

А.С. Инчин¹ , Ю.Р. Шпади¹ , М.Ю. Шпади¹ , Л.И. Майлибаева¹ 
А.Ю. Лозбин^{1,2} , Г.М. Аязбаев^{1,2} 

¹Институт космической техники и технологии, г. Алматы, Казахстан

²Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

e-mail: lozbin.a@istt.kz

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ МИССИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА KAZSCISAT-1

Аннотация. В статье приведены основные результаты выполнения научной миссии космического аппарата KazSciSat-1. Описываются работы, проведенные на стадиях опытно-конструкторских работ создания космической системы научного назначения специалистами Института космической техники и технологии. Разработан космический аппарат научного назначения KazSciSat-1 и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления (НКУ) и наземного целевого комплекса. В качестве полезной научной нагрузки на спутнике KazSciSat-1 использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр LEMI-040 предназначенный для измерения вектора индукции. 4 декабря 2018 г. произведен успешный запуск KazSciSat-1. С 1 января по 31 марта 2019 г. производилась штатная эксплуатация KazSciSat-1 на орбите. Произведено более 440 сеансов связи и получено более 1300 точек измерений постоянного магнитного поля Земли в зоне видимости НКУ над регионом. Произведена научная обработка полученных полезных данных. Построены карты регионального реального и модельного магнитного поля. Через год после запуска (11 декабря 2019 года) был проведен очередной сеанс связи с KazSciSat-1. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено, космический аппарат работает в штатном режиме.

Ключевые слова: геомагнитное поле, наноспутник, ионосфера, космический аппарат

Введение.

Магнитное поле Земли (МПЗ) является надежным барьером, который окружает и защищает нашу планету от потока высокоэнергетических заряженных частиц, потоков солнечного ветра. Вместе с тем оно, как известно, оказывает постоянное и непосредственное воздействие на деятельность живых организмов. Без него жизнь на Земле не могла бы существовать. Поэтому изучению магнитного поля во всем мире уделяется большое внимание. В последнее время к наблюдениям за изменением магнитного поля Земли уделяется особое внимание, поскольку наблюдается тенденция к ослаблению магнитного поля Земли и постепенное смещение магнитного Северного полюса в сторону Сибири [1, 2]. Располагая данными измерений и последующих расчетов, ученые получают возможность понимания естественных процессов, происходящих в глубинах нашей планеты и о влиянии на планету космической погоды, являющейся следствием бурной деятельности Солнца. Казахстан также вносит свой вклад в изучение магнит-

ного поля Земли. С этой целью был разработан и 4 декабря 2018 года запущен казахстанский научный наноспутник KazSciSat-1. Спутник проводит измерения постоянного магнитного поля Земли над казахстанским регионом.

Наноспутник KazSciSat-1

В рамках опытно-конструкторских работ по созданию космической системы научного назначения специалистами 2-х лабораторий Института космической техники и технологии (ИКТТ) (Лабораторией разработки космических систем и Лабораторией космических систем научного назначения) разработан космический аппарат научного назначения (КАНН) KazSciSat-1 и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления (НКУ) и наземного целевого комплекса (НЦК).

KazSciSat-1 разработан на базе технологии CubeSat 3U для эксплуатации на солнечно-синхронной орбите с высотой ~600 км. Основной миссией КАНН является мониторинг магнитного поля Земли с целью

исследования физических процессов в ближнем космосе и их взаимосвязи с земными процессами. Задачи для научного спутника были поставлены научными организациями Казахстана (АО «НЦКИТ», МОН РК) при участии зарубежных партнеров из России (ИЗМИРАН, Геоскан), Украины (ЛЦ ИКИ), Франции (CNRS). При формировании научного облика КААН учтен опыт специалистов Института по обработке и анализу спутниковой геофизической информации в рамках программы «Интеркосмос» (1978-1990 гг).

В ходе работ над КА выполнены следующие основные этапы:

- осуществлено проектирование космической системы научного назначения на базе требований европейских стандартов ECSS;
- разработано программное обеспечение для бортового комплекса управления КА;
- разработано программное обеспечение наземного целевого комплекса, включающее системы планирования и научной обработки полезных данных, а также веб-портал для предоставления обработанной научной информации конечным потребителям;
- выполнены работы по сборке космического аппарата KazSciSat-1 и его наземного сегмента;
- проведены испытания космического аппарата KazSciSat-1 на воздействие внешних факторов согласно разработанным планам и методикам испытаний;
- произведена интеграция космического аппарата KazSciSat-1 для запуска на ракетоносителе Falcon-9.

