

## РОССИЙСКО-АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ МАЛОГО СПУТНИКА ДЛЯ НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

© 2019

- А. С. Самедов** доктор физико-математических наук, профессор, проректор; Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан; [ad.samedov@gmail.com](mailto:ad.samedov@gmail.com)
- М. И. Панасюк** доктор физико-математических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [panasyuk@sinp.msu.ru](mailto:panasyuk@sinp.msu.ru)
- П. Ш. Абдуллаев** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой; Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан; [a\\_parviz@mail.ru](mailto:a_parviz@mail.ru)
- В. В. Богомолв** кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [bogovit@rambler.ru](mailto:bogovit@rambler.ru)
- Р. А. Гасанов** доктор технических наук, доцент, руководитель аналитического отдела; Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан; [ruslan\\_icq@mail.ru](mailto:ruslan_icq@mail.ru)
- Р. А. Ибрагимов** кандидат технических наук, начальник отдела; Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан; [rafu63@rambler.ru](mailto:rafu63@rambler.ru)
- А. Ф. Июдин** доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [aiyudin@srd.sinp.msu.ru](mailto:aiyudin@srd.sinp.msu.ru)
- Т. Г. Маммадзада** директор департамента; ОАО «Азеркосмос», г. Баку, Азербайджан; [tarlan.mammadzada@azercosmos.az](mailto:tarlan.mammadzada@azercosmos.az)
- А. А. Мусаев** кандидат технических наук, начальник отдела; Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан; [aydin-m@yandex.ru](mailto:aydin-m@yandex.ru)
- В. И. Оседло** кандидат физико-математических наук, заместитель директора Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [osedlo@mail.ru](mailto:osedlo@mail.ru)
- В. Л. Петров** младший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [vas@srd.sinp.msu.ru](mailto:vas@srd.sinp.msu.ru)
- М. В. Подзолко** кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [spacerad@mail.ru](mailto:spacerad@mail.ru)
- Е. П. Попова** кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник; Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук; [popovaelp@mail.ru](mailto:popovaelp@mail.ru)
- Р. Рустамов** кандидат экономических наук, заместитель председателя; ОАО «Азеркосмос», г. Баку, Азербайджан; [rovshan.rustamov@azercosmos.az](mailto:rovshan.rustamov@azercosmos.az)
- С. И. Свертилов** доктор физико-математических наук, доцент, профессор физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru)
- Х. Сейидов** инженер; Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан; [hikmatseyidov@gmail.com](mailto:hikmatseyidov@gmail.com)
- И. В. Яшин** кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [iv\\_n@bk.ru](mailto:iv_n@bk.ru)

Представлен проект спутникового эксперимента по наблюдению интенсивных вспышек (транзиентов) электромагнитного излучения из атмосферы Земли в разных спектральных диапазонах, а также измерению среднесрочной и долгосрочной динамики пространственного распределения потоков энергичных заряженных частиц в околоземном пространстве. Для реализации эксперимента предполагается разработать Российско-Азербайджанский малый космический аппарат, способный нести полезную нагрузку до 25-30 кг. На спутнике планируется реализовать ряд технологических экспериментов, в частности, по изучению воздействия факторов космического полёта на матрицы кремниевых фотоумножителей. Рассматривается возможность установки телескопа для фотометрических наблюдений двойных звёзд. Рассматриваются требования к орбите и режимам ориентации космического аппарата и также к его бортовым системам со стороны полезной нагрузки в соответствии с целями и задачами эксперимента. Данные измерений, которые планируется получить в ходе данного эксперимента, будут впоследствии использованы для различных научных и прикладных задач: в том числе валидации существующих и разработки новых динамических моделей радиации в околоземном пространстве, обеспечения безопасности функционирования космических аппаратов.

*Малый космический аппарат; научные и технологические эксперименты.*

---

*Цитирование:* Самедов А.С., Панасюк М.И., Абдуллаев П.Ш., Богомолов В.В., Гасанов Р.А., Ибрагимов Р.А., Июдин А.Ф., Маммадзада Т.Г., Мусаев А.А., Оседло В.И., Петров В.Л., Подзолко М.В., Попова Е.П., Рустамов Р., Свертилов С.И., Сейидов Х., Яшин И.В. Российско-Азербайджанский космический проект малого спутника для научных и технологических экспериментов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 128-139. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-128-139

## Введение

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Национальная академия авиации Азербайджана разрабатывают совместный проект космического эксперимента (КЭ) на малом спутнике. Малые космические аппараты могут быть применимы для изучения различных физических явлений, таких как транзиентные электромагнитные явления, т.е. гамма-вспышки из атмосферы Земли (TGF), транзиентные световые события (TLE) и космические гамма-всплески (GRB), а также высыпаний магнитосферных электронов, что может быть опасно для космических аппаратов и биологических объектов. Солнечно-синхронная орбита с относительно малой высотой (500-800 км) обеспечивает благоприятные условия для контроля над верхней атмосферой и изучения космического излучения в разных областях околоземного пространства, включая области захваченного излучения и области электронного осаждения из радиационных поясов.

