

Типовая методика ускоренных испытаний ЭКБ на надежность*

А. Гербин, к. ф. - м. н.¹

УДК 621.38 | ВАК 05.27.01

Одной из важнейших проблем в области развития ЭКБ в настоящее время является разработка и внедрение достоверных методов ускоренной оценки фактически достигнутых значений показателей надежности (ПН) ЭКБ на этапе их разработки, что позволит повысить: коммерческую привлекательность изделий ЭКБ отечественного производства (ОП) на рынке продаж, надежность РЭА при их эксплуатации в экстремальных условиях, обоснованность принимаемых решений о возможности увеличения значений ПН серийно выпускаемых ЭКБ ОП и существенно сократить объем выборки изделий ЭКБ и длительность ее испытаний на надежность. Методика также может быть использована при проведении сертификационных испытаний ЭКБ иностранного производства.

С физической точки зрения любое электронное изделие является неравновесной упорядоченной атомно-молекулярной системой. Это обстоятельство обуславливает целостность рассмотрения ускоренной оценки ПН изделий ЭКБ в рамках формализованных (полуэмпирических) подходов с привлечением ряда основополагающих физических гипотез и моделей [1, 2].

Поэтому в основу разработки типовой методики ускоренной оценки ПН изделий ЭКБ были положены физические принципы, основанные на энергетических представлениях, что позволило специалистам в области надежности объединить вопросы кинематики протекания индивидуальных физико-химических процессов деградации изделий ЭКБ и деградации их функциональных параметров в процессе их эксплуатации.

Изменение функциональных параметров изделий ЭКБ в процессе их эксплуатации является следствием последовательного накопления нарушений начальной атомно-молекулярной структуры изделия под воздействием внешних факторов (ВВФ).

В свою очередь, устойчивость атомных конфигураций изделия ЭКБ можно оценить на основании представлений об энергетическом потенциальном барьере электронных процессов. Старение изделий ЭКБ приводит к необратимому дрейфу их параметров. В результате возникают постепенные параметрические отказы изделий ЭКБ, которые обуславливаются выходом их значений за нормы, установленные ТЗ (ТУ). В итоге детерминированный по своей природе процесс старения изделий ЭКБ влияет на величину их ПН.

Деградация параметра связана с преодолением некоторого условного энергетического барьера, который интегрально определяет весь комплекс отдельных процессов старения изделия ЭКБ (окисление, гидратация, электродиффузия и др.). Поэтому для модели старения изделия скорость протекания многих химических и физических процессов, приводящих к старению материалов, определяется уравнением Аррениуса [2]:

$$V = A \cdot \exp(-\Delta E_a / K_B \cdot T),$$

где A – коэффициент пропорциональности, определяющий интенсивность реакции, то есть частоту актов взаимодействия в ней;

ΔE_a – энергия активации, которая определяет барьер различных состояний в реакции, эВ;

K_B – постоянная Больцмана, ($8,616 \cdot 10^{-5}$ эВ / К);

T – температура, К.

Величина E_a с точностью до сотых долей процента определена для многих типов ЭКБ иностранного производства (ИП) [3]. Однако эти данные трудно интерпретировать для отечественных аналогов вследствие разницы материалов конструкции и технологии их изготовления.

Предлагаемая типовая методика разработана на основании и в развитие требований ГОСТ РВ 20.39.413, ГОСТ РВ 20.57.414, ГОСТ РВ 15.205 и ГОСТ В 9.003 и устанавливает:

- метод ускоренных испытаний на безотказность (УИБ), эквивалентный длительным нормальным испытаниям на безотказность по ГОСТ РВ 20.57.414;
- метод ускоренных испытаний на сохраняемость (УИС), эквивалентный нормальным испытаниям

* Печатается для обсуждения.

¹ ФГУП «МНИИРИП», ведущий научный сотрудник.

на сохраняемость по ГОСТ РВ 20.57.414 в условиях ГОСТ В 9.003;

и регламентирует основные положения методологии ускоренной оценки изделий ЭКБ на их соответствие требованиям ТЗ (ТУ) по надежности [4].

