

**З.Б. Ракишева, Ж.Т. Лязат, А. Мухамедгали,
Н.С. Досжан**

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРВОГО КАЗАХСТАНСКОГО НАНОСПУТНИКА AL-FARABI 1

В настоящее время многие отечественные и зарубежные инновационные компании, и университеты активно занимаются разработкой и созданием научно-образовательных наноспутников. Такие спутники приобрели популярность благодаря тому, что их создание не требует значительных финансовых затрат по сравнению с традиционными спутниками. Одним из видов подобных проектов является проектирование наноспутников. Наноспутник – это космический аппарат, имеющий массу не более 10 кг. Сейчас наиболее популярны наноспутники CubeSat.

Ключевые слова: наноспутник, аппаратно-программный комплекс, космический аппарат, наземный сегмент.

В настоящее время многие отечественные и зарубежные инновационные компании, и университеты активно занимаются разработкой и созданием научно-образовательных наноспутников. Такие спутники приобрели популярность благодаря тому, что их создание не требует значительных финансовых затрат по сравнению с традиционными спутниками. Кроме того, возникла возможность обучения студентов через их участие в практической работе, содержащей все основные этапы.

Одним из видов подобных проектов является проектирование наноспутников. Наноспутник (НС) – это космический аппарат, имеющий массу не более 10 кг. Сейчас наиболее популярны НС CubeSat. Термином «CubeSat» обозначаются наноспутники, спроектированные согласно стандарту, созданному под руководством профессора Боба Твиггса (факультет авионавтики и астронавтики Стэнфордского университета). НС в формате CubeSat могут быть изготовлены и запущены на околоземную орбиту. Низкая стоимость позволяет разрабатывать подобные НС школам и университетам. Наиболее успешно подход используется при создании наноспутников класса CubeSat по технологии Plug&Play, прогнозируется в 2015–2020 гг. создание ежегодно

порядка 100–120 спутников. Подобные спутники имеют размер 100×100×100 мм, то есть имеют форму куба. Стандарт допускает объединение 2 или 3 стандартных кубов в составе одного спутника (обозначаются 2U и 3U и имеют размер 100×100×200 или 100×100×300 мм соответственно). Сегодня каждый университет может купить необходимый набор элементов в специализированных интернет-магазинах и собрать наноспутник, добавив в него свой блок или научную аппаратуру. Наноспутники не только перешли в самостоятельную категорию космических аппаратов, но и уже решают на орбите определенный круг полезных задач, например, мониторинг геофизических полей, сбор и передача на Землю данных о транспортных перевозках по воде и суше, получение снимков Земли из космоса.

Казахстанский Национальный Университет имени аль-Фараби не стал исключением и с 2013 г. начал работы по созданию первого студенческого наноспутника al-Farabi 1. Целью работы являются создание национальной научной школы по разработке космической техники и технологий, разработка и сборка программно-технического комплекса и создание первого студенческого наноспутника Казахстана, реализации его наземного сегмента, а также проведение наземных испытаний с целью дальнейшего запуска наноспутника в космос. Результаты работ применимы при проектировании нано- и микроспутников. Полученный опыт, знания и технический материал может быть применен для разработки малых космических аппаратов массой более 3 кг.

В ходе предварительной проектирование первого казахстанского наноспутника было установлено, что наноспутник будет разрабатываться согласно стандарту платформы CubeSat3U и будет запущен на солнечно-синхронную орбиту высотой 600 км с периодом обращения 97 минут. В соответствии с результатами проектирования системы управления движением наноспутника, после отделения от ракеты-носителя наноспутник может находиться в двух основных режимах: номинальном режиме и безопасном режиме.

В связи с этим для наноспутника был проведен анализ среднего энергопотребления его компонентов на одном витке орбиты с учетом коэффициента их использования для двух режимов работы: номинального и безопасного. Для этого был создан набор комплектующих наноспутника из доступных COTS-компонентов [1]. Результаты анализа приведены в (табл. 1).

