

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В ГЕОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Ф. Грищенко, К. Аскарұлы, А. Баден

Институт ионосферы, Алматы, Казахстан
k.askaruly@gmail.com

DISTRIBUTION OF INTENSITY OF FAILURES OF ONBOARD ELECTRONICS IN THE GEOMAGNETIC FIELD

V.F. Gryshchenko, K. Askaruly, A. Baden

Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan
k.askaruly@gmail.com

Аннотация. Известно, что в результате комплексного воздействия факторов космического пространства происходят сбои и отказы в бортовой электронной аппаратуре КА различного назначения, приводящие к возникновению нештатных ситуаций, а в некоторых случаях и к потере спутников. Причины и характер отказов бортовой электронной аппаратуры различны. В этой работе мы построили карты изолиний на основе модели IGRF-10. А также в работе использовались методы расчета отказов бортовой аппаратуры по траектории ка с учетом распределения геомагнитной жесткости по траектории ка различного назначения.

Ключевые слова: КА, сбой, СКЛ, ГКЛ, РПЗ, отказы.

Annotation. It is known that as a result of the complex effect of space factors, failures and failures occur in the onboard electronic equipment of spacecraft for various purposes, leading to the occurrence of emergency situations and, in some cases, to the loss of satellites. The causes and nature of failures onboard electronic equipment are different. In this slave, we passtral contour maps based on the IGRF-10 model. In addition, we used methods for calculating failures of onboard equipment along a k path with regard to the distribution of geomagnetic rigidity along a k path for various purposes.

Keywords: Spacecraft, failure, SCL, GKL, RPP, failures.

Большинство авторов связывает отказы с солнечными вспышками. Имеются данные, показывающие, что даже при отсутствии солнечных вспышек регистрируются отказы бортовой электронной аппаратуры. Например, возникшие нештатные ситуации с КА «KazSat-1» и «Фобос-грунт» были связаны с отказами в системе управления при воздействии факторов космического пространства и с условиями эксплуатации. Поэтому большое внимание уделяется оценке радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве (ОКП), включающей следующие основные радиационные компоненты: галактические космические лучи (ГКЛ), солнечные космические лучи СКЛ), радиационные пояса Земли (РПЗ).

В последнее время уделяется большое внимание изучению в наземных и реальных условиях различных одиночных сбоев (single event), вызванных воздействием отдельных заряженных частиц различных энергий, входящих в состав СКЛ, ГКЛ или РПЗ [Абилов и др., 2014; Zhantayev и др., 2014; Musabaev др., 2014].

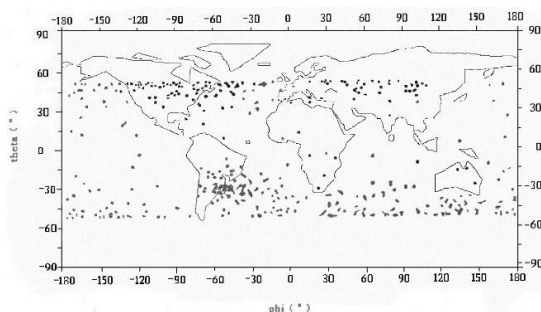


Рис. 1. Картограмма расположения ОК «Мир» в момент регистрации сбоев и отказов ЗУ

В работе использовались методы расчета отказов бортовой аппаратуры по траектории КА с учетом распределения геомагнитной жесткости по траектории КА различного назначения (рис. 2). Расчет проводился по формуле (1).

Расчеты показали, что распределение интенсивности отказов по траектории низкоорбитальных КА носит нелинейный характер и зависит от вертикальной геомагнитной жесткости.

Отличительной особенностью данной методики является получение данных по энергетическим спектрам и потокам КЛ с использованием жесткостных спектров ядер КЛ, что позволяет оценивать динамику радиационной обстановки по траектории КА различного назначения.

Для определения интенсивности сбоев использовали следующую формулу:

$$v(t) = \frac{1}{4\pi} \iiint \sigma_{\text{ТЭЧ}}(L, \theta) F(L, t) dL d(\cos \theta) d\varphi + \int \sigma_p(E) F_p(E, t) dE. \quad (1)$$

Энергия частиц, оказывающих воздействие на КА была найдена по следующей формуле [Государственный стандарт 25645.105-84; Лучи космические солнечные 1984]:

$$E = -M_{0i} + \sqrt{M_{0i}^2 + \left(\frac{Z_i}{A_i} R\right)^2}. \quad (2)$$

Значения энергии частиц получены для каждой из точек траектории полета КА (МКС), т. е. значение

