

УДК 621.396

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МНОГОУРОВНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Гришко Алексей Константинович, кандидат технических наук, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: ra4foc@yandex.ru

Юрков Николай Кондратьевич, доктор технических наук, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Артамонов Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: ra4foc@yandex.ru

Канайкин Виталий Александрович, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: admin@r4f.su

В статье показана значимость создания многоуровневых и многоэлементных несущих конструкций радиоэлектронных средств (РЭС). Предложена расширенная системная классификация параметров многоуровневых конструкций (РЭС) в соответствии с перспективными требованиями международных стандартов. На основе системного анализа показателей, определяющих требования к несущим конструкциям (НК), определена база исходных данных для проектирования оптимальных НК РЭС. Приведена расширенная классификация параметров, которые в общем случае следует использовать при проектировании оптимальных НК РЭС. Описана группа конструктивно-технологических параметров, относящихся к управляемым параметрам несущих конструкций. Систематизированы качественные параметры, обеспечивающие оценку уровня разработки НК. Выявлено, что для большинства качественных параметров отсутствуют количественные связи с группой управляемых параметров. Это обстоятельство приводит к необходимости получения экспертных прогнозов на основе уже существующего опыта и нормативной базы. Результаты исследования позволяют определить состав всех переменных оптимизации, критериев оптимальности и таким образом сформулировать задачу синтеза системы оптимальных НК.

Ключевые слова: сложная система, системный анализ, классификация, качество, показатели, радиоэлектронные средства, конструктивно-технологические решения

SYSTEM ANALYSIS OF PARAMETERS AND INDICATORS OF QUALITY OF MULTI-LEVEL CONSTRUCTIONS OF RADIO-ELECTRONIC MEANS

Grishko Aleksey K., Ph.D. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: ra4foc@yandex.ru

Yurkov Nikolay K., D.Sc. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Artamonov Dmitriy V., Ph.D. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: ra4foc@yandex.ru

Kanaykin Vitaly A., post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: admin@r4f.su

The article shows the importance of creating a multi-level and multi-element bearing structures of radio electronic means (RECs). The extension of the system of multi-level structures classification parameters (RECs) in accordance with the future requirements of international standards. Based on a systematic analysis of parameters that define the requirements for the supporting structures (NC), defined source data base for the design of optimal NK RES. Is an extension of the classification parameters, which in general should be used when

designing optimal NK RES. Described a group of design and technological parameters related to the control parameter bearing structures. Systematized quality parameters to ensure assessment of the level of development of NK. Revealed that for most qualitative parameters no quantitative connection with a group of controlled parameters. This leads to the necessity of obtaining expert predictions based on existing experience and regulatory framework. Results of the study to determine the composition of all the optimization variables, the optimality criteria and thus to formulate the problem of synthesis of optimal NK.

Keywords: complex system, system analysis, classification, quality, performance, radio electronics, design and technology activities

Введение. При получении представления о работоспособности сложных изделий радиоэлектронных средств (РЭС) на этапе проектирования и для учета чувствительность конструкций к случайным изменениям различных расчетных параметров применяют, как правило, вероятностный подход, позволяющий анализировать поведение исследуемых объектов на любом иерархическом уровне [11, с. 253].

Эта процедура при проведении восходящего анализа любой системы начинается с уровня элементарных компонентов и позволяет тщательно исследовать всю систему путем оценки влияния каждого ее элемента [1]. Таким образом, выявляются слабые места в конструкции и могут быть скорректированы конструктивно-технологические меры, направленные на обеспечение заданного уровня надежности [2, 3].

Несущая конструкция (НК) – это элемент конструкции или совокупность элементов, предназначенная для размещения составных частей радиоэлектронных средств (РЭС), обеспечения их устойчивости и прочности в заданных условиях эксплуатации [10]. НК является одной из базовых частей электронного блока, определяющей не только его форму и механические характеристики, но и качественные показатели всей РЭС – надёжность, ремонтпригодность, технологичность, удобство использования в эксплуатации.

Создание многоэлементных и многоуровневых НК РЭС носит, как правило, комплексный и долговременный характер и определяет многие показатели РЭС [10]. Такое положение, в частности, сложилось в отношении военной и космической техники, концепция проектирования которых в настоящее время пересматривается [2].

