УДК 681.3(07)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОСПОЛНЕНИЯ РЕСУРСА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Ленков С.В., Пашков С.А., Браун В.О., Селюков А.В., Цыцарев В.Н.

SIMULATION AND OPTIMIZATION REPLENISHMENT OF COMPLEX OBJECTS RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

Lenkov S., Pashkov S., Braun V., Selyukov A., Tsytsarev V.

В статье предлагается критерий для определения ресурса восстанавливаемых объектов РЭТ. Вводится понятие процесса восполнения ресурса объектов РЭТ и формулируется задача его оптимизации. Предложен алгоритм определения оптимальных параметров этого процесса.

Ключевые слова: *ресурс, предельное состояние, плановый ремонт, процесс восполнения ресурса, имитационная статическая модель.*

1. Понятие ресурса восстанавливаемого объекта

Ресурс является одной из важнейших надежностных характеристик сложных объектов радиоэлектронной техники (РЭТ), поэтому в процессе эксплуатации объектов РЭТ всегда планируются и осуществляются меры по своевременному восполнению ресурса.

Согласно [1] *ресурс* любого технического объекта (технический ресурс) – это «суммарная наработка объекта с начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние». Под *предельным состоянием* (ПС) понимается «состояние объекта, при котором дальнейшая эксплуатация его недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособности невозможно или нецелесообразно» [1].

Эти общие (стандартные) определения в равной степени относятся как к восстанавливаемым, так и к невосстанавливаемым объектам. Для невосстанавливаемых объектов понятие ПС совпадает с понятием отказа и, следовательно, ресурс невосстанавливаемого объекта – это просто наработка до отказа.

Для восстанавливаемых объектов (рассматриваемые объекты РЭТ являются восстанавливаемыми) смысл понятия ПС более сложен, так как при определении ПС необходимо учитывать предполагаемые последующие действия после перехода в ПС: прекращать эксплуатацию и списывать (разбирать и утилизировать) объект, производить ремонт для восполнения ресурса, продолжить применение объекта с теми или иными ограничениями. То есть, при определении ресурса для объектов РЭТ необходимо учитывать возможные последующие действия, которые могут предприниматься после наступления ПС. Тем не менее, очевидно, что в основе понятия ресурса все же лежит свойство безотказности объекта, поэтому при определении критерия ПС нужно использовать какой-либо показатель безотказности.

Наиболее информативной характеристикой свойства безотказности восстанавливаемого объекта является параметр потока отказов [1]. На протяжении времени «жизни» объекта величина параметра потока отказов изменяется, поэтому его нужно рассматривать как функцию $\Omega(t)$, аргументом которой является суммарная наработка. Традиционно принято считать, что существуют три периода «жизни» радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), различающиеся по уровню и характеру поведения показателей безотказности: 1) «период приработки», 2) «период нормальной эксплуатации» и 3) «период износа и старения». На рис. 1 показан типичный вид функции $\Omega(t)$.

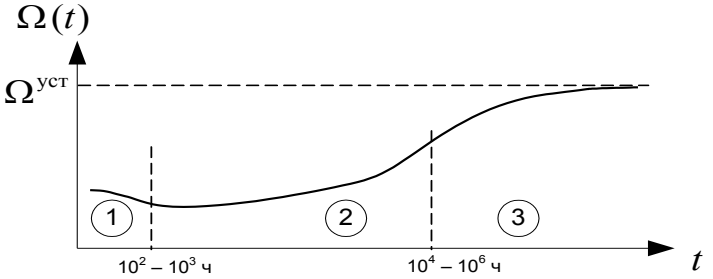


Рис. 1. Вид функции $\Omega(t)$ в течение времени “жизни” объекта РЭТ.

В период приработки возникают так называемые производственные отказы, обусловленные дефектами производства. После замены отказавших элементов, имевших производственные дефекты, уровень безотказности объекта РЭТ повышается (параметр потока отказов уменьшается). Для современной РЭА период приработки практически отсутствует, что достигается благодаря применению при изготовлении объекта новых технологий. В период нормальной эксплуатации вначале уровень безотказности стабилизируется на некоторое время и затем начинает монотонно возрастать. Это возрастание продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто установившееся значение $\Omega^{\text{уст}}$, соответствующее установившемуся процессу отказов-восстановлений *всех* элементов объекта.