Проект предполагает разработку общей научной концепции спутникового эксперимента, определение оптимальных орбит и ориентации космического аппарата, определение параметров и технического вида измерительных приборов (спектрометров энергетических протонов и электронов), требований к спутниковой платформе, системам ориентации, передачи и обработки данных. Результаты, которые планируется получить в ходе этого эксперимента, будут впоследствии использоваться для научных и прикладных задач, таких как изучение процессов ускорения и потери захваченных и квазизахваченных энергетических заряженных частиц в магнитосфере, валидации существующих и разработки новых моделей радиационных поясов Земли, обеспечения безопасности космических аппаратов.

Дополнительной задачей является анализ возможности включения российско-азербайджанского спутника в мультиспутниковую группировку Universat-SOCRAT, которая также в настоящее время разрабатывается в Московском университете. Это даёт хорошую возможность для дополнительных измерений потоков энергетически заряженных частиц, а также для обнаружения электромагнитных переходных процессов, гамма-вспышек из атмосферы Земли (TGF) в разных точках околоземного пространства. Последнее очень полезно для локализации источника TGF методом триангуляции.

## **Российско-Азербайджанский малый научный спутник AzSat**

Предлагаемая научная задача – экспериментальное измерение динамики пространственного, энергетического и углового распределения потоков захваченных и квазилокализованных энергетических частиц в разных областях околоземного пространства – предлагается решать с помощью созвездия малых спутников, размещённых на низких и средних орбитах Земли, пересекающих значительный диапазон магнитных дрейфовых оболочек на разных высотах и измеряющих угол наклона и распределение энергии потоков отдельных энергетических протонов и электронов на многонаправленных спектрометрах. Такие измерения позволяют с помощью наземной обработки восстанавливать с интервалом в несколько десятков минут иллюстрации пространственного распределения потоков заряженных частиц в значительной области радиационных поясов Земли.

В частности, одним из вариантов траектории полёта является эллиптическая орбита с высотой перигея  $\approx 700$  км и апогея 8000 км. Первый спутник может быть запущен на более «бюджетную» низкую циркумпольную орбиту высотой  $\approx 1400$  км, чтобы наблюдать пространственное распределение потоков частиц во всей области малых высот, высыпаний частиц, изменения их потоков.

Задача первой стадии проекта заключается в разработке малой космической платформы класса микроспутников (масса от 50 до 100 кг), способных нести полезную нагрузку по крайней мере до 20 кг при выводе на орбиты высотой до 1000-1500 км.

На сегодняшний день рассматривается два возможных варианта реализации научных и технических задач Российско-Азербайджанского космического проекта:

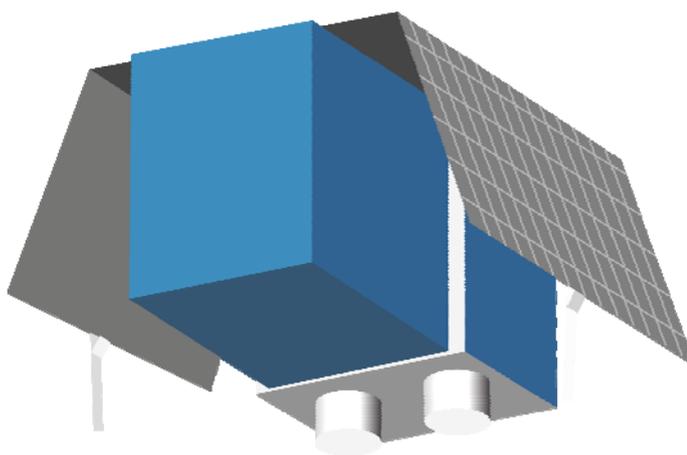
1) совместный спутник включается в состав группировки малых спутников Московского университета в качестве четвёртого космического аппарата с размещением на низкой круговой орбите;

2) совместный спутник должен быть одним из трёх космических аппаратов группировки малых спутников Московского университета.

Общий вид Российско-Азербайджанского спутника представлен на рис. 1.

Он должен состоять из следующих основных систем:

- механическая часть (корпус спутника),
- система поддержания ориентации,
- система электропитания,
- двигательные установки,
- система передачи данных,
- система контроля температурных режимов,
- бортовой компьютер,
- полезная нагрузка.



*Рис. 1. Общий вид спутника AzSat*

Основные параметры спутника представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры спутника AzSat

| Параметр  | Значение        |
|---|-----------------|
| Масса платформы, кг   | <100            |
| Масса полезной нагрузки, кг                                 | <30             |
| Среднесуточная потребляемая мощность полезной нагрузкой, Вт | 20              |
| Скорость передачи данных, Мб/с                              | 32 (X диапазон) |
| Точность ориентации, град                                   | <0,2            |
| Точность стабилизации, град/с                               | <0,01           |
| Время эксплуатации, годы                                    | ≥5              |

Система ориентации и навигации должна включать звёздные датчики, гироскопы, солнечные датчики и магнитометр. Система стабилизации должна включать маховики и магнетоторгер. Для манёвров должны использоваться двигатели малой тяги.

