

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.5:658.512

Ирзаев Г.Х.

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ПО КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Irzaev G.Kh.

NUMERICAL METHOD OF OPTIMIZATION THE CONSTRUCTION OF RADIO- ELECTRONIC DEVICE BY MANUFACTURABILITY CRITERION

Предложен численный метод оптимизации конструкции радиоэлектронного устройства на ранних этапах проектирования по критерию технологичности, когда отыскивается область допустимых отклонений в пространстве входных переменных, во всех точках которой выполняются ограничения на показатель технологичности. Практическая реализация метода позволяет получить экономию суммарных затрат на всех этапах жизненного цикла изделий.

Ключевые слова: радиоэлектронное устройство, оптимизация конструкции, критерий технологичности, управляющие переменные, монотонная функция.

The numerical method of optimization the construction of radio-electronic device at early design stages by criterion of manufacturability when the area of tolerances in space of input variables in which all points restrictions on a manufacturability index are executed is found is offered. Practical realization of a method allows to receive economy of cooperative expenses at all stages of life cycle of products.

Key words: radio-electronic device, optimization of construction, manufacturability criterion, controlling variables, monotonic function.

Введение. Установление рациональных границ изменения технологичности конструкций радиоэлектронных устройств (РЭУ) с учетом особенностей их функционального назначения, эксплуатации, технического уровня является сложной и недостаточно разработанной к настоящему времени проблемой, решение которой позволит получить ощутимый экономический эффект для предприятий отрасли приборостроения и радиоэлектроники за счет снижения ресурсоемкости их изделий. Наиболее приемлемый уровень технологичности изделия может быть определен при решении оптимизационной задачи. Задача оптимизации конструкции (конструкторско-технологических решений) РЭУ по критерию ее технологичности может быть поставлена и решена вследствие того, что существуют следующие предпосылки для ее рассмотрения:

- наличие выбора различных вариантов конструкций изделий с такими значениями соответствующих показателей, которые находятся в области рациональных значений (близких к оптимальной величине);
- наличие критериев оптимизации, по которым проводится сопоставление вариантов и выбор оптимальной конструкции;
- наличие методов решения оптимизационной задачи.

При этом оптимизация конструкции РЭУ по технологичности включает в себя оптимизацию как собственно проектируемого изделия, так и процесса его проектирования. Время и средства, затрачиваемые на разработку изделия, и сам процесс проектирования в значительной степени определяются структурой изделия и значениями его параметров. Характеристики процесса разработки изделия будут учитываться в таком

показателе технологичности как суммарные затраты на всех этапах жизненного цикла изделия. Отыскание оптимального по технологичности РЭУ возможно на всех этапах его проектирования, однако эффективнее задача оптимизации решается на самых ранних этапах разработки, так как при этом она может быть наиболее радикальной и требовать меньших экономических затрат [1, 2].

Постановка задачи. Имеем некоторое РЭУ – объект управления, для которого определен его показатель технологичности S . Допустим, что показатель является выпуклой и монотонной функцией управляющих переменных объекта управления $\bar{x} = \{x_j\}$, $j = \overline{1, n}$. Как показывает практика между показателем технологичности управляемого объекта и управляющими переменными, влияющими на этот показатель, отсутствуют явно выраженные функциональные зависимости, конкретные значения технологичности находятся по математической модели.

Пусть управляющие переменные объекта принимают значения из некоторой ограниченной области B n -мерного евклидова пространства $B \subset R^n$. Во всех точках области B определен $S(\bar{x})$, известны номинальные значения переменных $\bar{x}^0 = \{x_j^0\}$, $j = \overline{1, n}$ и соответствующее им значение показателя технологичности $S^0(\bar{x}^0)$.

Область допустимых вариаций управлений B^0 определим как множество возможных отклонений переменных от их номинальных значений \bar{x}^0 , при которых показатель технологичности конструкции объекта управления находится в заранее определенных ограничениях

$$\left| S(\bar{x}^0 + \Delta\bar{x}) - S^0(\bar{x}^0) \right| \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где $\Delta\bar{x}$ – отклонения управляющих переменных от номинальных значений; ε – допуск на показатель технологичности объекта управления.

