

Разработка метода расчета надежности ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Жаднов В.В., Полесский С.Н., Мальгин Ю.В., Якубов С.Э.

In article is considered need of the account of the factors reliability and storability isolated systems of the feeding, as follows chemical sources of the current (the CSC). Happens to the advanced method of the calculation of the factors to reliability CSC, designed for programmer ASONIKA-K. Besides, is considered the influences them on factors of reliability mobile on-board system communications network and issues to information, executed by means of software complex ASONIKA-K.

1. Введение

На сегодняшний день в системах связи военной техники, из-за их возможной аварийной или автономной работы в жестких условиях эксплуатации, применяются автономные источники питания (например, автогенераторы). На предприятиях военно-промышленного комплекса, при проектировании различных классов аппаратуры (например, мобильных, бортовых и др.), специфика которых является использование их в автономном режиме, возникает проблема оценки надежности таких изделий даже на ранних этапах проектирования (эскизного и технического проектирования). Для получения точной картины по показателям надежности, а именно безотказности и сохраняемости, нужно учитывать влияние всех элементов (составных частей) комплекса, например автономных систем электропитания, которые в основном состоят из маломощных автогенераторов и аккумуляторных батарей. Спецификой таких систем является то, что они большую часть времени находятся в режиме хранения.

В настоящее время существует единственный метод расчета показателей надежности электрорадио изделий (ЭРИ) класса химические источники тока (ХИТ), приведенный в [1].

Недостатком метода расчета показателей надежности ХИТ, является то, что в справочнике предложен метод расчета только показателя безотказности, а именно эксплуатационной интенсивности отказов (λ_3). Однако методика расчета λ_3 приведена лишь для двух групп ХИТ: первичные химические источники тока (ПХИТ) и аккумуляторы серебряно-цинковые (СЦ), а для всех других групп не указана. В методе также не рассчитывается показатели сохраняемости, что представляет проблему при расчете показателей надежности систем электропитания, в состав которых входят аккумуляторы, т.к. не учитывается вклады интенсивностей отказов в режиме хранения (λ_{3x}) в общую интенсивность отказов системы электропитания.

Поэтому возникла задача разработки метода расчета показателей безотказности и сохраняемости, а именно λ_3 и λ_{3x} , для всех групп класса ЭРИ ХИТ и автоматизация этого метода, для программного комплекса АСОНИКА-К.

2. Основы расчета показателей безотказности и сохраняемости класса ЭРИ ХИТ

2.1. Показатели безотказности и сохраняемости

Для всех классов ЭРИ, в соответствии со справочником [1] значение эксплуатационной интенсивности отказов (ИО) рассчитывается по математическим моделям:

$$\lambda_3 = \lambda'_6(\lambda'_{6сз}) \cdot K_p \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (2.1)$$

где:

- $\lambda'_6(\lambda'_{6сз})$ – базовая и.о. типа (группы) ЭРИ приведенная к условиям: номинальная электрическая нагрузка при температуре окружающей среды $t_{окр} = 25^\circ C$.
- K_p – коэффициент режима, учитывающий изменение $\lambda'_6(\lambda'_{6сз})$ в зависимости от электрической нагрузки и (или) $t_{окр}$.
- K_i – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной и.о. в зависимости от различных факторов.
- n – число, учитываемых факторов.

Для отдельных групп сложных изделий, схема расчета надежности которых имеет вид последовательного соединения элементов, суммарный поток отказов которых складывается из независимых потоков отказов составных частей (СЧ) ЭРИ, математическая модель расчета ИО имеет вид:

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^m \lambda_{6j} \prod_{i=1}^{n_j} K_{ij},$$

где:

- λ_{6j} – базовая ИО j -го потока отказов
- m – количество независимых потоков отказов составных частей ЭРИ
- K_{ij} – коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора в j -ом потоке отказов
- N_j – количество факторов, учитываемых в j -ом потоке отказов

При расчете надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которая при эксплуатации основную часть времени находится в режиме хранения в обесточенном состоянии с контролем работоспособности, используется значение ИО λ_{3x} классов ЭРИ, рассчитываемая по следующей модели:

$$\lambda_{3x} = \lambda_{3сз} \cdot \prod_{i=1}^n K_i,$$

где:

