

## БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ViNOM ДЛЯ НАНОСПУТНИКОВ СЕМЕЙСТВА SAMSAT

© 2018

- В. П. Захаров** доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерных и биотехнических систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; [ssauvz@mail.ru](mailto:ssauvz@mail.ru)
- В. Н. Конохов** кандидат технических наук, доцент кафедры лазерных и биотехнических систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; [maverick65@ya.ru](mailto:maverick65@ya.ru)
- П. И. Бахтинов** ведущий инженер кафедры лазерных и биотехнических систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; [p-bahtinov@yandex.ru](mailto:p-bahtinov@yandex.ru)
- Е. В. Молчков** ведущий инженер кафедры лазерных и биотехнических систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; [biotech@ssau.ru](mailto:biotech@ssau.ru)
- Д. В. Корнилин** кандидат технических наук, доцент кафедры лазерных и биотехнических систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; [kornilin@mail.ru](mailto:kornilin@mail.ru)
- С. Г. Коновалов** аспирант кафедры лазерных и биотехнических систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; [semyon-konovalov@mail.ru](mailto:semyon-konovalov@mail.ru)

Биологический модуль «ViNOM» предназначен для проведения многоцелевых биомедицинских экспериментов в космосе с широким спектром биологических объектов (бактерии, водоросли, грибы, растения, многокомпонентные биосистемы). Модуль разработан для использования в качестве полезной нагрузки наноспутников семейства SamSat и может быть установлен на любых других космических аппаратах. Биомодуль является законченным изделием и включает в себя камеру биологического объекта, системы жизнеобеспечения, управления и контроля, размещённые в герметичном корпусе. Взаимодействие модуля «ViNOM» с электронными системами наноспутника осуществляется с помощью одного четырёхконтактного разъёма. Система жизнеобеспечения поддерживает в камере биообъекта требуемые температуру, давление, влажность и газовый состав. Система управления позволяет в автоматическом режиме по заданной программе или по командам с наземного пункта управления проводить биомедицинские эксперименты. Система контроля предназначена для измерения параметров окружающей среды и биологического объекта. Система контроля обеспечивает мультиспектральную визуализацию биообъектов, регистрацию флуоресценции, измерение температуры и влажности в нескольких точках, давления, концентрации кислорода и углекислого газа. Предусмотрена возможность подключения дополнительных датчиков в зависимости от целей эксперимента. Изготовлен опытный образец биомодуля и выполнен ряд тестов, подтвердивших верность предложенных технических решений. В частности, испытания в вакуумной камере показали, что потеря давления в герметичном корпусе биомодуля не превышает 20% от первоначального в течение года. Был выполнен ряд биологических экспериментов, продемонстрировавших возможность инициализации, роста и поддержания жизнедеятельности различных биологических объектов в течение длительного, до двух месяцев, периода.

*Наноспутник; SamSat; биомедицинский эксперимент; герметичный корпус; система жизнеобеспечения; камера биообъекта; мультиспектральная визуализация.*

---

**Цитирование:** Захаров В.П., Конохов В.Н., Бахтинов П.И., Молчков Е.В., Корнилин Д.В., Коновалов С.Г. Биологический модуль ViNOM для наноспутников семейства SamSat // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17, № 2. С. 80-90.  
DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-2-80-90

## Введение

Медико-биологические эксперименты в космосе позволяют ответить на широкий круг вопросов: от фундаментальных, например о происхождении жизни во Вселенной, до прикладных, связанных с обеспечением жизнедеятельности человека при длительных космических полётах. До настоящего времени подавляющее большинство подобных экспериментов выполняется на пилотируемых космических комплексах и специализированных автоматических космических аппаратах среднего и тяжёлого класса. Несмотря на широкие возможности проведения медико-биологических исследований на указанных платформах, ряд недостатков, основными из которых являются значительные стоимость, длительность подготовки и ожидания запуска, узкий спектр орбит, сдерживает развитие космической биологии и медицины. Использование космических аппаратов нанокласса как базы для проведения медико-биологических экспериментов в космосе даёт возможность устранить эти недостатки, резко снизив стоимость исследований, увеличив диапазон параметров факторов космического полёта, существенно расширив круг лиц, принимающих участие в проведении экспериментов.

Перспективность использования аппаратов нанокласса для медико-биологических исследований подтверждается динамикой проведённых и планируемых экспериментов [1-7]. Так, с 2006 по 2009 гг. были успешно осуществлены такие эксперименты NASA (США), как GeneSat-1, PharmaSat, O/OREOS. В 2018 году NASA планирует запуск спутника нанокласса BioSentinel для исследования изменений в ДНК под действием космического излучения. Помимо NASA другие научные группы и космические агентства [5-7] ведут разработки наноспутников для экспериментов в области космической биологии. РКК «Энергия» совместно с институтом медико-биологических проблем рассматривает возможность проведения исследования влияния на биологические образцы факторов космического полёта на базе наноплатформы [8].

