

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Мальцев А.И. Алгебраические системы. - М.: Наука.1970.
2. Крылов С.М. Формальная технология в философии, технике, биоэволюции и социологии. - Самара: СамГТУ, 1997
3. Крылов С.М. Формальная технология и эволюция. - М.: Машиностроение-1, 2006.
4. Крылов С.М. Доказательство ограниченности действия тезиса Тьюринга - Черча на объектах с физическими свойствами. //Вестник Оренбургского Государственного университета, 2003, №3
5. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции - 2 изд. - М.: Наука. 1986.

**Халилов В.В., Полесский С.Н., Тихменев А.Н.**

Московский государственный институт электроники и математики, г.Москва, Россия

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

Одним из возможных режимов функционирования электронных средств (ЭС) является циклический (сеансный) режим, что необходимо учитывать при прогнозировании показателей безотказности ЭС еще на этапах проектирования. Это обусловлено тем, что от корректности оценки и учета по возможности наибольшего количества факторов зависит точность прогнозирования и правильность планирования мероприятий по обеспечению надежности, а это, в свою очередь, влияет на общий ход проектирования и, в конечном, итоге на качество и конкурентоспособность проектируемых ЭС.

В соответствии со стандартом ГОСТ 27.301 [1] для проведения расчетов надежности необходимо

проводить идентификацию объекта, подлежащего расчету, условий его эксплуатации и других факторов, определяющих соответствие его модели надежности реальной модели функционирования. Для оценки показателей надежности ЭС применяется большое количество методов, которые можно разделить на три основные группы: аналитические, численные и аналитико-статистические. В стандарте ГОСТ Р 51901.5 [2] рекомендован ряд методов прогнозирования надежности, сравнительная характеристика которых применительно к ЭС приведена в таблице 1.

Сравнительная характеристика методов расчета показателей надежности

Таблица 1

п/п №	Метод	Распределение требований/целей надежности	Качественный анализ	Количественный анализ	Рекомендации
1	Прогнозирование интенсивности отказов	Применим для последовательных систем без резервирования	Возможно применение для анализа стратегии технического обслуживания	Вычисление интенсивностей отказов и MTTF* для электронных компонентов и оборудования	Поддержка
2	Анализ дерева неисправностей	Применим, если поведение системы зависит от времени или последовательности событий	Анализ комбинации неисправностей	Вычисление показателей безотказности работоспособности и относительного вклада подсистем в системы	Применим
3	Анализ дерева событий	Возможен	Анализ последовательности отказов	Вычисление интенсивностей отказов системы	Применим
4	Анализ структурной схемы надежности	Применим для систем, у которых можно выделить независимые блоки	Анализ путей работоспособности	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности системы	Применим
5	Марковский анализ	Применим	Анализ последовательности отказов	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности системы	Применим
6	Анализ сети Петри	Применим	Анализ последовательности отказов	Подготовка описания системы для марковского анализа	Применим
7	Анализ режимов и последствий (критичности) отказов FME(C)A	Применим для систем, у которых преобладают единичные отказы	Анализ воздействия отказов	Вычисление интенсивностей отказов (и критичности) системы	Применим
8	Таблица истинности (анализ функциональной структуры)	Не применим	Возможен	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности системы	Поддержка
9	Статистические методы надежности	Возможен	Анализ воздействия неисправностей	Определение количественных оценок показателей безотказности с неопределенностью	Поддержка

Примечание: «Применим» - метод рекомендован для решения задачи; «Возможен» - метод допускается использовать для решения задачи, учитывая, что он имеет некоторые недостатки по сравнению с другими методами; «Поддержка» - метод применим для некоторой части задачи и может использоваться для решения всей задачи только в ком-

бинации с другими методами; «Не применим» - метод не допускается использовать для решения задачи.

Из табл. 1 видно, что для расчета надежности ЭС наибольшее распространение получили методы № 1-5, 8 и 9. Однако математические модели, построенные по ним, позволяют оценивать надеж-

нность при непрерывной эксплуатации с постоянными интенсивностями отказов составных частей (СЧ). Но при работе ЭС в «сеанском» режиме возникает ряд дополнительных сложностей при расчете, одной из которых является построение моделей прогнозирования надежности, в которых учитывались периодические циклы «работа/хранение» ЭС.

