УДК 621. 396

К ПРОБЛЕМЕ СИНТЕЗА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. В. Саушев

Введение

Оптимизация сложных технических систем (СТС) на этапе параметрического синтеза предполагает решение двух основных задач – определение номинальных значений внутренних параметров системы и допустимых пределов их изменения. Внутренние параметры – это параметры элементов ТС, которые характеризуют состояние и свойства самой системы. При проектировании они определяют вектор **X** управляемых (варьируемых) параметров. Математическая функциональная модель СТС представляет собой алгоритм вычисления вектора выходных параметров **Y** при заданных векторах внутренних параметров **X** и внешних параметров **V**. Внешние параметры характеризуют свойства внешней по отношению к СТС среды и оказывают влияние на ее функционирование. Выходные параметры характеризуют свойства ТС, интересующие потребителя. Они представляют собой параметры-функционалы, т.е. функциональные зависимости фазовых переменных СТС, и параметры, являющиеся граничными значениями диапазонов внешних переменных, в которых сохраняется работоспособность системы. К выходным параметрам на стадии параметрического синтеза относятся показатели назначения, параметрической надежности и экономичности [1, 2].

Показателем параметрической надежности при ограниченных статистических данных о законах распределения внутренних параметров СТС во времени является запас работоспособности [1, 3, 4]. Область работоспособности $G = P \bigcap M$ определяет множество допустимых значений внутренних параметров, при которых выполняются все требования, предъявляемые к выходным параметрам СТС [5]. Эта область определяется условиями работоспособности, которые в случае двухсторонних ограничений на параметры имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} &Y_{j\min} \le Y_j = F_j(\mathbf{X}) \le Y_{j\max},\ j = \overline{1,m}; \\ &X_{i\min} \le X_i \le X_{i\max}, i = \overline{1,n}, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $Y_{j\max}\left(X_{i\max}\right), Y_{j\min}\left(X_{i\min}\right)$ – соответственно максимально и минимально допустимые значения j-го выходного Y_j(i-го внутреннего X_i) параметра; F – оператор, устанавливающий связь между внутренними и выходными параметрами; D и P – допусковые области, определяемые соответственно первым и вторым неравенствами (1). При этом области *D* в пространстве внутренних параметров будет соответствовать допусковая область *M*.

Трудность решения задач параметрического синтеза обусловлена тем, что эти задачи приходится решать в условиях многокритериальности [1, 6]. Кроме того, область работоспособности, определяющая допустимые пределы изменения внутренних параметров, имеет, как правило, достаточно сложную конфигурацию.

В статье рассматривается поисковый метод оптимизации, который предполагает, что каждая из функций-ограничений неравенства (1) $Y_{j\max} - F_j(\mathbf{X}) \ge 0$ и $F_j(\mathbf{X}) - Y_{j\min} \ge 0$ аппроксимирована конечным множеством линейных гиперповерхностей f_j, и допусковая область *M* задана в виде следующей системы неравенств:

$$\sum_{j=1}^{2m} f_j(\mathbf{X}) \ge 0\,,\ f_j(\mathbf{X}) = b_{j0} + \sum_{i=1}^{n} b_{ji} X_i \ge 0\,.$$

Методы аппроксимации области работоспособности системой линейных неравенств рассмотрены, например, в работах [5, 6]. В отличие от известных методов оптимизации [6] предлагаемый метод позволяет сформировать такую целевую функцию, для которой возможно применение любого известного алгоритма поисковой оптимизации. При этом достигается максимально возможный или заданный запас работоспособности СТС.

Выбор целевой функции. Рассмотрим методологические аспекты выбора целевой функции при оптимизации СТС. В основу методологии положен аксиоматический принцип.

Постулат 1. Основополагающим постулатом методологии является констатация того факта, что любая СТС характеризуется двумя обобщенными параметрами – эффективностью (полезностью) и затратами (платой за полезность). Постулат логически вытекает из фундаментального философского закона диалектического единства противоположностей. Следствием постулата является формулировка двух критериев оценки СТС – эффективности (Q_1) и цены (Q_2). Критерий цены характеризует СТС значением параметра Q_2 при фиксированном значении параметра Q_1, а критерий эффективности – значением параметра Q_1 при фиксированном значении параметра Q_2.