Таким образом, так называемый период износа и старения «растягивается» на десятки (теоретически – на сотни) лет, граница между периодом нормальной эксплуатации и периодом износа и старения оказывается размытой. Для высоконадежных объектов параметр потока отказов вообще не достигает значения $\Omega^{\text{уст}}$ за все время «жизни» объекта. Это затрудняет задачу определения ПС объекта и в некоторых случаях делает ее вообще не актуальной. В статье будем полагать, что объект РЭТ в пределах заданного периода эксплуатации является стареющим и для него имеет смысл задавать некоторое предельно допустимое (критическое) значение параметра потока отказов $\Omega^{\text{пс}}$. Поэтому примем, что критерием наступления ПС является условие

$$\Omega(t) \geq \Omega^{\text{пс}}. \qquad (1)$$

С учетом этого величину ресурса объекта *R* можно определить из уравнения

$$\Omega(R) = \Omega^{\text{пс}}. \qquad (2)$$

Возможен и другой, менее жесткий подход к определению ресурса, при котором в условии (1) вместо функции $\Omega(t)$ используется ее среднее значение

$$\overline{\Omega}(t) = \frac{1}{t}\int_0^t \Omega(x)dx. \qquad (3)$$

С использованием функции $\overline{\Omega}(t)$ критерий (1) приобретает такой вид:

$$\overline{\Omega}(t) \geq \Omega^{\text{пс}}. \qquad (4)$$

Очевидно, что при одном и том же значении $\Omega^{\text{пс}}$ ресурс *R*, получаемый из уравнения $\overline{\Omega}(R) = \Omega^{\text{пс}}$, всегда будет больше, чем величина ресурса, полученного из уравнения (2). Поэтому критерий (4) является менее жестким, чем критерий (1).

Предложенные критерии (1) и (4) основываются на знании функции $\Omega(t)$, которая, к сожалению, редко бывает точно известна. В лучшем случае ее вид становится известным к моменту времени, когда эксплуатация объектов данного типа уже завершена, и поэтому ее знание уже может быть не актуальным. Поэтому на практике единственным реальным способом получения функции $\Omega(t)$ остается моделирование. При последующих построениях в данной статье предполагается, что функция $\Omega(t)$ известна и получается методом имитационного статистического моделирования.

2. Процесс восполнения ресурса объекта РЭТ

Для большинства типов объектов РЭТ после наступления ПС их «жизнь» не заканчивается, так как экономически более выгодно восполнить ресурс объекта путем проведения ремонта и затем продолжить его эксплуатацию. Чем больше объем ремонта (чем большая часть элементов заменяется при ремонте), тем большая величина ресурса восполняется при ремонте. Ремонты, предназначенные для восполнения ресурса, как правило, планируются заранее, поэтому будем называть их *плановыми* ремонтами (ПР).

На рис. 2 показан примерный вид функции $\Omega(t)$ в случае, если проводятся ПР и межремонтный ресурс для ПР определяется по критерию (1).