Рассмотрим это на примере расчета вероятности безотказной работы (ВБР) электронного модуля (ЭМ), работающего в «сеанском» режиме.

В «сеанском» режиме работы ЭМ его функцию интенсивности отказов (ИО) можно представить в виде, приведенном на рисунке 1.

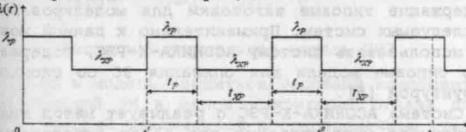


Рисунок 1 Циклографма работы ЭМ

В соответствии с общим выражением определения ВБР имеем:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \quad (1)$$

где:  $\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_p, & \text{для } t' < t < t' + t_p, \\ \lambda_{xp}, & \text{для } t'' < t < t'' + t_{xp}; \end{cases}$

заданное время существования.

Если расчет выполняется на целое число участков работы и хранения, то расчетное соотношение ВБР ЭМ имеет вид:

$$P(t) = e^{-(\lambda_p t_p + \lambda_{xp} t_{xp})}, \quad (2)$$

где:  $T_p = m \cdot t_p$  - суммарное (за время  $t_C$ ) по всем  $m$  рабочим участкам время работы;  $T_{xp} = m' \cdot t_{xp}$  - суммарное (за время  $t_C$ ) по всем

$m'$  участкам время хранения;  $m' = \begin{cases} m & \text{если} \\ m-1 & \text{если} \\ m+1 & \text{если} \end{cases}$  количество участков, зависящие от того, каким участком (работы или хранения) начинается и заканчивается промежуток времени  $t_C$ .

Можно отметить, что кривая надежности ( $P$ ), построенная по формуле (1), непрерывна, но обладает изломами в точках  $t'$  и  $t''$ , в которых функция интенсивности отказов меняется скачкообразно.

Если расчет ВБР должен быть выполнен на заданное число  $m$  участков работы и участков хранения, то:

$$P[m(t_p + t_{xp})] = e^{-m(\lambda_p t_p + \lambda_{xp} t_{xp})}, \quad (3)$$

где  $t_C = m(t_p + t_{xp})$ .

Однако задача существенно усложняется, если структурная схема надежности (ССН) ЭС отличается от «последовательного соединения» СЧ. В качестве примера рассмотрим ЭМ, ССН которого представляет собой однократный ненагруженный резерв (см. рисунок 2).

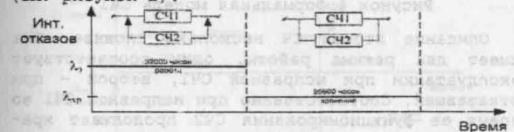


Рисунок 2 ССН электронного модуля

ЭМ работает в сеанском режиме. Суммарное время режима работы - 32000 ч., режима хранения - 55600 ч.

СЧ1 и СЧ2 одинаковые и имеют следующие характеристики надежности: - интенсивность отказов в режиме работы ( $\lambda_p$ )  $1,232992 \cdot 10^{-6}$  1/ч.; - интенсивность отказов в режиме хранения ( $\lambda_{xp}$ )  $2,194 \cdot 10^{-8}$  1/ч.

В режиме работы работает основной элемент СЧ1, резервный элемент СЧ2 отключен и включается при отказе СЧ1. В режиме хранения оба элемента отключаются от питания. Если при переходе ЭМ из режима хранения в рабочий режим СЧ1 не передает в режим работы после включения, то включается СЧ2 (в режиме хранения оба элемента представляют собой группу «нагруженный резерв»).

