за прошедшие годы опыт участия в чемпионатах „CanSat“ позволяет говорить о растущем интересе молодежи к техническому творчеству. Научно-образовательная работа с учащимися проводится силами центра Китяж-плюс и преподавателей СПбГУАП, а изготовление необходимых базовых наборов для сборки микроспутников осуществляется на промышленных предприятиях Санкт-Петербурга (например, компания „ЭЛКУС“). В планах проекта „CanSat“ предусмотрена подготовка молодежного микроспутника, запускаемого на орбиту попутным грузом российской ракетой-носителем или выводимого в космос с МКС.

Обратимся теперь непосредственно к микроспутнику CanSat. Приборное оборудование реальных космических аппаратов [2] условно можно разделить на следующие основные составляющие:

- энергетическая система;
- управляющий компьютер;
- датчики;
- коммуникационная система;
- система управления ориентацией.

Стандартный набор оборудования, необходимого для функционирования орбитального космического аппарата (КА), представлен на рис. 1, где 1 — основной двигатель, 2 — вспомогательный двигатель, 3 — аккумуляторная батарея, 4 — транспондеры, 5 — бортовой компьютер, 6 — гироскоп № 2, 7 — антенна, 8 — топливный бак, 9 — двигатель ориентации, 10 — антенный усилитель, 11 — гироскоп № 3, 12 — теплообменник, 13 — солнечная батарея, 14 — звездный датчик, 15 — ближняя инфракрасная камера, 16 — приемник LIDAR, 17 — камера ультрафиолетового излучения, 18 — передатчик LIDAR, 19 — длинноволновая инфракрасная камера.

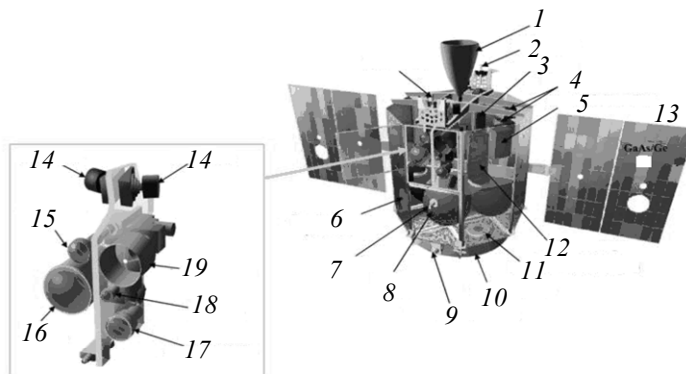


Рис. 1

Само название CanSat (satellite in a can — спутник в банке) предполагает создание макета спутника, габариты которого не превышают размеры, например, обычной банки из-под колы объемом 350—1000 мл. Дело в том, что современные технологии микроэлектроники вполне позволяют все основные перечисленные выше системы современного космического аппарата и даже уникальную полезную нагрузку вместить в корпус указанных размеров [3]. После отделения от ракеты или аэростата на высоте 1—10 км над землей такой микроспутник должен произвести измерения, передать их на наземную станцию приема и приземлиться с помощью парашюта.

Основу комплекта для сборки макета спутника в формате CanSat составляют микропроцессорный модуль Arduino Uno и плата датчиков. Платформа Arduino предоставляет разработчикам открытый исходный код и идеально подходит для решения учебных задач прототипирования электронных устройств на основе гибкого и простого в использовании оборудования и программного обеспечения, при этом в структурной организации макета микроспутника (рис. 2) сохраняются базовые принципы построения приборного оборудования настоящего космического аппарата [4].