Возможность создания оптимизационной модели НК как системного объекта и эффективность реализации этой модели в значительной мере закладываются на этапе системного анализа НК. При этом важнейшей задачей является проведение общесистемной классификации параметров и показателей качества НК, на базе которой можно осуществить композицию целевой функции и ограничений синтеза.

Целью данной статьи был системный анализ требований к несущим конструкциям радиоэлектронных средств и разработка формализованных подходов к созданию оптимальной модели несущей конструкции.

Классификация параметров и показателей качества НК. Развитие положений системного анализа действующих факторов, определяющих требования к НК, позволяет установить базу исходных данных для проектирования оптимальных НК РЭС [10, с. 192]. В основу этого положено разделение множества требований по признакам, которые характеризуют назначение НК $\{S_n\}$; условия эксплуатации $\{S_s\}$; разработки $\{S_p\}$; производственно-экономические условия $\{S_n\}$; опыт разработки $\{S_o\}$.

Весь комплекс требований можно записать как

$$S = S_H \cup S_O \cup S_P \cup S_\Pi \cup S_O,$$

где множества:

$$S_H = \{S_H^{(1)}, S_H^{(2)}, \dots, S_H^{(k)}\},$$

$$S_O = \{S_O^{(1)}, S_O^{(2)}, \dots, S_O^{(k)}\},$$

$$S_P = \{S_P^{(1)}, S_P^{(2)}, \dots, S_P^{(k)}\},$$

$$S_\Pi = \{S_\Pi^{(1)}, S_\Pi^{(2)}, \dots, S_\Pi^{(k)}\},$$

$$S_O = \{S_O^{(1)}, S_O^{(2)}, \dots, S_O^{(k)}\}$$

являются собственными подмножествами множеств S .

Разделение требований к НК на группы позволяет определить их место в общей иерархии и сравнительную значимость.

С учетом комплексного взаимодействия между группами, совокупность требований к НК в конечном счете определяет множество параметров P , которые, следуя теории исследования операций [11], целесообразно разбить на следующие классы:

- фиксируемые Z задаются до начала разработки перечисленными выше требованиями или однозначно определяются ими и не изменяются в процессе синтеза;
- управляемые X подлежат выбору при проектировании;
- оценки качества Y характеризуют уровень новой разработки.

При этом $P = X \cup Y \cup Z$, а множества $X = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(i)}\}$, $Y = \{y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(i)}\}$, $Z = \{z^{(1)}, z^{(2)}, \dots, z^{(j)}\}$ являются собственными непересекающимися подмножествами множества P , т.е. $X \cap Y \cap Z = \emptyset$. Множество $X \cup Y = R \setminus Z$ определяет изменяемую часть проектируемой НК, а множество Z – ограничения типа равенств, неравенств, дискретности и др., в которых ищут решение задачи оптимального проектирования.

При формулировке задачи математического программирования все ограничения можно учесть через ограничения типа равенств и неравенств:

$$\forall_i = [1, n'] \exists \phi_i(P) = 0, \quad (1)$$

$$\forall_j = [1, m'] \exists g_j(P) \leq 0, \quad (2)$$

где n' и m' – количества ограничений того и другого типа, а ϕ_i и g_j – функции ограничений.

Очевидно, что ограничения дискретности на управляемые параметры, обусловленные стандартизацией структурных решений и типоразмерных рядов, вида $x^{(h)} \in A = \{a^{(i)}, a^{(i)}, \dots, a^{(i)}\} i \in I \in [1, n']$ сводятся к уравнениям (1), а простейшие односторонние и двусторонние ограничения на параметры оценки качества типа:

$$y^{(j_1)} \geq y_{\min}^{(j_1)}, j_1 \in I_1, \quad (3)$$

$$y^{(j_2)} \leq y_{\max}^{(j_2)}, j_2 \in I_2. \quad (4)$$

$y_{\min}^{(j_3)} \leq y^{(j_3)} \leq y_{\max}^{(j_3)}, j_3 \in I_3, I_1 \cup I_2 \cup I_3 = I'' \in [1, m']$ могут быть представлены в форме (2).

