

**АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИБОРА ОРИЕНТАЦИИ  
НА ЗЕМЛЮ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

*М.Ж. Анаров, К.К. Тельгарин*  
Республиканский центр космической связи (Казахстан)

Доктор техн. наук, профессор *М.Н. Петров*  
Сибирский государственный университет науки и технологии  
им. М.Ф. Решетнева (г. Красноярск, Россия)

*Представлены результаты статистических наблюдений действующего космического аппарата связи. Рассмотрено функционирование системы ориентации на землю. Целью ориентации является создание надёжной связи на территории страны обладателя космического аппарата.*

**Ключевые слова:** надёжность связи, надёжность космического аппарата, система ориентации, информационная безопасность, ориентация на землю.

**ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF THE ORIENTATION DEVICE  
ON THE TELECOMMUNICATION SPACE VEHICLE EARTH**

*M.G. Anarov, K.K. Telgarin*  
Republican Space Communication Center (Kazakhstan)  
Dr (Tech), Professor *M.N. Petrov*  
Reshetnev Siberian State University of science and technology  
(Krasnoyarsk, Russian Federation)

*This article presents the results of statistical observations of the current space communications device. The functioning of the system of orientation to the ground is considered. The purpose of the orientation is to create reliable communications in the country of the owner of the spacecraft.*

**Keywords:** communication reliability, reliability of the spacecraft, orientation system, information security, orientation to the earth.

Для максимального обеспечения надёжности связи спутника и наземных станций важно, постоянное направление на зону покрытия связью. Для этого на космическом аппарате имеется система ориентации на Землю (СОЗ).

**Анализ функционирования прибора ориентации на Землю  
Назначение ПОЗ**

Прибор ориентации на Землю (ПОЗ) является инфракрасным датчиком горизонта Земли, разработанным для трехосностабилизированных спутников на орбитах от 12000 до 40000 км. ПОЗ предназначен для выдачи в бортовой компьютер информации об угло-

вом положении спутника относительно центра Земли по двум координатам (тангаж и крен). Это обеспечивается посредством измерения углового положения (по отношению к некоторой точке отсчета) точек пересечения двух траекторий сканирования с границей Космос – Земля. Для обеспечения резервирования на спутник устанавливаются два прибора ПОЗ.

### Принцип действия ПОЗ

Принцип действия ПОЗ заключен в сканировании горизонта Земли в спектральном диапазоне 14,2-16,2 мкм по двум параллельным линейным траекториям с угловой раздвижкой между ними на фиксированный угол. Таким образом, при каждом периоде сканирования образуются четыре пересечения Космос/Земля.

### Анализ функционирования

Оба прибора ориентации на Землю находятся в выключенном состоянии по рекомендации разработчика. Отключение ПОЗ произошло 28.05.2015 года. На рис. 1 представлены моменты времени, в которых ПОЗы находились в активном состоянии.

27.03.2015 года впервые сформировался признак неисправности ПОЗ1 (ПЗ1ОПИ). Краткое изложение отказа состоит в следующем: 08.04.2015 произошел отказ ПОЗ1 (рис. 2), заключающийся в формировании прибором нулевого состояния обобщенного признака исправности при трех опросах информации подряд и произошла реконфигурация ПОЗ (с ПОЗ1 на ПОЗ2). При включении прибора (из отключенного состояния) 09.04.2015 года и 14.04.2015 года наблюдалось временное восстановление работоспособности. 16.04.2015 повторно зафиксирован отказ ПОЗ1 (ПЗОПИ=0 при трех опросах подряд). При этом дополнительно зафиксированы признаки «зависания» процессора прибора. В начале САС признак неисправности (ОПОЗ) имел значение 3, что свидетельствует о неисправном состоянии ПОЗ1 и ПОЗ2, это было связано с ЛКИ и логикой работы СОС на ЛКИ, которая не противоречит штатной работе ПОЗ (рис. 2). Нарушений условий эксплуатации прибора по температуре и напряжению питания не выявлено, чему свидетельствует рис. 3. Максимальная температура достигала 45,95°C и 48,5°C соответственно во время проверки на функционирование ПОЗ1 и ПОЗ2. Максимальная допустимая температура по ТМ-параметра ТПОЗ1 и ТПОЗ2 составляет +50°C. Характер поведения графика заключается в следующем: на двухгодичном интервале наблюдается уменьшение теплового фона внутри прибора, из-за того, что со второй половины 2015 года ПОЗ1 находится в выключенном состоянии. Тепловой фон внутри прибора стал осуществляться только под воздействием внешнего теплового воздействия, без дополнительного тепловыделения от работы прибора.