Сформулируем следующую постановку задачи: по известному допуску на показатель технологичности конструкции объекта управления необходимо найти область в пространстве управляющих (входных) переменных, во всех точках которой выполняются ограничения на этот показатель. Для решения подобных задач с построением области допустимых вариаций переменных на практике используются методы обхода вдоль границы заданной области. Хотя эти методы дают наиболее полное и наглядное представление о конфигурации рассматриваемой области и ее количественных характеристиках, их применение ограничено размерностью задачи. Использование алгоритмов обхода вдоль границы в сочетании с методами сечения также неоправданно из-за больших затрат вычислительных ресурсов [3].

Другие методы, применяемые для нахождения области допустимых значений управляющих переменных, основаны на анализе чувствительности систем [4, 5]. При этом предполагается, что отклонения переменных от номинальных значений малы и изменения показателей эффективности от вариаций переменных могут быть линеаризованы. Поэтому для решения данной проблемы требуется разработка легко реализуемого на вычислительной технике метода определения области допустимых отклонений переменных.

Нахождение области допустимых отклонений управляющих переменных по известному допуску на показатель технологичности объекта управления. Если показатель технологичности некоторого объекта управления зависит от одной входной или управляющей переменной, то зависимость показателя S от переменной x выглядит так, как показано на рисунке.

Номинальному значению переменной x^0 соответствует номинальное значение показателя технологичности S^0 . Производная $\partial S / \partial x$ в точке x^0 определяет тангенс угла

наклона касательной к оси x . Тогда значение отклонения переменной определяется по формуле

$$\omega = \frac{\varepsilon}{\left| \frac{\partial S}{\partial x} \right|_{x=x^0}}.$$

Находим значения показателя технологичности S^+ и S^- в точках $x^0 + \omega$ и $x^0 - \omega$ соответственно. Если значение показателя технологичности находится в допустимых пределах, т.е. $|S^+ - S^0| \leq \varepsilon$ или $|S^- - S^0| \leq \varepsilon$, то допустимое отклонение переменной x от номинального значения x^0 находится в пределах от x^0 до $x^0 + \omega$ или от x^0 до $x^0 - \omega$ соответственно. Если же $|S^+ - S^0| > \varepsilon$ или $|S^- - S^0| > \varepsilon$, то значения отклонения управляющей переменной x от x^0 находим как $\frac{\varepsilon\omega}{|S^+ - S^0|}$ и $\frac{\varepsilon\omega}{|S^- - S^0|}$ соответственно.