Отношения (1) и (2) устанавливают область допустимых значений изменяемых параметров. Именно фиксируемые параметры определяют границы допустимых решений, в

которых в процессе синтеза предстоит выбрать оптимальный набор управляемых параметров, соответствующих определенному варианту НК.

Расширенную классификацию параметров в общем случае следует использовать при проектировании оптимальных НК РЭС.

Фиксируемые параметры представляют наиболее широкий по составу класс, который включает нижеприведенные группы. Выбор номенклатуры групп и состава параметров в них осуществляется исходя из соображений «необходимости и достаточности». В данном случае это означает следующее: отсутствие дублирования одних и тех же параметров в разных группах; функциональную полноту характеристики рассматриваемых объектов с помощью выбранной совокупности параметров.

1. Схемотехнические параметры, характеризующие принципы действия функциональных устройств (ФУ) РЭС и подразделяющиеся на структурные и функциональные подгруппы. К первой подгруппе относятся параметры, устанавливаемые разработчиками аппаратуры исходя из предполагаемых схемотехнических решений: типы серий электрорадиоизделий (ЭРИ), типы электросоединителей и марки кабельных изделий с указанием частоты и вероятности их применения W_{ij} в перспективных РЭС [10]. При этом

$$\forall_i \in [1, n] \exists \sum_{j=1}^{m_i} W_{ij} = 1, \quad (5)$$

где n – количество групп элементов (например, группа ЭРИ, т.е. группа электросоединителей); m_i – количество x -типов элементов в i -ой группе. Во вторую подгруппу входят максимальные значения токов и напряжений в электрических цепях и диапазоны рабочих температур функциональных устройств.

2. Параметры элементной базы, подразделяющиеся на функциональные, массогеометрические, теплофизические, помехоустойчивости и механической прочности подгруппы.

Первая подгруппа включает степень интеграции и среднее количество задействованных выводов ЭРИ, стандартизированные параметрические ряды электросоединителей по числу контактов и коэффициенты нагрузки элементов электрической схемы.

Подгруппа массогеометрических параметров включает габаритные и установочные размеры заданных типов ЭРИ, стандартизированные типоразмерные ряды электросоединителей (расстояние между контактами и их рядами, присоединительные размеры), массы элементов.

Подгруппа теплофизических параметров включает допустимые величины мощности рассеивания и температуры (или допустимые перегревы) для каждого заданного типа ЭРИ.

К подгруппе, характеризующей помехоустойчивость, относятся параметры статической и динамической помехоустойчивости ЭРИ: напряжения порога срабатывания логического «0» и «1», допустимая длительность и амплитуда помехи и др. Здесь, в зависимости от степени проработки перспективных схемотехнических решений, могут задаваться дополнительные параметры, например, допустимые величины печатных проводников.

Последняя подгруппа содержит необходимые для расчета на прочность механические характеристики материалов несущих элементов. Однако могут непосредственно задаваться и допустимые значения прочностных параметров, например, прогибы корпуса или подложки ЭРИ.

3. Эксплуатационные параметры, которые подразделяются на параметры механических, климатических и специальных воздействий окружающей среды и определяются объектом-носителем РЭС.

Механические воздействия описываются параметрами ударных и вибрационных дестабилизирующих факторов, например типом и числом ударов, длительностью и формой ударного импульса, ускорением и диапазоном частот вибрации.

К параметрам климатических факторов относятся предельные и рабочие диапазоны температур, относительная влажность воздуха и другие параметры. Третья подгруппа включает параметры электромагнитных и иных воздействий, обусловленных специфическими для различных ФУ РЭС требованиями.

4. Параметры конструктивной базы, подразделяющиеся на структурные, массогеометрические, топологические, надежностьные подгруппы.

Первая подгруппа параметров содержит заданное количество уровней иерархии НК, допустимое количество конструктивных модулей КМ i -го уровня, возможные количества электромонтажных слоев, подлежащих выбору в процессе синтеза КП. Допустимые значения коэффициентов повторяемости на уровне деталей и сборочных единиц НК.