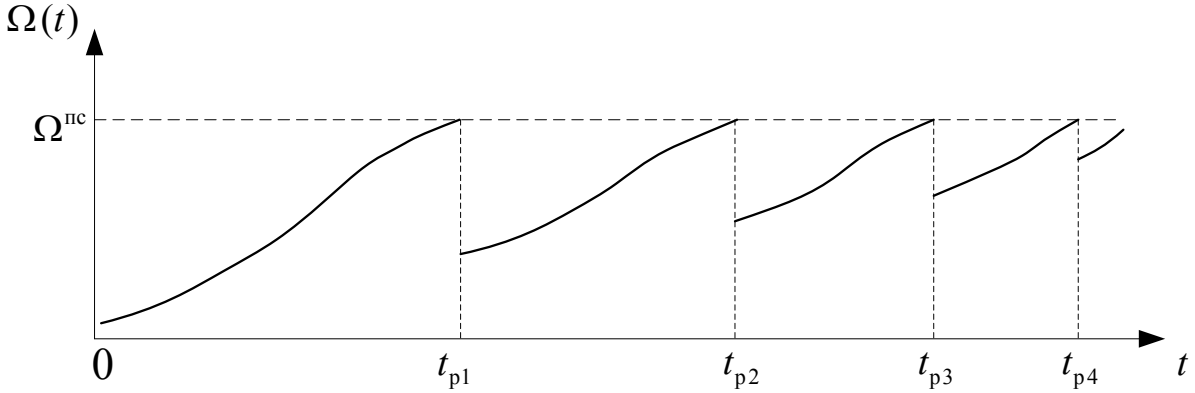


Рис. 2. Вид функции $\Omega(t)$ при проведении ПР по критерию (1).

Процесс восполнения ресурса формально определим как последовательность пар следующего вида:

$$\Psi = \left\{ \left\langle t_{рi}, P_{прi} \right\rangle ; i = \overline{1, n_{пр}} \right\}, \qquad (5)$$

где $t_{рi}$ - время (суммарная наработка) проведения *i*-го ПР;

$P_{прi}$ - объем *i*-го ПР, определяемый относительной долей (процентом) заменяемых элементов;

$n_{пр}$ - число ПР, которые выполняются в течение заданного времени эксплуатации объекта $T_э$.

Процент заменяемых элементов $P_{рi}$ определяется следующим образом:

$$P_{прi} = \left| E_{прi} \right| \cdot 100 \Big/ \left| E_о \right|, \qquad (6)$$

где $E_{прi}$ - подмножество элементов объекта, заменяемых при проведении ПР;

$E_о$ - множество всех элементов объекта.

Прямые скобки $|E|$ в (6) обозначают число элементов (мощность) соответствующего множества *E*. Предполагается, что при определении $P_{прi}$ в (6) в подмножество $E_{прi}$ всегда включаются наименее надежные элементы из $E_о$ ($E_{пр} \subset E_о$). Очевидно, что множество всех элементов объекта РЭТ может быть практически необозримым, поэтому необходимо уточнить, какие элементы включаются в $E_о$. Условимся, что в множество $E_о$ включаются все элементы, которые учитываются при расчете показателя безотказности $\Omega(t)$ (то есть элементы, включаемые в структурную схему надежности объекта).

Вид функции $\Omega(t)$ на интервале времени после проведения *i*-го ПР зависит от всей предыстории процесса восполнения ресурса (от объема и времени выполнения всех ПР, проведенных до времени *t*). На интервале $(t_{р1}, T_э]$ вид функции $\Omega(t)$ зависит от объема ПР $P_{пр1}$, выполненного в момент времени $t_{р1}$, на интервале $(t_{р2}, T_э]$ – от объемов ПР $P_{пр1}$ и $P_{пр2}$, выполнявшихся в моменты времени $t_{р1}$ и $t_{р2}$, и т.д. В общем случае будем записывать:

$$\Omega(t) = \Omega(t / \Psi(t)),$$

где $\Psi(t)$ - начальный отрезок, процесса Ψ, предшествующего моменту времени *t*:

$$\Psi(t) = \left\{ \left\langle t_{рi}, P_{прi} \right\rangle ; \forall i : t_{рi} < t \right\}. \qquad (7)$$

Функцию $\Omega(t / \Psi(t))$ можно представить как объединение (сумму) функций $\Omega_i(t / \Psi)$:

$$\Omega(t / \Psi) = \sum_{i=1}^{n_{пр}(t)} \Omega_i(t / \Psi), \qquad (8)$$

где $\Omega_i(t / \Psi)$ - функция параметра потока отказов, которая определена только на *i*-м

межремонтном интервале $(t_{\text{р}i-1}, t_{\text{р}i}]$ ($i = \overline{1, n_{\text{пр}}(t)}$, где $n_{\text{пр}}(t)$ - один из параметров процесса Ψ). Зависимость Ψ от t в (8) опущена для краткости записи, далее предполагается, что процесс Ψ определен на том же интервале, на каком определена функции $\Omega(t/\Psi)$.

3. Оптимизация параметров процесса восполнения ресурса.