Наноспутник Al-Farabi состоит из двух пар аккумуляторных батарей расположенных в алюминиевом корпусе. Модуль

Таблица 1

Анализ энергопотребления

Компонент	Среднее энергопотребление в безопасном режиме, Вт	Среднее энергопотребление в номинальном режиме, Вт
Цифровая камера NanoCamC1U	0,0	0,01
БКУ	0,08	0,08
Модуль СУДН (ЭМИО+датчики+МК)	0,10	0,50
Солнечный датчик(4)	0,00	0,06
Приемопередатчик UHF/UHF	0,50	1,00
Модуль СЭС (модуль распределение питания)	0,08	0,08
Солнечная батарея 2U фронтальная	0,02	0,02
Солнечная батарея 2U боковая(3)	0,02	0,02
Верхняя солнечная батарея	0,02	0,02
Всего за виток	0,82	1,89
Всего за виток на освещенной стороне орбиты	0,53	1,22
Всего за виток на теневой стороне орбиты	0,28	0,66

предназначен для накопления избыточной электроэнергии на борту малого космического аппарата и обеспечения аппарата электроэнергией в случае чрезмерного потребления. Общая энергоемкость модуля 19 Ватт/ч.

При достижении напряжения полной зарядки по команде происходит переключение с источника постоянного тока на источник постоянного напряжения. На остальном участке периода зарядки (при постоянном напряжении) ток постепенно снижается. Это происходит в результате изменения внутреннего сопротивления батареи. Зарядка прекращается, когда ток становится ниже некоторого минимального значения I_{\min} . В режиме постоянного тока батарея получает около 70% от общей емкости, остальные 30% – в режиме постоянного напряжения. Если напряжение на выводах выше значения полной зарядки (конечного напряжения), то батарея считается перезаряженной,

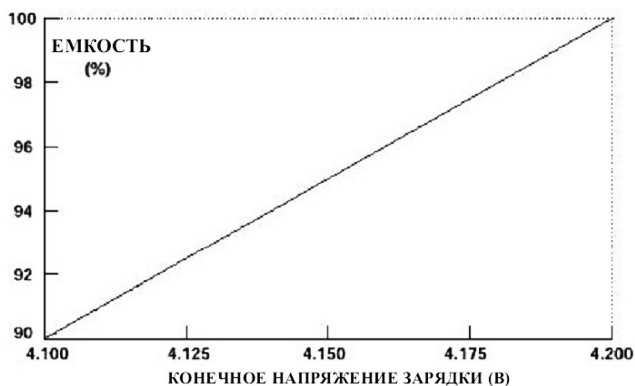


Рис. 1. Снижение емкости батареи

а когда напряжение на выводах ниже конечного напряжения, то батарея считается недозаряженной. Перезарядка уничтожит батарею, поэтому напряжение полной зарядки должно контролироваться в пределах его конечного напряжения с точностью +50 мВ. Недозарядка не разрушит батарею, но может значительно снизить емкость батареи, как показано на рис. 1.

Отметим, что если батарея недозаряжена на 100 мВ, то емкость батареи составляет всего 90% от полной емкости. Поэтому очень важно осуществлять точный контроль напряжения и тока, с тем чтобы батарея не страдала от недозарядки или перезарядки. Разрядка Li-Ion батарей: Характеристика разрядки для Li-Ion батареи имеет гораздо больший наклон по сравнению с

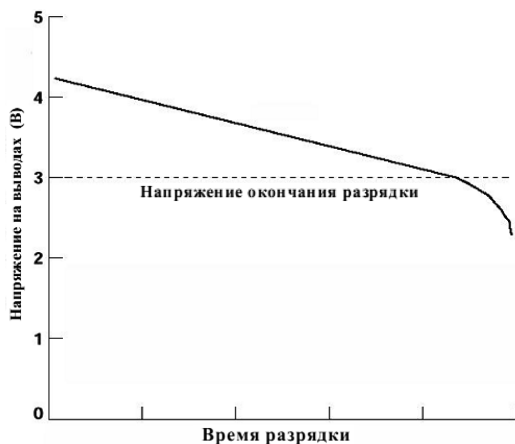


Рис. 2. Зависимость напряжения от времени

характеристикой для NiCd или NiMH батареи. Характеристика практически линейно уменьшается от конечного напряжения до напряжения окончания разрядки. После значения окончания разрядки напряжение падает очень быстро (рис. 2).