- $\lambda_{3сз}$ – ИО ЭРИ результатам испытаний изделий на сохраняемость в упаковках заводоизготовителей ($\lambda_{3сз}$) при температуре $5...40^\circ C$ и относительной влажности воздуха до 80% (при температуре $+25^\circ C$)
- K_i – основные коэффициенты, учитывающие изменение интенсивности отказов, в зависимости от различных факторов
- n – количество учитываемых факторов

2.2. Усовершенствование метода расчета показателей безотказности и сохраняемости

Традиционно при априорной оценке показателей надежности (ПН) берется экспоненциальный закон распределения, а при испытаниях ХИТ было доказано, что ПН имеют нормальный закон распределения[1]:

$$P(Z) = P_0 \cdot P_n, \quad (2.2)$$

где:

- $P_0 = 0,999$ или $0,9999$ - это вероятность безотказного состояния ХИТ в момент его задействия;

- $P_n = P_n(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^z e^{-t^2/2} dt$ - это вероятность безотказной работы, определяемая по

нормированному закону распределения [3];

- Z - нормированный, центрированный коэффициент запаса по емкости.

Проблема заключается в том, что несобственный интеграл (2.2) нельзя решить простыми методами и получить рекуррентную формулу, что требуется для автоматизации, поэтому были использованы методы линейной и экспоненциальной регрессии, а также функция Хевисайда (функция включения) для преобразования формулы.

В общем виде функция Хевисайда представляется в виде:

$$F(x) = nn(\alpha(x)) \cdot \beta(x) \quad (2.3)$$

Алгоритм работы функции (2.2) заключается в следующем: если функция $\alpha(x) < 0$, то множитель $nn(\alpha(x)) = 0$, если же выражение $\alpha(x) \geq 0$, то множитель $nn(\alpha(x)) = 1$.

Исходя из вида функции нормального нормированного распределения, которая имеет три характерных участка и два перегиба, можем ее разделить на три части, т.е. интервал $(0; +\infty)$ на три участка: $[0; 3,9]$, $(3,9; 5,3]$, $(5,3; +\infty)$, и на каждом из них получаем собственную функцию от аргумента $f_i(x)$.

Таким образом, рекуррентную формулу можно представить в виде суммы:

$$F(x) = \sum_{i=1}^3 f_i(x).$$

Однако рекуррентная формула работает на интервале $[0; +\infty)$. Для использования функции на отрезке $(-\infty; +\infty)$, пользуясь симметричностью плотности вероятности, относительно начала координат, вводим в алгоритм расчета новые операции:

а) Получение модуля аргумента Z (нормированного и центрированного коэффициента запаса по емкости)

б) Расчет вероятности P_n безотказной работы по рекуррентной формуле от модуля Z

Введение модуля позволяет утверждать, что функция будет определена от $(-\infty; +\infty)$.

Таким образом, получили рекуррентную формулу расчета вероятности безотказной работы ХИТ за время t :

$$P(Z) = nn(3,9 - Z) \cdot (0,39717984456352 + 0,021606503435937 \cdot Z + 0,117294482674561 \cdot Z^2 + 0,046874788162648 \cdot Z^3 - 0,007617304639442 \cdot Z^4 + 0,000457353517627 \cdot Z^5) + np\left(\frac{Z-4}{4,4}\right) \cdot (0,857638927106214 + \quad (2.4)$$

$$+ 0,142361155231799 \cdot (1 - e^{-\frac{Z^2}{2}})) + nn(Z - 5,4) \cdot (0,99999999999999 - e^{-\frac{Z^2}{2}})$$

Используя выражение (2.3), и свойство экспоненциального закона распределения [3] получаем следующее соотношение для расчета ИО за время хранения:

$$\lambda_{\text{эx}} = -\frac{\ln(P(t_{\text{xp}}))}{t_{\text{xp}}}, \quad (2.5)$$

где:

$P(t_{\text{xp}})$ - вероятность безотказной работы за время t_{xp} ;

t_{xp} - время хранения.

3. Алгоритм метода расчета показателей безотказности и сохраняемости

На рисунке 3.1. приведен алгоритм метода расчета ПН для ПХИТ и СЦ, который уже включает в себя новые операции, описанные в п. 2.2. Приведенный ниже алгоритм был разработан для автоматизированного расчета ИО и включение его в программный комплекс АСОНИКА-К.

Ниже приведено подробное описание блоков алгоритма:

Блок 1. Начало.