### Полезная нагрузка спутника AzSat

Для обоих вариантов реализации совместного Российско-Азербайджанского космического проекта предусмотрен следующий состав полезной нагрузки космического аппарата, размещаемого на низкой орбите: монитор гамма всплесков, фотометр для регистрации транзиентных явлений в атмосфере Земли, детекторов заряженных частиц (эти приборы разрабатываются Московским университетом), матрица кремниевых фотумножителей (разрабатывается совместно Азербайджанской академией авиации и Объединенным институтом ядерных исследований), телескоп для астрономических наблюдений (разрабатывается Шемахинской астрономической обсерваторией).

Аппаратура для мониторинга космической радиации должна включать спектрометр (СПЭ) протонов в диапазоне энергий от 2 до >160 МэВ и электронов в диапазоне энергий 0,15–10 МэВ [1]. Его основным элементом является сборка типа «телескоп», включающая несколько полупроводниковых детекторов различной толщины и сцинтилляционный детектор, расположенные соосно один под другим. Для измерения пичуглового распределения потоков и всенаправленных потоков частиц будет использоваться несколько телескопов с разной пространственной ориентацией.

Рассматриваются различные варианты компоновки детекторных устройств. В одном случае ось главного телескопа и первая ось спутника перпендикулярны плоскости магнитного меридиана. Оси других телескопов лежат в плоскости магнитного меридиана. Вторая ось спутника направлена в центр смещённого магнитного диполя (близкого к направлению «в надир»), в котором оси четырёх телескопов лежат в плоскости магнитного меридиана, а ось другого телескопа нормальна к этой плоскости. В случае полярной орбиты это означает, что оси четырёх телескопов должны лежать в плоскости орбиты.

В другом случае первая ось спутника должна быть ориентирована нормально к плоскости магнитного меридиана. Вторая ось спутника направлена вдоль вектора индукции магнитного поля  $B$ , рассчитанного по модели смещённого диполя. Оси четырёх детекторов лежат в плоскости магнитного меридиана. Возможная компоновка разнонаправленных телескопов представлена на рис. 2 (слева). Общий вид телескопа представлен на рис. 2 (правая панель).

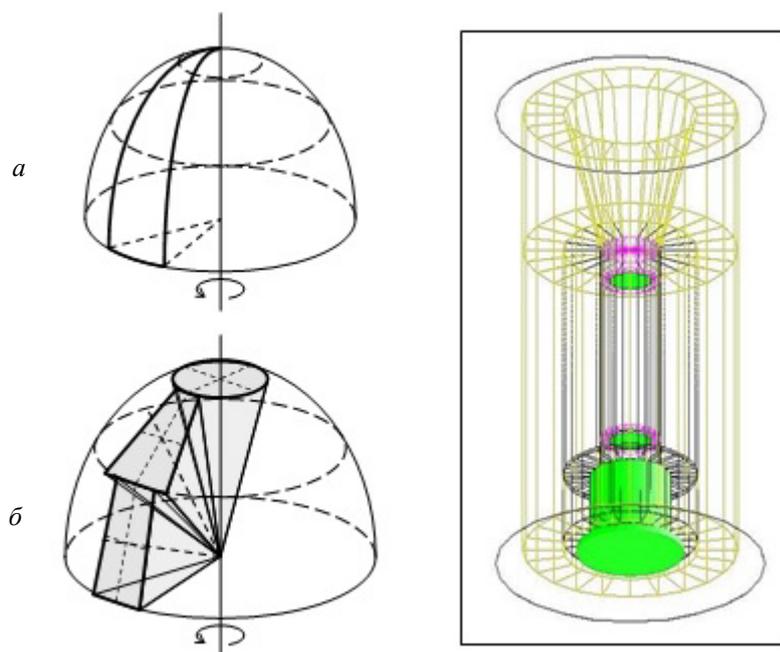


Рис. 2. Левая панель: а – поля зрения телескопа в форме вращающегося полусферического сектора; б – конфигурация из трёх детекторов, обеспечивающая этот метод измерения практически. Правая панель: общий вид телескопа

Изучение транзиентных световых явлений в оптическом диапазоне (ТСЯ) и гамма всплесков (в том числе из атмосферы Земли) должны осуществляться с помощью ультрафиолетового и инфракрасного фотометра и монитора гамма вспышек.

Детектор-фотометр УФ и ИК излучения ДУФИК представляет собой аналог детекторов на спутниках «Гатьяна-2» и «Вернов» [2–4] (для сравнения данных нового КЭ с данными предыдущих), дополненный каналами измерений в дальнем УФ диапазоне. Ось прибора ДУФИК должна быть ориентирована в нади́р с углами незатенения  $\pm 90^\circ$  относительно визирных осей детекторов. Прибор ДУФИК должен состоять из трёх фотоумножителей, входные окна которых закрыты светофильтрами, обеспечивающими работу в разных спектральных диапазонах: инфракрасном (600–800 нм), ближнем УФ (240–400 нм), солнечно-слепом (100–300 нм). Кроме того, в его состав должен входить оптический детектор на основе микроканальной пластины (МКП), обеспечивающий регистрацию излучения в диапазоне от дальнего УФ до мягкого рентгеновского.