Постулат 2. Обобщенные параметры СТС Q_1 и Q_2 могут быть представлены в виде функциональных зависимостей от ее выходных и ресурсных параметров, под которыми понимаются параметры системы, определяющие величину затрат и характеризующие потребление различных ресурсов при ее создании и эксплуатации [7–11].

Постулат 3. Два варианта S_1 и S_2 решения задачи оптимизации считаются равно эффективными $Q_1(S_1) = Q_2(S_2)$ лишь в том случае, когда равны попарно их соответствующие выходные параметры $Y_j(S_1) = Y_j(S_2)$. На основе постулата 3 функция $Q_1(\mathbf{Y})$ конкретизируется в форме вектора.

Постулат 4. Ресурсы СТС тождественны товарам. При этом любой товар как экономическая категория принципиально имеет цену, и она может быть установлена. Следствием постулата является конкретизация функции цены в форме $Q_2 = \Sigma bT$, где b – стоимость (цена) единицы ресурса (товара) T. Эта формула по своей сути принципиально отличается от похожей по форме аддитивной функции записи обобщенного показателя качества, которую вводят с целью сведения к скалярной векторную оценку СТС [6, 12].

Задача оптимизации критерия цены налагает на обобщенный параметр Q_1 условие его постоянства. Единственно возможным способом удовлетворить это требование является фиксирование всех выходных параметров СТС, т.е. задание определенных потребительских свойств системы. При этом само выражение и, следовательно, методология оптимизации инвариантны относительно величины фиксированного значения цели системы и определяют лишь форму ее задания.

Задача оптимизации критерия эффективности Q_1 предполагает нахождение его максимума. Вместе с тем операция оптимизации вектора не имеет смысла. Единственным логически возможным способом разрешения этого противоречия является фиксация всех компонент вектора, кроме одного, который и подлежит максимизации. При этом $Q_1 = \left(Y_q, Y_j = \text{const}\right),\ j = \overline{1, m},\ j \ne q$, где q – нефиксированный выходной параметр СТС.

Выражение для критерия Q_1 накладывает на параметр Y_j, $j \ne q$, только требование фиксированности, но оставляет полную свободу в выборе его конкретных значений.

Анализ литературных источников показывает, что для большинства СТС на первое место выдвигается требование высокой надежности. Применительно к решаемой задаче это означает, что в качестве параметра Y_q целесообразно выбрать вероятность безотказной работы или запас работоспособности системы.

Непосредственное использование важнейшего показателя параметрической надежности – вероятности безотказной работы в качестве целевой функции при оптимизации внутренних параметров системы не всегда эффективно вследствие его малой чувствительности [6] вдали от границ области работоспособности и большой трудоемкости вычислений. Кроме того, при отсутствии статистических данных о распределении параметров элементов СТС вероятность безотказной работы принципиально не может быть использована в качестве такой функции.

Целевой функцией при решении задачи параметрической оптимизации СТС предлагается выбрать запас работоспособности $\lambda(\mathrm{X})$ или минимальный запас работоспособности $\lambda_i(\mathrm{X})$, т.е. $\min\lambda_i(\mathrm{X})$. Эти критерии позволяют получать в отличие от других известных критериев оптимизации любое Парето-оптимальное решение [6, 13, 14].

Доказано, что для разных законов распределения выходных параметров максимизация выбранной целевой функции, т.е. максимум минимального запаса работоспособности

$$\lambda(\mathrm{X}_0) = \max_{X\in\mathbf{G}} \lambda(\mathrm{X}) = \max_{X\in\mathbf{G}}, \qquad (2)$$

дает близкую к максимальной вероятность безотказной работы системы [6].

Решение, получаемое по алгоритму (2), является единственным и в максимальной степени обеспечивает выполнение всех условий работоспособности (1). При этом автоматически учитываются показатели назначения СТС, стоимость ее изготовления и, кроме того, чувствительность и возможные уходы выходных параметров, связанные с вариациями параметров комплектующих элементов в процессе изготовления, хранения и эксплуатации системы.