4 декабря 2018 г. в 00:32 (GMT+6) успешно осуществлен запуск KazSciSat-1 на ракете-носителе Falcon-9. Далее в 03:54 (GMT+6) произошло успешное отделение КААН от платформы UFF ракеты-носителя. Спустя 30 минут после отделения произведено разворачивание антенной системы УКВ-диапазона КААН и далее, через 10 минут, произведено разворачивание штанги полезной нагрузки.

На рисунке 2 приведен внешний вид спутника с выносной штангой и магнитометром на конце.



Рисунок 1 – Внешний вид наноспутника KazSciSat-1

Спустя 6 часов после отделения космического аппарата от ракеты-носителя, на НКУ состоялись первые сеансы связи. На рисунке 2 приводится внешний вид антенного комплекса НКУ.



Рисунок 2 – Внешний вид антенного комплекса НКУ

Во время первых сеансов связи осуществлено тестирование служебных систем и полезной нагрузки, произведены испытания всей цепочки миссии, начиная от приема полезных данных, ее передачи на НЦК, научной обработки, каталогизации и заканчивая публикацией на сайте (<http://kazscisat.istt.kz>) КСНН для конечных потребителей

В ходе работ за период с 1 января по 31 марта 2019 г. производилась штатная эксплуатация KazSciSat-1 на орбите.

Произведено более 440 сеансов связи с KazSciSat-1, получено более 1300 точек из-

мерений постоянного магнитного поля Земли над казахстанским регионом. Произведена научная обработка полученных полезных данных.

Крайний сеанс связи с KazSciSat-1 проведен 11 декабря 2019 года. В ходе сеанса принято 11 сигналов маяка, содержащих телеметрическую служебную и целевую информацию. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено, космический аппарат работает в штатном режиме.

В качестве полезной научной нагрузки на спутнике KazSciSat-1 использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр (ФЗМ) LEMI-040 (летная версия магнитометра LEMI-020). Прибор разработан Львовским центром Института космических исследований Украины.

ФЗМ предназначен для измерения вектора индукции магнитного поля (рисунок 3).



Рисунок 3 – Датчик ФЗМ LEMI-020 и внешний вид наноспутника

В таблице 1 приведены основные характеристики ФЗМ.

Результаты и обсуждение

Спутник KazSciSat-1 был запущен попутным грузом и отделение от платформы ракетносителя происходило в группе КА. Изначально была идентифицирована эта группа, а 8 февраля 2019 года KazSciSat-1 был окончательно определен как отдельный спутник и получил номер в каталоге НОРАД №43787.

Уточнение TLE-данных существенно повысило качество принимаемой научной информации, поскольку точность слежения спутника стала намного лучше. На рисунке 4 показаны проекции трасс спутника во время сеансов связи НКУ с КА KazSciSat-1 в

период с 1.01.2019 по 31.03.2019 года, а на рисунке 5 – точки измерений магнитного поля Земли.

Таблица – 1 - Технические характеристики магнитометра LEMI-020

| Наименование параметра | Значение |
|--|-----------|
| Напряжение питания постоянного тока, В | 5.0 ± 0.2 |
| Диапазон измерения каждой проекции вектора индукции магнитного поля, нТл, не менее | ± 60000 |
| Смещения нуля, нТл, не более | 2000 |
| Погрешность определения смещения нуля при калибровке, нТл, не более | 50 |
| Уровень шума на частоте 10 Гц, пТл ср. кв. / √Гц, не более | 30 |
| Неортогональность осей магнитной чувствительности, не более | ±0.5° |
| Количество разрядов цифрового кода | 20 |
| Параметры последовательного цифрового интерфейса RS-232: | |
| - скорость обмена данными, кБод | 115.2 |
| - количество бит информации | 8 |
| - количество стоп бит | 1 |
| Объем внутренней энергонезависимой памяти, МБт | 512 |
| Максимальная потребляемая мощность, Вт, не более | 0.4 |
| Габаритные размеры, мм, не более: | |
| - блока электроники | 130x78x55 |
| - печатной платы узла электроники | 66x66x10 |
| - блока датчика (без кабеля) | 64x40x30 |
| - датчика | 20x20x21 |
| Масса, кг, не более | |
| - печатной платы узла электроники | 0,04 |
| - датчика | 0,025 |