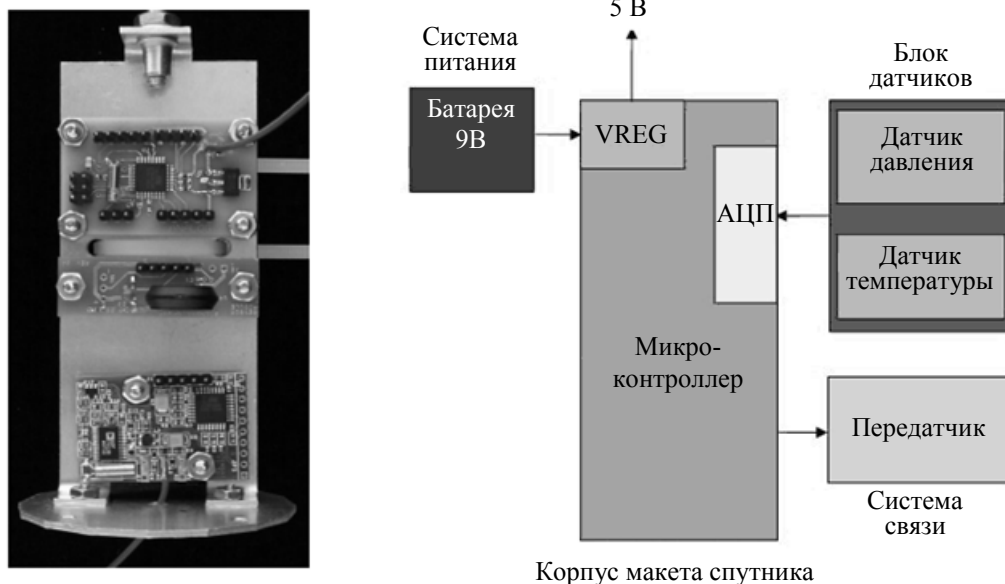


Рис. 2

Построенный на платформе Arduino макет микроспутника позволяет исследовать окружающую среду, получая входные данные от различных датчиков, и может влиять на его полет за счет управления двигателями и другими исполнительными устройствами [5, 6].

Космические спутники, как правило, не возвращаются на Землю, в конце срока эксплуатации они переходят на другую орбиту; некоторые космические аппараты, однако, возвращаются на Землю [7].

Формат CanSat предполагает возврат макета микроспутника на Землю. Чаще всего в качестве системы спасения используется небольшой парашют, который обеспечивает последующее вертикальное положение макета микроспутника, что важно для обеспечения правильной ориентации антенны радиопередатчика, повышая надежность передачи данных телеметрии. Схема, демонстрирующая работу системы спасения на различных этапах полета, представлена на рис. 3.

Высота полета микроспутника CanSat (от 1 до 10 км) и, как следствие, время его полета (что регламентируется условиями учебных соревнований) могут существенно различаться [8]. На рис. 4 показан старт на космодроме Андойя ученической ракеты, достигающей высоты 10 км. В этом случае значительно повышаются требования к используемому радиоканалу. Телеметрия микроспутника CanSat обеспечивает решение трех самостоятельных задач: передача,

прием и обработка информации. Плата передающего устройства внутри микроспутника CanSat собирает информацию и отправляет радиосигнал. Этот сигнал принимается наземной станцией (портативной радиостанцией или специальным радиомодулем) и передается на персональный компьютер, где сохраняются полученные данные.

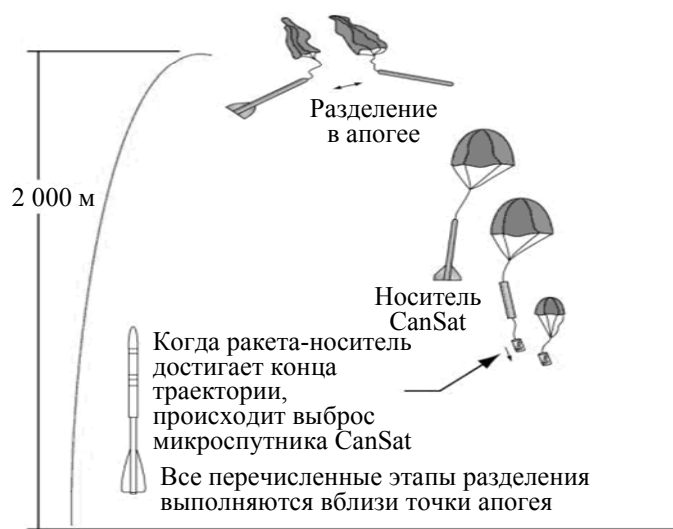


Рис. 3



Рис. 4

Использование наземной станцией компьютерных технологий компании „National Instruments“ (США), в частности пакета графического программирования Labview, позволяет реализовать удобный пользовательский интерфейс для обработки и отображения принимаемой информации. На рис. 5 показан скриншот виртуальных приборов, обеспечивающих процессы телеметрии на этапе полета микроспутника; измеряемыми параметрами являются высота, давление, температура, время полета. Эти данные позволяют реализовать различные исследовательские миссии: например, оценить после полета траекторию спуска, используя спутниковую навигационную систему.

В рамках рассматриваемого проекта предлагается перспективная модульная система построения макета микроспутника, обеспечивающая получение учащимися практического опыта по его проектированию, изготовлению и управлению. Модульный принцип построения микроспутника позволяет осуществлять гибкое изменение аппаратуры и модифицировать

используемое программное обеспечение в зависимости от текущих решаемых задач. В качестве перспективной задачи предусматривается взаимодействие микроспутника с беспилотными летательными аппаратами среднего класса, что позволит существенно расширить возможности последних для более детального мониторинга отдельных объектов контроля.