Однако проведённый анализ показал, что круг исследуемых объектов в осуществлённых и планируемых экспериментах достаточно узок и ограничивается бактериями, одноклеточными грибами и органическими соединениями. С другой стороны, характеристики наноспутников позволяют расширить диапазон классов биологических объектов вплоть до микроскопических животных и высших растений. В этой связи возникает задача создания технических средств, обеспечивающих возможность проведения медико-биологических экспериментов с широким классом биологических объектов в автоматическом режиме с учётом массогабаритных и функциональных ограничений наноспутника. Основным требованием к подобным средствам является возможность адаптации к особенностям проводимого медико-биологического эксперимента путём минимальных изменений аппаратуры.

## Разработка биологического модуля

С учётом вышесказанного был разработан биологический модуль «BiNOM» (biology nano orbital module) для наноспутниковой платформы SamSat 3U. Была предложена структура, разработаны компоновка, конструкция и электронная аппаратура биомодуля, выполнено моделирование элементов конструкции, изготовлен опытный образец биомодуля, выполнено тестирование систем биомодуля, проведено испытание герметичного корпуса опытного образца.

Биомодуль состоит из герметичного корпуса, камеры биологического объекта, системы управления и контроля. Система управления и контроля функционально включает в себя систему управления параметрами внутренней среды биомодуля и систему контроля состояния биообъекта. Компоновка биомодуля приведена на рис. 1.

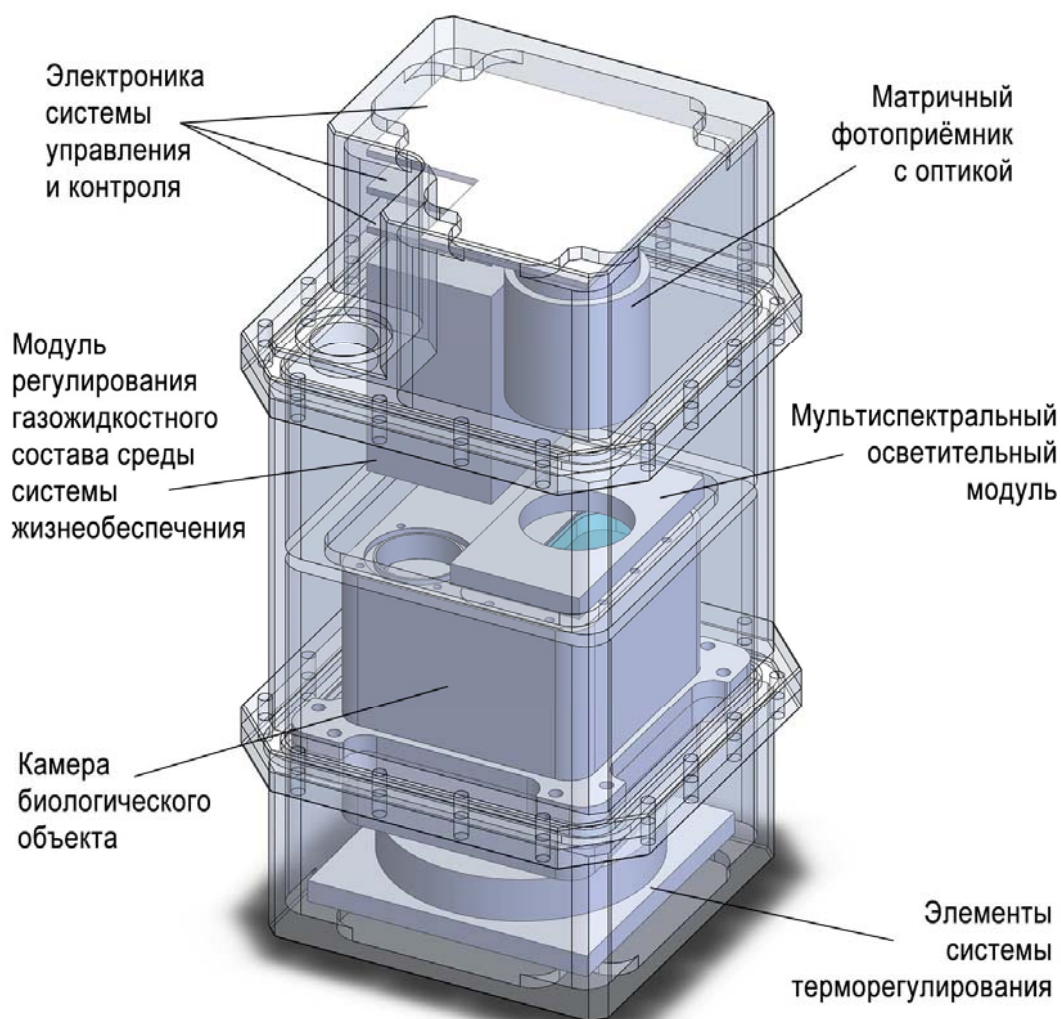


Рис. 1. Компоновка биомодуля «BiNOM»