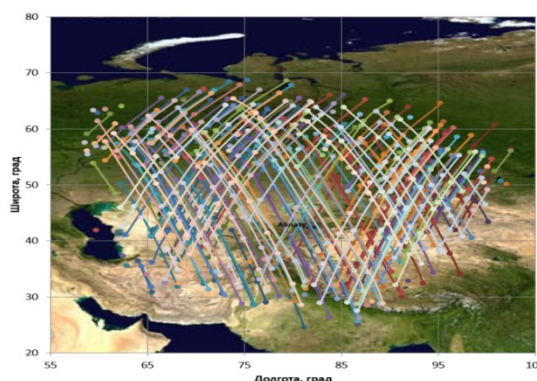


Рисунок 4 – Проекция трасс спутника во время сеансов связи НКУ с KazSciSat-1

«Мертвая зона» на рисунке 5 в районе г. Алматы, где располагается приемная станция НКУ, объясняется техническими ограничениями антенны на прием сигналов спутника в надире.

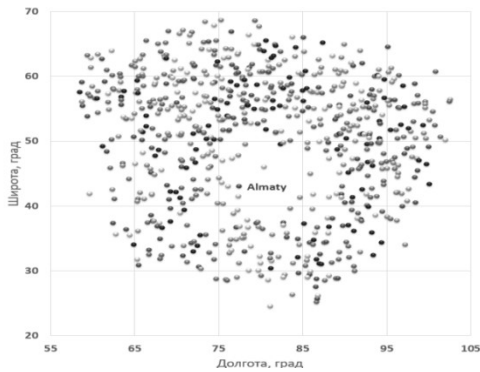


Рисунок 5 – Точки проведенных измерений спутника KazSciSat-1 по состоянию на 31.03.2019г.

Как уже было сказано, KazSciSat-1 проводит 3-х компонентные измерения постоянного магнитного поля Земли над в зоне прямой видимости спутника НКУ. На рисунке 5 видно, что зона измерений магнитного поля Земли ограничена регионом 25-70° (С.Ш.) и 55-105° (В.Д.). Модуль поля вычислялся по формуле (1):

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}; \quad (1)$$

На рисунке 6 показаны значения компонент (B_x , B_y , B_z) и модуля (B_M) вектора индукции магнитного поля, измеренные на борту KazSciSat-1.

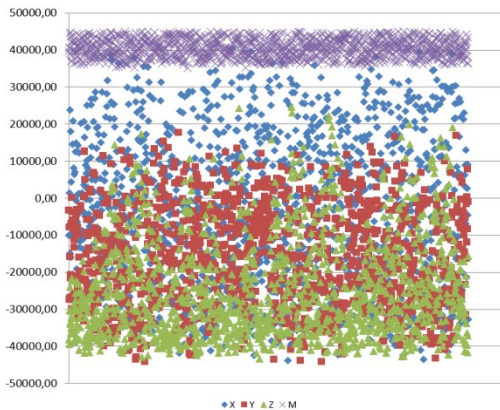


Рисунок 6 – Значения компонент (B_x , B_y , B_z) и модуля (B_M) вектора индукции магнитного поля, полученные с борта KazSciSat-1

Для изучения магнитного поля Земли необходимо иметь карты его временного и пространственного распределения. Наличие таких карт позволит проследить динамику изменений МПЗ, выявить естественные и техногенные факторы, влияющие на МПЗ. Поэтому первым шагом в исследовании магнитного поля является построение таких

карт. Точки над регионом, в которых проводились измерения, показаны на рисунке 5.

На высоте спутника (~600 км) построено модельное магнитное поле для казахстанского региона. При этом использована модель IGRF-12 на эпоху 2015-2020 годы [3]. Карта изолиний модуля модельного магнитного поля приведена на рисунке 7.