Разработчиком дано заключение о причине отказа ПОЗ1, а именно: наиболее вероятной причиной отказа прибора является отказ диода VD3 (2Д510А/ББОС) на плате формирования кодовых импульсов.

Максимальная температура в летнее солнцестояние составила:

- 2014 г. – 41,40°C (прибор вкл);
- 2015 г. – 44,44°C (прибор вкл);
- 2015 г. – 36,33°C (прибор выкл);
- 2016 г. – 41,40°C (прибор выкл);
- 2017 г. – 45,95°C (прибор выкл).

Степень увеличения теплового фона из года в год составляет:

- 2014г.→2015г. – 3,04°C (прибор вкл);
- 2015г.→2016г. – 5,07°C (прибор выкл);
- 2016г.→2017г. – 4,55°C (прибор выкл).

На рис. 4 изображено изменение температуры ПОЗ2 (ТПОЗ2). (при максимальной допустимой температуре +50°C).

Максимальная температура в летнее солнцестояние составила:

- 2014 г. – 36,33°C (прибор выкл);
- 2015 г. – 47,47°C (прибор вкл);
- 2015 г. – 40,38°C (прибор выкл);
- 2016 г. – 44,43°C (прибор выкл);
- 2017 г. – 48,49°C (прибор выкл).

Степень увеличения теплового фона из года в год составляет:

- 2014г.→2015г. – 4,05°C (прибор вкл);
- 2015г.→2016г. – 4,05°C (прибор выкл);
- 2016г.→2017г. – 4,06°C (прибор выкл).

На рис. 5 изображено изменение температуры радиатора ПОЗ2 (Т2ПОЗ) (при максимальной допустимой температуре +55°C).

Максимальная температура в летнее солнцестояние составила:

- 2014 г. – 40,75°C;
- 2015 г. – 44,30°C;
- 2015 г. – 43,73°C (при включении прибора);
- 2016 г. – 47,34°C (при включении прибора);
- 2017 г. – 50,38°C (при включении прибора).

Степень увеличения теплового фона из года в год составляет:

- 2014г.→2015г. – 3,55°C;
- 2015г.→2016г. – 3,61°C;
- 2016г.→2017г. – 3,04°C.

29 апреля 2015 года был зафиксирован выход за верхнюю границу контроля ТМ-параметра Т2ПОЗ +40°C. Максимальная допустимая температура по ТМ-параметра Т1ПОЗ и Т2ПОЗ составляет +55°C. Максимальная температура по термодатчику, установленному внутри ПОЗ2 (параметр ТПОЗ2) составила в этот период +48.5°C при допустимой температуре не выше 50°C.