Блок 2. Ввод исходных данных для расчета показателей безотказности:

1. Типономинал, класс ЭРИ или номер группы, номер подгруппы;
2. t_{xp} – фактическое время хранения;
3. K_{xp} – коэффициент, учитывающий условия хранения;
4. t_{ϕ} – фактическая температура разряда;
5. J_{ϕ} – фактическое значение тока разряда;
6. C_{mp} – требуемый уровень емкости ХИТ;
7. $N_{\text{ч}}$ – фактическое значение зарядно-разрядных циклов.

Блок 3. Выбор методики расчета: по типономиналу или по навиванию технологической группе, подгруппе (групповой расчет).

Блок 4. Выбор параметра безотказности для расчета: λ_3 или $\lambda_{\text{эx}}$.

Блок 5. Определение с помощью выбранного типономинала (названия технологической группы, подгруппы) значений $\lambda_6(\lambda_{\text{бсз}})$, K_3 .

Блок 6. Расчет эксплуатационной интенсивности отказов по формуле:

$$\lambda_3 = \lambda_6(\lambda_{\text{бсз}}) \cdot K_3 \quad (2.6)$$

Блок 7. Вывод рассчитанного значения λ_3 .

Блок 8. Расчет времени хранения с учетом условий хранения по формуле:

$$t'_{\text{xp}} = K_{\text{xp}} \cdot t_{\text{xp}} \quad (2.7)$$

Блок 9. Расчет температурного коэффициента по формуле:

$$\Delta t = t_{\phi} - 20^{\circ}\text{C} \quad (2.8)$$

Блок 10. С помощью выбранного типономинала (названия технологической группы, подгруппы) определяем параметры рассчитываемого изделия:

1. $A_i, A_j, A_{\text{xp}}, A_{\text{ч}}$ – табличные градиенты изменения емкости по температуре, продолжительности хранения в отапливаемом хранилище, разрядному току и наработке в зарядно-разрядных циклах соответственно;
2. C_i – значение средней емкости ХИТ;