В результате предварительного проектирования системы энергоснабжения было определено, что в качестве источников электроэнергии будут использованы солнечные батареи с суммарной мощностью 2 Вт, в качестве накопителей электроэнергии выбраны аккумуляторные батареи емкостью 18 Вт-ч.

Конструкция наноспутника позволяет разместить на нем три боковых солнечных панели, одну фронтальную и одну заднюю солнечную панель (рис. 3).

Кроме источников и накопителей электроэнергии при разработке системы энергоснабжения космического аппарата не менее важным является распределение электроэнергии и регулирование и контроль энергоснабжения.

Подсистема распределения электрической энергии космического аппарата включает в свой состав кабели, средства обеспечения отказоустойчивости и коммутационные устройства, предназначенные для подключения и отключения бортового оборудования космического аппарата.

Регулирование и контроль энергоснабжения заключается в управлении процессом генерирования электрической энергии солнечной батареей, чтобы предотвратить избыточный заряд

аккумуляторной батареи и непредусмотренный нагрев бортового оборудования космического аппарата. Существует два основных типа архитектуры системы энергоснабжения космического аппарата: слежение за пиковой мощностью нагрузки (англ. peak-powertracker – PPT) и прямая передача энергии от генератора к нагрузке (англ. direct-energy-transfer – DET). Система энергоснабжения космического аппарата, построенная по принципу слежения за пиковой мощностью нагрузки, является не диссипативной системой (системой без потерь), поскольку она обеспечивает отбор в точности того количества электроэнергии, которое тре-

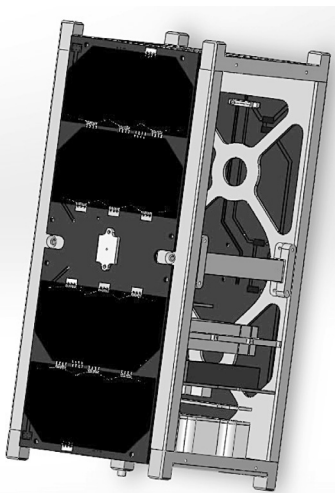


Рис. 3. Расположение солнечных батарей

Таблица 2

Сеансы связи с наноспутником

Время восхода (UTC)	Азимут, градусы	Время захода, (UTC)	Азимут, градусы	Продолжительность сеанса связи, мин
05.38.20	71	05.43.20	27	5
07.10.00	141	07.23.20	356	13
08.48.20	197	09.00.00	332	12
19.07.00	38	19.17.00	130	10
20.43.00	15	20.57.00	190	14
22.21.40	354	22.33.00	240	12

буется в данный момент космическому аппарату. Система энергоснабжения космического аппарата, построенная по принципу прямой передачи энергии от генератора к нагрузке, является диссипативной системой (системой с потерями), поскольку она рассеивает (переводит в тепло) часть электроэнергии, не востребованную нагрузкой.

Из рассмотренных вариантов архитектуры системы энергоснабжения для наноспутника была выбрана архитектура слежения за пиковой мощностью нагрузки (PPT) в виду ее оптимальности.

В рамках предварительного проектирования наноспутника был проведен также, анализ сеансов связи наноспутника с на-