На основе предлагаемой методики разработчиками изделий ЭКБ на этапе ОКР могут быть разработаны частные методики, регламентирующие методики УИН (УИБ, УИС) конкретных типов изделий ЭКБ с учетом особенностей механизмов их старения в естественных условиях эксплуатации и хранения. Методики должны быть согласованы с ФГУП «МНИИРИП» и аттестованы в установленном порядке.

1. УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭКБ НА НАДЕЖНОСТЬ

1.1. Общие положения

- 1.1.1. Объектами ускоренных испытаний на надежность (УИН) являются опытные и серийно выпускаемые изделия ЭКБ или их типовые представители (ТП).
- 1.1.2. В качестве типовых представителей для УИН выбираются базовые конструкции видов (групп) изделий, объединенных общими конструкционными материалами и технологией производства, функциональным назначением и системой ПКГ.
- 1.1.3. Для УИН формируется выборка изделий ЭКБ, состоящая из опытных или серийно выпускаемых изделий или их ТП с указанием ПКГ и их норм (табл. 1 и 2).
- 1.1.4. Объем выборки изделий ЭКБ для УИН регламентируется в ТЗ (ТУ) по согласованию с Заказчиком. Рекомендуемый объем выборки N должен быть не менее 10 шт. изделий ЭКБ для $\gamma = 95\%$ или 5 шт. изделий для $\gamma = 90\%$, если иное не оговорено в ТЗ (ТУ).
- 1.1.5. Сначала выборку изделий ЭКБ подвергают УИС для заданных в ТЗ условий их хранения. После получения положительных результатов УИС выборку N подвергают УИБ.
- 1.1.6. Если в ТЗ на ОКР значение доверительной вероятности ($\gamma_{\text{дов}}$) не установлено, то $\gamma_{\text{дов}}$ выбирается равной 80%.
- 1.1.7. Соответствие изделий ЭКБ требованиям ТЗ (ТУ) по надежности оценивается ускоренными расчетно-экспериментальными методами в соответствии с ГОСТ РВ 20.57.414 и настоящей методикой.
- 1.1.8. Контроль внешнего вида и ПКГ изделий ЭКБ проводят до и после проведения УИН, а также в процессе (УИБ и УИС) через промежутки времени, равные $t_{\text{УИН}}/3$.
- 1.1.9. Контроль внешнего вида ЭКБ проводят в соответствии с ГОСТ РВ 20.57.416 (метод 405-1) контролем с применением увеличительных средств (при необходимости) на соответствие требованиям ТЗ (ТУ).

Таблица 1. Предельно допустимые электрические режимы эксплуатации ТП выборки ЭКБ для УИН

Наименование типовых представителей (условное обозначение)	Предельно допустимый электрический режим эксплуатации			
	$I_{\text{раб}}, \text{А}$	$U_{\text{р}}, \text{В}$	$T, \text{°С}$	и т. д.
1	2	3	4	5

Таблица 2. Параметры-критерии годности и их нормы ТП выборки ЭКБ для УИН

Наименование ПКГ, единицы измерений	Буквенное обозначение	Значения ПКГ для видов испытаний		
		Приемосдаточные испытания	T_{γ}	$T_{\text{сy}}$
1	2	3	4	5

- 1.1.10. Сокращение продолжительности испытаний опытных изделий ЭКБ на надежность достигается применением форсированных условий испытаний, обуславливающих интенсификацию процессов их старения.

Форсированные условия УИН формирует главный конструктор ОКР исходя из особенностей конструктивного и технологического исполнения изделий ЭКБ, их показателей надежности и функционального назначения.

- 1.1.11. В основу методов расчета продолжительности УИН положено моделирование процессов старения ЭКБ путем определения их коэффициентов ускорения испытаний, вызванного воздействием электрической нагрузки и (или) климатических факторов.
- 1.1.12. Для определения значения E_a для конкретных изделий ЭКБ или их аналогов можно воспользоваться официальной отечественной или зарубежной информацией [5–7]. Если в официальных источниках отсутствует необходимая информация, то значение E_a определяется экспериментально. Порядок и правила проведения испытаний по определению значения E_a регламентированы [6].
- 1.1.13. Согласно ГОСТ РВ 20.39.413 и ГОСТ В 9.003 изделия ЭКБ могут храниться в упаковке изготовителя в условиях:
 - отапливаемого хранилища (ОТ);
 - неотапливаемого хранилища (НО).
 Хранение изделий ЭКБ в упаковке изготовителя на открытой площадке не допускается.