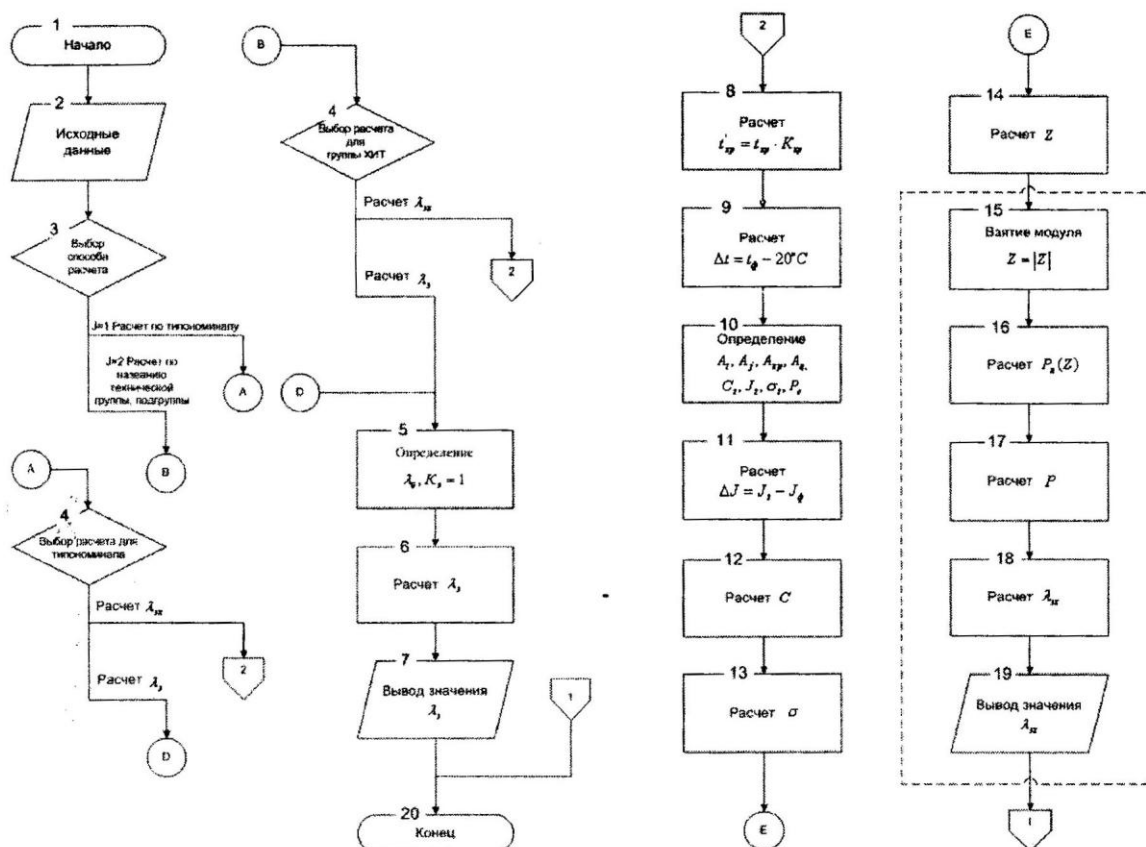


Рис 3.1. Алгоритм расчета λ_0, λ_{3x}

3. J_t – значение тока разряда для значения средней емкости для данного типноминала, берем из справочника;
4. σ_t – табличное значение СКО, для данного типноминала, берем из справочника;
5. P_0 – вероятность безотказного состояния ХИТ в момент его задействования.

Блок 11. Расчет коэффициента ΔJ по формуле:

$$\Delta J = J_t - J_\phi \quad (2.9)$$

Блок 12. Расчет средней эклектической емкости по формуле:

$$C = C_t - A_t \cdot \Delta t + A_j \cdot \Delta J - A_{xp} \cdot i'_{xp} - A_\psi \cdot N_\psi \quad (2.10)$$

Блок 13. Расчет СКО емкости по формуле:

$$\sigma = \sigma_t \cdot \frac{(B_t \cdot B_j)}{(B_{xp} \cdot B_\psi)}, \quad (2.11)$$

где:

- $B_t = (C_t - A_t \cdot \Delta t) / C_t$ - коэффициент представляющий собой отношение емкости C , вычисленной по формуле, приведенной в блоке 12, с учетом только t фактора, к C_t ;
- $B_j = (C_t + A_j \cdot \Delta J) / C_t$ - коэффициент представляющий собой отношение емкости C , вычисленной по формуле, приведенной в блоке 12, с учетом только j фактора, к C_t ;

- $B_{xp} = (C_t - A_{xp} * t'_{xp}) / C_t$ - коэффициент представляющий собой отношение емкости C , вычисленной по формуле, приведенной в блоке 12, с учетом только фактора хранения, к C_t ;
- $B_y = (C_t - A_y \cdot N_y) / C_t$ - коэффициент представляющий собой отношение емкости C , вычисленной по формуле, приведенной в блоке 12, с учетом только наработки в зарядно-разрядных циклах, к C_t ;

Блок 14. Расчет нормированного и центрированного коэффициента запаса по емкости, формуле:

$$Z = \frac{(C - C_{mp})}{\sigma} \quad (2.12)$$

Блок 15. Взятие модуля от Z :

$$Z = |Z| \quad (2.13)$$

Блок 16. Расчет вероятности P_n безотказной работы элемента от модуля Z (см. блок 21) по рекуррентной формуле (2.4).

Блок 17. Расчет вероятности безотказной работы элемента с учетом внезапных и параметрических отказов по формуле (2.2).

Блок 18. Расчет $\lambda_{\text{эx}}$ по формуле (2.5).

Блок 19. Вывод значения $\lambda_{\text{эx}}$.

Блок 20. Конец.

4. Практическое применение нового метода расчета показателей безотказности и сохраняемости

4.1. Анализ МБКССиПИ

На рис. 4.1. приведено схематическое представление объекта исследования – мобильного бортового комплекса системы связи и передачи информации (МБКССиПИ), состоящего из наземной части (НЧ), устанавливаемой на автомобили ЗИЛ и бортовой части (БЧ), устанавливаемой на вертолеты.