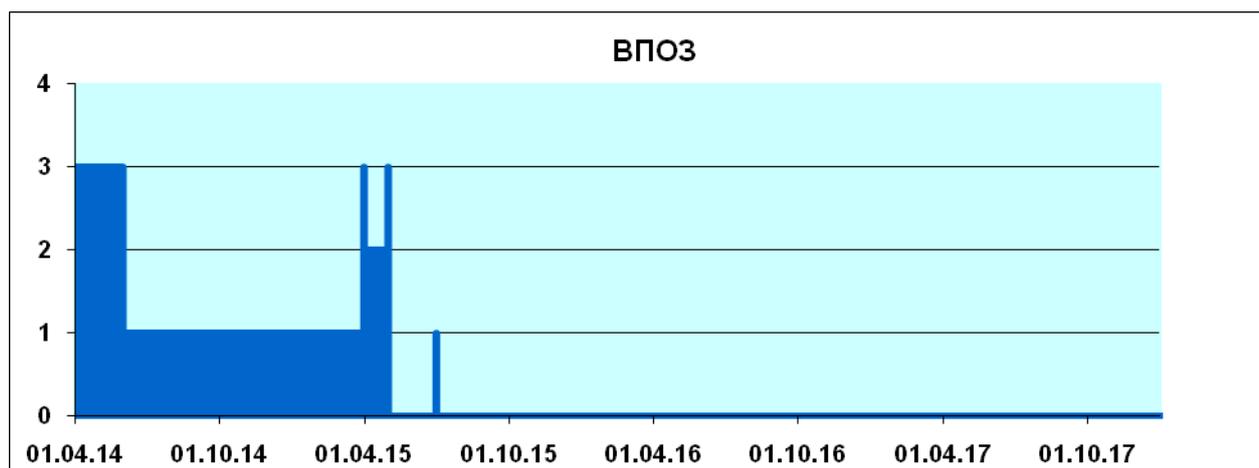


Рис. 1. ПОЗ в активном состоянии

- где
- 0 – ПОЗ1 и ПОЗ2 выключены;
  - 1 – ПОЗ1 включен, ПОЗ2 выключен;
  - 2 – ПОЗ2 включен, ПОЗ1 выключен;
  - 3 – ПОЗ1 и ПОЗ2 включены.

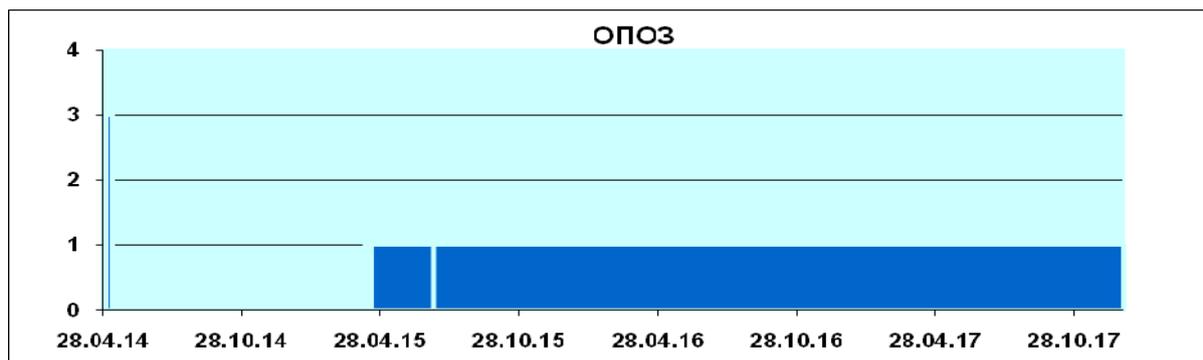


Рис. 2. Признак неисправности ПОЗ

где  
 0 – ПОЗ1 и ПОЗ2 исправны;  
 1 – ПОЗ1 неисправен, ПОЗ2 исправен;  
 2 – ПОЗ2 неисправен, ПОЗ1 исправен;  
 3 – ПОЗ1 и ПОЗ2 неисправны.



