УДК 621.369.52

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Г.В. Алёшин, докт. техн. наук

Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

В статье предложена одна из первых идей оптимальной стандартизации функциональных элементов радиотехнических систем. Получены в квадратурах соотношения для расчета соответствующих оптимальных стандартов или для их использования в системах автоматизированного проектирования с той же целью.

* * *

У статті запропоновано одну з перших ідей оптимальної стандартизації функціональних елементів радіотехнічних систем. Отримані у квадратурах відношення для розрахунку відповідних оптимальних стандартів або для їх використання в системах автоматизованого проектування з цією ж метою.

* * *

In clause one of the first ideas optimum standarting of functional elements of radio engineering systems is offered. Are received in quadrosolution of a parity for account of the appropriate optimum standards or for their use in systems of the automated designing with the same purpose.

Введение

Выполнив оптимизацию РТС на всех множествах с учетом всех показателей качества как на основе предложенных методов и идей, так и на основе известных ранее, и учтя все эксплуатационные расходы за определенный период, мы получим действительно оптимальную систему. Учитывая динамику цен элементов и интенсивность эксплуатации РТС, мы можем вычислить оптимальный физический и моральный срок службы системы. Но такие оптимальные системы производить нецелесообразно, как это ни покажется странным. Одну-две оптимальные системы еще, может, производить целесообразно. А если больше? Все дело в учете результатов совершенствования технологии в производстве систем, которые сказываются на снижении себестоимости производства от серии к серии, от номера изделия к номеру почти по экспоненциальному закону. Правда, конъюнктура рынка — дело тонкое. Снижения цены на изделие можно не дождаться, несмотря на снижение себестоимости. Однако учет снижения себестоимости полезен как для изготовителя, так и для заказчика и для страны в целом, т. к. влияние низких цен все равно будет заметно.

Цель статьи

Как учесть серийность производства? Нужны ли тогда задачи оптимизации? Ответы на эти вопросы содержатся в данной статье.

Постановка задачи

Такие задачи нужны, хотя мало кто знает, как достигать оптимума для сложных РТС. Получить оптимальный облик всех разрабатываемых систем — это полдела. Теперь следует правильно (оптимально) определить стандарты на функциональные элементы РТС. Идея оптимизации стандартов заключается в следующем. Зная все оптимальные технические параметры всех РТС, можно рассчитать плотность всех требуемых параметров по всему диапазону. Распределять стандарты по диапазону каждого технического параметра следует реже в несколько раз, чем там размещается N оптимальных параметров N выполняемых впервые создаваемых систем. За счет этого на один чуть более лучший стандарт будет приходиться несколько нелучших элементов разных систем, число которых и обозначает серийность.

Качественно допустим крайности. Если серийность мала, то интервал между стандартами равен интервалу между параметрами двух оптимальных систем. При этом нет серийности и, значит, нет выигрыша в себестоимости двух элементов. Другая крайность — серийность очень велика. Снижение себестоимости велико, но стоимость всех систем будет существоенно расти за счет значительного уклонения параметров элементов каждой из систем от своих оптимальных значений. Чувствуется оптимум, который требуется определить и поиск которого изложен далее.

Общеизвестно, что стандартизация аппаратуры, в том числе радиотехнической, имеет следующие преимущества по сравнению с аппаратурой с нестандартными элементами:

1) существенно ниже себестоимость изготовления совокупности систем за счет серийности элементов, 2) унификация, взаимозаменяемость и сопряжение деталей и узлов, 3) согласование протоколов, или унификация соединений, сочленений, 4) шире возможности использования стандартных элементов в любой аппаратуре другого или того же назначения и класса, 5) быстрый прогресс унифицированных узлов и элементов, а, значит, и систем со стандартными элементами.