Конструкция герметичного корпуса выбиралась исходя из следующих основных критериев: масса корпуса, полезный объём, прочность корпуса, сложность изготовления. Моделирование вариантов проводилось в программе SolidWorks. Имитировалась разность давлений внутри и снаружи корпуса, равная одной атмосфере. В качестве материала герметичного корпуса при моделировании использовался сплав AA2024, являющийся ближайшим аналогом отечественного сплава Д16. Были рассмотрены пять основных вариантов конструкции герметичного корпуса: цилиндрической формы с торцевой крышкой (вариант 1), в виде параллелепипеда с торцевой крышкой без рёбер жёсткости (вариант 2), в виде параллелепипеда с торцевой крышкой и рёбрами жёсткости (вариант 3), в виде параллелепипеда из двух частей с продольным разрезом и рёбрами жёсткости (вариант 4), в виде параллелепипеда из трёх частей с поперечным разрезом без рёбер жёсткости (вариант 5). Результаты моделирования приведены в таблице.

Таблица. Результаты моделирования герметичных корпусов

Номер варианта	Максимальное механическое напряжение, Н/м <sup>2</sup>	Максимальная деформация, мкм	Расчётная масса, кг
1	$6,74 \cdot 10^6$	6,9	0,422
2	$7,9 \cdot 10^7$	230	0,264
3	$5,5 \cdot 10^7$	73	0,212
4	$5,4 \cdot 10^7$	98	0,370
5	$2,8 \cdot 10^7$	22,5	0,553

Лучшие результаты моделирования продемонстрировал герметичный корпус цилиндрической формы с торцевым фланцем и крышкой. Однако в этом случае полезный объём является наименьшим из всех вариантов. С учётом того, что для всех образцов механическое напряжение не превышает предела текучести выбранного материала, расчётная масса допустима для научной аппаратуры наноспутниковой платформы SamSat 3U и, исходя из максимального полезного объёма и сложности изготовления, был выбран пятый вариант.

С целью проверки предлагаемых технических решений, направленных на поддержание параметров газовой среды в необходимых пределах в течение длительного времени, был изготовлен макет герметичного корпуса биомодуля (рис. 2). Макет состоит из трёх деталей, выполненных из сплава Д16.



Рис. 2. Наноспутник семейства SamSat и макет герметичного корпуса биомодуля «BiNOM»

Испытания макета корпуса биомодуля в условиях вакуума проводились в термовакуумной камере (ТВК) УП-125ТХД Центра испытаний и комплексной отработки наноспутников (ЦИОН). Датчики давления и температуры были установлены в гермообъёме корпуса биомодуля, их выходные сигналы через герморазъёмы корпуса биомодуля и термовакуумной камеры поступали на внешний вольтметр для измерения. Испытания проводились в течение 23 часов.

Предварительно с помощью форвакуумного насоса была произведена откачка объёма ТВК с размещённым в нём корпусом биомодуля, при остаточном давлении около 0,2 мм рт.ст. оборудование ТВК было выключено и оставлено в пассивном состоянии. После 17 часов выдержки при давлении в ТВК 0,4 мм рт.ст. были последовательно включены форвакуумный и турбомолекулярный насосы, давление в ТВК снизилось до величины порядка  $10^{-5}$  мм рт.ст. и в этом режиме испытания продолжались ещё около 6 часов.

Графики изменения параметров воздушной среды внутри макета корпуса биомодуля за время испытаний приведены на рис. 3, 4. Кривые 1 и 2 на рис. 3 отражают, соответственно, изменения рассчитанного и измеренного давления по данным размещённого внутри корпуса датчика. На рис. 4 приведено изменение температуры внутри макета корпуса. Существенный рост температуры за последние 6 часов испытаний объясняется разогревом ТВК и всего помещения за счёт тепловыделения включённого в активной фазе испытаний оборудования. Несмотря на то, что температура термоплиты, на которой был размещён испытываемый корпус, поддерживалась термостатом ТВК на исходном уровне, теплообмен между корпусом ТВК и объектом испытаний оказался достаточно большим для постепенного прогрева последнего. Соответственно росло давление воздуха в замкнутом объёме испытываемого корпуса.