Рис. 3. Изменение температуры ПОЗ-1

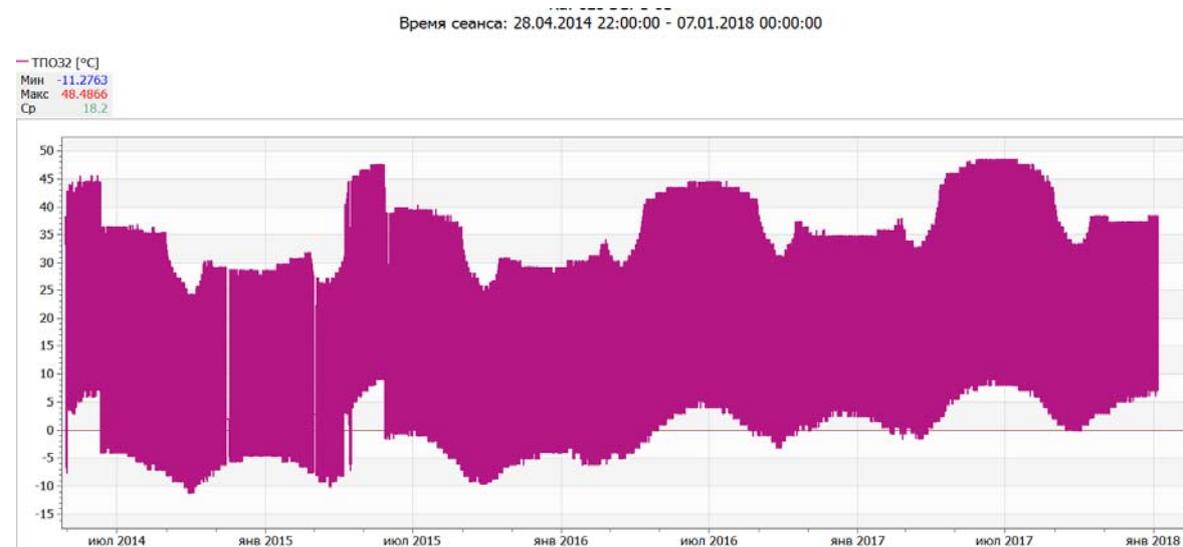


Рис. 4. Изменение температуры ПОЗ - 2

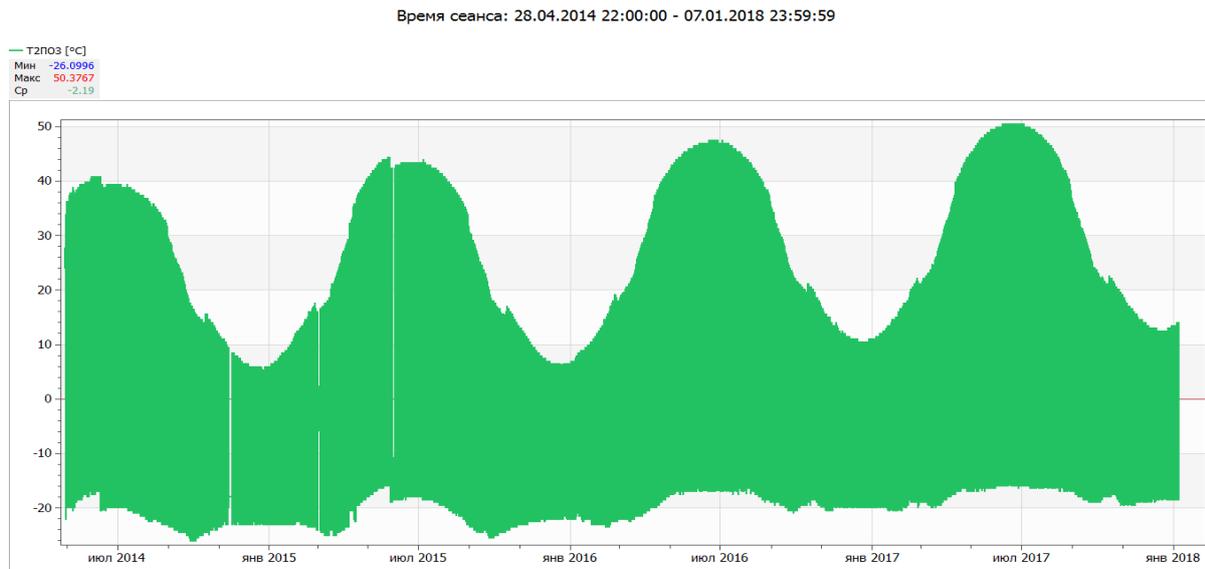


Рис. 5. Изменение температуры радиатора ПОЗ-2 (Т2ПОЗ)