Вторая, наиболее содержательная подгруппа объединяет нормативные типоразмерные ряды, габаритные, установочно-присоединительные размеры и другие метрические, топологические параметры, а также допустимые массы конструктивных элементов и КМ НК. Эти параметры устанавливаются заданными методами конструирования, технологиями изготовления и контроля, способами обеспечения механической прочности и нормального теплового режима, а также применяемыми законами изменения соотношений размеров, (например, метрическими), формой несущих элементов, эстетическими, эргономическими и другими требованиями, предъявляемыми к НК.

К надежностьным параметрам НК целесообразно отнести механические характеристики конструкционных материалов, допустимые прогибы несущих элементов и т.д. [4]. Например, для одного и того же элемента НК может быть использовано несколько марок материалов с различными значениями предела прочности, из которых в процессе оптимизации выбирается наиболее подходящий материал. Следует отметить, что в общем случае желательно задавать допустимую вероятность безотказной работы, интенсивности отказов конструктивных элементов и КМ НК [3]. Однако целесообразность их включения в процессе синтеза технического решения зависит от того, найдены ли практически приемлемые уравнения связи между этими показателями надежности и конкретными параметрами НК, в том числе геометрическими размерами [12, 13].

5. Производственно-экономические параметры включают в себя две подгруппы – технологические и стоимостные.

Первая подгруппа включает директивную трудоемкость изготовления и нормативные частные и комплексные показатели технологичности, задаваемые при определенном масштабе производства.

Во вторую подгруппу включаются параметры, которые нормируют экономическую эффективность разработки: допустимые затраты на проектирование, изготовление и другие аспекты создания НК РЭС [11, 12].

Управляемые параметры, относящиеся непосредственно к НК, представлены в объединенной группе конструктивно-технологических параметров и в свою очередь подразделяются на подгруппы.

а. Структурные параметры, к которым, исходя из наиболее распространенной постановки задачи проектирования НК, следует, например, отнести фактические количества КМ i -го уровня в КМ i -го уровня, форму и материал элементов НК. В результате структурного синтеза также определяются некоторые аппаратные параметры ФУ: оптимальное количество ЭРИ каждого заданного типа, которые размещаются на синтезированной КП; количество контактов электросоединителей для КМ-го уровня.

б. Геометрические параметры НК характеризуются множеством размеров конструктивных элементов и КМ, величиной шагов установки для каждого типа ЭРИ при заданных количественных сигнальных слоях КП, методов изготовления и вариантах ориентации ЭРИ на КП.

Параметры оценки качества, координирующие и характеризующие уровень разработки НК, представляют особый класс параметров, который объединяет следующие основные группы [10].

Конструктивные параметры включают структурные, массогеометрические и надежностные.

К подгруппе структурных параметров относятся коэффициенты повторяемости на уровне деталей $K_{\Pi}^{\Pi} = N_{\Pi} / N_{\Pi\Delta}$, $K_{\Pi}^{сб} = N_{сб} / N_{\Pi\Delta}$, где N_{Π} и $N_{сб}$ – количество деталей и сборочных единиц соответственно; $N_{\Pi\Delta}$ и $N_{\Pi\Delta}$ – количество типоразмеров деталей и сборочных единиц.

Эти коэффициенты отражают уровень унификации НК и характеризуют тенденцию к рациональному сокращению номенклатуры конструктивных единиц.

В подгруппу массогеометрических параметров входят коэффициенты заполнения объема НК K^V и использования площади НК K^S :

$$K^V = \sum_{j=1}^m V_j N_j W_j / V; \quad (5)$$

$$K^S = \sum_{j=1}^m S_j N_j W_j / S, \quad (6)$$

где V_j, S_j – объем и площадь ЭРИ j -го типа.

$$\left(W_j \Leftrightarrow W_y, \sum_{j=1}^m W_j = 1 \right), \quad (7)$$

где V и S – объем и площадь ФУ, компонуемого в НК; N_j – общее количество ЭРИ j -го типа, размещаемых в НК (блоке, секции, стойке) или на КП.