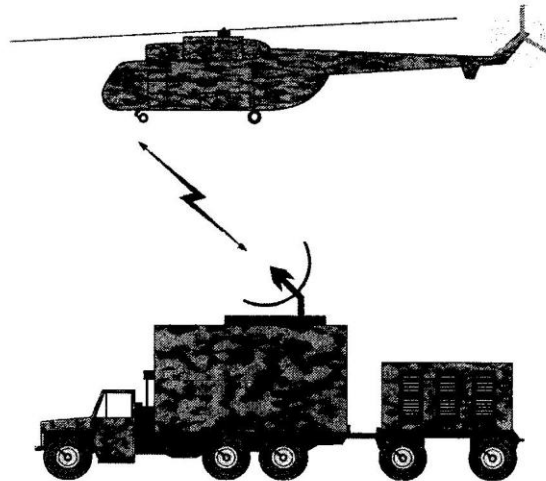


Рис. 4.1. Мобильный бортовой комплекс системы связи и передачи информации

Комплекс был выбран для рассмотрения не случайно, а ввиду своих специфических условий эксплуатации, а именно временных графиков работы (ВГР), приведенных на рис 4.2 (а, б), для БЧ и НЧ комплекса соответственно.

Отличительной особенностью ВГР является то, что аппаратура большую часть времени находится в режиме хранения. Таким образом, аккумуляторы входящие в состав БЧ используются лишь при первом запуске и в аварийном режиме, а аккумуляторы входящие в состав НЧ работают при запуске и автономной работе.

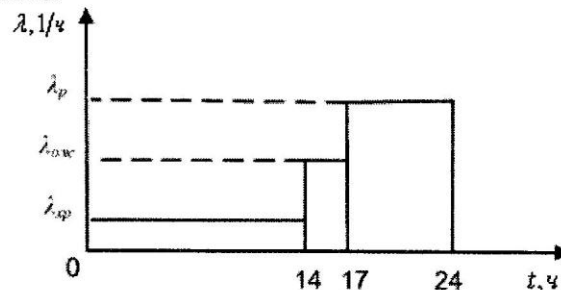
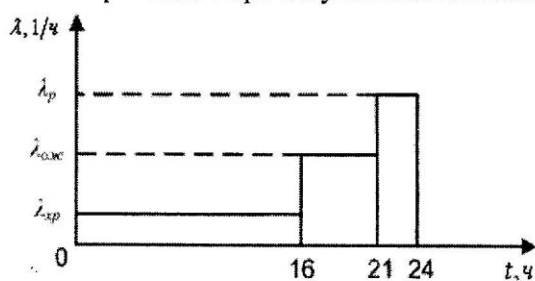


Рис. 4.2 а). ВГР БЧ аппаратуры МБКССиПИ Рис. 4.2 б). ВГР НЧ аппаратуры МБКССиПИ

Таким образом, при оценке надежности БЧ и НЧ большую роль играют показатели надежности в режиме хранения.

Рассмотрим составные части МБКССиПИ: вертолетное бортовое оборудование состоит из системы передачи информации (это антенное устройство, приемно-передающее устройство, современный комплекс Багет-МТ), навигационной системы (включает радиоконпас и радиовысотомер), радиостанции средней мощности.

В двигательную систему вертолета входит механическая часть двигателя (при расчетах эту часть считаем 100% надежной) и аккумуляторная часть, используемая для включения двигателя.

Наземная часть комплекса базируется на автомашине типа ЗИЛ и состоит из самой машины и кузова-контейнера. В кузове-контейнере находится антенный комплекс на внешней оболочке, три рабочих станции (ПЭВМ), сетевые карты соединенные ВОЛС, радиостанция средней мощности, анализатор и топографический комплекс, гидрометеорологическая станция, система электропитания.

4.2. Формирование схемы расчета надежности

На основании требований предъявляемых в пункте 4.1 и возможных критериев отказов, приведенных в техническом задании (ТЗ) на МБКССиПИ, сформируем схему расчета надежности (СРН) (см. рис. 4.4).

Рассматривая систему электропитания (см. рис. 4.4 блок 3 и 4), следует отметить два возможных варианта питания. Первый вариант - это питание от общей магистральной сети. Второй вариант, например, в боевых условиях, питание происходит от автономного генератора, запуск которого осуществляется с помощью аккумуляторов.