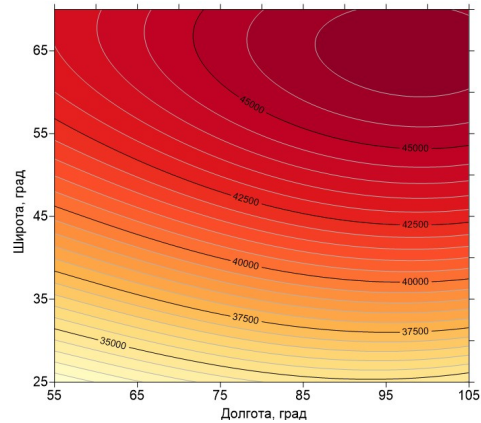


Рисунок 7 - Карта модельного модуля МПЗ в казахстанском регионе

Как видно из рисунка 7, модельное магнитное поле имеет весьма сглаженный вид. Для оценки реального магнитного поля в регионе использованы данные магнитных измерений на спутнике KazSciSat-1.

По накопленным за 3 месяца спутниковым данным построена региональная карта реального магнитного поля, приведенная на рисунке 8.

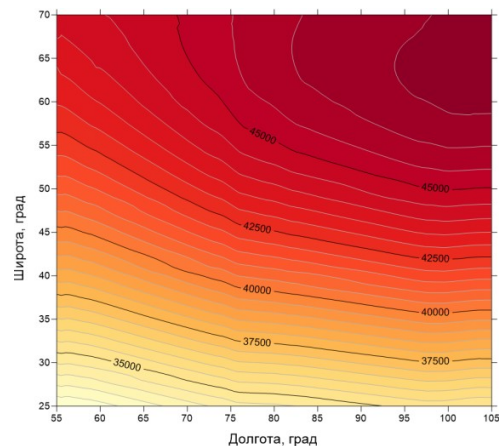


Рисунок 8 - Карта изолиний реального магнитного поля в регионе по накопленным спутниковым данным

Заключение

В рамках опытно-конструкторских работ по созданию космической системы научного назначения специалистами ИКТТ

спроектирован, изготовлен и запущен на околоземную орбиту космический аппарат научного назначения KazSciSat-1. Создан наземный сегмент, состоящий из НКУ для управления и связи со спутником и НЦК для сбора и обработки научной информации КАНН.

3 месяца активного существования спутника и 440 сеансов связи с ним позволили получить более 1300 измерений магнитного поля Земли, построить карты реального магнитного поля Земли над территорией Республики Казахстан и сравнить его с модельным полем, построенным по модели IGRF-12 для этого же региона.

Через год после запуска (11 декабря 2019 года) был проведен очередной сеанс связи с KazSciSat-1. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявля-

но, космический аппарат работает в штатном режиме.

Список литературы

- 1 G.A. Glatzmaier and P.H. Roberts. A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal, *Nature*, 377, 1995, pp. 203-209.
- 2 J. Aubert. Geomagnetic acceleration and rapid hydromagnetic wave dynamics in advanced numerical simulations of the geodynamo, *Geophysical Journal International*, V. 214, Issue 1, 2018, p.531-547
- 3 <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmo/d/igrf.html>

Принято в печать 03.03.2020

**А.С. Инчин¹, Ю.Р. Шпади¹, М.Ю. Шпади¹, Л.И. Майлибаева¹
А.Ю. Лозбин^{1,2}, Г.М. Аязбаев^{1,2}**

¹*Институт космической техники и технологии, г. Алматы, Казахстан*

²*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
e-mail: lozbin.a@istt.kz*

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ МИССИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА KAZSCISAT-1

Аннотация. В статье приведены основные результаты выполнения научной миссии космического аппарата KazSciSat-1. Описываются работы, проведенные на стадиях опытно-конструкторских работ создания космической системы научного назначения специалистами Института космической техники и технологии. Разработан космический аппарат научного назначения KazSciSat-1 и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления (НКУ) и наземного целевого комплекса. В качестве полезной научной нагрузки на спутнике KazSciSat-1 использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр LEMI-040 предназначенный для измерения вектора индукции. 4 декабря 2018 г. произведен успешный запуск KazSciSat-1. С 1 января по 31 марта 2019 г. производилась штатная эксплуатация KazSciSat-1 на орбите. Произведено более 440 сеансов связи и получено более 1300 точек измерений постоянного магнитного поля Земли в зоне видимости НКУ над регионом. Произведена научная обработка полученных полезных данных. Построены карты регионального реального и модельного магнитного поля. Через год после запуска (11 декабря 2019 года) был проведен очередной сеанс связи с KazSciSat-1. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено, космический аппарат работает в штатном режиме.