Монитор гамма-вспышек должен обеспечить непрерывные наблюдения верхней атмосферы в жёстком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах: 0.01 – 3.0 МэВ. Прибор должен включать три широконаправленных сцинтилляционных детектора гамма-излучения того же типа, которые использовались на спутнике «Ломоносов» для регистрации космических гамма-всплесков [5]. Детекторный узел каждого блока выполнен в виде сборки тонкого (0,3 см) сцинтиллятора NaI(Tl) и сцинтиллятора CsI(Tl) большей толщины (1,7 см) цилиндрической формы. Оба сцинтилляционных кристалла имеют одинаковый диаметр 13 см и просматриваются одним фотоумножителем – так называемым «фосвич». Оси трёх гамма-детекторов должны быть перпендикулярны друг другу и направлены вдоль взаимно перпендикулярных рёбер куба, образуя Декартову систему координат. При этом главная диагональ куба должны быть ориентирована в нади́р.

Диаграмма направленности каждого детектора характеризуется зависимостью от угла отстояния источника от вертикальной оси типа косинус, в пределах  $\sim 60^\circ$  от оси прибора его поле зрения не должно затеняться элементами конструкции спутника и панелями солнечных батарей. Эта конфигурация позволяет осуществлять грубую локализацию источника вспышки гамма-излучения с помощью сравнения амплитуд отклика каждого детектора на вспышку. Такой метод был использован в известном эксперименте КОНУС для локализации источников космических гамма-всплесков [6].

В случае, если спутник AzSat будет включен в группировку малых спутников Московского университета в качестве четвертого космического аппарата, то это даст дополнительную возможность локализации источников вспышек гамма-излучения из атмосферы Земли с помощью триангуляционного метода.

### Оптимизация возможных орбит

Основным вариантом орбиты AzSat является солнечно-синхронная орбита с наклонением  $98^\circ$  и высотой 650-700 км.

В случае, если спутник AzSat будет включен в группировку малых спутников Московского университета, то он может быть запущен на эллиптическую орбиту со следующими параметрами орбиты:

- начальный момент времени – 01.01.2021 00:00:00;
- наклонение  $-63.394^\circ$ ;
- эксцентриситет – 0.3405;
- большая полуось – 10 721 км;
- аргумент перигея –  $310^\circ$ ;
- долгота восходящего узла –  $0^\circ$ ;
- средняя аномалия –  $0^\circ$ .

Для прогнозирования траектории полёта спутника разработана программа на языке Julia.

Ускорение  $a_{total}$  спутника под действием возмущений вычисляется следующим образом [7]:

$$a_{total} = a_{gr} + a_{har} + a_{dr} + a_{rad} + a_{rel},$$

где  $a_{gr}$  – ускорение, обусловленное гравитационным влиянием Земли, Солнца и Луны;  $a_{har}$  – ускорение, обусловленное гравитационным влиянием вследствие несферичности Земли;  $a_{dr}$  – ускорение, обусловленное сопротивлением атмосферы Земли;  $a_{rad}$  – ускорение, обусловленное давлением солнечного излучения;  $a_{rel}$  – ускорение, обусловленное релятивистской коррекцией.

Интегрирование проводилось методом Рунге-Кутты 9-й степени с точностью  $10^{-12}$ .

При этом учитывались возмущения, обуславливающие указанные выше вклады в ускорение спутника:

- гравитационное влияние Земли, Солнца и Луны

$$a_{gr} = G \sum_{k=1}^n m_k \left( \frac{r_k - r}{\|r_k - r\|^3} - \frac{r_k}{\|r_k\|^3} \right),$$

где  $G$  – гравитационная постоянная;  $m_k$  – масса небесного тела;  $r_k$  – радиус небесного тела;  $r$  – расстояние от небесного тела до спутника;

–гравитационное влияние вследствие несферичности Земли

$$a_{har} = \nabla U,$$

$$U = \frac{\mu}{r} \left[ 1 + \sum_{n=1}^{10} \left( \frac{R_e}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n A_{nm}(u) \left[ C_{nm} \cos(m\lambda) \cos^m \varphi + S_{nm} \sin(m\lambda) \cos^m \varphi \right] \right],$$

где  $C_{nm}, S_{nm}$  – гравитационные коэффициенты (модель JGM-3);  $s = \frac{x}{r}$ ;  $t = \frac{y}{r}$ ;

$u = \frac{z}{r} = \cos \varphi$ ;  $A_{nm}$  – приведённая функция Лежандра;  $\lambda, \varphi$  – широта и долгота;  $R_e$  – радиус Земли;  $\mu$  – гравитационный параметр Земли;  $r$  – расстояние от центра Земли до спутника;  $x, y, z$  – координаты спутника в Декартовой системе, привязанной к центру Земли;