- 1.1.14. Другие условия хранения ЭКБ, указанные в ГОСТ РВ 20.39.413 и в ГОСТ В 9.003 (вмонтированные в защищенную аппаратуру или в защищенном комплекте ЗИП) распространяются на РЭА, состоящую из изделий ЭКБ, удовлетворяющих условиям хранения отапливаемых или неотапливаемых хранилищ [3, 4].
- 1.1.15. При отсутствии конкретных данных о климатических районах хранения ЭКБ нормы испытаний рассчитывают из условий равновероятного пребывания ЭКБ на всей территории РФ, кроме очень холодного района (ОХР).
- 1.1.16. Режим и длительность УИС определяют в расчете на один год естественного хранения. Количество годовых циклов испытаний должно соответствовать количеству лет заданного в ТЗ (ТУ) срока сохраняемости.
- 1.1.17. При УИН воспроизводят основные климатические факторы, присущие выбранной модели старения изделий ЭКБ:
- повышенную температуру окружающей среды;
 - пониженную температуру окружающей среды;
 - влажность окружающей среды;
 - циклические изменения температуры перехода через 273 К.
- 1.1.18. Целью проведения УИН является подтверждение показателей надежности опытных и серийно выпускаемых образцов ЭКБ требованиям ТЗ (ТУ).
 Время УИН опытных изделий ЭКБ, за которое изменение их состояния будет таким же, как и изменение (старение) за время эксплуатации изделий в нормальных режимах (условиях), оговоренных в ТЗ (ТУ), в общем виде определяется по формуле

$$t_{\text{уин}} = \frac{T_{\gamma}(T_{\text{ср}})}{K_{\text{уин}}}, \quad (1)$$

где $T_{\gamma}(T_{\text{ср}})$ – гамма-процентная наработка до отказа или гамма-процентный срок сохраняемости, заданные в ТЗ (ТУ);

$K_{\text{уин}}$ – коэффициент ускорения испытаний опытных изделий ЭКБ на надежность (УИБ или УИС).

1.2. Ускоренные испытания изделий ЭКБ на сохраняемость в условиях отапливаемого хранилища

- 1.2.1. В основу расчетно-экспериментального метода УИС опытных и серийно выпускаемых образцов ЭКБ для условий отапливаемого хранилища положен расчет коэффициента ускорения $K_{\text{уис}}^{\text{от}}$, зависящего от воздействия повышенной температуры $\Theta_{\text{ф}}$ и относительной влажности $\varphi_{\text{ф}}$ окружающей среды.

- 1.2.2. Согласно ГОСТ РВ 20.57.416 нормальные климатические условия характеризуются следующими значениями климатических факторов:
- температуры окружающей среды от 15 до 35 °С;
 - относительной влажности воздуха от 45 до 75%;
 - при температуре выше 30 °С относительная влажность не должна быть выше 70%.
- 1.2.3. В целях сокращения длительности УИС изделий ЭКБ для определения $K_{\text{уис}}^{\text{от}}$, следует использовать значения воздействующих факторов:
- номинальное значение температуры $\Theta_{\text{н}}$, равное 35 °С, и относительную влажность воздуха $\varphi_{\text{н}}$, равную 70%;
 - рекомендуемые диапазоны форсированных значений повышенной температуры ($\Theta_{\text{ф}}$) и относительной влажности воздуха ($\varphi_{\text{ф}}$) равны (70–100) °С и (70–95)% соответственно. Форсированные значения $\Theta_{\text{ф}}$ и $\varphi_{\text{ф}}$ окончательно устанавливаются главным конструктором ОКР, если иное не установлено в ТЗ (ТУ).
- 1.2.4. Длительность УИС выборки изделий ЭКБ $t_{\text{уис}}^{\text{от}}$ для условий их хранения в отапливаемом хранилище определяется по формуле

$$t_{\text{уис}}^{\text{от}} = \frac{T_{\text{ср}}^{\text{тз}}}{K_{\text{уис}}^{\text{от}}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{уис}}^{\text{от}}$ – коэффициент ускорения испытаний изделий ЭКБ на сохраняемость, зависящий от условий их хранения, заданных в ТЗ (ТУ);
 $T_{\text{ср}}^{\text{тз}}$ – гамма-процентный срок сохраняемости, равный 8766 ч.