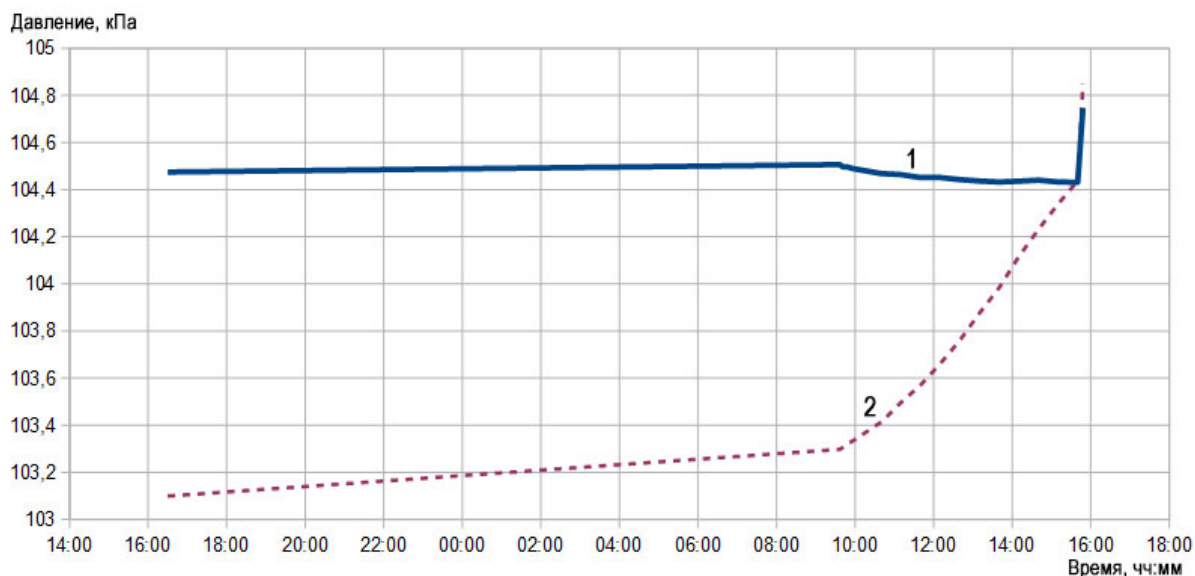


Рис. 3. Графики изменения давления внутри испытываемого корпуса биомодуля:  
1 – рассчитанное давление; 2 – измеренное давление

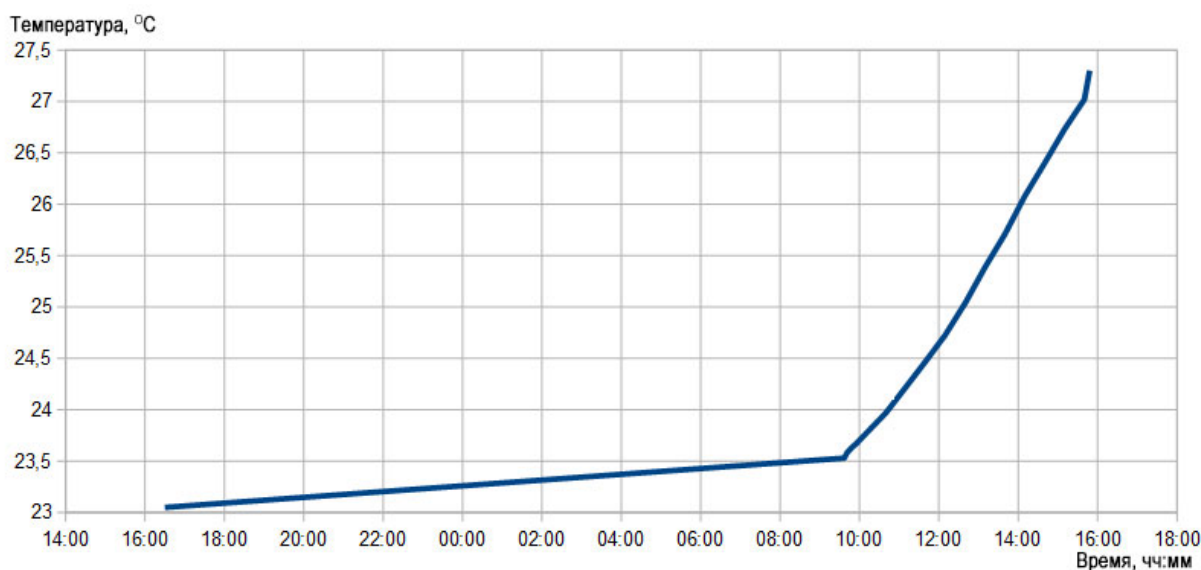


Рис. 4. График изменения температуры внутри испытываемого корпуса биомодуля

Для выявления возможных утечек из гермообъема испытываемого корпуса необходима компенсация влияния температуры на давление заключенного в нём воздуха. Кривая 1 на рис. 3 показывает изменения расчётного значения давления, приведённого к постоянной температуре 300 К, полученного исходя из уравнения состояния идеального газа по формуле:

$$P(300K) = P_d 300K / (t_d + 273K),$$

где  $P_d$  и  $t_d$  – измеренные датчиками давление и температура (в °C) соответственно.