Восполнение ресурса объектов РЭТ не является самоцелью, ресурс восполняется для поддержания требуемого уровня надежности объектов в процессе их эксплуатации. Проведение ПР требует существенных экономических затрат, поэтому необходимо, во-первых, принять решение о необходимости ПР в принципе и, во-вторых, определить оптимальные параметры процесса восполнения ресурса Ψ, если проведение ПР признано необходимым. Задачу определения оптимальных параметров процесса Ψ в общем виде определим следующим образом:

$$T_0(\Psi^*) \geq T_0^{\text{тр}}; \qquad (9\text{ а})$$

$$c_{\text{э}}(\Psi^*) \to \min, \qquad (9\text{ б})$$

где Ψ^* - искомый оптимальный процесс восполнения ресурса;

$T_0(\Psi^*)$ - зависящая от процесса Ψ^* средняя наработка на отказ объекта;

$T_0^{\text{тр}}$ - требуемое значение средней наработки на отказ;

$c_{\text{э}}(\Psi^*)$ - средняя удельная стоимость эксплуатации объекта при реализации процесса Ψ^*.

Средняя наработка на отказ $T_0(\Psi)$ с функцией $\Omega(t/\Psi)$ связана соотношением:

$$T_0(\Psi) = 1/\overline{\Omega}(\Psi), \qquad (10)$$

где

$$\overline{\Omega}(\Psi) = \sum_{i=1}^{n_{\text{пр}}} \frac{1}{t_{\text{р}i} - t_{\text{р}i\text{-}1}} \int_{t_{\text{р}i\text{-}1}}^{t_{\text{р}i}} \Omega_i(t/\Psi)dt. \qquad (11)$$

Удельная стоимость эксплуатации $c_{\text{э}}(\Psi)$ определяется как сумма

$$c_{\text{э}}(\Psi) = c_{\text{отк}}(\Psi) + c_{\text{пр}}(\Psi), \qquad (12)$$

где $c_{\text{отк}}(\Psi)$ и $c_{\text{пр}}(\Psi)$ - составляющие стоимости, приходящиеся на восстановление текущих отказов и ПР, которые определяются следующим образом:

$$c_{\text{отк}}(\Psi) = \frac{1}{T_{\text{э}}} \sum_{j \in E_{\text{о}}} (C_{\text{зам}\,j} + C_{0\,j}) n_{\text{отк}\,j}(\Psi); \qquad (13)$$

$$c_{\text{пр}}(\Psi) = \frac{1}{T_{\text{э}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{пр}}} C_{\text{пр}i}(\Psi), \qquad (14)$$

где $C_{\text{зам}\,j}$ - стоимость операции замены j-го элемента;

$C_{0\,j}$ - стоимость j-го элемента;

$n_{\text{отк}\,j}(\Psi)$ - среднее число отказов j-го элемента на интервале $T_{\text{э}}$, зависящее от процесса Ψ;

$C_{\text{пр}i}(\Psi)$ - стоимость i-го ПР ($i = \overline{1, n_{\text{пр}}(t)}$).

С учетом определения процесса Ψ (5) понятно, что задача (9) не может быть решена классическими стандартными методами оптимизации. Главная трудность состоит в том, что элементы решения – пары $\langle t_{\text{р}i}, P_{\text{пр}i} \rangle$, являются зависимыми, так как выбор оптимальных параметров каждого последующего ПР зависит от выбранных ранее параметров всех предыдущих ПР. Кроме того, число всех ПР $n_{\text{пр}}$ (число элементов решения) изменяется в зависимости от выбираемых параметров $\langle t_{\text{р}i}, P_{\text{пр}i} \rangle$. С учетом этого остается надеяться решить задачу (9) только приближенно.

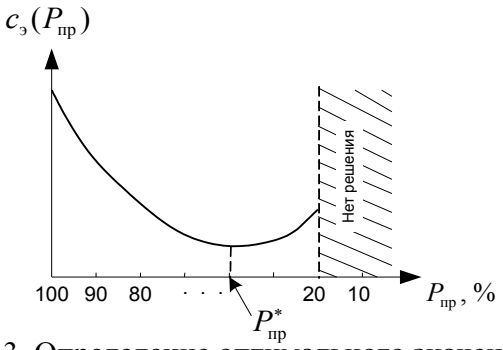


Рис. 3. Определение оптимального значения $P^*_{пр}$.