Расчет времени УИС рекомендуется рассчитывать на один год с последующим умножением результатов расчета на количество лет хранения, указанное в ТЗ (ТУ).

- 1.2.5. Для определения коэффициента ускорения испытаний опытных образцов ЭКБ на сохраняемость при их хранении в отапливаемом хранилище рекомендуется использовать модель старения изделий ЭКБ Хеллберга – Пека (3) для изделий ЭКБ негерметичного исполнения и модель Аррениуса (4) для изделий ЭКБ герметичного исполнения:

$$K_{\text{уис}}^{\text{от}} = \left(\frac{\varphi_{\text{ф}}}{\varphi_{\text{н}}} \right)^{\nu} \cdot \exp \left[\frac{E_{\text{а}}}{K_{\text{б}}} \cdot \left(\frac{1}{\Theta_{\text{н}} + 273} - \frac{1}{\Theta_{\text{ф}} + 273} \right) \right], \quad (3)$$

$$K_{\text{уис}}^{\text{от}} = \exp \left[\frac{E_{\text{а}}}{K_{\text{б}}} \cdot \left(\frac{1}{\Theta_{\text{н}} + 273} - \frac{1}{\Theta_{\text{ф}} + 273} \right) \right], \quad (4)$$

где $\varphi_{\text{ф}}$ – относительная влажность воздуха в форсированных условиях хранения, %;

φ_n – относительная влажность воздуха в нормальных условиях хранения, %;

v – константа ускорения, определяемая влажностью. Для изделий ЭКБ константа ускорения находится в пределах от 0,5 до 4,2. Конкретное значение константы ускорения $v = f(\varphi)$ устанавливается главным конструктором ОКР в зависимости от конструкции и технологии изготовления ЭКБ;

Θ_n – температура изделий ЭКБ для нормальных условий их хранения, равная $(273+35)^\circ\text{C} = 308\text{ K}$;

Θ_ϕ – температура изделий ЭКБ для форсированных условий их хранения, К;

E_a – энергия активации ускорения эВ, зависящая от температуры Θ . Значение E_a устанавливается согласно 1.1.12 настоящей методики;

K_b – постоянная Больцмана.

1.2.6. По найденному значению коэффициента ускорения $K_{\text{уис}}^{\text{от}}$ и формуле (1) определяем длительность УИС изделий ЭКБ для условий их хранения в отопляемом хранилище.

1.2.7. УИС выборки изделий ЭКБ проводятся в форсированных условиях их хранения длительностью $t_{\text{уис}}^{\text{от}}$. По результатам УИС определяют среднее значение гамма-процентного срока их сохраняемости (T_γ^3) по формуле:

$$T_\gamma^3 = \sum_i^N \frac{t_{\text{уис}}^{\text{от}}}{N} \tag{5}$$

1.2.8. Оценка $T_{\text{сy}}^{\text{т3}}$ по результатам испытаний осуществляется по условию

$$T_{\text{сy}}^3 \cdot K_{\text{уис}}^{\text{от}} \geq T_{\text{сy}}^{\text{т3}} \tag{6}$$

1.2.9. Гамма-процентный срок сохраняемости опытных изделий ЭКБ в отопляемых хранилищах соответствуют требованиям ТЗ (ТУ), если:

- выполняется условие (5);
- внешний вид изделий соответствует требованиям ТЗ (ТУ);
- ПКГ соответствуют нормам, установленным в ТЗ (ТУ) для данного вида испытаний;
- остальные параметры изделий ЭКБ соответствуют нормам при приемке и поставке.

1.2.10. Если условие 1.1.8. не будет выполняться (получен хотя бы один отказ), то опытные образцы ЭКБ не будут соответствовать требованиям ТЗ (ТУ) по сохраняемости для условий отопляемого хранилища.