Ключевые слова: геомагнитное поле, наноспутник, ионосфера, космический аппарат

**A.Inchin, Yu. Shpadi¹, M.Shpadi¹, L.Mailibayeva¹
A.Loizbin^{1,2}, G.Ayazbayev^{1,2}**

¹*Institute of Space Techniques and Technologies, Almaty, Kazakhstan*

²*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

e-mail: lozbin.a@istt.kz

THE RESULTS OF SCIENTIFIC MISSION OF THE KAZSCISAT-1 SPACECRAFT

Abstract. In this paper the main results of the scientific mission of the KazSciSat-1 spacecraft is given. The main results of the Scientific Space System designing by the specialists of the Institute of the Space Techniques and Technologies are shown. The Scientific Spacecraft KazSciSat-1 and ground segment (Ground Scientific Mission Center and Ground Mission Control Center) are created. As a scientific-payload on board KazSciSat-1 the 3-axis flux-gate magnetometer LEMI-040 for the magnetic field flux density measurements is used. At December, 4, 2018 the KazSciSat-1 was successfully launched. Started from January, 1 till March, 31, 2019 the routine operation of the KazSciSat-1 was proceeded. More than 440 communication sessions were done and more than 1300 results of the Earth's magnetic field measurements in the Mission Control Center visibility zone above region are received. The scientific data processing was done. The regional maps (real and model) of the magnetic field are generated. After one-year operation, at December, 11, 2019, the last communication session was done. After received operational and scientific data analysis, no any errors in the subsystems actions are found. The spacecraft still works properly.

Keywords: geomagnetic field; nanosatellite; ionosphere; spacecraft

А.С. Инчин¹, Ю.Р. Шпади¹, М.Ю. Шпади¹, Л.И. Майлибаева¹

А.Ю. Лозбин^{1,2}, Г.М. Аязбаев^{1,2}

¹*Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматық., Қазақстан*

²*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматық., Қазақстан*

e-mail: lozbin.a@istt.kz

KAZSCISAT-1 ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ МИССИЯСЫНЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аңдатпа. Мақалада KazSciSat-1 ғарыш кемесінің ғылыми миссиясының негізгі нәтижелері келтірілген. Жұмыста Ғарыштық техника және технология институтының мамандары ғылыми пайдалану үшін ғарыш жүйесін құру бойынша тәжірибелік-конструкторлық жұмыстардың кезеңдерінде атқарылған жұмыстар туралы сипатталған. KazSciSat-1 ғылыми ғарыш кемесі және жерден басқару кешені (ЖБК) және жердегі нысаналы кешеннен тұратын жер сегменті жасалды. KazSciSat-1 спутнигіндегі пайдалы ғылыми жүктеме ретінде индукциялық векторды өлшеуге арналған LEMI-040 үш компонентті ағынды феррозондтық магнитометрі қолданылды. 2018 жылдың 4 желтоқсанында KazSciSat-1 сәтті ұшырылды. 2019 жылдың 1 қаңтарынан 31 наурызына дейін KazSciSat-1 орбитада қалыпты жұмыс істеді. 440-тан астам байланыс сеанстары жүргізіліп, 1300-ден астам ЖБК-ға көріну өлке аймағында жердің тұрақты магнит өрісін алу мүмкін болды. Алынған пайдалы мәліметтерді ғылыми өңдеу жүргізілді. Аймақтық нақты және модельді магнит өрісінің карталары жасалды. Іске қосылғаннан кейін бір жыл өткен соң (2019 жылғы 11 желтоқсан) KazSciSat - 1 жүйесімен кезекті байланыс сессиясы өтті. Алынған KazSciSat-1 деректерін талдау нәтижелері бойынша ішкі жүйелер жұмысында ауытқулар анықталған жоқ, ғарыш аппараттары қалыпты жағдайда жұмыс істейді.

Кілт сөздер: геомагниттік өріс, наноспутник, ионосфера, ғарыш аппараттары