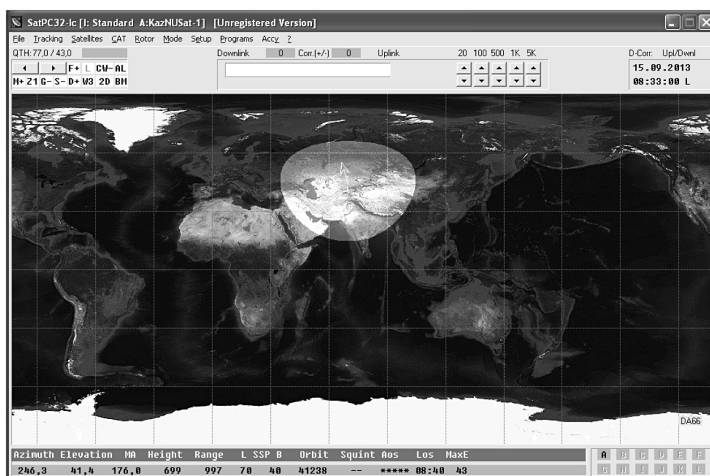


Рис. 4. Расчет сеансов связи наноспутника SatPC32

земной станцией за сутки (рис. 4, табл. 2). Анализ показывает, что связь с наноспутником при оптимальных условиях возможна до 5 раз в сутки общей продолжительностью до 66 минут.

Однако в реальных условиях общая продолжительность сеансов связи с учетом погрешности принятия сигнала будет приблизительно 50% от оптимального числа, т.е. около 30 минут.

На основе продолжительности сеансов связи и объема передаваемой информации на Землю, можно рассчитать один из основных параметров системы связи наноспутника – скорость передачи данных, на основе которой будет выбран необходимый приемопередатчик.

В соответствии с параметрами цифровой камеры она позволяет получать изображения размером 2046×1536 pxl. Соответственно может быть рассчитан объем передаваемого изображения – приблизительно 3,7 Мб. Это малая часть проделанной работы, на данный момент стадия предварительного проектирования студенческого наноспутника завершена:

- определена и утверждена полезная нагрузка наноспутника. В качестве полезной нагрузки выбрана цифровая камера для проведения космической съемки поверхности Земли. Данная полезная нагрузка позволит отработать канал связи и технологию передачи данных;

- разработаны требования к подсистемам наноспутника. В частности проведен расчет энергопотребления, сеансов связи, анализ орбиты, определены основные режимы работы наноспутника, разработаны требования к основным компонентам служебных систем наноспутника;

- разработан и утвержден состав компонентов наноспутника на базе платформы CubeSat2U. В частности определен состав компонентов системы связи, системы энергоснабжения, системы управления движением наноспутника;

- разработаны сборочные чертежи и 3D-модели наноспутника, его основных компонентов, на основе которых будет произведена сборка наноспутника.

На следующем этапе будет проводиться сборка наноспутника, испытание, проверка и отработка служебных систем наноспутника, подготовка к запуску в космос.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Севастьянов Н. Н., Бранец В. Н., Панченко В. А., Казинский Н. В., Кондранин Т. В., Негодяев С. С.* Анализ современных возможностей соз-

дания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // Труды МФТИ. — 2009. — Т. 1. — № 3. — С. 112–125.

2. *Анфимов Н. А.* Тенденции развития космической техники на современном этапе / III Международная конференция-выставка «Малые спутники: Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке», 27–31 мая 2002 г. — Королев, 2002. — С. 5–10.

3. *Larson Wiley J., Wertz James R.* Space mission analysis and design, 3rd edition — Microcosm Press/Kluwer Academic Publishers, 1999.

4. *Разыграев А. П.* Основы управления полетом космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1990. — 475 с.

5. *Дубошин Г. Н.* Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. — М.: Наука, 1976. — 864 с.

6. *Attitude determination and control / edited by James R. Wertz.* — Kluwer academic publishers, Dordrecht/Boston/London 1990. — 882 p.

7. *Mukund R. Patel.* Spacecraft Power Systems — CRC Pres, 2005, 691 p.

8. *Rosenblum Michael, Temirbayev A. A., Nalibayev Ye. D., Zhanaevaev Z. Zh., Ponomarenko V. I.* Quasiperiodic Dynamics in Ensemble of Nonlinearly Coupled Electronic Oscillators // SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, May 19–23, 2013, Snowbird Ski and Summer Resort Snowbird, Utah, USA. — pp. 98–119. **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Ракишева Зауре Баяновна*¹ — кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой,

*Лязат Жанболат*¹ — докторант, ассистент кафедры, e-mail: zhanbo_091@mail.ru,

*Мухамедгали Адиль*¹ — докторант, ассистент кафедры, e-mail: m_a_91@mail.ru,

*Досжан Нурсултан*¹ — докторант, ассистент кафедры, e-mail: nursultan.sagunaiuly@gmail.com,

¹ Казахский Национальный университет имени аль-Фараби.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 8, pp. 129–137.