Общее изменение приведённого давления с учётом указанной термокомпенсации за 23 часа испытаний составило 0,044 кПа, что соответствует темпу утечки 0,043% в сутки. Этот результат следует рассматривать как оценку сверху, поскольку некоторое снижение давления и колебания, заметные на заключительном участке кривой 1, соответствующем активной фазе испытаний, объясняется, по-видимому, не реальными утечками, а погрешностями термокомпенсации в условиях значительного роста температур, когда температура датчика не вполне точно соответствовала искомой температуре заключенного в гермообъеме воздуха. Финальный скачок давления, заметный на графиках 1 и 2, соответствует моменту разгерметизации ТВК по окончании испытаний. При этом снялись нагрузки с испытываемого корпуса, его стенки релаксировали в исходное состояние, в результате чего уменьшился внутренний объем корпуса и выросло давление внутри него. Зарегистрированный рост давления на 0,3% соответствует изменению линейных размеров порядка 0,1 мм, что хорошо согласуется с данными, полученными прямыми измерениями.

Полученная в результате проведенных экспериментальных исследований изготовленного макета корпуса оценка вероятной утечки газовой среды во время нахождения биомодуля в вакууме не более 0,043% в сутки позволяет рассчитывать на потерю в течение годового полёта менее 20% начального объема воздуха.

Структура системы контроля и управления параметрами внутренней среды биомодуля и системы контроля состояния биообъекта однозначно определяется назначением и выполняемыми этими системами функциями (рис. 5).

Система контроля и управления параметрами внутренней среды биомодуля выполняет периодические измерения температуры в герметичном корпусе биомодуля, температуры в камере биообъекта, абсолютного давления в герметичном корпусе биомодуля, абсолютного давления в камере биообъекта, влажности в камере биообъекта, содержания кислорода и углекислого газа в камере биообъекта, а также формирует управляющие воздействия для поддержания температуры, влажности и газового состава в герметичном корпусе биомодуля и камере биообъекта в заданных пределах.

Система контроля состояния биообъекта предназначена для оценки структуры и функций биообъекта и позволяет проводить визуальный контроль в различных спектральных диапазонах, измерять уровень флуоресценции, а также, в зависимости от целей и задач исследования, вести химический и биохимический анализы метаболитов.

Системы контроля и управления параметрами внутренней среды биомодуля и контроля состояния биообъекта включают в себя набор датчиков и исполнительных устройств, работающих под контролем микропроцессорной системы управления. Датчики биомодуля по месту установки делятся на две группы: размещённые в гермообъёме биомодуля и установленные в камере биообъекта. В гермообъёме биомодуля размещены датчики температуры и давления, предназначенные для контроля условий работы установленной аппаратуры управления и сбора научной информации, а также для определения параметров теплообмена камеры биообъекта с окружающей средой.