Однако, существующая практика полуэвристического или просто интуитивного назначения стандартов не позволяет получить максимального эффекта от стандартизации элементов аппаратуры. Необходимо использовать не только экспертные оценки, предшествующий опыт с методом «проб и ошибок», но и результаты решения глобальной задачи стандартизации аппаратуры и элементов для того, чтобы выработать корректное решение о значениях и числе стандартов. Для радиотехнических систем такая задача чрезвычайно сложна. Однако для ряда простых, но типовых случаев такую задачу поставить и решить можно. Поставим и решим такую задачу для случая, когда радиотехническая система имеет один канал для измерения параметра движения или для передачи информации. Такая постановка задачи охватывает также случаи принятия решения о стандартах элементов одного канала несовмещенной многоканальной системы с последующим решением задачи (например, методом динамического программирования) для других каналов. Она включает также случаи принятия решения о стандартах элементов канала многоканальной совмещенной системы с последующим решением задачи для других каналов, использующим оптимизацию параметров совмещения.

Постановка и решение задачи стардатизации

Поставленная задача должна отражать следующие физические процессы при стандартизации элементов: 1) дискретизацию (стандартизацию) параметров X_{ij} элементов i-й системы (рис.1), и повышение за счет этого серийности элементов, 2) повышение себестоимости всей системы за счет отклонения значений стандартов от оптимальных параметров, обеспечивающих минимум ассигнований на систему при требуемом качестве выполнения задачи, и 3) снижение себестоимости элементов аппаратуры за счет серийности производства. На уровне идей задача ставится следующим образом. Пусть имеем элементные ряды (рис.1), параметры которых имеют ограниченный диапазон D_{xij} (j-го элемента i-й системы). Если бы потребность была в системе одного типа с определенными качественными показателями, то каждый элементный ряд вырождался бы в точку, определяемую в задаче оптимизации РТС [1]. Стандарты следовало бы выбирать в стационарной точке на множестве параметров системы. Однако, всегда имеется потребность во множестве разнотипных систем, либо систем с различными показателями качества, которые в совокупности должны обеспечиваться элементными рядами по типу рис.1, причем, $\forall i \in [1, N]$, а $\forall j \in [1, N_i]$. В этом случае имеется возможность повысить серийность элементов определенного типа, которые могут использоваться одновременно в нескольких системах. Это позволит снизить себестоимость изготовления таких элементов. Более того, серийность элементов целесообразно повышать, отступая даже от оптимальности параметров. Чем больше отступление от оптимальности параметров, тем, с одной стороны, меньше число стандартов и выше серийность элементов, т. е. снижается себестоимость элементов, а, с другой стороны, увеличение интервала между оптимальными и стандартными значениями приводит к росту требуемых ассигнований на системы и к резкому ухудшению качественных показателей всех

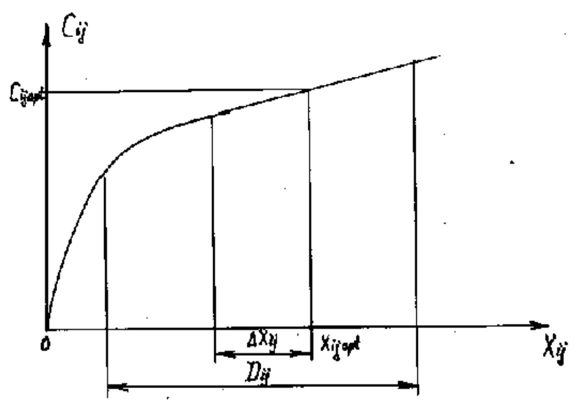

Рис. 1. Дискретизация параметров X_{ij} элементов i-й системы

РТС и, в результате, к существенному увеличению ассигнований на все РТС при сохранении требуемых качественных показателей. Очевидно, что должно существовать оптимальное значение отступления от стационарной векторной точки какой-либо системы, которое является компромиссом указанных технико-производственных противоречий и которое, собственно, и должно быть оптимальным стандартным значением параметра элемента РТС.