UDC 62–97,
629.7.018.77

Z.B. Rakisheva, Zh.T. Lyazat, A. Mukhamedgali, N.S. Doszhan
PRELIMINARY DESIGN OF THE AL-FARABI 1
NANOSATELLITE

At present, many domestic and foreign innovative companies, and universities are actively engaged in the development and creation of scientific and educational nanosatellites. The satellites like that have become popular due to the fact that their development does not require significant financial costs compared to conventional satellites. One type of such projects is the nanosatellites designing. Nanosatellite is a spacecraft having a weight of not more than 10 kg. At present the nanosatellites of CubeSat class are more popular.

Key words: nanosatellite, hardware-software system, spacecraft, groundstation.

AUTHORS

*Rakisheva Z.B.*¹, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Assistant Professor, Head of Chair,

*Lyazat Zh.T.*¹, Doctoral Candidate, Assistant of Chair,
e-mail: zhanbo_091@mail.ru,

*Mukhamedgali A.*¹, Doctoral Candidate, Assistant of Chair,
e-mail: m_a_91@mail.ru,

*Doszhan N.S.*¹, Doctoral Candidate, Assistant of Chair,
e-mail: nursultan.sagynaiuly@gmail.com,

¹ Al-Farabi Kazakh National University, 050040, Almaty, Kazakhstan.

REFERENCES

1. Sevast'yanov N.N., Branets V.N., Panchenko V.A., Kazinskiy N.V., Kondratin T.V., Negodyaev S.S. *Trudy MFTI*. 2009, vol. 1, no 3, pp. 112–125.

2. Anfimov N. A. *III Mezhdunarodnaya konferentsiya-vystavka «Malye sputniki: Novey tekhnologii, miniaturizatsiya. Oblasti effektivnogo primeneniya v XXI veke»*, 27–31 maya 2002 g. (Small Satellites: New Technologies, Miniaturization. Efficient Application Fields in the 21st Century: III International Conference and Exhibition, 27–31 may 2002), Koroлев, 2002, pp. 5–10.

3. Larson Wiley J., Wertz James R. *Space mission analysis and design*, 3rd edition Microcosm Press. Kluwer Academic Publishers, 1999.

4. Razygraev A. P. *Osnovy upravleniya poletom kosmicheskikh apparatov* (Principles of spacecraft flight control), Moscow, Mashinostroenie, 1990, 475 p.

5. Duboshin G.N. *Spravochnoe rukovodstvo po nebesnoy mekhanike i astrodinamike* (Reference manual on celestial mechanics and astrodynamics), Moscow, Nauka, 1976, 864 p.

6. *Attitude determination and control*, edited by James R. Wertz. Kluwer academic publishers, Dordrecht/Boston/London 1990. 882 p.

7. Mukund R. Patel. *Spacecraft Power Systems CRC Pres*, 2005, 691 p.

8. Rosenblum Michael, Temirbayev A. A., Nalibayev Ye. D., Zhanabaev Z. Zh., Ponomarenko V. I. Quasiperiodic Dynamics in Ensemble of Nonlinearly Coupled Electronic Oscillators. *SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems*, May 19–23, 2013, Snowbird Ski and Summer Resort Snowbird, Utah, USA. pp. 98–119.



НЕ УСТАЛО НЕБО ПЛАКАТЬ...

БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЕ ФОНДЫ

При каждой крупной организации создаются многочисленные фонды, в которые собираются средства на какие-либо проекты, не предусмотренные уставной деятельностью предприятий-учредителей. Бывает, что через такие фонды пропускаются платежи с целью ухода от части налогов, дополнительного источника обогащения, обмана акционеров. Впрочем, определенную часть денег из этих фондов похищают их штатные сотрудники.

Продолжение на с. 211