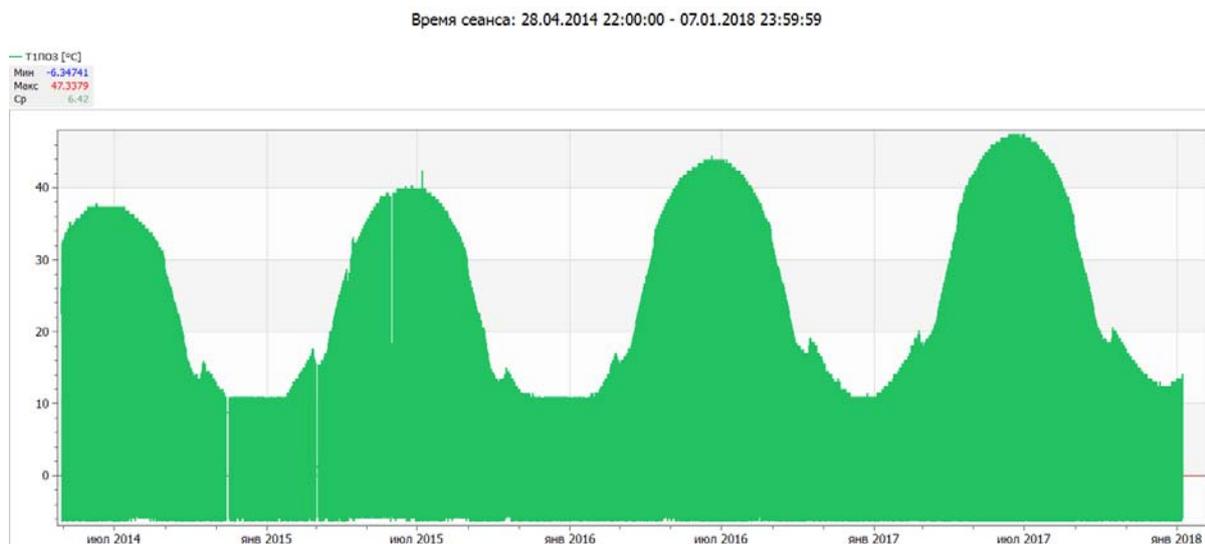


Рис. 6. Изменение температуры радиатора ПОЗ-1 (Т1ПОЗ)

Максимальная температура в летнее солнцестояние составила:

- 2014 г. – 37,72°C;
- 2015 г. – 40,25°C;
- 2015 г. – 42,27°C (при включении прибора);
- 2016 г. – 44,30°C (при включении прибора);
- 2017 г. – 47,34°C (при включении прибора).

Степень увеличения теплового фона из года в год составляет:

- 2014г.→2015г. – 2,53°C;
- 2015г.→2016г. – 2,03°C;
- 2016г.→2017г. – 3,04°C.

В 2015 году был зафиксирован выход за верхнюю границу контроля ТМ-параметра Т1ПОЗ +40°C (рис. 6.).

Согласно летным данным на КА с аналогичными тепловыми схемами ПОЗ и с установленными температурными датчиками на посадочных местах ПОЗ, разница в температуре между конструкцией прибора и посадочным местом составляет от 6 до 6,8°C (по данным анализа разница между включенным и отключенным прибором составляет 7,1°C – 8°C для ПОЗ2 и ПОЗ1 соответственно, сравнивать необходимо с ТМ-параметрами ТПОЗ1/2), что косвенно свидетельствует о достижении в указанный период на КА температуры посадочного места прибора ПОЗ2 ~ 40°C.

Сравнивая рис. 3 и 4 и беря во внимание значения с рис. 1 видно, что в моменты, когда оба прибора находятся во включенном состоянии температура ПОЗ2 выше температуры ПОЗ1 более, чем на 4,5°C. Данное различие объясняется дополнительными теплопритоками на ПОЗ2 по сравнению с ПОЗ1 от нависающей части конической поверхности ЭВТИ обечайки и замка устройства разделения КА «КА» и «Луч-5В» (рис. 6).

Таблица 1

**Прогнозируемые температуры ПОЗ в периоды летнего солнцестояния в течение САС и максимальные за сутки длительности пребывания посадочных мест ПОЗ при температуре выше 40°C**