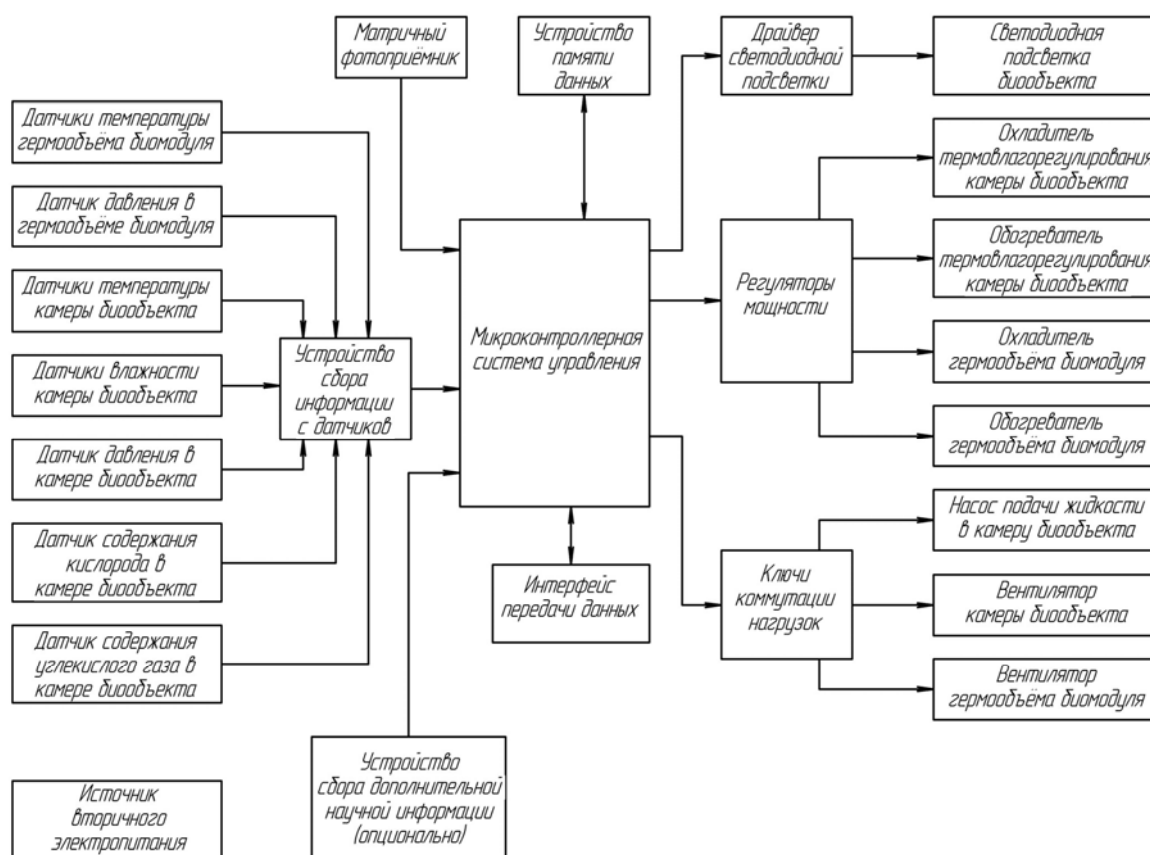


Рис. 5. Структурная схема системы контроля и управления параметрами внутренней среды биомодуля и системы контроля состояния биообъекта

Установленные в камере биообъекта термодатчики предназначены для измерения температуры субстрата выращивания исследуемых организмов и температуры воздушной среды в нескольких точках. Датчики влажности служат для определения относительной влажности воздуха вблизи субстрата биообъекта и в зоне размещения датчиков состава газовой среды и оптического окна фотоприёмника.

Датчик содержания кислорода и датчик содержания углекислого газа позволяют судить об изменениях состава газовой среды в камере биообъекта, происходящих в результате жизнедеятельности исследуемых организмов. Датчик давления в камере биообъекта служит для внесения поправок в показания датчиков состава газовой среды в соответствии с парциальными давлениями контролируемых газов.

Устройство сбора информации с датчиков предназначено для включения и выключения отдельных датчиков по командам системы управления, сбора данных с них, оцифровки аналоговой информации, передачи результатов системе управления для сохранения в устройстве памяти.

Устройство сбора дополнительной научной информации не входит в базовый состав аппаратуры биомодуля, однако его подключение предусматривается в необходимых случаях, если того требует специфика проводимого биологического эксперимента.

Матричный фотоприёмник позволяет получать изображения исследуемого биообъекта с целью фиксации морфологических изменений при его развитии. Повышение информативности изображений достигается за счёт мультиэкспозиции фотоприёмника при подсветке исследуемых образцов излучением с различными спектральными характеристиками. На время экспозиции фотоприёмника система управления включает нужные группы светодиодов, в частности RGB для синтеза цветных изображений и ультрафиолетовый излучатель для регистрации флуоресценции.

Установленные в камере биообъекта обогреватель и охладитель системы термовлагорегулирования служат для поддержания температуры в заданных пределах и для создания внутри камеры градиента температур, необходимого для возвращения влаги, испаряющейся в воздушную среду, обратно в субстрат выращивания исследуемых организмов. Локальный обогрев части камеры необходим для предотвращения орошения датчиков состава газовой среды и оптического окна фотоприёмника. Вентилятор камеры биообъекта и вентилятор гермообъёма биомодуля предназначены для обеспечения циркуляции газовой среды в условиях микрогравитации.

Обогреватель и охладитель гермообъёма биомодуля служат для поддержания температуры установленной аппаратуры в допустимых пределах, сглаживания температурных колебаний, связанных с нахождением спутника на освещённых и теневых участках орбиты. Режимы работы обогревателей и охладителей задаются системой управления с помощью широтно-импульсных регуляторов мощности.