Предлагается следующий подход к решению задачи (9), включающий два этапа**.**

На первом этапе определяется множество условно оптимальных решений $\Psi^+(P_{пр})$, каждое из которых найдено из условия (9 а) при фиксированном значении $P_{пр}$. В результате будет получено множество таких решений $\{\Psi^+(P_{пр})\}$ для некоторого количества значений $P_{пр} \in (0,\ 100\%)$. Для каждого значения $P_{пр}$ находится также соответствующая решению $\Psi^+(P_{пр})$ удельная стоимость эксплуатации $c_э(\Psi^+(P_{пр}))$. Таким образом, по результатам первого этапа может быть построен график зависимости удельной стоимости эксплуатации $c_э$ от объема ПР $P_{пр}$, вид которого примерно такой, как это показано на рис. 3. Каждая точка этого графика соответствует условно оптимальному решению $\Psi^+(P_{пр})$, полученному при фиксированном значении $P_{пр}$. Расчеты при поиске условно оптимальных решений целесообразно производить в последовательности убывания значений $P_{пр}$, начиная с максимальных значений. Такая последовательность рекомендуется потому, что условно оптимальное решение $\Psi^+(P_{пр})$ всегда существует при $P_{пр}$= 100%, а при убывании величины $P_{пр}$ при некотором ее малом значении решения может не быть (при малом объеме ремонта требование (9 а) может не выполняться ни при каком малом значении межремонтного ресурса). Из физических соображений очевидно, что должен существовать минимум графика $c_э(P_{пр})$ при некотором значении $P^*_{пр}$.

На втором этапе производится анализ графика $c_э(P_{пр})$ и выбор оптимального объема ремонта $P^*_{пр}$, при котором обеспечивается минимальная удельная стоимость эксплуатации $c_э(P^*_{пр})$ (выполняется условие (9 б)). Соответствующее значению $P^*_{пр}$ условно оптимальное решение $\Psi^+(P^*_{пр})$ принимается в качестве приближенного решения задачи.

Очевидно, что в рассмотренной схеме решения задачи (9) основные вычисления производятся на первом этапе, при формировании условно оптимальных решений $\Psi^+(P_{пр})$. Поэтому целесообразно рассмотреть алгоритм формирования условно оптимального решения.

4. Алгоритм формирования условно оптимального решения

Структурная схема алгоритма приведена на рис. 4. Для получения функции $\Omega(t)$ заданный интервал эксплуатации $T_э$ разбивается на равные интервалы Δt. Функция $\Omega(t)$ получается путем статистического моделирования отказов объекта в заданных интервалах. Величина Δt выбирается с учетом следующих противоречивых факторов. При уменьшении величины Δt:

а) увеличивается точность определения прогнозируемых сроков проведения ПР;

б) уменьшается точность оценки функции $\Omega(t)$ в интервале Δt;

в) возрастают затраты машинного времени на моделирование.