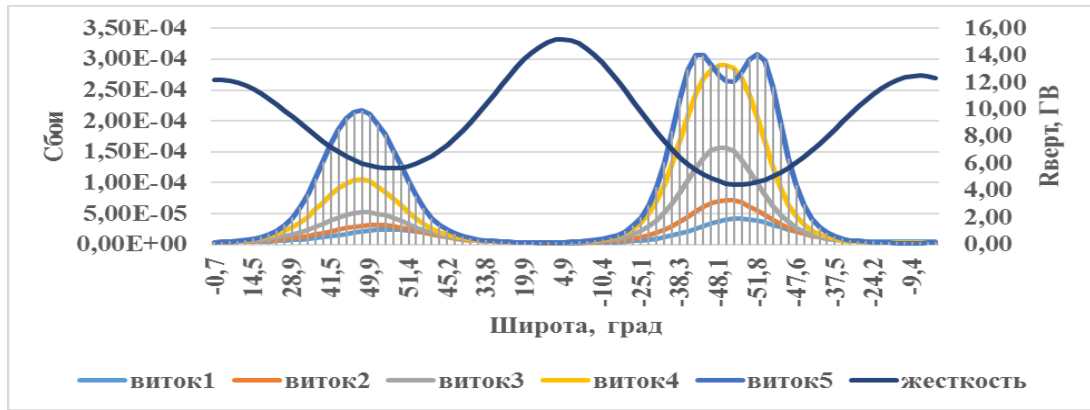


Рис. 2. Интенсивность отказов и вертикальная геомагнитная жесткость на различных витках для орбиты МКС

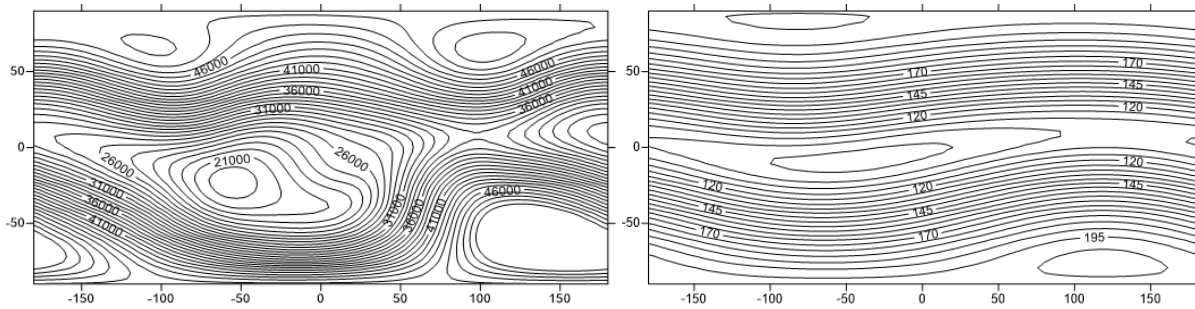


Рис. 3. Карта изолиний «Магнитное поле Земли» для низкоорбитальных спутников (400–1800 км, шаг 100 км)