–сопротивление атмосферы Земли

$$a_{dr} = -0,5\rho |v|^2 \frac{C_d A}{m} v,$$

где  $v$  – скорость спутника относительно атмосферы Земли;  $\rho$  – плотность атмосферы (модель NRLMSISE00);  $m$  – масса спутника;  $C_d$  – коэффициент сопротивления;  $A$  – площадь спутника;

–давление солнечного излучения

$$a_{rad} = -P_{sr} \frac{C_r A}{m} s,$$

где  $s$  – нормированный вектор от спутника к Солнцу;  $P_{sr}$  – сила давления солнечной радиации на единицу площади;  $C_r$  – коэффициент, учитывающий геометрию спутника;

–релятивистская коррекция

$$a_{rel} = \frac{\mu}{c^2 |r|^3} \left( \frac{4\mu}{|r|} - |v|^2 \right) r + 4 \langle r | v \rangle v,$$

где  $c$  – скорость света;  $\mu$  – гравитационный параметр Земли;  $r$  – расстояние от центра Земли до спутника;  $v$  – скорость спутника относительно атмосферы Земли.

Результаты программы сравнивались с результатами программы NASA General Mission Analysis Tool при описанной конфигурации, разница в результатах пренебрежительно мала.

Для вычисления оптимального наклона орбиты программа перебирала значения в интервале  $[60^\circ, 70^\circ]$  с переменным шагом  $[0,01^\circ, 0,001^\circ]$ . В итоге было определено, что при наклоне  $63,475^\circ$  значение аргумента перигея стабильно (разница между начальным и конечным значениями равна нулю).

Рассмотрим изменение значения аргумента перигея в зависимости от выбранного начального наклона. При начальном значении наклона, отличном от значения  $63,475^\circ$  более чем на  $1^\circ$ , изменение результирующего аргумента перигея составит больше  $10^\circ$ . Таким образом, ошибка в наклоне орбиты при выводе более чем на  $1^\circ$  неприемлема для миссии спутника.

В результате симуляции орбиты за 128 дней были получены следующие значения:

- наклонение –  $63,365^\circ$ ;
- эксцентриситет – 0,3398;
- большая полуось – 10 723,36 км;
- аргумент перигея –  $310,003^\circ$ ;
- долгота восходящего узла –  $241,7^\circ$ ;
- средняя аномалия –  $76,75^\circ$ .

Как видно из графика (рис. 3), значение аргумента перигея при наклоне в  $63,475^\circ$  спустя 1000 витков стало равным начальному значению. При этом амплитуда изменения (разница между максимумом и минимумом) составляет  $0,2^\circ$ .

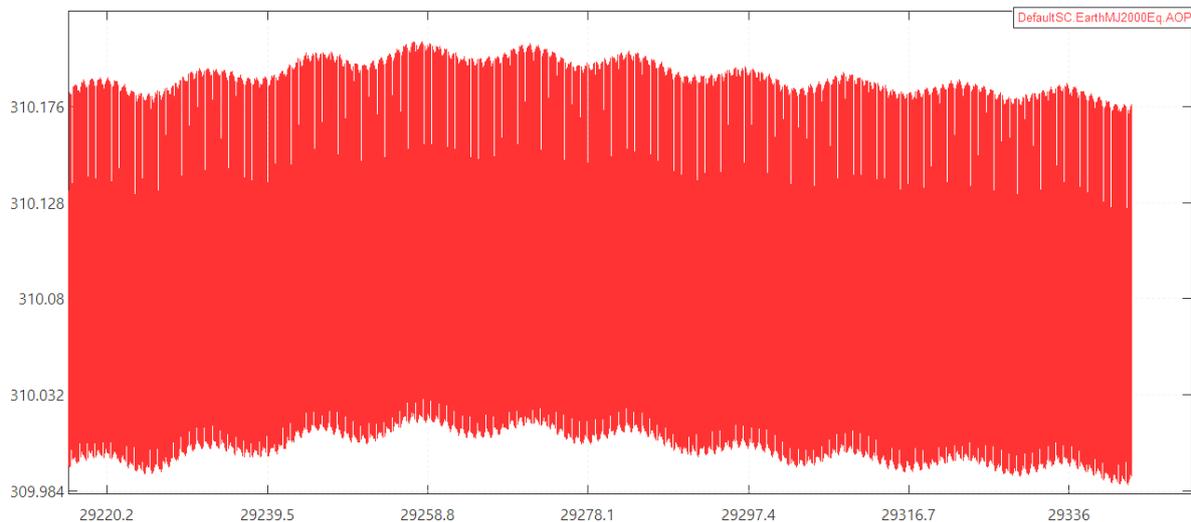


Рис. 3. Временная эволюция значений аргумента перигея

Значение эксцентриситета орбиты спустя 1000 витков изменилось на 0,0006, значение наклона – на  $0,11^\circ$  и значение большой полуоси – на 2,36 км.

### Заключение

В ходе реализации проекта совместного Российско-Азербайджанского космического эксперимента должны быть получены следующие результаты.