	Прогнозируемая температура, °C						Длительность пребывания при температуре выше 40 °C, чч:мм	
	ТПОЗ1	Посад. место ПОЗ1	ТПОЗ2	Посад. место ПОЗ2	Посад. место ПОЗ1 среднееинтегр. за сутки	Посад. место ПОЗ2 среднееинтегр. за сутки	Посад. место ПОЗ1	Посад. место ПОЗ2
Июнь 2014	41.4	35.4	45.4	39.4	15.6	14.0	0:00	0:00
Июнь 2015	44.0	38.0	48.0	42.0	16.1	14.5	0:00	2:11
Июнь 2016	46.0	40.0	50.0	44.0	16.6	15.0	0:00	3:11
Июнь 2017	47.0	41.0	51.0	45.0	16.8	15.2	1:48	3:11
Июнь 2018	47.6	41.6	51.6	45.6	16.9	15.3	1:48	3:25
Июнь 2019	48.0	42.0	52.0	46.0	17.0	15.4	1:48	3:41
Июнь 2020	48.4	42.4	52.4	46.4	17.1	15.4	2:11	3:41
Июнь 2021	48.7	42.7	52.7	46.7	17.2	15.5	2:44	3:41
Июнь 2022	49.0	43.0	53.0	47.0	17.2	15.6	2:44	3:41
Июнь 2023	49.3	43.3	53.3	47.3	17.3	15.6	2:44	3:41
Июнь 2024	49.6	43.6	53.6	47.6	17.4	15.7	2:44	3:54
Июнь 2025	49.9	43.9	53.9	47.9	17.4	15.8	2:44	3:54
Июнь 2026	50.1	44.1	54.1	48.1	17.5	15.8	3:01	3:54
Июнь 2027	50.4	44.4	54.4	48.4	17.5	15.9	3:01	3:54
Июнь 2028	50.6	44.6	54.6	48.6	17.6	15.9	3:24	3:54
Июнь 2029	50.8	44.8	54.8	48.8	17.6	16.0	3:24	4:11

Согласно технической справке №360-2-538 от 01.07.2015 года причиной выхода параметра Т2ПОЗ2 за допуски контроля (свыше 40°C) заключается в следующем: Оптическое окно приборов ПОЗ поглощают дополнительное тепловое излучение с поверхности ЭВТИ обечайки и замка, при этом, тепловой поток, излучаемый оптическими окнами

ПОЗ в космическое пространство понижен, из-за негативного влияния нависающей конструкции обечайки и замка на фактор видимости космического пространства приборами ПОЗ. Из-за более близкого расположения прибора ПОЗ2 к конструкции обечайки, температура ПОЗ2 выше, чем температура ПОЗ1. То есть при проектировании и расчета теплового баланса разработчики не учли, что переходная система имеет коническую форму, а не цилиндрическую в итоге реальный тепловой поток падающий на ПОЗ2 больше расчетного, что вызвало выход температуры радиатора прибора ПОЗ2 за верхнюю границу контроля ТМ-параметра.

Учитывая фактические температуры эксплуатации ПОЗ за 2014 – 2017гг. и степень деградации оптического покрытия радиатора КА и радиатора ПОЗ, максимальная прогнозируемая температура на конец САС в период летнего солнцестояния составит (в фигурных скобках приведены данные анализа):

- корпуса ПОЗ1 – 50,8°C (48,8°C);
- посадочное место ПОЗ1 – 44,8°C (51,2°C);
- корпуса ПОЗ2 – 54,8°C (52,3°C);
- посадочное место ПОЗ2 – 48,8°C (54,3°C).