Эти параметры оценки качества характеризуют функциональную емкость РЭС, определяемую количеством организуемых каналов связи на единицу объема оборудования с учетом обеспечения нормальной его работы при воздействии внутренних и внешних дестабилизирующих факторов. К этой подгруппе также относится коэффициент снижения массы K_M :

$$K_M = \frac{(M_A - \sum m_i N_y)}{M_A}, \quad (8)$$

где m_i – масса детали i -го типоразмера перспективной НК; M_A – общая масса аналога; N_y – j -е количество деталей i -го типоразмера. При этом соблюдаются условия $i \in [1, k]$ и $j \in [1, p]$.

Подгруппа надежностных параметров может включать вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ и другие обобщенные оценки надежности НК. Однако из-за сложности получения уравнения связи таких показателей с управляемыми параметрами НК в состав подгруппы можно включать косвенные частные оценки надежности, разделяющие характеризующие степень обеспечения НК нормального теплового режима (температура перегрева), механической прочности (прогиб), электромагнитной совместимости (емкость и индуктивность паразитных связей) и других заданных условий функционирования, в том числе вибрационных характеристик конструкции. Такие показатели находятся в тесном единстве с фиксируемыми параметрами, и их принято относить к разряду ограниченный типа односторонних неравенств (3) и (4).

Производственно-экономические параметры подразделяются, как уже говорилось выше (см. п. 5) на технологические и стоимостные.

Эти подгруппы содержат параметры оценки качества, отражающие достигнутый в результате разработки НК уровень технологичности и экономической эффективности, который определяется, например, трудоемкостью изготовления, коэффициентами технологичности, затратами на проектирование, изготовление, эксплуатацию. Эти показатели качества принято относить к разряду ограничений типа (3) и (4).

Для большинства из этих параметров не установлены количественные связи с управляемыми параметрами, поэтому в процессе проектирования такие параметры оцениваются экспертным прогнозом на основе аналогичного опыта и нормативов.

Следует отметить, что между параметрами (в том числе отнесенными к одной группе и из разных) классов и одного класса существует внутреннее единство и неразрывные взаимосвязи. Так, изменение в процессе синтеза технического решения любого из управляемых структурных параметров влечет за собой изменение определенного множества управляемых геометрических параметров. Это еще раз подчеркивает необходимость рассмотрения НК как сложной системы, а решение задачи ее оптимального проектирования – как проблемы синтеза, который должен быть обоснован системным анализом проблемы [5].

Вывод. Проведенная на основе системного подхода классификация параметров, используемых при проектировании НК, позволяет вплотную подойти к формулировке задачи формализации синтеза системы оптимальных НК, которая включает определение состава переменных оптимизации, выраженных через управляемые параметры; заданию критерия оптимальности на основе интеграции существенных показателей качества; определению ограничений на управляемые параметры.

Список литературы

1. Горячев Н. В. Автоматизированный выбор системы охлаждения теплонагруженных элементов радиоэлектронных средств / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, К. С. Петелин и др. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 136–143.
2. Ананьев А. С. Концепция проведения предпроектных исследований информационных систем / А. С. Ананьев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2 (22). – С. 12–19.
3. Арканов А. В. Метод оценки показателей качества испытываемых сложных технических систем с использованием априорной информации / А. В. Арканов, В. И. Лобейко, А. В. Старусев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 2. – С. 39–43.
4. Артамонов Д. В. Динамика конструктивных элементов изделий в виде слоистых панелей / Д. В. Артамонов, М. А. Литвинов, А. Н. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 – С. 125–134.
5. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–180.
6. Горячев Н. В. Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н. В. Горячев, М. К. Танатов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 70–75.
7. ГОСТ РВ 20.39304-2003. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к стойкости и внешним воздействующим факторам.
8. Гришко А. К. Проблемы эффективного автоматизированного проектирования управляемых технических систем / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. – 2010. – Т. 1. – С. 285–287.
9. Гришко А. К. Теоретические и методологические основы понятия качества сложных технических систем / А. К. Гришко, В. А. Канайкин, В. А. Корж, А. С. Подсякин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. – 2012. – Т. 1. – С. 132–135.
10. Технология радиоэлектронных средств : учеб. пос. / Н. К. Юрков, А. К. Гришко, Л. А. Тюрина, М. В. Чернецов ; под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПензГУ, 2007. – 344 с.

11. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction / Хемди А. Таха. – Москва : Вильямс, 2007. – 912 с.
12. Yurkov N. K. Hierarchical model of technological design system. Measurement Techniques / N. K. Yurkov, A. V. Blinov, A. N. Yakimov. – N.Y. : Springer, 1999. – Vol. 42, № 5, May. – P. 433–436.
13. Yurkov N. K. Conceptual approach to introduction of information technology into the field of simulation. Measurement Techniques / N. K. Yurkov, A. N. Andreev, A. V. Blinov, A. N. Yakimov. – N.Y. : Springer, 1999. – Vol. 42, № 5, May. – P. 421–426.

References

1. Goryachev N. V., Grab I. D., Petelin K. S. et al. Avtomatizirovannyi vybor sistemy okhlazhdeniya teponagruzhennykh elementov radioelektronnykh sredstv [Automated selection of the cooling system of thermally loaded components of electronic funds]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 4, pp. 136–143.
2. Anan'ev A. S. Kontseptsiya provedeniya predproektnykh issledovaniy informatsionnykh sistem [The concept of pre-Information Systems Research]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 2 (22), pp. 12–19.
3. Arkanov A. V., Lobeyko V. I., Starusev A. V. Metod otsenki pokazateley kachestva ispytyvaemykh slozhnykh tekhnicheskikh sistem s ispolzovaniem apriornoy informatsii [Method of assessing the quality of test complex technical systems using the priori information]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, № 2, pp. 39–43.
4. Artamonov D. V., Litvinov M. A., Litvinov A. N. Dinamika konstruktivnykh elementov izdeliy v vide sloistykh paneley [Dynamic structural elements of products in the form of layered panels]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [News of Higher Educational Institutions. The Volga Region. Engineering Sciences], 2013, no. 1, pp. 125–134.
5. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ograniчений i riskov [Models and methods for selecting optimal sets of solutions for planning under resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 169–180.
6. Goryachev N. V., Tanatov M. K., Yurkov N. K. Issledovanie i razrabotka sredstv i metodik analiza i avtomatizirovannogo vybora sistem okhlazhdeniya radioelektronnoy apparatury [Research and development of tools and techniques for analysis and automated selection of cooling radioelectronic equipment]. *Nadezhnost i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and Quality of Complex Systems.], 2013, no. 3, pp. 70–75.
7. GOST RV 20.39304-2003. Apparatus, devices and equipment for military purposes. Requirements for durability and external factors.
8. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Trusov V. A. Problemy effektivnogo avtomatizirovannogo proektirovaniya upravlyaemykh tekhnicheskikh sistem [Problems of effective automated design of managed engineering systems]. *Nadezhnost i kachestvo: trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and Quality: Proceedings of the International Symposium], 2010, vol. 1, pp. 285–287.
9. Grishko A. K., Kanaykin V. A., Korzh V. A., Podsyakin A. S. Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy ponyatiya kachestva slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Theoretical and methodological concepts of quality of complex technical systems]. *Nadezhnost i kachestvo: trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and Quality: Proceedings of the International Symposium], 2012, vol. 1, pp. 132–135.
10. Yurkov N. K., Grishko A. K., Tyurina L. A., Chernetsov M. V., Yurkova N. K. (ed.) Tekhnologiya radioelektronnykh sredstv [The technology of radio electronic means]. Penza, Penza State Univ. Publ., 2007. 344 p.
11. Khemdi A. Takha. Vvedenie v issledovanie operatsiy [Operations Research: An Introduction]. Moscow, Williams, 2007. 912 p.
12. Yurkov N. K., Blinov A. V., Yakimov A. N. Hierarchical model of technological design system. Measurement Techniques. N.Y., Springer, 1999. Vol. 42, no. 5, May, pp. 433–436.
13. Yurkov N. K., Andreev A. N., Blinov A. V., Yakimov A. N. Conceptual approach to introduction of information technology into the field of simulation. Measurement Techniques. N.Y., Springer, 1999. Vol. 42, no. 5, May, pp. 421–426.