Будет показана оригинальность, новизна, научная и практическая целесообразность предлагаемого спутникового эксперимента по измерению динамики пространственного распределения потоков энергичных заряженных частиц в радиационных поясах Земли.

Будет разработана общая научная концепция спутникового эксперимента и определен общий облик космической группировки и требования к наземному сегменту.

Будут определены оптимальные орбиты спутников и ориентация спутников и детекторов энергичных частиц.

Будут определены физические и математические принципы и алгоритмы и проведено математическое моделирование расчёта пространственного распределения энергичных частиц в значительной области радиационных поясов и на заданных орбитах на основе данных измерений, получаемых в ходе эксперимента.

Будут разработаны конструкционные и функциональные электрические схемы основного измерительного инструмента (спектрометра энергичных протонов и электронов), проведено моделирование детекторных узлов, макетирование отдельных узлов электроники, разработаны программы и методики испытаний.

Будут определены требования к конструкции спутника и его подсистем, исходя из назначения спутника, данных о полезной нагрузке, орбитах и ориентации, осуществлено моделирование спутниковой платформы и отдельных подсистем спутника.

Работа была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант №18-57 06002\18) и Фондом развития науки при Президенте Азербайджанской Республики (грант № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/16/1).

### **Библиографический список**

1. Панасюк М.И., Подзолко М.В., Ковтюх А.С., Брильков И.А., Власова Н.А., Калегаев В.В., Оседло В.И., Тулупов В.И., Яшин И.В. Оперативный радиационный мониторинг в околоземном космическом пространстве на базе многоярусной группировки малых космических аппаратов // *Космические исследования*. 2015. Т. 53, № 6. Р. 461-468. DOI: 10.7868/S0023420615060047

2. Садовничий В.А., Панасюк М.И., Яшин И.В., Баринаева В.О., Веденькин Н.Н., Власова Н.А., Гарипов Г.К., Григорян О.Р., Иванова Т.А., Калегаев В.В., Климов П.А., Ковтюх А.С., Красоткин С.А., Кузнецов Н.В., Кузнецов С.Н., Муравьева Е.А., Мягкова И.Н., Ныммик Р.А., Павлов Н.Н., Парунакян Д.А., Петров А.Н., Петров В.Л., Подзолко М.В., Радченко В.В., Рейзман С.Я., Рубинштейн И.А., Рязанцева М.О., Сигаева Е.А., Сосновец Э.Н., Старостин Л.И., Тулупов В.И., Хренов Б.А., Шахпаронов В.М., Широков А.В., Бобровников С.Ю., Александров В.В., Лемак С.С., Морозенко В.С., Журавлев В.М., Мареев Е.А., Блинов В.Н., Иванов Н.Н., Кожевников В.А., Макриденко Л.А., Краснопеев В.М., Папков А.П., Ли Дж., Пак И., Коцоми Х., Мартинес О., Понсе Э., Салазар У. Исследования космической среды на микроспутниках Университетский-Татьяна и Университетский-Татьяна-2 // *Астрономический вестник*. 2011. Т. 45, № 1. С. 5-31.

3. Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Рубинштейн И.А., Тулупов В.И., Хренов Б.А., Широков А.В., Яшин И.В., Салазар У. Детектор ультрафиолетового излучения научно-образовательного микроспутника МГУ «Университетский-Татьяна» // *Приборы и техника эксперимента*. 2006. № 1. С. 135-141.

4. Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Garipov G.K., Balan E.A., Barinova V.O., Bogomolov A.V., Golovanov I.A., Iyudin A.F., Kalegaev V.V., Khrenov B.A., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Kuznetsova E.A., Morozenko V.S., Morozov O.V., Myagkova I.N., Osedlo V.I., Petrov V.L., Prokhorov A.V., Rozhkov G.V., Saleev K.Y., Sigaeva E.A., Veden'Kin N.N., Yashin I.V., Klimov S.I., Grechko T.V., Grushin V.A., Vavilov D.I., Korepanov V.E., Belyaev S.V., Demidov A.N., Ferencz C., Bodnár L.e, Szegedi P., Rothkaehl H., Moravski M., Park I.H., Lee J., Kim J., Jeon J., Jeong S., Park A.H., Papkov A.P., Krasnopejev S.V., Khartov V.V., Kudrjashov V.A., Bortnikov S.V., Mzhelskii P.V. RELEC mission:

Relativistic electron precipitation and TLE study on-board small spacecraft // *Advances in Space Research*. 2016. V. 57, Iss. 3. P. 835-849. DOI: 10.1016/j.asr.2015.11.033

5. Svertilov S.I., Panasyuk M.I., Bogomolov V.V., Amelushkin A.M., Barinova V.O., Galkin V.I., Iyudin A.F., Kuznetsova E.A., Prokhorov A.V., Petrov V.L., Rozhkov G.V., Yashin I.V., Gorbovskoy E.S., Lipunov V.M., Park I.H., Jeong S., Kim M.B. Wide-field gamma-spectrometer BDRG: GRB monitor on-board the Lomonosov mission // *Space Science Reviews*. 2018. V. 214, Iss. 1. DOI: 10.1007/s11214-017-0442-9