Рассмотрим несколько способов расчета ВБР, начиная с 1. Использование модели расчета ВБР, приведенной в стандарте ОСТ 47.0.012.242 [3] (по классификации стандарта ГОСТ Р 51901.5 [2] - это метод № 4):

$$P(t) = \prod_{j=0}^m \frac{(n+j\alpha)}{\alpha m!} \sum_{i=0}^m (-1)^i \frac{C_m^i}{n+i\alpha} e^{-(n+i\alpha)\lambda_{cp} t}, \quad (5)$$

где:  $n$  - число основных СЧ (в нашем случае 1);  $m$  - число резервных СЧ (в нашем случае 1);

$\alpha = \frac{\lambda_{xp}}{\lambda_p}$  - коэффициент пропорциональности;  $\lambda_p$ ,

$\lambda_{xp}$  - интенсивности отказов СЧ в режимах работы и хранения.

ИО СЧ в (5) определяется по модели (4). Тогда, за весь срок эксплуатации (87600 ч.) значение ВБР составит 0,999180711554146.

2. Построение модели расчета ВБР по методу перебора гипотез, основанного на формуле полной вероятности [4] в соответствии с заданным временным графиком работы. По классификации стандарта ГОСТ Р 51901.5 [2] - это метод № 5.

Этот способ подразумевает вывод вероятности всех сценариев, которые приводят к работоспособному состоянию на конец периода эксплуатации. Исходя из приведенного выше описания ЭМ и временного графика работы (см. рисунок 2), формируется перечень несовместных успешных гипотез, для которого получаем следующую модель:

$$P_2(t) = e^{-\lambda_{cp} t_p} + \int_0^{t_p} \lambda_{cp} \cdot e^{-\lambda_{cp} t} \cdot e^{-\lambda_{xp} \cdot (t_p-t)} dt \quad (6)$$

Как видно из (6) она учитывает все особенности функционирования ЭМ, включая временной график работы и зависимость перехода СЧ2 из режима хранения в режим работы от состояния СЧ1. Таким образом, эту модель будем рассматривать как «кластиковую» при оценке погрешности моделей ВБР.

Расчетное значение ВБР по модели (6) за весь срок эксплуатации составляет 0,999157335573541.

3. Построение модели расчета ВБР с использованием методов временной декомпозиции. По классификации стандарта ГОСТ Р 51901.5 [2] - это методы № 1 и № 5.

Применение метода временной декомпозиции заключается в раздельной оценке ВБР на интервалах времени работы и времени хранения. При этом события отказов СЧ принимаются на любом этапе эксплуатации не зависимыми. В этом случае расчет ВБР выполняется в три этапа:

- на первом этапе рассчитывается ВБР ЭМ для ССН в режиме работы (на одном интервале работы);

- на втором этапе рассчитывается ВБР ЭМ для ССН в режиме хранения (на одном интервале хранения);

- на заключительном этапе оценивают ВБР ЭМ за весь период эксплуатации с учетом количества циклов работы/хранение.

В общем виде расчетную формулу ВБР за срок эксплуатации можно представить как:

$$P_{общ} = \prod_{i=1}^m P_{xp}(\tau_{xpi}) \cdot \prod_{j=1}^n P_p(\tau_{pj}), \quad (7)$$

где:  $P_{общ}$  - ВВР ЭМ;  $P_{xp}$  - функция ВВР ЭМ в режиме хранения;  $\tau_{xpi}$  -  $i$ -ый интервал хранения;  $P_p$  - функция ВВР ЭМ в режиме работы;  $\tau_{pj}$  -  $j$ -ый интервал работы.

Использование формулы (7) на практике достаточно неудобно, особенно при наличии резервирования в ЭС, т.к. подразумевает достаточно сложные функции, определяющие ВВР как в режиме хранения, так и в режиме работы. Кроме этого, на этапе проектирования обычно неизвестна точная циклограмма работы ЭС (в общем случае она может быть случайной), а известно только ожидаемое соотношение времен работы и хранения.

В таком случае полагают, что продолжительность сеансов постоянная. Исходя из этого и полагая ИО СЧ постоянными во времени, формула (7) принимает следующий вид:

$$P_{общ} = (P_{xp}(\tau_{xp}))^n \cdot (P_p(\tau_p))^m \quad (8)$$

Кроме того, при использовании экспоненциальной модели отказов ЭС можно объединить интервалы времени эксплуатации и хранения, тогда:

$$P_{общ} = (P_{xp}(\sum \tau_{xp})) \cdot (P_p(\sum \tau_p)) = P_{xp}(t_{xp}) \cdot P_p(t_p) \quad (9)$$

где:  $t_{xp}$  - суммарное время хранения;  $t_p$  - суммарное время эксплуатации.