Для некоторых ЭТС в силу специфики их работы в качестве целевой функции целесообразно выбрать не запас работоспособности $\lambda(\mathbf{X})$ или его минимальное значение $\lambda_i(\mathbf{X})$, а какой-либо показатель назначения. Однако при этом одним из критериев, на которые накладываются ограничения, как правило, должен быть требуемый уровень запаса работоспособности.

Формирование целевой функции. В пространстве R^n внутренних параметров введем метрику l, которая является функцией координат двух любых точек этого пространства, например точек A и B. При этом $l = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \mu_i \left(X_i(A) - X_i(B)\right)^2}$, где $X_i(A)$, $X_i(B)$ – координаты векторов точек A и B соответственно; μ_i – нормирующий множитель по i-й координате параметров $\mathbf{X}$. Если одна из точек, например точка A, является граничной точкой области работоспособности, а точка B находится внутри этой области и ее координаты характеризуют состояние СТС в рассматриваемый момент времени, то данная метрика будет определять запас работоспособности системы и служить критерием определения координат оптимальной точки.

Для формирования целевой функции представим область работоспособности в виде единого аналитического выражения. С этой целью введем в рассмотрение и воспользуемся свойствами логических R-функций [5].

Пусть $Y = F(\mathbf{X})$ есть функция, определенная всюду в пространстве R^n. Согласно определению R-отображения [5] данная функция является R-функцией, если в каждой из областей H_j ($j = 1, 2, \ldots, 2^n$) она сохраняет постоянный знак. При этом область H_j представляет собой совокупность всех точек пространства R^n, для которых хотя бы одна координата X_i равняется нулю. В результате использования R-функций область работоспособности может быть задана следующим неравенством:

$$G = (\ldots((\varphi_1 \wedge^k_{\alpha 1} \varphi_2) \wedge^k_{\alpha 2} \varphi_3) \wedge^k_{\alpha 3} \ldots) \wedge^k_{\alpha(g-1)} \varphi_d = \mathop{\wedge^k_{\alpha g}}_{g=1}^{d} \varphi_g \geq 0, \qquad (3)$$

где α_g, $g = \overline{1,d}$ – величины, принадлежащие интервалу $\alpha_g \in [-1; 1]$.

В том случае, когда все ограничения (1) являются двухсторонними $d = 2(m + n)$. При этом $\varphi_g = \varphi_g(\mathbf{X}) \equiv f_j(\mathbf{X}),\ g = j = \overline{1,2m}$. Функции-ограничения $X_{i\max} - X_i \geq 0$ и $X_i - X_{i\min} \geq 0$ описываются гиперплоскостями f_i, $\varphi_g(X) \equiv f_i(X),\ g = \overline{2m,d},\ i = \overline{1,2n}$.

Для построения R-конъюнкции удобно воспользоваться формулой [14, 15]:

$$\varphi_1 \wedge_\alpha^k \varphi_2 = 0{,}5\left(\varphi_1 + \varphi_2 - \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2 - 2\alpha\varphi_1\varphi_2}\right) R\left(\varphi_1, \varphi_2\right), \tag{4}$$

где $R(\varphi_1, \varphi_2)$ – функция, обеспечивающая наличие k производных R-конъюнкции.

В том случае, если не требуется, чтобы R-конъюнкция была дифференцируема, формула (3) может быть упрощена. Принимая $\alpha = 1$, получим

$$\varphi_1 \wedge \varphi_2 = 0{,}5\left(\varphi_1 + \varphi_2 - \left|\varphi_1 - \varphi_2\right|\right). \tag{5}$$

В формуле (3) могут быть опущены скобки, и конечный результат не будет зависеть от последовательности свертки.