6. Mazets E.P., Golenetskii S.V., Il'inskii V.N., Panov V.N., Aptekar R.L., Gur'yan Yu.A., Proskura M.P., Sokolov I.A., Sokolova Z.Ya, Kharitonova T.V., Dyatchkov A.V., Khavenson N.G. Catalog of cosmic gamma-ray bursts from the KONUS experiment data. Parts I and II // *Astrophysics and Space Science*. 1981. V. 80, Iss. 1. P. 3-83. DOI: 10.1007/BF00649140

7. Vallado D.A. *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*. Hawthorne, CA, Microcosm Press, 2013. 1136 p.

## RUSSIAN-AZERBAIJANI SPACE PROJECT OF A SMALL SATELLITE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY EXPERIMENTS

© 2019

- A. S. Samedov** Doctor of Science (Phys. & Math.), Professor, Vice-rector; National Aviation Academy; Baku, Azerbaijan; [ad.samedov@gmail.com](mailto:ad.samedov@gmail.com)
- M. I. Panasyuk** Doctor of Science (Phys. & Math.), Professor, Director of Skobel'syn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [panasyuk@sinp.msu.ru](mailto:panasyuk@sinp.msu.ru)
- P. Sh. Abdulaev** Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of Department; National Aviation Academy; Baku, Azerbaijan; [a\\_parviz@mail.ru](mailto:a_parviz@mail.ru)
- V. V. Bogomolov** Candidate of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Physics Department, Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [bogovit@rambler.ru](mailto:bogovit@rambler.ru)
- R. A. Gasanov** Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Head of Analytical Department; National Aviation Academy; Baku, Azerbaijan; [ruslan\\_icq@mail.ru](mailto:ruslan_icq@mail.ru)
- R. A. Ibragimov** Candidate of Science (Engineering), Head of Department; National Aviation Academy; Baku, Azerbaijan; [rafu63@rambler.ru](mailto:rafu63@rambler.ru)
- A. F. Iyudin** Doctor of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Head of Laboratory, Skobel'syn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [aiyudin@srd.sinp.msu.ru](mailto:aiyudin@srd.sinp.msu.ru)
- T. G. Mammadzada** Director of Department, "Azercosmos" (OJSCo); Baku, Azerbaijan; [tarlan.mammadzada@azercosmos.az](mailto:tarlan.mammadzada@azercosmos.az)
- A. A. Musaev** Candidate of Science (Engineering), Head of Department; National Aviation Academy; Baku, Azerbaijan; [aydin-m@yandex.ru](mailto:aydin-m@yandex.ru)
- V. I. Osedlo** Candidate of Science (Phys. & Math.), Deputy Director of Skobel'syn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [osedlo@mail.ru](mailto:osedlo@mail.ru)
- V. L. Petrov** Junior Researcher, Skobel'syn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [vas@srd.sinp.msu.ru](mailto:vas@srd.sinp.msu.ru)
- M. V. Podzolkov** Candidate of Science (Phys. & Math.), Researcher, Skobel'syn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [spacerad@mail.ru](mailto:spacerad@mail.ru)
- E. P. Popova** Candidate of Science (Phys. & Math.), Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences; Moscow, Russian Federation; [popovaelp@mail.ru](mailto:popovaelp@mail.ru)
- R. Rustamov** Candidate of Science (Economics), Vice President of "Azercosmos" (OJSCo); Baku, Azerbaijan; [rovshan.rustamov@azercosmos.az](mailto:rovshan.rustamov@azercosmos.az)

- S. I. Svertilov** Doctor of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Professor of the Physics Department; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru)
- H. Seiidov** Engineer, National Aviation Academy; Baku, Azerbaijan; [hikmatseyidov@gmail.com](mailto:hikmatseyidov@gmail.com)
- I. V. Yashin** Candidate of Science (Phys. & Math.), Leading Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [iv\\_n@bk.ru](mailto:iv_n@bk.ru)

The paper presents a project of a satellite experiment on the observation of intense flashes (transients) of electromagnetic emission from the Earth's atmosphere in different spectral ranges, as well as the measurement of medium- and long-term dynamics of spatial distribution of fluxes of energetic charged particles in the near-Earth space. To implement the experiment, it is planned to develop a Russian-Azerbaijani small spacecraft capable of carrying a payload of up to 25-30 kg. The satellite is also expected to realize a number of technology experiments, in particular, to study the effect of space flight factors on the matrices of silicon photomultipliers. We also consider the possibility of installing a telescope for photometric observations of binary stars. The requirements to the orbit and spacecraft attitude modes, as well as to its on-board systems, are considered in accordance with the goals and objectives of the experiment. The measurement data which are planned to be obtained during this experiment will subsequently be used for various scientific and applied problems including validation of existing and development of new dynamic models of radiation in the near-Earth space, ensuring the safety of the functioning of spacecraft.