Формула (9) справедлива для экспоненциальной модели отказов ЭС. Однако на практике соотношение (9) используют и для оценки ВВР резервированных ЭС, модель отказов которой уже не соответствует экспоненциальному распределению.

Рассмотрим применение (9) для расчета ВВР ЭМ.

Т.к. во время хранения интенсивности отказов основной и резервной СЧ равны, т.е. в режиме хранения ЭМ представляет собой группу «нагруженный резерв», ВВР которого рассчитывается по формуле, приведенной в стандарте ОСТ 4Г.0.012.242 [3]:

$$P_{xp} = 1 - (1 - e^{-\lambda_{xp} t_{xp}})^2 \quad (10)$$

В режиме работы СЧ1 и СЧ2 находятся в различных условиях: основная СЧ выполняет свои функции и находится под нагрузкой, в то время как резервная СЧ находится в режиме хранения. В случае отказа основной СЧ резервная переходит в рабочий режим, что представляет собой группу «облегченный резерв», ВВР которого рассчитывается по формуле, приведенной в стандарте ОСТ 4Г.0.012.242 [3]:

$$P_p = e^{-\lambda_p t_p} (1 + (1 - e^{-\lambda_p t_p}) \cdot \frac{\lambda_p}{\lambda_{xp}}) \quad (11)$$

Подставив (10) и (11) в (9) можно определить общую ВВР ЭМ. Расчетное значение ВВР по модели (9) за весь срок эксплуатации составляет 0.99922699998305.

Одним из источников ошибки в этом способе является то, что отказы СЧ в режиме хранения и работы считаются независимыми, что справедливо только для ССН вида «последовательное соединение», где отказ любой СЧ в любом режиме является отказом всего ЭС.

В соотношениях (9), (10), (11) рассматриваются две резервированные группы из двух СЧ как независимые, то есть для того чтобы ЭС считалась работоспособным достаточно чтобы к концу периода эксплуатации сохранили работоспособность по одной любой СЧ в каждой из этих двух групп. Такое допущение является неверным, так как для данного ЭМ отказы СЧ в первой и второй группах являются зависимыми событиями, что ведет

к завышению результата оценки ВВР, а это недопустимо при оценке надежности ЭС.

Альтернативой аналитическим методам является метод имитационного моделирования. Теоретически он позволяет учесть любые взаимосвязи между отказами СЧ. Использование для расчета показателей надежности метода имитационного моделирования подразумевает построение некоторой модели, описывающей эксплуатацию ЭС и процесс его отказа во времени. Для построения такой модели может быть использован какий-либо язык программирования либо имитационного моделирования, однако наиболее удобно использовать специализированные языки имитационного моделирования, уже содержащие типовые заготовки для моделирования исследуемых систем. Применительно к данной можно использовать систему АСОНИКА-К-РЭС, содержащую типовые модели для описания ЭС со сложной структурой [5].

Система АСОНИКА-К-РЭС о реализует метод имитационного моделирования для задач определения показателей надежности ЭС со сложной структурой и наличием реконфигураций в ходе функционирования. Для проведения моделирования строится формальная модель, описывающая все компоненты ЭС, распределения, критерии отказов и возможные события в ходе функционирования. Ход построения имитационной модели рассмотрим на примере ЭМ. Он состоит из 2 СЧ и имеет достаточно простой для описательных средств входного языка алгоритм функционирования.