Рассмотрим простейший случай равномерного распределения оптимального параметра j-го элемента оптимальной системы по всему диапазону D_{xij}. В этом случае и Nj стандартов также располагаются равномерно. Поэтому интервал между стандартами ΔX_j не зависит от значения технического параметра X_{ij} и равен

$$\Delta X_j = \frac{D_{xj}}{N_j}, \qquad (1)$$

где N_j — число стандартов j-го параметра.

Пусть системы состоят из n_{pi} элементов одного назначения. Тогда средняя серийность l_j элемента с j-м параметром определится следующим образом

$$l_j = \frac{N}{N_j} = \frac{N \Delta X_j}{D_{xj}} = \frac{\Delta X_j}{\overline{X}_{0j}}, \qquad (2)$$

где N — число разрабатываемых систем,

$\Delta\overline{X}_{0j}$ — средний интервал параметра между оптимальными значениями.

Таким образом, если предположить, что оптимальные значения j-го параметра i-х систем $X_{ij\,opt}$ равномерно распределены в диапазоне $\left[X_{j\min}, X_{j\max}\right]$, где $X_{j\max} - X_{j\min} = D_{xj}$, то серийность j-го элемента будет определяться средним значением $\left(l_j\right)$. Предположим, что стоимости всех n_{pl} элементов i-й системы и все зависимости $C_i\left(\vec{X}_i\right)$ пересчитаны к одному времени, что возможно, поскольку обычно имеется соответствующая информация и прогнозы развития производства [2 - 4]. Учитывая динамику цен или себестоимости изделий, можно определить и методическую ошибку прогнозов. Ясно, что решение задачи стандартизации не может быть точнее. Однако, такой точности достаточно для получения существенной эффективности от стандартизации.

В общем виде на основании изложенного задача примет вид

$$C = \sum_{i=1}^{N} C_i\left(\vec{X}_{0j}, \Delta\vec{X}_{ij}, \vec{l}_j\right) \qquad (3)$$

при ограничениях на качественный показатель i-й системы, аналогичных [1, 2—4]:

$$\frac{A_i}{\prod\limits_{j=1}^{n_{i1}} X_{ij}} \le D_i\,, \qquad (4)$$

$$X_{ij\,\min} \le X_{ij} \le X_{ij\,\max}\,, \qquad (5)$$

где D_i — дисперсия ошибок измерений, или величина обратно пропорциональная энергетическому потенциалу радиолинии,
A_i — коэффициент пропорциональности.

Разложим целевую функцию (3) в ряд Тейлора в окрестности стационарной точки $\vec{X}_{0ij}$, удерживая члены первого порядка малости. Тогда

$$C_i \cong B_{i1} + \sum_{j=1}^{n_{i1}} C'_{0ij}\left(\vec{X}_{0ij}, \Delta\vec{X}_{ij}, \vec{l}_j\right)\left(X_{ij} - X_{0ij}\right), \qquad (6)$$

где $C'_{0ij} = \dfrac{\partial C_i}{\partial X_{0ij}}$, $B_{i1} = C_i\left(\vec{X}_{0ij}, \Delta\vec{X}_{ij}, \vec{l}_j\right)\Big/ X_{ij} = X_{0ij}$.

Динамику цен или себестоимости во времени или от номера серии можно сглаживать кривыми, указанными в [4].

$$C_{ij}\left(\vec{X}_{ij}\right) = C_{0ij}\left(\vec{X}_{0ij}, \Delta\vec{X}_{ij}\right)e^{-a_{ij}t} = C_{0ij}e^{-\beta_{ij}l_{ij}}, \qquad (7)$$

где $\beta_{ij} = a_{ij}T$,

a_{ij} — коэффициент, учитывающий темп снижения себестоимости и определяемый производительностью труда и др. факторами,
T — время производства изделия.