На основании использования свойств R-функций можно записать: $G = M \wedge_\alpha^k P \geq 0$. Принимая значение $\alpha = 1$, а также следуя формулам (3) и (5), получим аналитическое описание области работоспособности в виде следующего рекуррентного соотношения:

$$G = 0{,}5(\ M{+}P{-}|\ M{+}P| \geq 0; \tag{6}$$

$$\begin{cases} M = M_{2m} = 0{,}5\left(M_{2m-1} + \varphi_{2m)} - \left|M_{2m-1} - \varphi_{2m)}\right|\right); \\ M_{2m-1} = 0{,}5\left(M_{2m-2} + \varphi_{2m-1} - \left|M_{2m-2} - \varphi_{2m-1}\right|\right); \\ \ldots \\ M_g = 0{,}5\left(M_{g-1} + \varphi_g - \left|M_{g-1} - \varphi_g\right|\right); \\ \ldots \\ M_2 = 0{,}5\left(M_1 + \varphi_2 - \left|M_1 - \varphi_2\right|\right); \\ M_1 = \varphi_1. \end{cases}$$

Допусковая область P описывается аналогичным образом, только функции ограничения будут иметь вид $\varphi_g = \varphi_g(\mathbf{X}) = f_i(\mathbf{X})$.

В случае если $m = n = 2$, $d = 2(m + n)$, а внутренние параметры заданы в относительных единицах, причем $X_{1\min} = X_{2\min} = -1$, $X_{1\max} = X_{2\max} = 1$, области M и P запишутся в виде следующих неравенств:

$$\begin{aligned} M = 0{,}25(&Y_{1\max} + Y_{2\max} - Y_{1\min} - Y_{2\min} - \left|2F_1(X_1, X_2) - Y_{1\max} - Y_{1\min}\right| - \\ &-\left|2F_2(X_1, X_2) - Y_{2\max} - Y_{2\min}\right| - \left|Y_{1\max} + Y_{2\min} - Y_{1\min} - Y_{2\max} + \right. \\ &\left. + \left|2F_1(X_1, X_2) - Y_{2\max} - Y_{2\min}\right| - \left|2F_2(X_1, X_2) - Y_{1\max} - Y_{1\min}\right|\right|) \geq 0; \end{aligned}$$

$$P = 0{,}5(2 - \left|X_1\right| - \left|X_2\right| - \left|\left|X_2\right| - \left|X_1\right|\right|) \geq 0 .$$

Используя основное свойство R-функций, заключающееся в том, что логические операции и простейшие арифметические операции над R-функциями образуют новую функцию, которая также принадлежит к классу R-функций, можно заключить, что аналитические описания областей M, P и G также будут являться R-функциями.

Получим уравнение границы области G^μ, расположенной эквидистантно области G и внутри нее. При этом множество граничных точек областей G и G^μ будут располагаться относительно друг друга по направлению градиента к функции G на одну и ту же величину l.

Рассмотрим две граничные точки $N \in f_j(\mathbf{X}) \in M$ и $N_\mu \in f_j^\mu(\mathbf{X}) \in M^\mu$. Координаты точки N_μ определяются выражением

$$X_i^\mu = X_i + \frac{\left(\partial f_j(\mathbf{X})/\partial X_i\right)l}{\left|\operatorname{grad} f_j(\mathbf{X})\right|} = X_i + \frac{b_{ji}}{\left|\operatorname{grad} f_j(\mathbf{X})\right|}l,\ \operatorname{grad} f_j(\mathbf{X}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\partial f_j(\mathbf{X})/\partial X_i\right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} b_{ji}^2}\ .$$

Откуда

$$f_j^\mu(\mathbf{X}) = f_j(\mathbf{X}) - \operatorname{grad} f_j(\mathbf{X}) l\,. \tag{7}$$

Уравнение границы области M^μ на основании использования свойств R-функций примет следующий вид:

$$M^\mu = f_{1,2m}^\mu(\mathbf{X}) = \bigwedge_{j=1}^{2m-1}\left\{0,5\left(f_{1,j}^\mu(\mathbf{X}) + f_{1,j+1}^\mu(\mathbf{X}) - \left|f_{1,j}^\mu(\mathbf{X}) - f_{1,j+1}^\mu(\mathbf{X})\right|\right)\right\} = 0,\ f_{1,0}^\mu(\mathbf{X}) \equiv f_1^\mu(\mathbf{X})\,. \tag{8}$$

В том случае, если граничная точка принадлежит области P, координаты точки N_μ определяются выражением $X_i^\mu = X_i \pm l$. Аналитическое описание областей P^μ и G^μ производится аналогично описанию областей P и G по формуле (6).