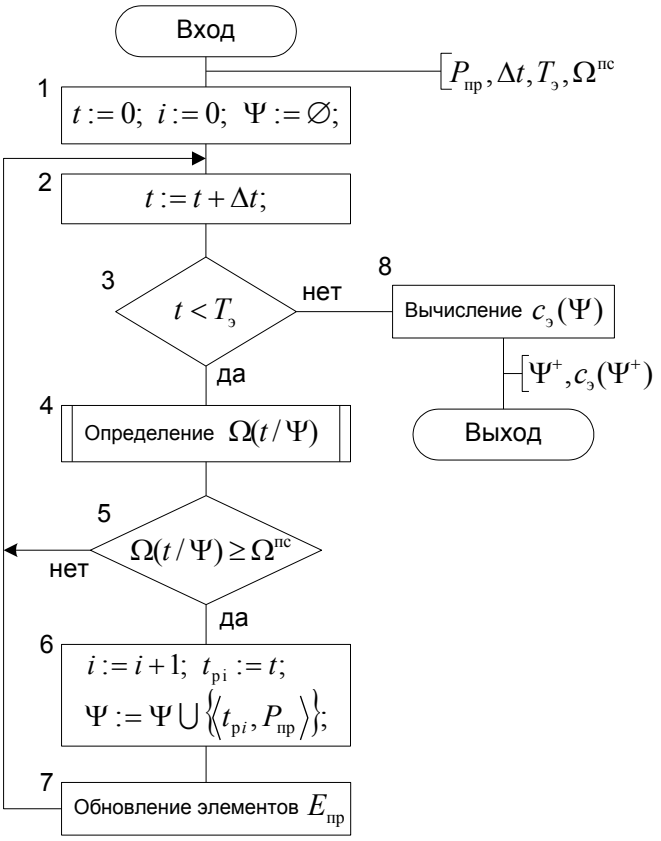


Рис. 4. Алгоритм формирования условно оптимального процесса Ψ^+.

Исходной информацией являются заданные значения $P_{пр}$, Δt, $T_э$ и $\Omega^{пс}$. Алгоритм, показанный на рис. 4, по сути, имитирует процесс восполнения ресурса объекта на заданном интервале эксплуатации $T_э$. Оператором 1 устанавливаются начальные значения переменных: t – текущее модельное время, изменяемое с интервалом Δt; i – количество выполненных ПР. Кроме того, оператором 1 создается структура данных, в которой будет сохраняться информация о процессе Ψ. Вначале структура Ψ пуста.

Оператор 2 формирует очередное значение модельного времени t. Оператор 3 проверяет, не вышло ли время t за пределы заданного интервала $T_э$. Оператор 4 формирует оценку функции $\Omega(t/\Psi)$ в текущем интервале $(t - \Delta t, t]$ с учетом выполненной к данному времени части процесса $\Psi(t)$. Оператор 5 проверяет выполнение условия наступления ПС. Если ПС не достигнуто, процесс моделирования продолжается (циклически повторяется выполнение операторов 2-5. Если при выполнении оператора 5 оказывается, что критерий наступления ПС удовлетворяется, то выполняются операторы 6 и 7. Оператором 6 выполняются следующие действия:

- определяется номер i текущего ПР (выполняемого в момент времени t);
- определяется время выполнения i-го ПР t_{pi};
- формируется пара (элемент решения) $\langle t_{pi}, P_{пр} \rangle$, которая добавляется в структуру Ψ.

Оператор 7 имитирует выполнение ПР с параметрами $\langle t_{pi}, P_{пр} \rangle$. Для этого в статистической модели, с помощью которой формируется функция $\Omega(t/\Psi)$, производится перепланирование отказов всех элементов объекта, которые заменяются при проведении ПР (этим имитируется их обновление). Множество таких элементов $E_{пр}$ с учетом (6) определяется из уравнения

$$|E_{пр}| \cong [|E_о| \cdot P_{пр}/100]_ц,$$

где скобки $[2]_ц$ в правой части обозначают операцию взятия целой части.

После выполнения операторов 6 и 7 далее работа алгоритма продолжается описанным выше образом.

Если текущее модельное время t достигнет заданного ограничения $T_э$, то оператор 3 передаст управление оператору 8, который вычисляет оценку удельной стоимости эксплуатации $c_э(\Psi)$. На этом работа алгоритма завершается. В структуре данных Ψ будут сохранены параметры условно оптимального процесса восполнения ресурса Ψ^+.

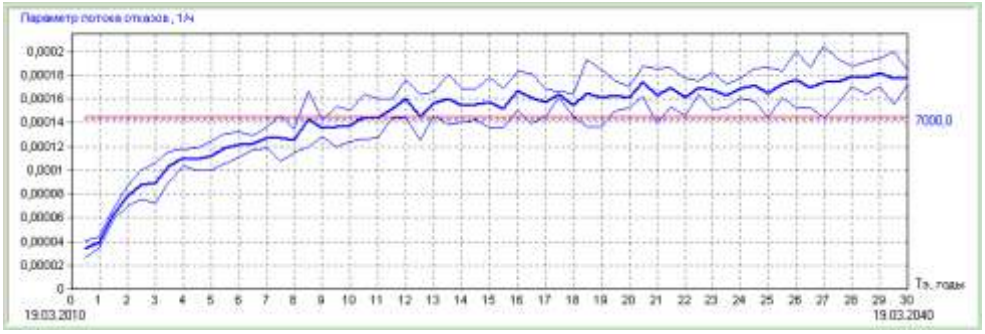
5. Реализация модели.