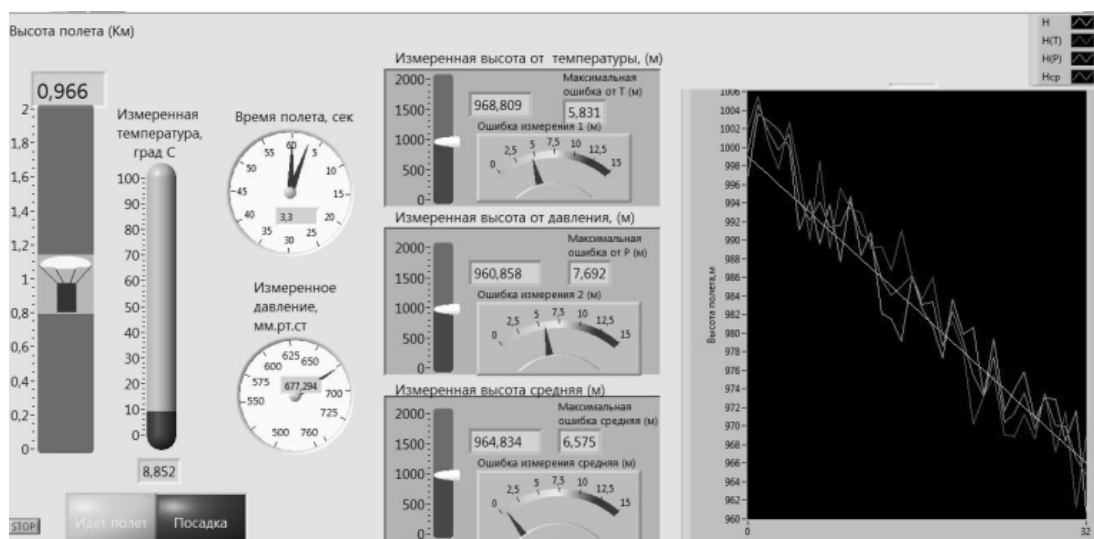


Рис. 5

С целью дальнейшего использования разрабатываемого проекта в учебном процессе СПбГУАП и при проведении соревнований „CanSat“ предусматривается технологическая подготовка отдельных модулей для мелкосерийного производства на промышленных предприятиях Санкт-Петербурга. Для обеспечения запусков серии микроспутников предполагается разработать специализированное оборудование для наземной станции приема телеметрической информации и выдачи управляющих команд.

В заключение следует отметить, что, помимо чисто технической стороны, молодежный научно-технический образовательный проект „CanSat“ носит также комплексный педагогический характер, что предполагает проведение учебно-методических, исследовательских и производственных мероприятий, направленных на профессиональную ориентацию молодежи.

Авторы выражают благодарность Шэньянскому политехническому университету за помощь в схемотехническом прототипировании при разработке учебных микроспутников.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания № 9.1559.2017 на 2017—2019 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Perliouk V., Ivanov D., Slavinskij A. Experience in developing on-board systems of microsatellites in the framework of international scientific and educational programs // Proc. of Intern. Conf. on Space Problems, Praha. 2011.
2. Полтавец Г. А. Микроспутники // Земля и Вселенная. 2004. № 2.
3. Nebylov A., Perliouk V., Alhatim O., Hu X. Research of electrocapacitive sensor for detection of leakages system aboard micro-satellite // Workshop on Advanced Control and Navigation for Autonomous Aerospace Vehicles, Seville, Spain. 2015. P. 91—96.
4. Aerospace Navigation Systems / Ed. A. Nebylov & J. Watson. Wiley, 2016.
5. Schilling K., Garcia-Sanz M., Twiggs B., Sandau R. Small satellite formations for distributed surveillance: System design and optimal control considerations // NATO RTO Lecture Series SCI-209. 2009.
6. Schilling K., Pranajaya F., Gill E., Tsourdos A. Small satellite formations for distributed surveillance: System design and optimal control considerations // NATO RTO Lecture Series SCI-231. 2011.

7. Ефанов В. В., Пичхадзе К. М. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований. М.: Изд-во МАИ, 2012.
8. Сайт Норвежского центра аэрокосмических исследований — Nasjonalt senter for romrelatert opplæring (NAROM) [Электронный ресурс]: <<http://www.narom.no>>.