В первую очередь для модели объявляются законы распределения отказов СЧ. В данном случае нужно объявить два закона, каждый из которых характеризуется своей интенсивностью отказов - работы и хранения. На рисунке 3 приведен пример объявления экспоненциальных законов распределения.

```
distribution Dis_Save (2,194e-8);
distribution Dis_Work (1,232992e-6);
```

Рисунок 3 Объявление законов распределения отказов

После объявления законов распределения можно описать СЧ, их формальная модель строится на основе возможных состояний СЧ и законов распределения времени нахождения в каждом состоянии. При этом перевод СЧ из режима хранения в режим работы не учитывается, так как он будет реализован отдельно. Описание первой СЧ представлено на рисунке 4, она имеет два состояния, соответствующие хранению и функционированию, и один режим работы.

```
knot K1
state: Fail, Work;
mode: Save,Normal;
startState: Work;
startMode: Normal;
ctrlMode: unDistribution;
tableDistribution:
    | Save      | Normal   |
    Work     | Dis_Save | Dis_Work ;
tableStateChange:
    Normal  | Save
    Work   | Fail;
```

Рисунок 4 Формальная модель СЧ1

Описание второй СЧ несколько сложнее. Она имеет два режима работы, один соответствует эксплуатации при исправной СЧ1, второй - при отказавшей. Соответственно при исправной СЧ1 во время ее функционирования СЧ2 продолжает храниться, при отказавшей же включается в работу вместо нее, что отражено в таблице законов распределения (см. рисунок 5). Более подробно принципы построения формальных моделей компонентов освещены в [6].

```

knot K2: Активиров. для синхрон. замены
{
    state: Fail, Work, Rezerv;           (1)
    mode: Save,Normal;
    startState: Rezerv;
    startMode: Normal;
    ctrlMode: unDistribution;
}

tableDistribution:
    | Save      | Normal   |
    Work | Dis_Save | Dis_Work |
    Rezerv | Dis_Save | Dis_Save |

tableStateChange:
    Normal | Save
Work  |Fail| Fail |
Rezerv |Fail| Fail ;
}

```

Рисунок 5 Формальная модель СЧ2

Далее в модель вводится условный компонент, моделирующий ЭМ в целом и критерий отказа для него, который заключается в одновременном отказе СЧ1 и СЧ2, что в рамках операторов формальной модели можно описать крайне простым логическим выражением (см. рисунок 6). Данное выражение отражает, что ЭМ работает пока исправен любая из СЧ1 и СЧ2.

```

function FunctREA
{
    return K1|K2;
}

```

Рисунок 6 Критерий отказа ЭМ

Теперь к модели ЭМ необходимо добавить событие связанное с отказом СЧ1, что должно привести к включению в рабочий режим СЧ2, если она исправна на этот момент. Для подобных задач предусмотрен специализированный инструмент формальной модели «switch\_event», который состоит из условия и действий реконфигурации. В данном случае условие просто: отказ СЧ1, а действие всего одно – изменение режима функционирования СЧ2. При этом в случае более раннего отказа СЧ2 оператор изменения режима просто не окажет никакого эффекта. Формальная запись этого действия представлена на рисунке 7.

```

switch_Event K1_fail
( ->K1:Fail & K2:Rezerv )
{
    set_state ( K2:Work );
}

```

Рисунок 7 Формальное описание подключения СЧ2

После описания непосредственно состава ЭМ необходимо приступить к моделированию сеансного режима работы, что осуществляется через введение в модель дополнительного условного компонента, осуществляющего периодическое переключение компонентов из состояния хранения в состояние работы. Так как неизвестно точное реальное распределение времен работы и хранения ЭМ, а лишь их соотношение, то период включения и выключения подбираются из расчета много меньше (не менее чем на два порядка), чем период эксплуатации, и с сохранением общего соотношения времени хранения и функционирования. Исходя из этих условий принимаем, что длительность периода эксплуатации 320 часов, а периода хранения – 556 часов. Таким образом, мы получаем равномерно распределенные по периоду эксплуатации участки хранения и работы (см. рисунок 8).