Рассмотренная теоретическая модель оптимизации процесса восполнения ресурса реализована программно на базе имитационной статистической модели, с помощью которой получается оценка функции $\Omega(t/\Psi)$. Некоторые общие сведения об этой модели приведены в [3]. Все программное обеспечение разработано в системе программирования Delphi. В рамках данной статьи у нас нет возможности рассмотреть детали программной реализации, поэтому приведем только пример основных результатов, получаемых с помощью разработанной модели.

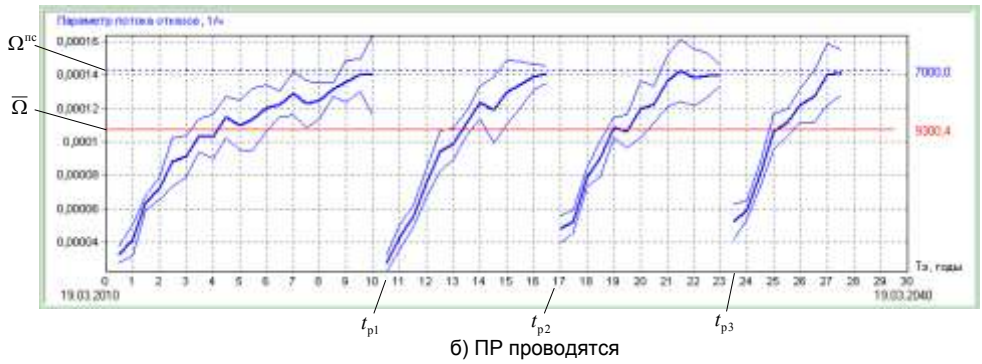
На рис. 5 показан вид функции $\Omega(t/\Psi)$, полученной для тестового объекта РЭТ, взятого нами для примера. Объект состоит из последовательно соединенных (в смысле надежности) 50 элементов, имеющих различную надежность. Отказы всех элементов подчинены *DN*-распределению с коэффициентом вариации 0,8 [4]. Продолжительность эксплуатации объекта задана равной $T_э$ = 30 лет.

Средний график (жирная линия) является оценкой параметра потока отказов в интервалах Δt = 3 мес., верхний и нижний графики представляют границы 95%-го доверительного интервала.

На рис. 5 а представлен график функции $\Omega(t/\Psi)$, полученный для случая, если ПР не проводятся ($\Psi = \varnothing$). Средняя наработка на отказ объекта в этом случае равна $T_0 \approx 6960$ ч (это соответствует величине $\overline{\Omega} = 1/T_0 \approx 0{,}000144$ 1/ч). На рис. 5 б показана та же функция в случае, если ПР проводятся в моменты времени наступления ПС, определяемого по критерию (1) при заданном для примера фиксированном значении процента замены элементов $P_{пр}$ = 40%.



а) ПР не проводятся



б) ПР проводятся

Рис.5. Примеры графиков функции $\Omega(t/\Psi)$.

В качестве граничного значения параметра потока отказов задана величина $\Omega^{\text{пс}} = 1/T_0^{\text{тр}}$ = 1/7000 ч = 0,000143 1/ч. По графикам рис. 5 б видно, как за счет проведения ПР среднее за время эксплуатации $T_{\text{э}}$ значение параметра потока отказов уменьшилось до величины $\overline{\Omega} \approx 0{,}000107$ 1/ч, что соответствует увеличению средней наработки на отказ до значения $T_0 = 1/\overline{\Omega} \approx 9300$ ч.