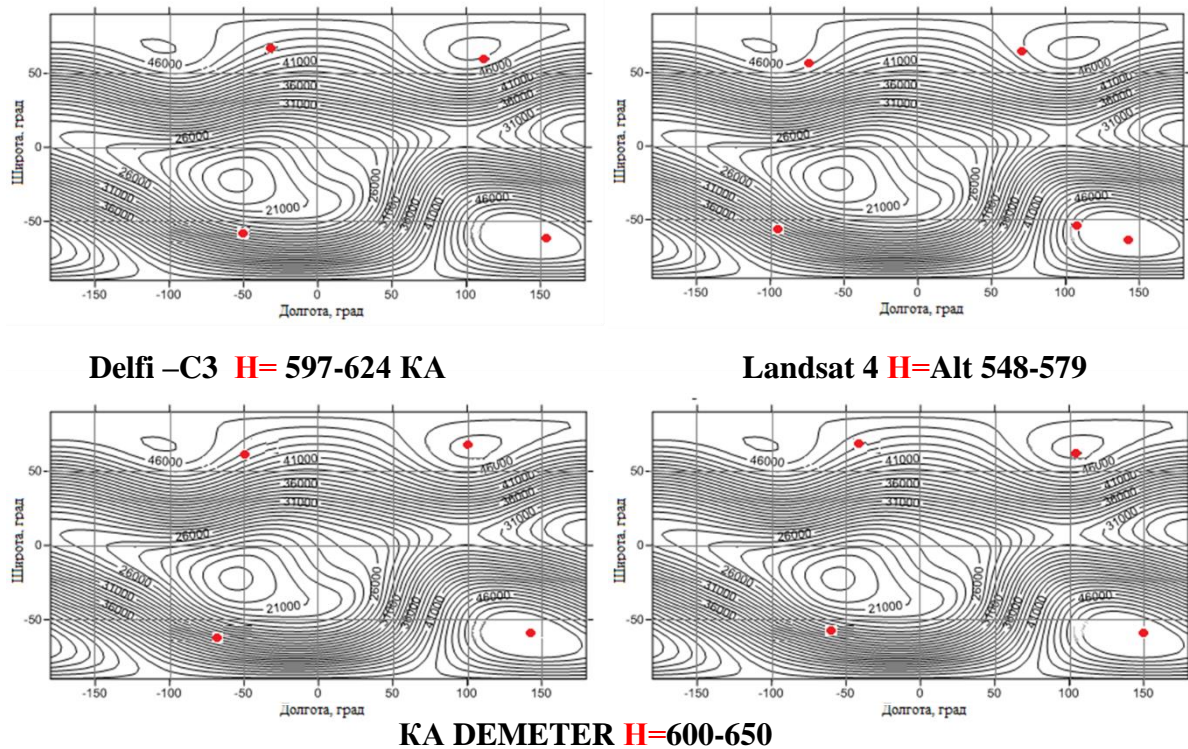


Рис. 4. Сбой 3У на карте изолиний для разных КА

энергии частиц, напрямую связано с изменением положения КА в космическом пространстве. Формула (1) после преобразований представлена в виде:

$$v(t) = \frac{1}{4\pi} \int \sigma_{\text{ТЗЧ}}(L, \theta) F(L, t) dL + \int \sigma_p(E) F_p(E, t) dE, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{ТЗЧ}}(L, \theta)$ — сечение одиночного сбоя в микросхеме при воздействии ТЗЧ космической радиации, σ_p — сечение одиночного сбоя в микросхеме из-за воздействия протонов энергией E , создающих в микросхеме вторичные ТЗЧ в результате взаимодействия протонов с ядрами вещества, $F_i(L, t)$ [$\text{с}^{-1} \text{см}^2$ (МэВ/нуклон)] — дифференциальный энергетический

спектр плотности всенаправленного изотропного потока частиц i -го типа, падающих на исследуемый объект в момент времени t .

Построены карты изолиний на основе модели IGRF-10 «Магнитное поле Земли» для низкоорбитальных спутников (400–1800 км, шаг 100 км рис. 3); навигационных спутников (19000–21000 км) и ГСС (36000–41000 км, с шагом 1000 км).

Анализовали физические характеристики факторов космического пространства (ФКП), различающихся по типу воздействия; внутренних факторов, оказывающих влияние на интенсивность сбоев бортовой электронной аппаратуры КА в реальных условиях. Определены основные факторы космического пространства (КП), оказывающие влияние на работу бортовой электронной аппаратуры, в том числе: изменение радиационной и геомагнитной обстановки в ОКП, функциональные параметры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен анализ существующих прогнозных моделей. Показано, что значительное расхождение расчетных значений потока частиц КЛ и данных, полученных в реальных условиях для низкоорбитальных КА, связано с неучетом динамики изменения радиационной обстановки по траектории КА, орбитальных параметров, характеристик регистрирующей бортовой аппаратуры КА различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Musabaev T., Zhantayev Zh., Grichshenko V., Kulanov I. The failures of the electronics of the space vehicles in the conditions of complex influence of space factors // Proc. 7th IAASS Conference «Space safety is no accident»: abstracts. Germany, Friedrichshaffen, 2014. P. 44.

Zhantayev Zh., Grichshenko V. Complex influence of factors of a Space on materials and devices of electronics in the microgravity//Proc. 40-th COSPAR Scientific Assembly: abstracts. Russia, Moscow: 2014. P. STW-S-361.G0.3-0036-14.

Абилов А., Мукушев А., Грищенко В.Ф. Схематехническое моделирование воздействия электростатических разрядов на элементы электронной аппаратуры в среде ISIS Proteus // Сатпаевские чтения — 2014 «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии Казахстан-2050»: труды междунар. конф., посв. 80-летию КазНТУ им. К.И. Сатпаева. Алматы, 2014. Т. 3. С. 585–591.

Государственный стандарт 25645.105-84. Лучи космические солнечные. Модель потоков протонов. М.: Издательство стандартов.1984. 18 с.