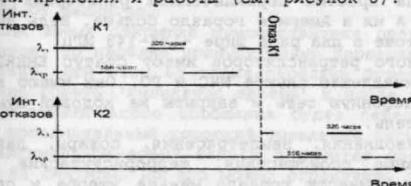


Рисунок 8 Временная диаграмма изменения интенсивностей отказов компонентов при моделировании

Назовем компонент-переключатель SK, и объявим соответствующие ему законы распределения (см. рисунок 9). При такой формальной модели получается, что SK зациклен между двумя состояниями, время нахождения в каждом из которых константа. Такая методика является стандартной при моделировании периодических событий в системе АСОНИКА-К-РЭС и позволяет моделировать не только жестко заданные времена функционирования/хранения, но и маловероятные единичные воздействия на исследуемый ЭМ, основным требованием является наличие информации о законе распределения, соответствующему данному воздействию.

```

distribution Dis_per_Work (const 320);
distribution Dis_per_Save (const 556);

```

```

knot Switcher
{
    state: Fail, StW, StS;
    mode: Normal;
    startState: StW;
    startMode: Normal;
    ctrlMode: unDistribution;

    tableDistribution:
        | Normal   | Save
    StW | Dis_per_Work |
    StS | Dis_per_Save |

    tableStateChange:
        | Normal   |
    StW | StS       |
    StS | StW       ;
}

```

Рисунок 9 Модель дополнительного узла SK

Объявив узел SK, являющийся таймером перехода из состояния в состояние можно связать с ним изменения в функционировании ЭМ, это делается также как и изменение режима компоненту СЧ2, через оператор switch\_event. Формальное описание этих событий представлено на рисунке 10.

```

switch_Event SwitchOn
( ->Switcher:StW )
{
    net_mode ( K2:Normal );
    net_mode ( K1:Normal );
}

switch_Event SwitchOff
( ->Switcher:StS )
{
    net_mode ( K2:Save );
    net_mode ( K1:Save );
}

```

Рисунок 10 Моделирование сеансного режима работы ЭМ

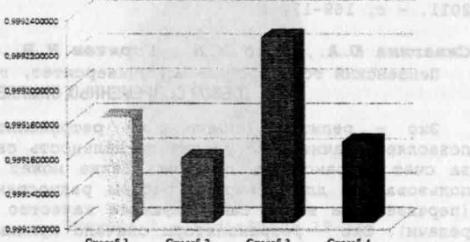


Рисунок 11 Сводная гистограмма значений ВБР за все время эксплуатации

Результирующая формальная модель вводиться в систему АСОНИКА-К-РЭС, компилируется и проверяется на соответствие алгоритму функционирования. Так как модель состоит лишь из нескольких компонентов, процесс верификации не представляет труда и может быть легко выполнен непосредственно разработчиком формальной модели. Далее можно приступить к моделированию, программная модель может быть подвергнута нескольким типам испытаний: это испытания на ВБР (для конкретного времени эксплуатации) и наработку на отказ, причем во втором варианте полученные статистические данные могут быть использованы для по-

строения графиков ВБР и интенсивности отказов исследуемого ЭМ.

В результате расчета было получено значение ВБР за время эксплуатации, равное 0,9991667.

На рисунке 11 приведена сводная гистограмма ВБР за время эксплуатации рассчитанной 4-мя способами, из которой видно, что наименьшее значение дает способа 2 и 4, т.е. их использо-

вание, возможно для получения нижней границы оценки ВБР, что допустимо с точки зрения расчетов [3].

Значения относительной погрешности оценки ВБР приведены в таблице 2. При расчете относительной погрешности в качестве эталона выбрано значение ВБР, рассчитанное вторым способом.

Результаты расчета ВБР и относительной погрешности

Таблица 2

№ п/п	Наименование спо- соба расчета	Значение ВБР за срок эксплуата- ции для схемы №1 основной и 1 резервный	Значение ВБР за срок эксплуата- ции для схемы №2 основной и 2 резервных	Значение относи- тельной погрешно- сти по ВБР		Значение относи- тельной погрешности по вероятности от- казов	
				Схема №1	Схема №2	Схема №1	Схема №2
1	Способ 1 (Метод стандартных структурных схем надежности)	0,9991807115541 46	0,9999885388738 78	2,339569 53250499 $2 \cdot 10^{-5}$	8,709636 60098484 $4 \cdot 10^{-5}$	0,027741	0,883701
2	Способ 2 (Метод перебора гипотез)	0,9991573355735 41	0,9999014510911 2	0	0	0	0
3	Способ 3 (Метод временной декомпозиции)	0,9992269999830 5	0,9999900592357 91	6,972316 27380021 $3 \cdot 10^{-5}$	8,861687 77678773 $6 \cdot 10^{-5}$	0,082672	0,899129
4	Способ 4 (Метод имитационное моделирование)	0,9991667	0,9999876	9,72e-6	8,7057e-5	0,011113	0,883307