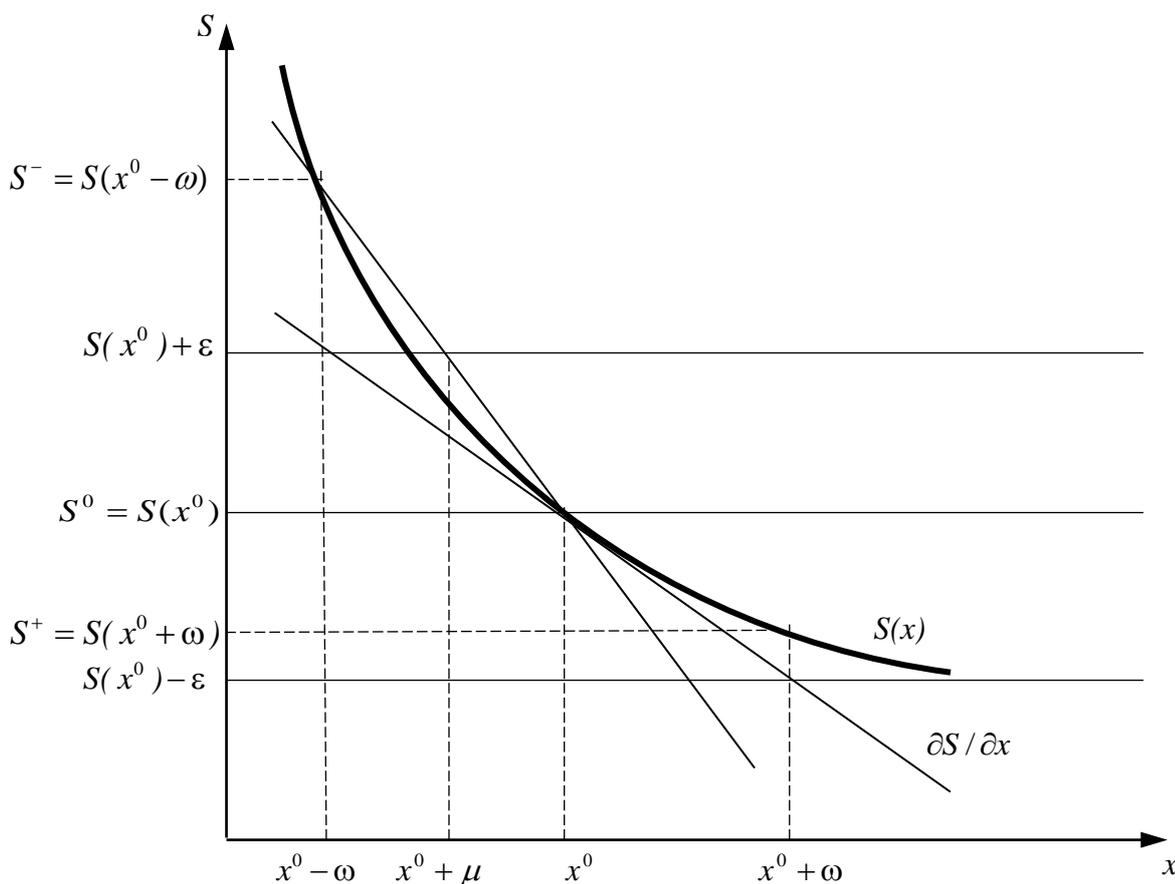


Рисунок 1 - Графическое представление задачи для случая зависимости показателя технологичности объекта от одной переменной

Рассмотрим случай, когда число управляющих переменных, влияющих на технологичность объекта, равно n . Если выполняется ограничение (1) и функция S – выпуклая монотонная функция переменных, то достаточно, чтобы отклонения

переменных $\Delta \bar{x}$ принимали значения из множества $\tilde{B} \subset B^0$, где $\tilde{B} = \{ \Delta \bar{x} \mid P \Delta \bar{x} \leq 1 \}$ [6]. В последнем выражении P – матрица размерности $2^n \times n$, строки которой образованы всеми возможными заменами компонент вектора $p_1 = \left\{ \frac{1}{\eta_1}, \dots, \frac{1}{\eta_n} \right\}$ на компоненты вектора $p_k = \left\{ \frac{1}{\mu_1}, \dots, \frac{1}{\mu_n} \right\}$, где $k = 2^n$, а величины η_j, μ_j определяются следующими соотношениями:

$$\eta_j = \begin{cases} \omega_j = \frac{\varepsilon}{\left| \frac{\partial S}{\partial x_j} \Big|_{\bar{x}=\bar{x}^0} \right|}, & \text{если } |S_j^+ - S^0| \leq \varepsilon \\ \frac{\varepsilon \omega_j}{|S_j^+ - S^0|}, & \text{если } |S_j^+ - S^0| > \varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_j = \begin{cases} -\omega_j, & \text{если } |S_j^- - S^0| \leq \varepsilon \\ -\frac{\varepsilon \omega_j}{|S_j^- - S^0|}, & \text{если } |S_j^- - S^0| > \varepsilon \end{cases}, \quad (3)$$

Где

$$\begin{aligned} S_j^+ &= S(x_1^0, \dots, x_j^0 + \omega_j, \dots, x_n^0), \\ S_j^- &= S(x_1^0, \dots, x_j^0 - \omega_j, \dots, x_n^0), \\ j &= \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для доказательства покажем, что $\tilde{B} \subset B^0$. Рассмотрим два множества

$$A_1 = \left\{ \Delta \bar{x} \mid S(\bar{x}^0 + \Delta \bar{x}) - S^0(\bar{x}^0) \geq -\varepsilon \right\} \text{ и } A_2 = \left\{ \Delta \bar{x} \mid S(\bar{x}^0 + \Delta \bar{x}) - S^0(\bar{x}^0) \leq \varepsilon \right\}$$

пересечение которых $B^0 = A_1 \cap A_2$ определит все $\Delta \bar{x}$, для которых выполняется условие (1). Замкнутое полупространство

$$T_1 = \left\{ \Delta \bar{x} \mid \sum_{j=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_j} \Delta \bar{x}_j \geq -\varepsilon \right\}$$

полностью содержится в A_1 , так как

$$S(\bar{x}^0 + \Delta \bar{x}) - S^0(\bar{x}^0) \geq \sum_{j=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_j} \Delta \bar{x}_j$$