Насос подачи жидкости в камеру биообъекта используется при инициации начала развития исследуемых организмов из первоначально латентного (сухого) состояния, в котором они должны пребывать на этапах подготовки к запуску и выводу на орбиту, а также для восполнения раствора питательных веществ в процессе эксперимента.

Микроконтроллерная система управления обеспечивает управление всеми исполнительными устройствами биомодуля, сохранение информации, поступающей с датчиков и матричного фотоприёмника в устройстве памяти данных, выдачу сохранённой информации через интерфейс передачи данных по запросу бортовой цифровой вычислительной машины наноспутниковой платформы для передачи по радиоканалу в наземный центр управления.



## **Заключение**

Разработанный биологический модуль «BiNOM» может служить универсальной платформой для проведения биомедицинских экспериментов на наноспутниках и космических аппаратах микро- и мини-классов при решении широкого круга задач космической биологии и медицины. Основной особенностью модуля «BiNOM» является возможность адаптации к целям медико-биологических экспериментов при минимальном изменении аппаратной части.

Для проверки верности предложенных технических решений проведён ряд экспериментов с зелёными водорослями и растениями семейства капустных длительностью от двух недель до двух месяцев. Результаты экспериментов показали, что система жизнеобеспечения способна поддерживать развитие биологических объектов в условиях замкнутого объёма при ограниченных ресурсах в течение длительного времени.

## **Библиографический список**

1. Kitts C., Ronzano K., Rasay R., Mas I., Williams Ph., Mahacek P., Minelli G., Hines J., Agasid E., Friedericks Ch., Piccini M., Parra M., Timucin L., Beasley C., Henschke M., Luzzi E., Mai N., McIntyre M., Ricks R., Squires D., Storment C., Tucker J., Yost B., Defouw G., Ricco A. Flight results from the GeneSat-1 biological microsatellite mission // 21st Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. Logan, Utah, USA, 2007.
2. PharmaSat. PharmaSat Features and News.  
[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/smallsats/pharmasat/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/smallsats/pharmasat/main/index.html)
3. Mattioda A., Cook A., Ehrenfreund P., Quinn R., Ricco A.J., Squires D., Bramall N., Bryson K., Chittenden J., Minelli G., Agasid E., Allamandola L., Beasley Ch., Burton R., Defouw G., Diaz-Aguado M., Fonda M., Friedericks Ch., Kitts C., Landis D., McIntyre M., Neumann M., Rasay M., Ricks R., Salama F., Santos O., Schooley A., Yost B., Young A. The O/OREOS mission: first science data from the space environment viability of organics (SEVO) payload // *Astrobiology*. 2012. V. 12, Iss. 9. P. 841-853. DOI: 10.1089/ast.2012.0861
4. BioSentinel.  
<https://www.nasa.gov/centers/ames/engineering/projects/biosentinel.html>
5. Cullen D., Longley J., Kingston J., Lee D., Black M., Pearson D., Waring C., Pink R. BAMMSat – A platform for beyond LEO space environments studies on biological systems in CubeSats and CubeSat-like payloads // 6th Interplanetary CubeSat Workshop. 2017. <https://icubesat.org/papers/2016-2/2016-b-1-4/>
6. Xiang Zh., Wenhe L., Lianxin Zh., Min Ch., Youquan Y. Study on on-orbit demonstration technology for space-biology nanosatellites // International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO). 2014. DOI: 10.1109/3m-nano.2014.7057353
7. Yoon T.-S., Kang S. Interplanetary «Bioscience» mission initiative with CubeSat-platform technology // 3th Interplanetary CubeSat Workshop. 2014. <https://icubesat.org/papers/2014-2/2014-a-1-4-interplanetary-bioscience-mission-initiative-with-cubesat-platform-technology/>
8. Конструктор о наноспутниках и их судьбе: выполнил задачу и сгорел без остатка. <http://tass.ru/opinions/interviews/4391696>

## BIOLOGICAL MODULE “BiNOM” FOR CUBESATS OF THE SAMSAT FAMILY

© 2018

- V. P. Zakharov** Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Department of Laser and Biotechnical Systems; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [ssauvz@mail.ru](mailto:ssauvz@mail.ru)
- V. N. Konyukhov** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Laser and Biotechnical Systems; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [maverick65@ya.ru](mailto:maverick65@ya.ru)
- P. I. Bakhtinov** Leading Engineer of the Department of Laser and Biotechnical Systems; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [p-bahtinov@yandex.ru](mailto:p-bahtinov@yandex.ru)
- E. V. Molchkov** Leading Engineer of the Department of Laser and Biotechnical Systems; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [biotech@ssau.ru](mailto:biotech@ssau.ru)
- D. V. Kornilin** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Laser and Biotechnical Systems; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [kornilin@mail.ru](mailto:kornilin@mail.ru)
- S. G. Konovalov** Postgraduate Student of the Department of Laser and Biotechnical Systems; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [semyon-konovalov@mail.ru](mailto:semyon-konovalov@mail.ru)