Как видно из таблицы 2 совпадение результатов полученных путем моделирования (Способ 4) и путем точного аналитического расчета (Способ 2) с крайне малой ошибкой (относительная погрешность по вероятности отказов от 0,011113 до 0,883307). Но вероятность ошибки при построении имитационной модели минимизируется (как и для более простой модели) за счет специальных средств верификации модели, в, то время как

вероятность ошибки при построении математической модели (9) начинает расти из-за ее усложнения и затруднения проверки. Таким образом, становиться очевидным, что имитационное моделирование можно рассматривать в качестве альтернативы аналитических методов [2] при прогнозировании надежности сложных ЭС с различными типами резервирования для повышения точности оценок показателей надежности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
- ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
- ОСТ 4Г.0.012.242-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности.
- Б.А. Козлов, И.А. Ушаков. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. - 472 с.
- Жаднов В.В., Тихменев А.Н. Методы и средства расчетной оценки надежности электронных средств с реконфигурируемой структурой. / Радиовысотометрия-2010: Сб. тр. Третьей всероссийской научно-технической конференции. // Под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарева. - Екатеринбург: Форт Диагл-Исеть, 2010. - с. 202-205
- Жаднов В.В., Тихменев А.Н. Моделирование компонентов электронных средств с реконфигурируемой структурой. / Надежность и качество: Труды международного симпозиума: в 2-х т. // Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: ПГУ, 2010 - 1 т. - с. 330-331.
- Жаднов В.В., Полесский С.Н., Тихменев А.Н. Информационная технология обеспечения надежности сложных электронных средств военного и специального назначения. / Компоненты и технологии, № 6, 2011. - с. 168-174.

**Сивагина Ю.А., Граб И.Д., Горячев Н.В., Юрков Н.К.**

Пензенский государственный университет, г.Пенза, Россия

#### ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИМПЛЕКСНЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ РАДИОСИГНАЛОВ

Эхо - репитер (симплексный ретранслятор) позволяет значительно увеличить дальность связи за счёт ретрансляции сигнала. Также может использоваться для контроля работы радиостанции (передаёте, а затем сами слушаете качество передачи). Эхо - ретрансляторы сначала принимают сигнал одного оператора, записывая его в память. А затем передают запись в радиоэфир на той же частоте. Конструкция таких ретрансляторов максимально проста и не содержит дорогостоящих элементов.

Развитие радиолюбительских ретрансляторов (репитеров) в последние годы связано с появлением на отечественном рынке большого числа любительских портативных радиостанций. Они все без исключения имеют режим сдвига частот приема и передачи для работы через ретранслятор. Преимущество такой связи перед обычной симплексной очевидно. Дальность действия радиостанций, их экономичность возрастает в десять раз. Любительские ретрансляторы ставятся, как правило, во всех административных центрах, начиная с городов районного значения. Особенно их много в

Центральной России и на Украине. В местах с низкой плотностью населения их почти нет.

Проводя сравнительный анализ с активностью наших радиолюбителей и иностранных, последние ушли далеко вперед. В каждом городе США, включая даже небольшие, имеется сеть в среднем из 40 VHF (2 м) и 20 UHF (70 см) репитеров. Многие из них завязаны в общие системы и позволяют поддерживать связь, удаляясь на многие мили от города простым переключением репитерных каналов. А их в Америке гораздо больше. Ведь диапазон тоже в два раза шире -144-148 МГц.

Много ретрансляторов имеют статус EMERGENCY и принадлежат службе МЧС и ГО. Они имеют выход в телефонную сеть и закрыты на кодовый шумоподавитель.

Наводнения, землетрясения, пожары, лавины, дорожные происшествия, террористические акты могут принести гораздо меньше ущерба и спасти человеческие жизни, если вовремя задействовать систему радиосвязи, которую постоянно поддерживают в рабочем состоянии группы радиолюбителей [1].