*Small satellite: science and technology experiments.*

---

*Citation:* Samedov A.S., Panasyuk M.I., Abdulaev P.Sh., Bogomolov V.V., Gasanov R.A., Ibragimov R.A., Iyudin A.F., Mammadzada T.G., Musaev A.A., Osedlo V.I., Petrov V.L., Podzolko M.V., Popova E.P., Rustamov R., Svertilov S.I., Seiidov H., Yashin I.V. Russian-Azerbaijani space project of a small satellite for science and technology experiments. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. V. 18, no. 1. P. 128-139. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-128-139

## References

1. Panasyuk M.I., Podzolko M.V., Kovtyukh A.S., Brilkov I.A., Vlasova N.A., Kalegaev V.V., Osedlo V.I., Tulupov V.I., Yashin I.V. Operational radiation monitoring in near-Earth space based on the system of multiple small satellites. *Cosmic Research*. 2015. V. 53, Iss. 6. P. 423-429. DOI: 10.1134/s0010952515060039
2. Sadovnichy V.A., Panasyuk M.I., Yashin I.V., Barinova V.O., Veden'kin N.N., Vlasova N.A., Garipov G.K., Grigoryan O.R., Ivanova T.A., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Krasotkin S.A., Kuznetsov N.V., Kuznetsov S.N., Murav'eva E.A., Myagkova I.N., Nymmik R.A., Pavlov N.N., Parunakyan D.A., Petrov A.N., Petrov V.L., Podzolko M.V., Radchenko V.V., Reizman S.Y., Rubinshtein I.A., Ryazantseva M.O., Sigayeva E.A., Sosnovets E.N., Starostin L.I., Tulupov V.I., Khrenov B.A., Shakhparonov V.M., Shirokov A.V., Bobrovnikov S.Y., Aleksandrov V.V., Lemak S.S., Morozenko V.S., Zhuravlev V.M., Mareev E.A., Blinov V.N., Ivanov N.N., Kozhevnikov V.A., Makridenko L.A., Krasnopeev V.M., Papkov A.P., Lee J., Park I., Cotzomi J., Martinez O., Ponce E., Salazar H. Investigations of the space environment aboard the Universitetsky-Tat'yana and Universitetsky-Tat'yana-2 microsatellites. *Solar System Research*. 2011. V. 45, Iss. 1. P. 3-29. DOI: 10.1134/S0038094611010096
3. Garipov G.K., Panasyuk M.I., Rubinshtein I.A., Tulupov V.I., Khrenov B.A., Shirokov A.V., Yashin I.V., Salazar H. Ultraviolet radiation detector of the MSU research educational microsatellite Universitetskii-Tat'yana. *Instruments and Experimental Techniques*. 2006. V. 49, Iss. 1. P. 126-131. DOI: 10.1134/S0020441206010180
4. Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Garipov G.K., Balan E.A., Barinova V.O., Bogomolov A.V., Golovanov I.A., Iyudin A.F., Kalegaev V.V., Khrenov B.A., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Kuznetsova E.A., Morozenko V.S., Morozov O.V., Myagkova I.N., Osedlo V.I., Petrov V.L., Prokhorov A.V., Rozhkov G.V., Saleev K.Y., Si-

gaeva E.A., Veden'Kin N.N., Yashin I.V., Klimov S.I., Grechko T.V., Grushin V.A., Vavilov D.I., Korepanov V.E., Belyaev S.V., Demidov A.N., Ferencz C., Bodnár L.e, Szegedi P., Rothkaehl H., Moravski M., Park I.H., Lee J., Kim J., Jeon J., Jeong S., Park A.H., Papkov A.P., Krasnopejev S.V., Khartov V.V., Kudrjashov V.A., Bortnikov S.V., Mzhelskii P.V. RELEC mission: Relativistic electron precipitation and TLE study on-board small spacecraft. *Advances in Space Research*. 2016. V. 57, Iss. 3. P. 835-849. DOI: 10.1016/j.asr.2015.11.033

5. Svertilov S.I., Panasyuk M.I., Bogomolov V.V., Amelushkin A.M., Barinova V.O., Galkin V.I., Iyudin A.F., Kuznetsova E.A., Prokhorov A.V., Petrov V.L., Rozhkov G.V., Yashin I.V., Gorbovskoy E.S., Lipunov V.M., Park I.H., Jeong S., Kim M.B. Wide-field gamma-spectrometer BDRG: GRB monitor on-board the Lomonosov mission. *Space Science Reviews*. 2018. V. 214, Iss. 1. DOI: 10.1007/s11214-017-0442-9

6. Mazets E.P., Golenetskii S.V., Il'inskii V.N., Panov V.N., Aptekar R.L., Gur'yan Yu.A., Proskura M.P., Sokolov I.A., Sokolova Z.Ya, Kharitonova T.V., Dyatchkov A.V., Khavenson N.G. Catalog of cosmic gamma-ray bursts from the KONUS experiment data. Parts I and II. *Astrophysics and Space Science*. 1981. V. 80, Iss. 1. P. 3-83. DOI: 10.1007/BF00649140

7. Vallado D.A. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. Hawthorne, CA, Microcosm Press, 2013. 1136 p.