Учитывая (3—7), задачу можно записать в более простом виде

$$F = \min_{\{\gamma_{ij}\}} C = \min_{\{\gamma_{ij}\}} \sum_{i=1}^{N}\left[B_{i1} + K_i \sum_{j=1}^{n_{i1}}\left(1+\gamma_{ij}\right)e^{-K_{ij}\gamma_{ij}}\right] \qquad (8)$$

$$\text{при } \prod_{j=1}^{n_{i1}}\left(1+\gamma_{ij}\right) \ge 1\,, \qquad (9)$$

где $\gamma_{ij} = \dfrac{\Delta X_{ij}}{X_{0ij}}$, $K_{ij} = \dfrac{\beta_{ij}X_{0ij}N}{\text{Ђ}_{xj}}$, $K_i = C'_{0ij}X_{0ij}$ (ввиду оптимальности системы при X_{0ij}).

Сделав замену переменных $Z_{ij} = K_{ij}\left(1+\gamma_{ij}\right)$, получим

$$F = \min_{\{Z_{ij}\}} \sum_{i=1}^{N}\left(B_{i1} + K_i \sum_{j=1}^{n_{i1}} b_{ij}Z_{ij}e^{-Z_{ij}}\right) \qquad (10)$$

при $\prod\limits_{j=1}^{n_{i1}} Z_{ij} \le K_Z$,

где $K_Z = \prod\limits_{j=1}^{n_{i1}} K_{ij}$, $b_{ij} = \dfrac{l^{K_{ij}}}{K_{ij}}$.

Нетрудно убедиться, что зависимость разности целевой функции (8) и оптимальных ассигнований на нестандартную систему от расстроек, т. е. отклонений от стационарной точки, носит при малых расстройках квадратичный характер.

Действительно, на основании (8)

$$\Delta C = C - F = \sum_{i=1}^{N}\left[B_{i1} + K_i\sum_{j=2}^{n_{i1}}\left(1+\gamma_{ij}\right) + K_i\frac{1}{\prod\limits_{j=2}^{n_{i1}}\left(1+\gamma_{ij}\right)} - 1\right].$$

Отсюда

$$\Delta C = K_i\sum_{i=1}^{N}\left[\sum_{j=2}^{n_{i1}}\gamma_{ij} + 1 - \sum_{j=2}^{n_{i1}}\gamma_{ij} + \sum_{j=2}^{n_{i1}}\sum_{k=2}^{n_{i1}}\gamma_{ij}\gamma_{ik} - K - 1\right] \cong K_i\left(\sum_{j=2}^{n_{i1}}\gamma_{ij}\right)^2.$$

Очевидно, что задача (8, 9) оптимума при $\gamma_{ij} = 0$ не имеет поскольку не работает механизм образования серийных элементов РТС. В самом деле, $\gamma_{ij} = 0$ означает отсутствие отступлений от оптимальных параметров, т. е. все элементы всех систем изготавливаются по специальному заказу (на основании тактико-технических требований) каждый. Чем больше расстройки γ_{ij}, тем все большее число одинаковых (серийных) элементов возможно использовать в различных системах. Большие расстройки по всем параметрам не допускает ограничение (9). Поскольку нас обычно интересует $N >> 1$, хотя бы $N > 10$, то даже малые

γ_{ij} могут дать большие $Z_{ij} >> 1$. Большие Z_{ij} достигаются ценой уменьшения других каких-либо Z_{ij}, что определяется ограничением (9).

Поскольку $K_{ij} = a_{ij} T X_{0ij} N / D_{xj}$ прямо пропорциональны N, которое больше 1, а сомножители в выражении для K_{ij} порядка единицы, то и $K_{ij} > 1$, $K_Z >> K_{ij}$. В этом случае задачу (10) можно преобразовать к виду более простому

$$F = \min_{\{Z_{ij}\}} \sum_{i=1}^{N} \left(B_{i1} + K_i \sum_{j=1}^{n_{i1}} \varepsilon_{ij} e^{-Z_{ij}} \right) \qquad (11)$$

при
$$\prod_{j=1}^{n_{i1}} Z_{ij} \le K_Z,$$

где $\varepsilon_{ij} = b_{ij} Z_{0ij}$.