в силу выпуклости $S(\bar{x})$. Тогда $\tilde{B} = A_2 \cap T_1$ – выпуклое подмножество множества B^0 . Покажем, что множество вершин \bar{x} принадлежат выпуклому множеству

$$\tilde{B} = \left\{ \bar{x} = \bar{x}_\eta \cup \bar{x}_\mu \right\},$$

$$\text{где } \bar{x}_\eta = \left\{ (x_1^0, \dots, x_{j-1}^0, x_j^0 + \eta_j, \dots, x_n^0), j = \overline{1, n} \right\}$$

$$\bar{x}_\mu = \left\{ (x_1^0, \dots, x_{j-1}^0, x_j^0 + \mu_j, \dots, x_n^0), j = \overline{1, n} \right\}.$$

Рассмотрим вершину

$$\bar{x}^* = (x_1^0, \dots, x_{j-1}^0, x_j^0 + \mu_j, \dots, x_n^0).$$

Пусть $S(\bar{x})$ – монотонно убывающая функция и $\eta_j = \omega_j$; тогда соответствующее $\Delta \bar{x}^*$ будет принадлежать T_1 по определению множества T_1 . Предположим, что $\Delta \bar{x}^* \notin \tilde{B}$, тогда $\Delta \bar{x}^* \notin A_2$, что противоречит условию монотонного убывания функции $S(\bar{x})$, следовательно, $\Delta \bar{x}^* \in \tilde{B}$.

Пусть $S(\bar{x})$ – монотонно возрастающая функция и $\eta_j = \frac{\varepsilon \omega_j}{|S_j^+ - S^0|}$, тогда

$$S(\bar{x}^0 + \Delta \bar{x}) - S^0(\bar{x}^0) \leq \frac{S(x_1^0, \dots, x_j^0 + \omega_j, \dots, x_n^0) - S^0(\bar{x}^0)}{\omega_j} \quad (5)$$

в силу выпуклости $S(\bar{x})$, причем при $\bar{x} = \bar{x}^*$ правая часть неравенства (5) равна ε , то есть $\Delta \bar{x}^* \in A_2$. Легко проверить, что $\Delta \bar{x}^* \in T_1$, следовательно, $\Delta \bar{x}^* \in \tilde{B}$.

Практическая реализация метода. Практическая реализация и экспериментальная проверка предлагаемого метода осуществлялась автором на ОАО Концерне «Кизлярский электромеханический завод» при проектировании навигационных РЭУ. В частности, метод был апробирован на устройстве оперативного контроля технического состояния систем и бортового оборудования самолетов. Изделие обеспечивает оперативную проверку бортового оборудования, контроль выхода параметров полета за летно-эксплуатационные ограничения, а также контроль за правильностью действий экипажа при эксплуатации летательного аппарата по информации от бортовых устройств регистрации. Прибор имеет специальное программное обеспечение и встраивается в автоматизированное рабочее место контроля технического состояния самолета при проведении регламентных, регулировочных, ремонтно-восстановительных и других работ по техническому обслуживанию совместно с другими контрольно-проверочными приборами.

При известном допуске на изменение технологичности конструкции изделия, заданном нормативными документами, с использованием соотношений (2)...(4) были найдены области допустимых отклонений управляющих переменных, в качестве которых выступали технологическая себестоимость, проектная трудоемкость и материалоемкость конструкции. На стадиях проектирования и технологической подготовки производства изделия удалось оптимизировать значения перечисленных показателей (переменных) так, что они позволили удержать комплексную технологичность конструкции в пределах нормативных значений для электронных изделий 0,75...0,95, тем самым сократить затраты всех видов ресурсов на реализацию проекта. В частности, технологическую себестоимость удалось снизить на 7 %, проектную трудоемкость на 3,5 % и материалоемкость на 4,2 % по сравнению с аналогом.

Метод может быть рекомендован для оптимизации сложных конструкций изделий приборостроения и радиоэлектроники на этапах проектирования и технологической подготовки производства.

Библиографический список:

1. Ирзаев Г.Х. Система оценки согласованности конструкций радиоэлектронных средств с технологией предприятия-изготовителя на этапе освоения // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 1(21). – С. 257-261.
2. Ирзаев Г.Х. Разработка функциональной и организационной структур комплексной системы управления технологичностью промышленных изделий // Автоматизация процессов управления. – 2011. – № 4 (26). – С. 66-75.
3. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. – М.: Сов. радио, 1976. -368 с.
4. Дембицкий Н.Л. Модели и методы в задачах автоматизированного конструирования радиотехнических устройств. М.: МАИ, 2011. - 203 с.
5. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. – М.: Лань, 2001. -384 с.
6. Волкович В.Л., Волошин А.Ф., Горлова Т.М. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления. – Киев: Наук. думка, 1984. -216 с.