В этом случае необходимо проанализировать результаты испытаний ЭКБ и уточнить условия

их форсированных испытаний на сохраняемость и провести повторные испытания новой выборки опытных образцов ЭКБ с участием ПЗ.

1.3. Ускоренные испытания изделий ЭКБ на сохраняемость для условий неотапливаемого хранилища

1.3.1. Кроме повышенной температуры и относительной влажности окружающей среды в неотапливаемом хранилище на изделия ЭКБ воздействуют:

- определенное количество термоциклов;
- перепады температур в термоциклах ($\Delta\Theta$);
- скорость следования термоциклов (F).

1.3.2. Для определения коэффициента ускорения $K_{\text{уис}}^{\text{но}}$ испытаний выборки образцов ЭКБ в условиях их хранения в неотапливаемом хранилище необходимо использовать модифицированную модель Коффина – Менсона, вида

$$K_{\text{уис}}^{\text{но}} = \left(\frac{F_\phi}{F_n}\right)^p \cdot \left(\frac{\Delta\Theta_\phi}{\Delta\Theta_n}\right)^q \cdot \exp\left[\frac{E_a}{K_b} \left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\Theta_\phi}\right)\right] \tag{7}$$

где $K_{\text{уис}}^{\text{но}}$ – коэффициент ускорения испытаний;

F_ϕ – частота следования термоциклов в форсированных условиях хранения, тц/сут. Рекомендуемое значение F_ϕ (6–24) тц/сут.;

$F_n = 2$ тц/сут. – частота следования термоциклов в нормальных условиях хранения;

$p = 1/3$ – константа ускорения, зависящая от частоты следования термоциклов;

$\Delta\Theta_\phi$ – изменения температуры в термоцикле в форсированных условиях хранения; рекомендуемое значение от -30 до 85°C ;

$\Delta\Theta_n = 30^\circ\text{C}$ – изменения температуры в термоцикле в нормальных условиях хранения;

$q = 1,9$ – константа ускорения, зависящая от изменения Θ в термоцикле;

E_a – энергия активации ускорения, эВ, установленная по 1.1.12 настоящей методики;

Θ_ϕ – рекомендуемое максимальное значение повышенной температуры при действии термоцикла в форсированном режиме равно $(273 + 85)^\circ\text{C} = 358\text{ K}$;

Θ_n – минимальное значение повышенной температуры при действии термоцикла в нормальном режиме равно $(273 - 35)^\circ\text{C} = 238\text{ K}$;

K_b – постоянная Больцмана.

1.3.3. В течение суток в нормальных условиях хранения частота термоциклов составляет 2 тц/сут. при температуре окружающей среды от -15 до 15°C , а в форсированных условиях хранения

частоту термоциклов рекомендуется увеличивать до 24 тц/сут. при температуре окружающей среды от -35 до 85 °С.

Окончательные значения форсированных условий УИС выборки определяет ГК ОКР.

1.3.4. УИС опытных образцов ЭКБ для условий неотапливаемого хранилища разбиваются на два этапа:

- **первый этап** имитирует процесс старения изделий ЭКБ при их хранении в форсированных условиях хранения путем воздействия температуры и влажности. Для расчета $K_{УИС}^{HO}$ рекомендуется использовать модель старения Хеллберга – Пека (3) для условий неотапливаемого хранилища.

При расчете $K_{УИС}^{HO}$ для условий неотапливаемого хранилища рекомендовано принимать следующие значения: $\varphi_{\Phi} = 85\%$; $\varphi_{Н} = 50\%$; $v = 2,07$; $\Theta_{Н} = 35\text{ °С}$; $\Theta_{\Phi} = 85\text{ °С}$.

Длительность УИС на первом этапе составляет: $t_{УИС}^1 = t_{УИС}^{HO} - t_{УИС}^2$, где $t_{УИС}^2 = 24\text{ ч}$ (12 тц · 2 ч), если иное не указано в ТЗ (ТУ);

- **второй этап** имитирует наличие суточных перепадов температуры в неотапливаемом хранилище с учетом климатического района и времени года путем воздействия циклических температурных нагрузок, следующих друг за другом.