Полученные в результате моделирования моменты времени ПР $t_{\text{р}i}$ (совместно с заданным значением $P_{\text{пр}}$) образуют процесс $\Psi^{+}(P_{\text{пр}})$, параметры которого являются условно оптимальным решением задачи (9) (оптимальным при условии фиксированного значения $P_{\text{пр}}$). На рис. 6 показан график значений стоимости эксплуатации $c_{\text{э}}(P_{\text{пр}})$, полученных при различных значениях $P_{\text{пр}}$. За счет стохастичности моделируемого процесса величины $t_{\text{р}i}$ могут изменяться от сеанса к сеансу моделирования, поэтому оценки $c_{\text{э}}(P_{\text{пр}})$ также могут изменяться. На рис. 6 показаны графики для среднего значения $\overline{c}_{\text{э}}(P_{\text{пр}})$ (жирная линия) и верхних и нижних границ доверительного интервала, равного двойному среднеквадратическому отклонению. По графику $\overline{c}_{\text{э}}(P_{\text{пр}})$ находится приближенное оптимальное значение процента замены элементов $P^{*}_{\text{пр}}$.

6. Выводы

Предложенная теоретическая модель процесса восполнения ресурса сложного объекта РЭТ позволяет прогнозировать возможный его характер еще на этапе разработки объекта. На основе такого прогноза оказывается возможным а) принимать прогнозное решение о необходимости ПР для объектов РЭТ данного типа, и б) заблаговременно определять оптимальные параметры ПР в случае, если принято решение об их необходимости.

Рис. 6. Определение оптимального значения $P^{*}_{\text{пр}}$.

Литература

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
2. Банзак Г.В., Боряк К.Ф., Селюков А.В. Имитационная статистическая модель процесса технического обслуживания «по состоянию» сложного восстанавливаемого объекта РЭТ // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2011. – № 31. – С.4 – 12.
3. Ленков С.В., Браун В.О., Березовская Ю.В., Осыпа В.А., Пашков С.А., Цыцарев В.Н. Постановка задач оптимизации процесса технического обслуживания и ремонта сложных объектов радиоэлектронной техники // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2013. – № 42. – С. 42 – 47.
4. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 45 с.

References

1. DSTU 2860-94. Nadijnist' tehniki. Termini ta viznachennja.
2. Banzak G.V., Borjak K.F., Seljukov A.V. Imitacionnaja statisticheskaja model' processa tehnicheskogo obsluzhivanija «po sostojaniju» slozhnogo vosstanavlivaemogo ob#ekta RJeT // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. – K., 2011. – № 31. – S.4 – 12.
3. Lenkov S.V., Braun V.O., Berezovskaja Ju.V., Osypa V.A., Pashkov S.A., Cycarev V.N. Postanovka zadach optimizacii processa tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta slozhnyh ob#ektov radiojelektronnoj tehniki // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. – K., 2013. – № 42. – S. 42 – 47.
4. GOST 27.005-97. Nadezhnost' v tehnike. Modeli otkazov. Osnovnye polozhenija. – Vved. 01.01.99. – 45 p.

Ленков С.В., Пашков С.О., Браун В.О., Селюков А.В., Цицарев В.М.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОПОВНЕННЯ РЕСУРСУ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

У статті пропонується критерій для визначення ресурсу відновлюваних об'єктів РЕТ. Вводиться поняття процесу поповнення ресурсу об'єктів РЕТ і формулюється завдання його оптимізації. Запропоновано алгоритм визначення оптимальних параметрів цього процесу.

Ключові слова: *ресурс, граничний стан, плановий ремонт, процес поповнення ресурсу, імітаційна статична модель.*

Lenkov S.V., Pashkov S.A., Braun V.O., Selyukov A.V., Tsytsarev V.N.

SIMULATION AND OPTIMIZATION REPLENISHMENT OF COMPLEX OBJECTS RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

The article offers a criterion for determining the resource objects being restored RET. Introduces the concept of a process of replenishment of the resource objects of the pet and the formulation of the task of optimization. An algorithm for determining the optimal parameters of the process.

Keywords: *resource, limiting condition, planned maintenance, the process of repairing the resource, imitation static model.*

Ленков С.В. – д.т.н., проф. (ВИКНУ)
Пашков С.А. - к.в.н., доц. (ВИКНУ)
Браун В.О. – к.т.н.,доц. (ВИКНУ)
Селюков А.В. – д.т.н., с.н.с. (ГП «НЦТМ»)
Цыцарев В.Н. – к.т.н. (ВИКНУ)

Рецензент: Петров Олександр Степанович – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних систем, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ.