

**Таблица 5. Основные модели коэффициента ускорения при действии различных механизмов отказа**

Документ	Модель коэффициента ускорения
<b>Ускоряющий фактор температура</b>	
Отечественный РД 11 0755-90	Разрушение металлизации вследствие электромиграции [13]: $K_{y1} = \exp\left(\frac{E_a}{k} K_T\right), \text{ если } j_1 = j_2, K_y = \left(\frac{j_1}{j_2}\right)^n \exp\left(\frac{E_a}{k} K_T\right), \text{ если } j_1 < j_2,$ <p>где <math>K_T = 1/T_1 - 1/T_2, T_1 &lt; T_2,</math></p> $E_a = \begin{cases} 1,4 & \text{для Al, обьёмная;} \\ 0,4 \div 0,5 & \text{для Al, по границам зёрен;} \\ 1,0 \div 1,2 & \text{для Au.} \end{cases},$ $n = \begin{cases} 1 & \text{при } 10^3 < j \leq 10^5; \text{ [A/cm]} \\ 2 & \text{при } 10^5 < j \leq 10^6; \\ 3 & \text{при } j > 10^6 \end{cases}$
Отечественный РД 11 0755-90	Дефекты оксида, выявляемые температурой: $K_{y3} = \exp\left(\frac{E_a}{k} K_T\right),$ <p>где <math>E_a = \begin{cases} 1,0 \div 1,2 &amp; \text{при потере заряда в РПЗУ;} \\ 0,9 \div 1,2 &amp; \text{при нестабильности } U_{cc}; \\ 0,7 \div 0,8 &amp; \text{при повышенных утечках;} \\ 0,6 \div 0,8 &amp; \text{при случайном изменении содержимого ячеек памяти} \end{cases}</math></p>
Отечественный РД 11 0755-90	Обрыв сварных соединений вследствие образования интерметаллических соединений: $K_y = \exp\left(\frac{E_a}{k} K_T\right), \text{ где } E_a = \begin{cases} 1,0 \div 1,05 & \text{для соединений Au - Al;} \\ 1,26 & \text{для соединений Си - Al} \end{cases}$
Отечественный РД 11 0755-90	Коррозия металлизации: $K_y = \exp\left(\frac{E_a}{k} K_T\right), \text{ где}$ $E_a = \begin{cases} 0,54 & \text{при } RH = 10 \div 50\% \\ & \text{и } T = 50 \div 100^\circ\text{C} \\ 0,8 \div 0,9 & \text{при } RH = 85\% \\ & \text{и } T = 85 \div 145^\circ\text{C} \end{cases}$
Зарубежные РД	HRD5, Reliability Prediction British Book $p_T = 1, T_i \leq 70^\circ\text{C}$ $\pi_T = 2,6 \cdot 10^4 \exp\left(-\frac{3500}{T_i}\right) + 1,8 \cdot 10^{13} \exp\left(-\frac{11600}{T_i}\right), T_i > 70^\circ\text{C}$ <p>MIL-HDBK-217E</p> $\pi_T = 0,1 \exp\left[-A\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{298}\right)\right]$ <p>NNT Procedure</p> $\pi_T = 2,9 \cdot 10^4 \exp\left(-\frac{3480}{T_i}\right) + 8,0 \cdot 10^9 \exp\left(-\frac{8120}{T_i}\right)$ <p>CNET Procedure</p> $\pi_T = A_1 \exp\left(-\frac{3500}{T_i}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{11600}{T_i}\right)$ <p>Siemts Procedure</p> $p_T = A \exp(E_{a1} t_{12}) + (1 - A) \exp(E_{a2} t_{12})$ $t_{12} = 11650 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$
<b>Ускоряющий фактор повышенное напряжение</b>	
Отечественный РД 11 0755-90	Дефекты оксида, выявляемые повышенным напряжением: $K_{y4} = \exp(b \Delta U_n),$ <p>где <math>b = \begin{cases} 0,1 \div 0,2 &amp; [B^{-1}] \text{ для МДП структур;} \\ 0,2 \div 0,4 &amp; \text{для БТ структур} \end{cases}</math></p> $\Delta U_n = U_2 - U_1, U_2 < U_1$
Фирмы производители	ATMEL [15]: $b = 0,5 \div 1 [B^{-1}]$ ADI [16]: $b = 1 [B^{-1}]$
Зарубежные РД	MIL-HDBK-217 для всех типов технологий, включая КМОП: $p_V = 1, V < 12 \text{ В}$ $\pi_V = 0,110 \cdot \exp\left(0,168V \cdot \frac{T_i}{298}\right), V > 12 \text{ В}$ <p>NNT для КМОП:</p> $p_V = 1, V = 5 \text{ В}$ $p_V = 0,25 \cdot \exp(0,21V), 1,5 < V < 15 \text{ В}$ <p>CNET для КМОП:</p> $\pi_V = A_3 \cdot \exp\left(A_4 V \cdot \frac{T_i}{298}\right)$
Отечественный РД 11 0755-90	Электрический (тепловой) пробой оксида, связанный с времязависимым пробоем диэлектрика: $K_y = \exp(b \Delta U_n), \text{ где } \Delta U_n = U_2 - U_1, U_2 > U_1, b = 0,02 \div 0,05 [B^{-1}]$
<b>Ускоряющий фактор напряжённость электрического поля (испытания на времязависимый пробой диэлектрика)</b>	
Литературные данные	[19,20]: $K_y = \exp\left(\frac{E_2 - E_1}{\alpha}\right) \text{ при } E_2 > E_1, \alpha [\text{МВ/см}],$ $[21]: K_y = \frac{E_2^2}{E_1^2} \exp B \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2}\right) \text{ при } E_2 > E_1$ $[22]: K_y = \exp\left[\alpha' \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2}\right)\right] \text{ при } E_2 > E_1$ $[23]: K_y = \exp\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \text{ при } E_2 > E_1$ $[24,25]: K_y = \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^y \text{ при } E_2 > E_1$
<b>Одновременное воздействие двух и более ускоряющих факторов</b>	
Литературные данные	<ul style="list-style-type: none"> <li>тепловых и электрических нагрузок (времязависимый пробой диэлектрика)</li> </ul> $[26]: K_y = A_0 \exp\left(\frac{C_1}{T} + C_2 E + \frac{C_3 E}{T}\right)$ $[16]: K_y = K_{y1} \cdot K_{y4}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>температура, влажность и напряжение смещения</li> </ul> $[16]: K_y = \left(\frac{RH_2}{RH_1}\right)^n \exp\left(\frac{E_a}{k} K_T\right)$ $n = 0,76 \div -2,66 \quad 0 < RH < 1, RH_1 < RH_2$
<b>Примечания:</b>	
$K_T$ — коэффициент ускорения температурой; $j$ — плотность тока; $V$ — напряжение; $RH$ — относительная влажность; $A, A_1, A_2, E_{a1}, E_{a2}$ — константы, определяемыми в соответствии с правилами, указанными в нормативно-технических документах; $T_i$ — абсолютная температура полупроводниковых переходов (кристаллов); $E$ — напряженность электрического поля в оксиде; $a, a', g, C_1, C_2, C_3$ — коэффициенты, определяемые по испытаниям тестовых структур; $B$ — коэффициент, определяемый из выражения для тока инжекции Фаулера-Нордгейма; $A_0$ — нормализованный коэффициент ускорения, принимаемый равным 1 при нормальных условиях.	