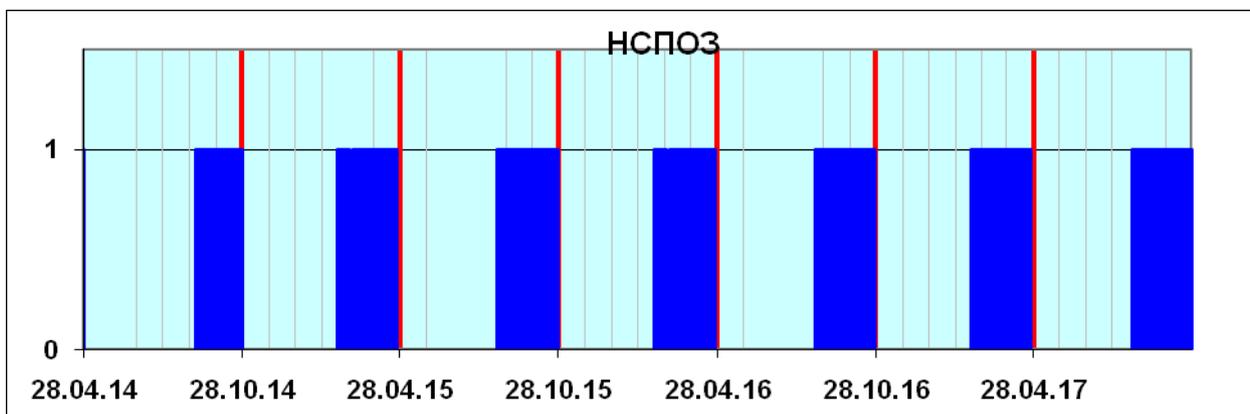


Рис. 7. Времена засветки ПОЗ

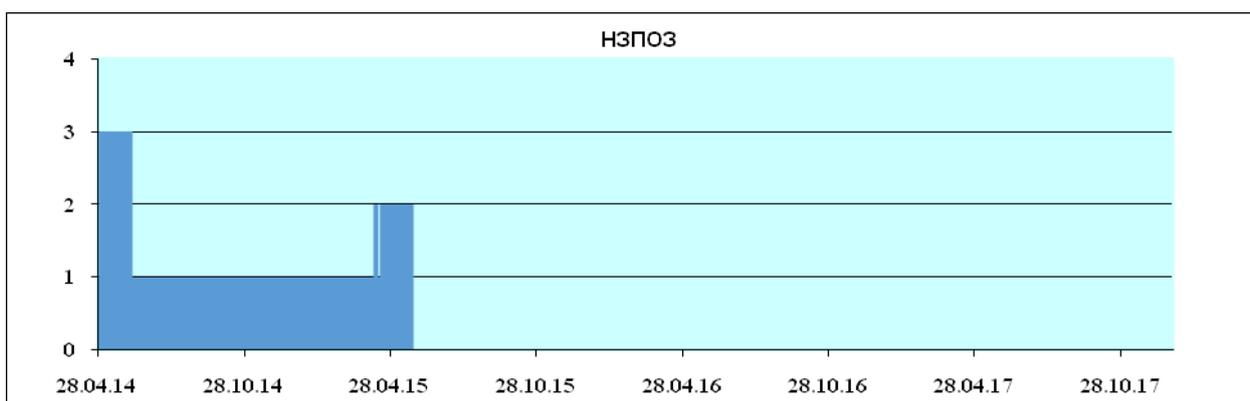


Рис. 8. Времена обнаружения Земли прибором ПОЗ

- где
- 0 – ПОЗ1 и ПОЗ2 не наблюдают Землю;
  - 1 – ПОЗ1 наблюдает Землю, ПОЗ2 не наблюдает Землю;
  - 2 – ПОЗ2 наблюдает Землю, ПОЗ1 не наблюдает Землю;
  - 3 – ПОЗ1 и ПОЗ2 наблюдают Землю.

На рис. 7 изображены моменты времени, в которые Солнце попадает в область визирования приборов ПОЗ. Эта информация рассчитывается в ПО СОС, учитывая данные, поступающие от БНПО. Этот график показывает, что обмен между БНПО и ПО СОС осуществляется штатно и без замечаний.

На рис. 8 изображены моменты времени, в которые Земля попадает в области визирования ПОЗ. Этот рисунок в основном совпадает с рис. 1, что свидетельствует о штатном функционировании прибора, даже в те моменты, когда в поле зрения попадало Солнце.

### **ВЫВОДЫ по ПОЗ**

При штатной эксплуатации управление ориентацией осуществляется по информации ПЗВ. ПОЗ не является обязательным в основном варианте РТС и его отсутствие не влияет на характеристики КА при штатной эксплуатации.

При проведении анализа надежности СОС в РТС ПОЗ не входит в структурную схему надежности, следовательно, отсутствие ПОЗ не влияет на вероятность безотказной работы СОС при штатной эксплуатации.

Поскольку приборы ПОЗ являются резервными при реализации штатного режима РТС, то на периоды, когда прогнозируется выход температуры их посадочных мест за верхний предел, они могут быть отключены. Этими периодами в течении САС являются периоды с мая по июль каждого года эксплуатации длительностью до 3,2 ч в сутки в 2016 году и до 4,2 ч в сутки в конце САС.