1.3.5. Количество циклов ($N_{Ц}$) при естественном хранении изделий ЭКБ определяется числом суточных колебаний температуры, проходящих через нулевое значение (N_0), среднее значение которых в целом по РФ составляет:

- среднегодовое значение относительной влажности $\varphi_{xp} = 68\%$;
- среднее число переходов температуры через нулевое значение $N_0 = 70,8$;
- максимальное значение амплитуды температур $\Delta\Theta_{xp} = 30\text{ °С}$.

1.3.6. По рассчитанному значению $K_{УИС}^{HO}$ определяется время УИС выборки изделий ЭКБ для условий их хранения в неотапливаемом хранилище:

$$t_{УИС}^{HO} = \frac{T_{CY}^{T3}}{K_{УИС}^{HO}}, \quad (8)$$

где T_{CY}^{T3} – гамма-процентный срок сохраняемости, заданный по ТЗ (ТУ) для неотапливаемого хранилища.

1.3.7. Испытания, имитирующие хранения изделий ЭКБ в неотапливаемом хранилище в форсируемых условиях, осуществляются воздействием следующих один за другим термоциклов (перепадов температуры) от Θ_{Φ} , равной -35 °С, до $\Theta_{Н}$, равной 85 °С, в количестве $N_0/2$ (для хранения в неотапливаемом хранилище).

Испытания проводят методом 205-2 по ГОСТ РВ 20.57.416. Длительность цикла 2 ч при

перепаде температур в форсированном режиме, равном 120 °С (от -35 до 85 °С).

1.3.8. По результатам испытаний изделий ЭКБ в форсированных условиях хранения определяем среднее значение гамма-процентного срока сохраняемости выборки изделий ЭКБ для условий их хранения в неотапливаемом хранилище:

$$T_Y^{\Sigma} = \sum_i^N = \frac{t_{УИС}^{HO}}{N}. \quad (9)$$

1.3.9. Оценка соответствия опытных образцов ЭКБ требованиям ТЗ по сохраняемости для неотапливаемого хранилища осуществляется по условию:

$$T_{CY}^{\Sigma} \cdot K_{УИС}^{HO} \geq T_{CY}^{T3}, \quad (10)$$

где T_{CY}^{T3} – гамма-процентный срок сохраняемости для неотапливаемого хранилища, заданный в ТЗ (ТУ), ч.

1.3.10. Опытные образцы ЭКБ соответствуют требованиям ТЗ (ТУ) по сроку сохраняемости в условиях неотапливаемого хранилища, если:

- выполняется условие (9);
- ПКГ выборки изделий ЭКБ соответствует нормам для данного вида испытаний;
- внешний вид опытных образцов ЭКБ соответствует требованиям, установленным в ТЗ (ТУ);
- остальные параметры изделий ЭКБ выборки соответствуют нормам при приемке и поставке.

1.3.11. Если условие (9) не выполняется (получен хотя бы один отказ), то проводится анализ результатов и условий проведения УИС (ПКГ, E_a , Θ_{Φ} , ΔF_{Φ} и $\Delta\Theta_{\Phi}$). Уточняются их значения и проводятся повторные УИС новой выборки ЭКБ с участием ПЗ.

1.4. МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ

1.4.1. УИБ проводят на выборке опытных образцов ЭКБ, успешно прошедших УИС в условиях их хранения (отапливаемого и /или неотапливаемого хранилищ), оговоренных в ТУ (ТЗ). УИБ опытных и серийно выпускаемых образцов ЭКБ следует проводить в предельно допустимом электрическом режиме их эксплуатации и при повышенной температуре.

1.4.2. Длительность ($t_{УИБ}$) проведения УИБ опытных и серийно выпускаемых образцов ЭКБ определяется по формуле

$$t_{УИБ} = \frac{T_Y^{T3}}{K_{УИБ}}, \quad (11)$$

где T_Y^{T3} – гамма-процентная наработка до отказа, установленная в ТЗ (ТУ);
 $K_{УИБ}$ – коэффициент ускорения испытаний на безотказность.

- 1.4.3. Для определения коэффициента ускорения $K_{УИБ}$ необходимо использовать модель Аррениуса (12)

$$K_{УИБ} = \exp \left[\frac{E_a}{K_B} \cdot \left(\frac{1}{\Theta_1 + 273} - \frac{1}{\Theta_2 + 273} \right) \right], \quad (12)$$

где Θ_1 – температура окружающей среды в номинальных условиях эксплуатации равна 25 °С (25 + 273 = 308 К);

Θ_2 – рекомендованное значение повышенной температуры окружающей среды в форсированных условиях испытаний (85–120) °С. Окончательное значение Θ_2 устанавливает главный конструктор ОКР, если ее значение не установлено в ТЗ (ТУ);

E_a – энергия активации процесса старения опытных и серийно выпускаемых изделий ЭКБ, которая выражается дрейфом одного или нескольких ПКГ изделий ЭКБ, эВ;

K_B – постоянная Больцмана.

- 1.4.4. По рассчитанному значению $K_{УИБ}$ и формуле (11) определяем длительность ($t_{УИБ}$) проведения УИБ выборки изделий ЭКБ. Объем выборки должен соответствовать требованиям 1.4, если иное не указано Заказчиком в ТЗ (ТУ), а выборка успешно прошла УИС.

- 1.4.5. По результатам испытаний выборки в форсированном режиме определяем среднее значение гамма-процентной наработки до отказа ($T_Y^{\text{э}}$) по формуле

$$T_Y^{\text{э}} = \sum_{i=1}^N \frac{t_{УИБ}^{\text{НО}}}{N}, \quad (13)$$

где $t_{УИБ}^{\text{НО}}$ – гамма-процентная наработка i -ого изделия ЭКБ в форсированном режиме, ч;

$T_Y^{\text{э}}$ – среднее значение гамма-процентной наработки выборки N ;

N – объем выборки, шт.

- 1.4.6. Оценка по результатам испытаний осуществляется по условию

$$T_Y^{\text{э}} \cdot K_{УИБ} \geq T_Y^{\text{ТЗ}}. \quad (14)$$

- 1.4.7. Опытные образцы ЭКБ будут соответствовать требованиям ТЗ (ТУ) по безотказности, если:

- выполняется условие (13);
- ПКГ для данного вида испытаний соответствуют нормам, заданным в ТУ (ТЗ);
- остальные параметры изделий ЭКБ будут соответствовать нормам при приемке и поставке;
- внешний вид будет соответствовать требованиям ТУ (ТЗ).

- 1.4.8. Если условия п. 1.4.6 не будут выполняться (получен хотя бы один отказ), то необходимо

проанализировать результаты ускоренных испытаний ЭКБ на сохраняемость, обратив особое внимание на характер изменения ПКГ, корректность определения значения E_a и установления значения повышенной температуры Θ_f для УИБ опытных образцов ЭКБ. УИБ необходимо повторить на новой выборке опытных изделий ЭКБ с участием ПЗ.

- 1.4.9. По результатам УИН опытных изделий ЭКБ оформляется протокол оценки показателей надежности изделий ЭКБ, в котором делается общий вывод о соответствии опытных образцов требованиям ТЗ по надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Байрамов Р. М.** Основы химической кинетики и катализа. – М.: Изд. Центр «Академия», 2003.
2. **Федухин А. В.** Расчетно-экспериментальный метод оценки надежности изделий электронной техники по результатам форсированных испытаний // Надежность и контроль качества. 1989. №9. С. 8–11.
3. **Куликов И. В.** Экспериментальное определение энергии активации процесса старения изделий по результатам форсированных испытаний // ЭТ. 1983. Вып.6 (105).
4. **Гербин А. И.** Использование ускоренных методов оценки показателей надежности изделий ЭКБ отечественного производства – один из путей повышения их коммерческой привлекательности // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 9. С. 136–141.
5. Военный стандарт США MIL-HDBK-217. Справочник по надежности.
6. Государственный национальный стандарт ГОСТ Р 57394-2017. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность.
7. Отраслевой военный стандарт ОСТ В 4Г 0.012.241-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методы расчета показателей надежности в режимах хранения и ожидания и определения продолжительности испытаний, имитирующих длительное хранение.

ООО
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные компоненты
 для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Разборные металлические EMI SMD экраны
- Кварцевые генераторы 0532 на частоты до 125 МГц

Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32, e-mail: sale@smd.ru
 Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780