Аппроксимацию (11) легко объяснить тем, что хотя слагаемые $Z_{ij} e^{-Z_{ij}}$ изменяются немонотонно и имеют максимум при $Z_{ij} = 1$, минимум (10) должен достигаться при возможно больших значениях Z_{ij}, верхнее значение которых определяется достаточно большим $K_Z >> 1$. Поэтому в области $Z_{ij} >> 1$ слагаемое $Z_{ij} \exp(-Z_{ij})$ достаточно хорошо аппроксимируется функцией $\exp(-Z_{ij})$. Произведем замену переменных $Z_{ij} = \exp(q_{ij})$.

Тогда

$$F_i = B_{i1} + K_i \min_{\{q_{ij}\}} \sum_{j=1}^{n_{i1}} \varepsilon_{ij} e^{-e^{q_{ij}}} = B_{i1} + K_i \min_{\{q_{ij}\}} \sum_{j=1}^{n_{i1}} \varepsilon_{ij} b^{q_{ij}} \quad (12)$$

при
$$\sum_{j=1}^{n_{i1}} q_{ij} = \ln K_Z,$$

где $b = e^{-e}$.

Таким образом, удалось сформулировать задачу стандартизации РТС для простого, но достаточно типичного случая, для систем, у которых флуктуационные ошибки измерений или передачи информации превалируют над остальными. Задачу удалось получить в виде сепарабельного, либо т. н. вырожденного динамического программирования. Причем, задача решается точно, в общем виде (в квадратуре), что имеет несомненные преимущества перед приближенными методами. Решение можно определить методом динамического программирования по уравнению Беллмана

$$F_{iN}(\ln K_Z) = \underset{\{q_{iN}\}}{F} \left[\varepsilon_{iN} b_i^{+q_{iN}} + F_{iN-1}(\ln K_Z - q_{iN}) \right],$$

либо методом покоординатного спуска. Будем следовать последнему методу. Определим безусловный минимум для q_{i2}, включив ограничение в целевую функцию. Тогда

$$b^{q_{i2\,opt}} = \left(\frac{\varepsilon_{i1}}{\varepsilon_{i2}} \right)^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}\left(\ln K_Z - \sum_{k=3}^{n_{i1}} q_{ik} \right)},$$

$$q_{i2\,opt} = \frac{1}{\ln b} \ln \left(\frac{\varepsilon_{i1}}{\varepsilon_{i2}} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \left(\ln K_Z - \sum_{k=3}^{n_{i1}} q_{ik} \right),$$

$$F_2 = 2(\varepsilon_{i1}\varepsilon_{i2})^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}\left(\ln K_Z - \sum_{k=3}^{n_{i1}} q_{ik} \right)}.$$

Для определения закономерности в решении требуется еще один шаг

$$b^{q_{i3\,opt}} = \frac{(\varepsilon_{i1}\varepsilon_{i2})^{\frac{1}{3}}}{\varepsilon_{i3}^{2/3}} b^{\frac{1}{3}\left(\ln K_Z - \sum_{k=4}^{n_{i1}} q_{ik} \right)},$$

$$q_{i3\,opt} = \frac{1}{\ln b} \ln \frac{(\varepsilon_{i1}\varepsilon_{i2})}{\varepsilon_{i3}^{2/3}} + \frac{1}{3} \left(\ln K_Z - \sum_{k=4}^{n_{i1}} q_{ik} \right),$$

$$F_3 = 3(\varepsilon_{i1}\varepsilon_{i2}\varepsilon_{i3})^{\frac{1}{3}} b^{\frac{1}{3}\left(\ln K_Z - \sum_{k=4}^{n_{i1}} q_{ik} \right)}.$$

Выдвинем гипотезу об общем решении.