Доказано, что при любом числе R-функций $\varphi_g(\mathbf{X})$, $g = \overline{1,d}$ значение R-функции G, аналитически описывающей границу области работоспособности в виде конъюнкции этих функций, для любой внутренней точки области определяется значением функции $\varphi_\rho(\mathbf{X})$, которое является наименьшим среди всех других R-функций $\varphi_g(\mathbf{X})$. Кроме того, для всех точек, определяющих линейную гиперповерхность f_j^μ области G^μ, вычисленное значение R-функции G^μ есть величина постоянная [6].Отсюда следует, что функция G принципиально может быть использована в качестве целевой функции при параметрическом синтезе СТС по критерию запаса работоспособности. Недостатком такой целевой функции является невозможность использования поисковых методов оптимизации, поскольку для произвольной точки, принадлежащей границе области работоспособности, функция G^μ не является постоянной, а принимает значение из множества возможных значений $\left\{f_1^\mu, f_2^\mu, \ldots, f_{2m}^\mu, l\right\}$.

Построим R-функцию, которая будет принимать единственное значение для любой точки, находящейся на одинаковом расстоянии от границы области работоспособности, т.е. от любой гиперповерхности f_j. С этой целью на основании (6) сформируем R-функции вида

$$\varphi_j^\mu(\mathbf{X}) = f_j(\mathbf{X}) \Big/ \left|\operatorname{grad} f_j(\mathbf{X})\right|.$$

Легко увидеть, что полученные R-функции обладают требуемым свойством, причем для любой внутренней точки области работоспособности, находящейся на одинаковом расстоянии от ее ближайшей граничной точки, вычисленное значение функции будет равно l. При этом искомая функция будет иметь следующий вид:

$$G_l^\mu = 0,5\left(M_l^\mu + P_l^\mu - \left|M_l^\mu + P_l^\mu\right|\right),$$

где $P_l^\mu = P$, $M_l^\mu = \bigwedge_{j=1}^{2m-1}\left\{0,5\left(\varphi_{1,j}^\mu(\mathbf{X}) + \varphi_{1,j+1}^\mu(\mathbf{X}) - \left|\varphi_{1,j}^\mu(\mathbf{X}) - \varphi_{1,j+1}^\mu(\mathbf{X})\right|\right) = 0\right\}$, $\varphi_{1,0}^\mu(\mathbf{X}) \equiv \varphi_1^\mu(\mathbf{X})$.

Таким образом, функция G_l^μ может являться целевой функцией при оптимизации СТС на максимум запаса работоспособности, причем для вычисления координат оптимальной точки по критерию $\max G_l^\mu$ может быть использован любой поисковый метод оптимизации. Кроме того, при поиске исключается зацикливание алгоритма в независимости от формы границы области работоспособности. Важным свойством полученной функции является возможность распознавания состояния СТС. Если вычисленное значение функции положительное, то система находится в работоспособном состоянии. Если результат окажется отрицательным, то система находится в неработоспособном состоянии. В том случае, если значения внутренних параметров выражены в относительных единицах, вычисленное в любой внутренней точке области работоспособности значение функции будет характеризовать относительное значение запаса работоспособности СТС, принадлежащее интервалу $[-1; 1]$.

При использовании для оптимизации градиентных методов, характеризующихся наибольшим быстродействием, при построении функции G_l^{μ} следует использовать формулу (3), которая позволяет осуществлять операции дифференцирования.

Вывод

Выбор оптимальных значений внутренних параметров СТС по критерию максимального или заданного запаса работоспособности обеспечивает работоспособное состояние системы на предстоящий период времени. Это особенно актуально для СТС водного транспорта, большинство из которых характеризуются параметрической нестабильностью. В том случае, если известна информация о границе области работоспособности, заданная в виде системы линейных ограничений на значения ее внутренних параметров, возможно построение целевой функции, обеспечивающей поиск оптимума на основе известных алгоритмов. При этом исключается зацикливание в процессе поиска, а полученный результат в относительных единицах характеризует запас работоспособности системы. Аналитическое описание области работоспособности на основе использования логических *R*-функций позволяет достаточно просто идентифицировать текущее состояние СТС и решать задачи прогнозирования. Рассмотренный метод был апробирован при решении задач параметрического синтеза электротехнических систем и устройств объектов водного транспорта.