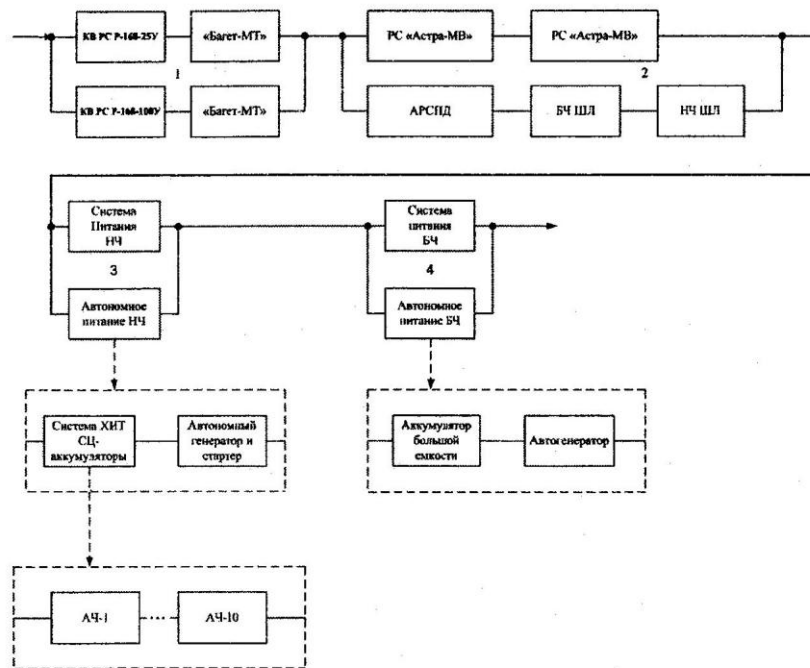


Рис. 4.4. Структурная схема расчета надежности

4.3. Расчет показателей надежности по СРН МБКССиПИ

Для определения степени влияния ИО системы питания в режиме работы и хранения проводим расчет ПН. Согласно СРН (см. рис. 4.4), в соответствии с методикой ПК АСОНИКА-К, разделяем комплекс на четыре СЧ:

1. Система радиосвязи;
2. Система передачи данных;
3. Система питания НЧ;
4. Система питания БЧ.

Согласно требованиям в технического задания (ТЗ) на ПН предъявляемым к МБКССиПИ были следующие:

- а) Вероятность безотказной работы МБКССиПИ в течение 24 часов не менее 0,98;
- б) Нарботка на отказ системы – 500 ч.

Рассмотрим два варианта анализа надежности МБКССиПИ: первый вариант учитывает полный состав изделия, второй вариант учитывает только функциональные узлы (1, 2) и предполагаем безотказные узлы питания (3, 4).

Расчеты были проведены, используя программный комплекс (ПК) АСОНИКА-К [2]: с учетом системы питания (рис. 4.5 а), без учета системы питания (рис. 4.5 б).

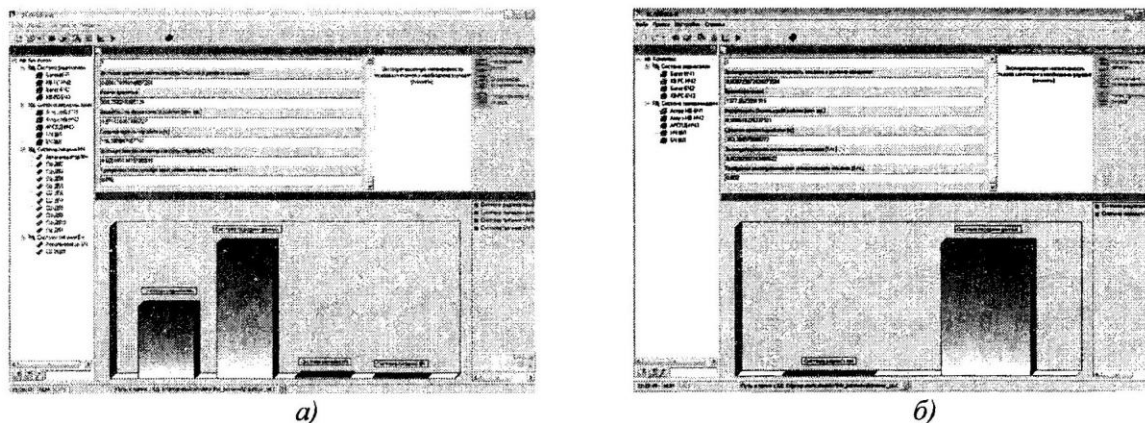


Рис. 4.5. Расчет ПН МБКССиПИ:
а) с учетом системы питания, б) без учета системы питания

Как видно, на рис. 4.5 (а, б) для двух вариантов изделия значения показателей надежности удовлетворяют требованию ТЗ (к средней наработке на отказ и вероятности безотказной работы).