$$b^{q_{in_{i1}\,opt}} = \frac{\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}-1} \varepsilon_{ik} \right)^{\frac{1}{n_{i1}}} b^{\frac{1}{n_{i1}} \ln K_Z}}{\varepsilon_{in_{i1}}^{\frac{n_{i1}-1}{n_{i1}}}},$$

$$q_{in_{i1}\,opt} = \frac{1}{\ln b} \ln \frac{\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}-1} \varepsilon_{ik} \right)^{\frac{1}{n_{i1}}}}{\varepsilon_{in_{i1}}^{\frac{n_{i1}-1}{n_{i1}}}} + \frac{1}{n_{i1}} \ln K_Z, \qquad (13)$$

$$F_{n_{i1}} = n_{i1}\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}}} b^{\frac{1}{n_{i1}}\ln K_Z}.$$

Докажем решение методом математической индукции: решение верно для $m = 1,2$, если оно верно для $m = n_{i1}$, то оно должно быть верно и для $m = n_{i1} + 1$ и для любого m. Для $n_{i1} + 1$ согласно (13) решение должно быть следующим

$$b^{q_{i(n_{i1}+1)opt}} = \frac{\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}+1}} b^{\frac{1}{n_{i1}+1}\ln K_Z}}{\varepsilon_{i(n_{i1}+1)}^{\frac{n_{i1}}{n_{i1}+1}}}, \qquad (14)$$

$$F_{n_{i1}+1} = (n_{i1}+1)\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}+1}} b^{\frac{1}{n_{i1}+1}\ln K_Z}.$$

Согласно уравнению Беллмана

$$F_{n_{i1}+1} = \min_{\{q_{in_{i1}+1}\}}\left[\varepsilon_{n_{i1}+1} b^{q_{i(n_{i1}+1)}} + n_{i1}\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}}} b^{\frac{1}{n_{i1}+1}\left[\ln K_Z - q_{i(n_{i1}+1)}\right]}\right].$$

Отсюда

$$b^{q_{i(n_{i1}+1)opt}} = \frac{\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}+1}} b^{\frac{1}{n_{i1}+1}\ln K_Z}}{\varepsilon_{i(n_{i1}+1)}^{\frac{n_{i1}}{n_{i1}+1}}},$$

$$F_{n_{i1}+1} = (n_{i1}+1)\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}+1}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}+1}} b^{\frac{1}{n_{i1}+1}\ln K_Z},$$

что совпадает с (14). Следовательно, решение (13) справедливо для любого n_{i1}, что и требовалось доказать. Для анализа решения представим (13) в более полном виде, имея ввиду обозначения, используемые в (8—12)

$$q_{in_{i1}\,opt} = \frac{1}{n_{i1}}\sum_{j=1}^{n_{i1}}\ln K_{ij} - \frac{1}{e}\ln\frac{\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}-1}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}}}}{\varepsilon_{in_{i1}}},$$

$$F_{n_{i1}} = n_{i1}\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}\varepsilon_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}}} \exp\left(-e^{\frac{1}{n_{i1}}\sum_{j=1}^{n_{i1}}\ln K_{ij}+N}\right), \qquad (15)$$

где

$$\varepsilon_{ik} = \frac{e^{K_{ij}}}{K_{ij}},$$

$$\gamma_{ij\,opt} = \frac{\left(\prod_{k=1}^{n_{i1}}K_{ik}\right)^{\frac{1}{n_{i1}}}\left[e^{K_{ij}}\left(1+\gamma_{0ij}\right)\right]^{\frac{1}{e}}}{K_{ij}\left[\prod_{k=1}^{n_{i1}}e^{K_{ij}}\left(1+\gamma_{0ij}\right)\right]^{\frac{1}{en_{i1}}}} - 1.$$

Решение можно представить в более компактном виде, если ввести операторы среднего арифметического

$$A_{1m}(X_i) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}X_i$$

и оператор среднего геометрического

$$\Gamma_{1m}(X_i) = \left(\prod_{i=1}^{m}X_i\right)^{\frac{1}{m}}.$$

Тогда

$$\gamma_{ij} = \frac{e^{q_{ij}}}{K_{ij}} - 1,$$

где

$$q_{im} = \frac{K_{im}}{e^{K_{im}}Z_{0im}\ln b}\left[A_{im}(K_{im}) + \Gamma_{im}(K_{im})\right] - \left(\frac{K_{im}}{e^{K_{im}}Z_{0im}\ln b} - 1\right)\frac{1}{m}\ln K_Z,$$

$$F_{n_{i1}} = n_{i1}\Gamma_{in_{i1}}\left(1+\gamma_{0ij}\right)e^{A_{in_{i1}}(K_{ij}) - \Gamma_{in_{i1}}(K_{ij})e^N}, \qquad (16)$$