Список литературы

1. Саушев, А. В. Основы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта / А. В. Саушев. – СПб. : ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2015. – 222 с.
2. Саушев, А. В. Структура процесса управления состоянием сложных электротехнических систем / А. В. Саушев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 23–30.
3. Абрамов, О. В. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности / О. В. Абрамов. – М. : Наука, 1992. – 176 с.
4. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 336 с.
5. Саушев, А. В. Области работоспособности электротехнических систем / А. В. Саушев. – СПб. : Политехника, 2013. – 412 с.
6. Саушев, А. В. Параметрический синтез электротехнических устройств и систем / А. В. Саушев. – СПб. : ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2013. – 315 с.
7. Yurkov, N. K. Synthesis of a Conceptual Model of a Subject Domain. Characteristic Features of Modeling Complex Systems / N. K. Yurkov // Measurement Techniques. – 2004. –Vol. 46, № 2. – February. – P. 128–133.
8. Баранов, Н. А. Управление состоянием готовности системы безопасности к отражению угрозы / Н. А. Баранов, Н. А. Северцев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 8–10.
9. Лысенко, А. В. Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС и методика его реализующая / А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 41–44.
10. Дедков, В. К. Компьютерное моделирование характеристик надежности нестареющих восстанавливаемых объектов / В. К. Дедков, Н. А. Северцев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2010. – Т. 1. – С. 368–370.
11. Yurkov, N. K. Characteristic Features of the Control of Complex Systems Utilizing Conceptual Models / N. K. Yurkov // Measurement Techniques. – 2004. – Vol. 47, № 4. – April. – P. 339–342.
12. Саушев, А. В. Параметрический синтез технических систем на основе линейной аппроксимации области работоспособности / А. В. Саушев // Автометрия. – 2013. – Т. 49, № 1. – С. 61–67.
13. Саушев, А. В. Планирование эксперимента в электротехнике / А. В. Саушев. – СПб. : СПГУВК, 2012. – 272 с.

14. Саушев, А. В. Структура, метод и алгоритмы оптимального параметрического синтеза динамических систем / А. В. Саушев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 1. – С. 214–217.
15. Саушев, А. В. Метод синтеза многопараметрических динамических систем на основе информации о границе области работоспособности / А. В. Саушев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 120 – 123.

Саушев Александр Васильевич
кандидат технических наук, профессор,
кафедра электропривода и электрооборудования береговых установок,
Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова
(198035, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7)
E-mail: saushev@bk.ru

Saushev Aleksandr Vasil'evich
candidate of technical sciences, professor,
sub-department of electric drive and electric equipment of coastal installations,
State University of sea and river fleet named after admiral S. O. Makarov
(198035, 5/7 Dvinskaya street, Saint-Petersburg, Russia)

Аннотация. Рассматривается метод определения оптимальных значений внутренних параметров технических систем, основанный на аналитическом описании области работоспособности, заданной в виде совокупности линейных ограничений. Формируется выражение для целевой функции, которая позволяет использовать любой известный поисковый метод оптимизации системы по критерию запаса работоспособности. Основой для построения целевой функции является аппарат логических *R*-функций.

Abstract. The method of determination of optimum values of internal parameters of technical systems based on the analytical description of area of the working capacity set in the form of set of linear restrictions is considered. Expression for criterion function which allows to use any known search method of optimization of system by criterion of a stock of working capacity is formed. A basis for creation of criterion function is the device of logical R-functionsand real electrotechnical systems at the solution of a problem of their parametrical optimization.

Ключевые слова: параметрический синтез, запас работоспособности, *R*-функции.

Key words: parametrical synthesis, stock of working capacity, *R*-function.

УДК 621. 396
Саушев, А. В.
К проблеме синтеза целевой функции параметрической оптимизации сложных технических систем / А. В. Саушев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3 (11). – С. 3–9.