#### Сведения об авторах

- Александр Владимирович Небылов** — д-р техн. наук, профессор; СПбГУАП, кафедра аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов; Международный институт передовых аэрокосмических технологий; директор; E-mail: nebylov@aanet.ru
- Владимир Владимирович Перлюк** — канд. техн. наук, доцент; СПбГУАП, кафедра аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов; E-mail: perlvv@mail.ru
- Ху Сяоян** — канд. техн. наук, профессор; Шэньянский политехнический университет, кафедра систем управления; E-mail: xiaoyang\_hu@mail.ru

Поступила в редакцию  
14.02.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Небылов А. В., Перлюк В. В., Ху Сяоян. Опыт разработки бортовых систем макетов микроспутников в рамках международных научно-образовательных программ // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 685—691.

### EXPERIENCE IN DEVELOPING ON-BOARD SYSTEMS FOR PROTOTYPES OF MICRO-SATELLITES IN THE FRAMES OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL PROGRAMS

A. V. Nebylov<sup>1</sup>, V. V. Perliouk<sup>1</sup>, Hu Xiaoyang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
190000, St. Petersburg, Russia  
E-mail: perlvv@mail.ru

<sup>2</sup> Schenjan Polytechnical University, Schenjan, China

The complex of scientific and educational activities aimed at increasing the motivation of modern youth to engage in technical creativity in the aerospace field is analyzed. Special attention is paid to the forms of organization of work with young people, contributing to the involvement of talented students in the work on promising research projects in satellite and rocket engineering. Experience of the European Space Agency and NAROM (Norwegian National Center for Space Education) involving multilevel training of specialists is described. Results and plans of deploying multi-level training of specialists in Russia are also examined. The achievements of the St. Petersburg University of Aerospace Instrumentation in cooperation with industrial enterprises and organizations engaged in the development of modern technologies for space probing in the field of student and innovative projects of the Earth monitoring from space, the development and construction of microsatellites are discussed. The experience in participation in international youth competitions CANSAT and the organization of similar competitions in Russia are noted.

**Keywords:** CANSAT microsatellite model, training missile, microsatellite instrumentation, ground receiving station

#### REFERENCES

1. Perliouk V., Ivanov D., Slavinskij A. *Experience in developing on-board systems of microsatellites in the framework of international scientific and educational programs*, Space-problems, Praha, 2011.
2. Poltavets G.A. *Zemlya i Vselennaya*, 2004, no. 2, pp. 19–28 (in Russ.)
3. Nebylov A., Perliouk V., Alhatim O., Hu X. *Research of Electrocapacitive Sensor for Detection of Leakages System Aboard Micro-satellite*, ACNAAV 2015, Workshop on Advanced Control and Navigation for Autonomous Aerospace Vehicles, Seville, Spain, 2015, pp. 91–96.
4. Nebylov A. & Watson J., ed., *Aerospace Navigation Systems*, Wiley, 2016.
5. Schilling K., Garcia-Sanz M., Twiggs B., and Sandau R. *Small satellite formations for distributed surveillance: System design and optimal control considerations*, NATO RTO Lecture Series SCI-209, 2009.
6. Schilling K., Pranajaya F., Gill E., Tsourdos A. *Small satellite formations for distributed surveillance: System design and optimal control considerations*, NATO RTO Lecture Series SCI-231, 2011.
7. Efanov V.V., Pichkhadze K.M. *Proektirovanie avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov dlya fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy* (Design of Automatic Spacecrafts for Basic Scientific Research), in 3 volumes, Moscow, 2012. (in Russ.)

8. Nasjonal sentraliserende og koordinerende enhet for romrelatert oppl ring (NAROM), <http://www.narom.no>.

**Data on authors**

- Alexander V. Nebylov** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Aerospace Measuring and Computing Complexes; International Institute for Advanced Aerospace Technologies; Director; E-mail: [nebylov@aanet.ru](mailto:nebylov@aanet.ru)
- Vladimir V. Perliouk** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Aerospace Measuring and Computing Complexes; E-mail: [perlvv@mail.ru](mailto:perlvv@mail.ru)
- Hu Xiaoyang** — PhD, Professor; Schenjan Polytechnical University, Department of Control Systems; E-mail: [xiaoyang\\_hu@mail.ru](mailto:xiaoyang_hu@mail.ru)

**For citation:** A. V. Nebylov A. V., Perliouk V. V., Hu Xiaoyang. Experience in developing on-board systems for prototypes of micro-satellites in the frames of international scientific and educational programs. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 685—691 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-685-691