

Д.т.н. проф. Бескровный И. М.
Российский государственный медицинский университет

**Выбор тактовой частоты регенерации обновления памяти
при заданном показателе радиационной устойчивости.**

Постановка задачи

Одним из эффективных методов повышения радиационной стойкости бортовой аппаратуры космических аппаратов является установка аппаратно-программных комплексов, способных восстанавливать работоспособность отдельных блоков при сбоях, обусловленных попаданием заряженной частицы.

Одним из таких комплексов является аппаратно-программный комплекс регенерации памяти. Комплекс обладает свойством восстанавливать информацию в отдельной «линейке» блока памяти при условии возникновения в ней не более одного сбоя «элементарной ячейки» (элемента) за промежуток времени T_R между циклами регенерации. Таким образом, сбой одного элемента является восстанавливаемым. Сбой двух элементов, произошедших в одной линейке за время $t \leq T_R$, является невосстанавливаемым.

Задача состоит в том, чтобы зная интенсивность радиационных отказов, определить такой предельно допустимый промежуток времени T_R^* , при котором вероятность невосстанавливаемого отказа не будет превышать заданное нормативное значение вероятности P_N . Этим значением T_R^* и будет определяться оптимальная тактовая частота регенерации. При повышении частоты сверх оптимального значения будет нерационально возрастать расход ресурсов процессора, а при понижении – снижается вероятность безотказной работы. При этом нормативное значение вероятности P_N определяется из заданных условий безотказной работы всей системы.

Предлагаемое решение

В условия воздействия интенсивность отказов зависит от пространственно-временного распределения воздействующего потока. Если это поток космического излучения, то его пространственное распределение подчиняется закону равномерной плотности. Длина линейки равна одной из сторон чипа (его длины), а элементарный сбой в линейке возникает независимо от расположения отказавшего элемента в линейке. Следовательно, задачу в пространственном аспекте можно рассматривать как одномерную. То есть, достаточно рассмотреть пространственное распределение потока заряженных частиц вдоль другой стороны чипа (его высоты).

Если обозначить через x координату возникновения отказа, отсчитываемую вдоль высоты чипа, то для закона равномерной плотности плотность вероятности распределения отказов определяется соотношением

$$h'(x; a, b) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a \\ \frac{1}{b-a} & \text{при } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{при } x > b \end{cases} \quad (1)$$

где a и b координаты начала и конца отрезка, соответствующего высоте чипа.

Вероятность попадания случайной величины X (координаты отказа) в интервал (m, n) , который не выходит за пределы интервала (a, b) , определяется равенством:

$$P\{m < X < n\} = \frac{n - m}{b - a} = \frac{L_l}{L_s}, \quad (2)$$

Где L_l - ширина одной линейки, L_s - высота чипа

Исходя из соотношения (2) интенсивность потока отказов в отдельной линейке λ_l будет определяться с интенсивностью отказов в чипе λ_s следующим соотношением

$$I_l = \frac{L_l}{L_s} I_s \quad (3)$$

Для нахождения вероятности возникновения двух смежных по времени элементарных сбоев в одной линейке помимо средней интенсивности сбоев необходимо определить характер временного распределения радиационных сбоев.

Поток заряженных частиц обладает следующими свойствами:

Стационарность, которая имеет место, если вероятность поступления k событий за интервал времени Δt не является функцией времени,

$$P_k(T_0, T_0 + \Delta t) = P_k(T_0 + T, T_0 + T + \Delta t) = f(\Delta t) \quad (4)$$

Отсутствие последействия, которое выражается в том, вероятность попадания заряженной частицы в заданную площадь в любой интервал времени $P_k^{о.жс}(T_0, T_0 + \Delta t)$ не зависит от количества событий произошедших до начала этого интервала.

$$N_k^{фкм}(T_0 - \Delta t).$$

Ординарность потока выражается в том, что заявки поступают по одиночке, то есть, выполняются соотношения

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{>1}(\Delta t)}{\Delta t} = 0; \quad P_{>1}(\Delta t) = 0(\Delta t). \quad (5)$$

Поток событий, удовлетворяющий этим трем условиям, называется простейшим или Пуассоновским. Если постоянная интенсивность потока заряженных частиц известна, то вероятность появления k событий в одной линейке за промежуток времени T_r определяется формулой Пуассона [1]

$$P(T_r; k) = (I_l T_r)^k \exp(-I_l T_r) / k! \quad (6)$$

Из соотношения (6) следует

$$P(T_r; 0) = \exp(-I_l T_r); \quad P(T_r; 1) = (1 + I_l T_r) \exp(-I_l T_r) \quad (7)$$

События «не произошло ни одного сбоя» и «произошел один сбой» несовместны, поэтому по теореме сложения вероятностей искомая вероятность того, что за время T_r произошло менее двух сбоев (вероятность безотказной работы) определяется соотношением

$$P(T_r; k < 2) = \exp(-I_l T_r) + I_l T_r \exp(-I_l T_r) = (1 + I_l T_r) \exp(-I_l T_r) \quad (8)$$

При условии $I_l T_r \ll 1$ получаем

$$P_{отк} = P(T_r; k < 2) = \exp(-I_l T_r) \quad (9)$$

Таким образом, вероятность безотказной работы в течение заданного интервала T_r^* определяется соотношением (9)

Соответственно вероятность возникновения невосстанавливаемого отказа определяется из

$$P_{отк}(T_r^*) = 1 - \exp(-I_l T_r^*) \quad (10)$$

Следовательно, нормативное значение интервала регенерации определяется соотношением

$$T_r^* \leq \left| \ln(1 - P_{отк}^N) / I_l \right| \quad (11)$$

Для практических расчетов можно использовать и другую формулу. При условии $I_l T_r \ll 1$ можно записать $\exp(-I_l T_r) \approx 1 - I_l T_r$. Тогда из соотношения (8) следует

$$P_{отк} = 1 - (I_l T_r)^2 \quad (12)$$

И, следовательно, предельно-допустимое значение выбирается из соотношения

$$T_r^* \leq \frac{1}{I_l} \sqrt{1 - P_{отк}^N} \quad (13)$$

После выбора значения T_r^* показатель радиационной устойчивости может быть определен через интегральный поток облучения, который, в свою очередь можно найти путем пересчета интегрального потока, приходящегося на чип $\lambda_S T_r^*$ к интегральному потоку, действующему на систему.

Литература

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., «Высшая школа», 1977.