Наработка ПОЗ1 составляет на 01.01.2018 – 8335 часов, что составляет около 6% от общего рабочего ресурса прибора. Наработка ПОЗ2 составляет на 01.01.2018 – 2149 часов, что составляет около 1,5% от общего рабочего ресурса прибора.

Разработчиком КА были внесены изменения в СПО по изменению границ контроля температуры радиаторов ПОЗ1 и ПОЗ2 с +40°C до +55°C.

Согласно проведенному анализу КА на конец САС максимальная температура приборов будет составлять по параметрам ТПОЗ1/2 48,8°C и 52,3°C при допуске в 50°C. Тем самым необходимо принять меры по недопущению роста температур выше допустимых, либо увеличение границы этой температуры свыше 52,5°C.

### **Литература**

1. Влияние космической погоды на функционирование бортовой аппаратуры командной радиолнии изз на геостационарной орбите // Тельгарин К., Халимов А., Анаров М., Петров М.Н./ Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2017. № 2. С. 70-78.

2. Применение волоконно-оптических датчиков при контроле надёжности наноспутников // Анаров М.Ж., Петров М.Н. / Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1. ВИНТИ РАН, Москва- С. 55-57.

3. Применение волоконно-оптических датчиков при контроле надёжности беспилотных летательных аппаратов // Анаров М.Ж., Петров М.Н. / Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014 г. - № 2, ВИНТИ РАН, Москва - С. – 106-110.

4. Контроль надёжности наноспутников и пикоспутников на основе применения волоконно-оптических датчиков // Анаров М.Ж., Петров М.Н. /Современные наукоёмкие технологии № 3 РАЕ. М. - 2014 г. С. 157-158.

5. Применение волоконно-оптических датчиков для диагностики беспилотных летательных аппаратов // Анаров М.Ж., Петров М.Н. /Современные наукоёмкие технологии № 3 РАЕ. М. - 2014 г. С. 153-154.

6. Анализ функционирования системы ориентации и стабилизации геостационарного спутника связи // Петров М.Н., Анаров М.Ж. // Научное издание под ред. проф. Петрова М.Н. – Красноярск: изд. Поликом. ул. Вавилова 1стр.9 , 2018 г. – 115 с. Тир 500 экз.

7. Анализ функционирования прибора ориентации на солнце телекоммуникационного космического аппарата / М.Ж. Анаров, К.К. Тельгарин., Петров М.Н. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. ВИНТИ РАН, Москва. - 2018. № 4. С. 79-84.

### Сведения об авторах

**Анаров Максат Жаксылыкович** – директор филиала АО «СП «Байтерек» на комплексе «Байконур» Республика Казахстан, г. Астана, ул. Бейбитшилик14, 10 этаж, E-mail: maxat-zvezda@mail.ru

**Тельгарин Кайрат Куандыкович** – инженер АО «Республиканский центр космической связи» Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Джангильдина, 34. E-mail: katelg@mail.ru

**Петров Михаил Николаевич** – профессор, главный научный сотрудник, Сибирского государственного университета науки и технологии им. М.Ф. Решетнева, (Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31), т. 8 (391) 2 93 20 70, e-mail: mnp\_kafes@mail.ru.

УДК 502.08

DOI: 10.36535/0869-4176-2020-01-7

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ ИНТРОСПЕКТИВНОГО МОНИТОРИНГА

**Кандидат техн. наук С.Г. Черный**  
**Керченский государственный морской технологический университет**  
**Государственный университет морского и речного флота**  
**имени адмирала С.О. Макарова**

**Доктор техн. наук В.А. Доровской**  
**Керченский государственный морской технологический университет**

*Целью и задачей исследований является интроспективный мониторинг процессов протекающих в недрах шельфа Черного моря. Поставленная задача интроспективного мониторинга определила весь перечень информационной меры, что особенно важно при неопределенности создаваемого возмущения в пространстве объектов. При определении меры близости объекта и модели в задачах идентификации приходим к использованию энтропии как меры близости.*

**Ключевые слова:** экспертное оценивание, методы и средства оценивания, интроспективный мониторинг, шельф.