The biological module BINOM is a platform for multi-purpose biomedical space experiments with a wide range of biological objects (bacteria, algae, fungi, plants, multicomponent ecosystems). It was designed as a payload for SamSat nanosatellites and can be easily mounted on any other space vehicle. The module consists of three main blocks – a sealed chamber for biological objects, a life support system, a system of control and measurement supporting scientific data acquisition and pre-processing. The BiNOM interacts with the electronic systems of the nanosatellite with the help of a single four-pin connector. The life support system maintains the required temperature, pressure, humidity and gas mixture composition in the chamber of the biological object. The control system makes it possible to carry out biomedical experiments in the automatic mode according to a specified program or by commands from the ground control post. The control system is designed to measure the parameters of the environment and the biological object. The module supports visualization of objects in the UV-VIS-IR spectral range, fluorescence analysis, temperature and humidity measurement at several points, pressure, concentration of oxygen and carbon dioxide. Additional sensors can be used depending on the goals of the experiment. A module prototype was made and a number of tests were carried out to confirm the adequacy of the engineering solutions proposed. In particular, the vacuum chamber tests showed that the pressure loss in the pressure hull does not exceed 20% per year. A number of biological experiments demonstrated the possibility of initialization, growth and life support of various biological objects during a long, up to two months, period.

*Cubesat; SamSat; biomedical experiment; pressure hull; life support system; bio-object chamber; multispectral visualization.*

---

*Citation:* Zakharov V.P., Konyukhov V.N., Bakhtinov P.I., Molchkov E.V., Kornilin D.V., Konovalov S.G. Biological module “BiNOM” for cubesats of the SamSat family. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. V. 17, no. 2. P. 80-90. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-2-80-90

### References

1. Kitts C., Ronzano K., Rasay R., Mas I., Williams Ph., Mahacek P., Minelli G., Hines J., Agasid E., Friedericks Ch., Piccini M., Parra M., Timucin L., Beasley C., Henschke M., Luzzi E., Mai N., McIntyre M., Ricks R., Squires D., Storment C., Tucker J., Yost B.,

Defouw G., Ricco A. Flight results from the GeneSat-1 biological microsatellite mission. *21st Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*. Logan, Utah, USA, 2007.

2. PharmaSat. PharmaSat Features and News. Available at:

[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/smallsats/pharmasat/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/smallsats/pharmasat/main/index.html)

3. Mattioda A., Cook A., Ehrenfreund P., Quinn R., Ricco A.J., Squires D., Bramall N., Bryson K., Chittenden J., Minelli G., Agasid E., Allamandola L., Beasley Ch., Burton R., Defouw G., Diaz-Aguado M., Fonda M., Friedericks Ch., Kitts C., Landis D., McIntyre M., Neumann M., Rasay M., Ricks R., Salama F., Santos O., Schooley A., Yost B., Young A. The O/OREOS mission: first science data from the space environment viability of organics (SEVO) payload. *Astrobiology*. 2012. V. 12, Iss. 9. P. 841-853. DOI: 10.1089/ast.2012.0861

4. BioSentinel. Available at:

<https://www.nasa.gov/centers/ames/engineering/projects/biosentinel.html>

5. Cullen D., Longley J., Kingston J., Lee D., Black M., Pearson D., Waring C., Pink R. BAMMSat – A platform for beyond LEO space environments studies on biological systems in CubeSats and CubeSat-like payloads. *6th Interplanetary CubeSat Workshop*. 2017. Available at: <https://icubesat.org/papers/2016-2/2016-b-1-4/>

6. Xiang Zh., Wenhe L., LianxinZh., Min Ch., Youquan Y. Study on on-orbit demonstration technology for space-biology nanosatellites. *International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO)*. 2014. DOI: 10.1109/3m-nano.2014.7057353.

7. Yoon T.-S., Kang S. Interplanetary «Bioscience» mission initiative with CubeSat-platform technology. *3th Interplanetary CubeSat Workshop*. 2014. Available at: <https://icubesat.org/papers/2014-2/2014-a-1-4-interplanetary-bioscience-mission-initiative-with-cubesat-platform-technology>

8. *Konstruktor o nanosputnikakh i ikh sud'be: vypolnil zadachu i sgorel bez ostatka* [Designer about CubeSats and their destiny: completed the task and burned down]. Available at: <http://tass.ru/opinions/interviews/4391696>