Ниже в таблице 4.1 сведены результаты расчета по ИО в режиме работы и хранения для двух вариантов, которые необходимо для анализа влияния систем питания на общую надежность системы и доказательство того, что их необходимо учитывать как обязательную СЧ изделия.

Таблица 4.1. Результаты расчета ИО

Показатель надежности	Расчет с учетом системы питания	Расчет без учета системы питания
λ_3	0,00510514435188818	0,00282992243409622
λ_{3x}	0,00417095894857264	0,000725872424273584

Для оценки вклада ИО системы питания в общую ИО посчитаем коэффициент влияния (K_e) по формуле (4.1):

$$K_{e1} = \frac{\lambda_{31}}{\lambda_{32}} \text{ и } K_{e2} = \frac{\lambda_{3x1}}{\lambda_{3x2}}, \quad (4.1)$$

где:

- $\lambda_{31}, \lambda_{32}$ - эксплуатационная ИО, рассчитанная соответственно с учетом системы связи и без учета системы связи;
- $\lambda_{3x1}, \lambda_{3x2}$ - эксплуатационная ИО в режиме хранения, рассчитанная соответственно с учетом системы связи и без учета системы связи.

В результате анализа получили следующие значения K_e : $K_{e1} = 1,23$, $K_{e2} = 3,9$.

5. Выводы

В результате проведенного анализа влияния системы питания (см. п. 4.3), а именно автономных источников тока, таких как ХИТ, было получено, что ХИТ оказывает очень сильное влияние на надежность МБКССиПИ, тем самым можно говорить о необходимости применения метода расчета показателей безотказности и сохраняемости, описанного в пункте (2.2), при проведении анализа и обеспечения надежности на ранних этапах проектирования

(эскизного и технического проектирования). Кроме того, можно утверждать о возможности применения метода, для аналогичных классов аппаратуры.

Кроме того, метод был включен в ПК АСОНИКА-К, которая была внедрена в Федеральное Государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт точных приборов» (ФГУП «НИИТП»).

6. Литература

1. Надежность ЭРИ: Справочник. // С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. / Науч. рук. С.Ф. Прытков – М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2004. – 574 с.
2. Жаднов В.В., Сарафанов А.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств. М.: СОЛОН-Пресс. 2004. – 546 с.
3. Надежность технических систем: Справочник /Под редакцией И.А.Ушакова. М.: Изд-во «Радио и связь», 1985. – 608 с.

Проект разработки информационно-аналитической системы компьютерного конструирования неорганических соединений с использованием методов обучения ЭВМ

Столяренко А.В.

Проект направлен на решение одной из фундаментальных задач информатики: разработку математических методов и компьютерных систем прогнозирования объектов с заданными параметрами, а также их применение для поиска новых неорганических соединений с заданными свойствами. В результате выполнения проекта будут созданы математические методы прогнозирования по выборкам прецедентов объектов с заданными свойствами, специализированные методы прогноза химических соединений и не имеющая аналогов в мире информационно-аналитическая система компьютерного конструирования неорганических соединений. Применение системы позволит находить зависимости между фундаментальными свойствами химических систем и фундаментальными свойствами химических элементов, а также ускорить поиск новых неорганических веществ с заданными свойствами.

Цели проекта

Разработка информационно-аналитической системы компьютерного конструирования неорганических соединений, основанной на использовании методов обучения ЭВМ распознаванию образов для анализа информации баз данных по свойствам неорганических веществ и материалов.

Разработанная система будет использована для конструирования новых неорганических соединений, перспективных для создания материалов. В результате выполнения проекта будет разработана ИАС, включающая (1) базы данных (БД) по свойствам химических элементов и неорганических соединений, (2) подсистему анализа информации БД с целью поиска закономерностей, которые используются для прогноза еще не полученных соединений и оценки их свойств, (3) базу знаний, в которой хранятся найденные закономерности. Применение разработанной системы в фундаментальных химических исследованиях позволит ускорить поиск новых неорганических соединений с заданными свойствами.

Постановка задачи

Существующие методы распознавания по прецедентам (при стандартной постановке задачи распознавания) позволяют прогнозировать принадлежность новых объектов к тому или иному классу с обоснованием соответствующего прогноза. Во многих предметных областях