или

$$F_{n_{i1}} = n_{i1}\Gamma_{in_{i1}}\left(1+\gamma_{0ij}\right)e^{NA_{in_{i1}}\left(\frac{a_{ij}TX_{0ij}}{Ђ_{xj}}\right) - N^{n_{i1}}\Gamma_{in_{i1}}\left(\frac{a_{ij}TX_{0ij}}{Ђ_{xj}}\right)e^N}.$$

Выигрыш ΔC в стоимости стандартной аппаратуры по сравнению с оптимальной, но нестандартной можно представить в виде

$$\Delta C = C - F_{n_{i1}} = \sum_{i=1}^{N}n_{i1}K_i\left\{1 - \Gamma_{in_{i1}}\left(1+\gamma_{0ij}\right)\exp\left[A_{in_{i1}}(K_{ij}) - \Gamma_{in_{i1}}(K_{ij})e^N\right]\right\}. \qquad (17)$$

Решение является точным, если ограничения по стоимости (3) линейные функции. Для нелинейных, но выпуклых функций решение (15—16), полученное в виде формул, можно использовать как итерационное, подставляя вместо $Z_{0ij} = K_{ij}(1 + \gamma_{0ij})$ очередное значение γ_{0ij}. Итеративное решение можно использовать также для некоторого класса вогнутых, либо выпукло-вогнутых функций, аналогично [1]. Ограничения на параметр оказывают влияние лишь тогда, когда оптимальное значение выходит из диапазона. В этом случае такие параметры принимают равными предельным, после чего задача решается для остальных параметров.

Выводы

На основании изложенного можно сделать следующие выводы, относящиеся больше к случаям, отвечающим приведенным допущениям и ограничениям:

— возможно достаточно точное решение задачи стандартизации элементов, блоков и узлов измерительных одноканальных РТС в общем виде, либо задачи стандартизации соответствующей части блоков совмещенных одноканальных РТС;

— полученные соотношения позволяют рассчитывать оптимальные стандарты для указанного класса РТС;

— влияние ограничений на качественный показатель РТС по стоимости элементов (блоков) РТС являются более существенными, чем влияние расстроек по стоимости из-за несоответствия оптимальных и стандартных значений. Именно это позволяет упростить задачу стандартизации;

— выигрыш от стандартизации аппаратуры РТС тем существенней, чем больше число потребных систем N, и чем ближе по величине коэффициенты K_{ij}.

Приведенная методика во многих случаях пригодна также для стандартизации радиотехнических элементов блоков, поскольку показатель качества цепей во многих случаях можно представить в факторизованном виде в зависимости от параметров цепей. Кроме того, при желательности достижения $K_{ij} = K_{i(j-1)}$, очевидно, в каком направлении следует развивать соответствующие производства.

Литература

Алешин Г.В. Основы построения оптимальных информационно-измерительных радиотехнических систем. Харьков: ХВУ, 1994. – 252 с.

Кузнецова Д.Г., Намиот Е.Ю. Основные принципы оценки стоимости серийно изготавливаемой электронной аппаратуры. // Вопросы РЭ, 1969, №31, сер.12. – С. 27-38.

Талызин Н.В., Кантор Л.Я., Манякин Е.А., Паянский Ю.М. Об оптимальных параметрах и экономической эффективности многостанционной системы спутниковой связи. М.: Радиотехника, 1969 - №11. – С.39-46.

Консон А.С. Экономические расчеты в приборостроении. М.: Высшая школа, 1973. – 276 с.

Поступила в редакцию 28.07.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Поповский В.В., Харьковский Национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков