УДК 004
DOI: 10.30987/article_5b28d1a0c65b83.62480221

Д.С. Мишин, В.Т. Еременко, М.Ю. Рытов

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ

Рассматриваются вопросы постановки задач оптимизации надежности. Предлагаются порядок формулирования задач оптимизации надежности, а также вариант оптимизации надежности системы с несколькими ограничениями, позволяющий реализовать нахождение оптимальных вариантов.

Ключевые слова: оптимизация надежности, социально-экономические системы, процедуры анализа, сложная структура с несколькими ограничениями.

D.S. Mishin, V.T. Eryomenko, M.Yu. Rytov

SIMULATORS AND METHODS TO SOLVE PROBLEMS OF RELIABILITY OPTIMIZATION OF SYSTEMS WITH COMPLEX STRUCTURE

In the solution of management problems of organization-technical systems a substantial role is played by monitoring realization and an obligatory analysis of a current state. The efficiency of the fulfillment of similar problems makes demands to setting a problem of reliability optimization. Having a complex structure non-sequential systems are widespread in use. In cases of high indices of separate system failures they become unacceptable for practical use. This paper reports the order of the formulation of problems on reliability optimization and a way for the realization of defining optimum ways in the course of system reliability optimization with some limitations. The offered option for system reliability optimization has a high computation complexity, but also allows defining optimum ways of resource costs keeping at the same time the values required.

Key words: reliability optimization, social-economic systems, analysis procedures, complex structure with some limitations.

Введение

При решении задач управления организационно-техническими системами, обладающими сложной непоследовательной структурой и содержащими одно или несколько ограничений, значительную роль играют мониторинг и анализ текущего состояния. Проведение мониторинга на протяжении некоторого времени способствует выявлению динамики поведения системы и определению надежности применяемых элементов, что позволяет составлять прогноз по продолжительности работоспособного состояния системы для выполнения определенных задач.

Надежность сложной непоследовательной организационно-технической системы оказывает непосредственное влияние на ее работоспособность, вследствие чего возникает потребность в оптимизации данной системной характеристики, которая может быть осуществлена на основании предварительного анализа возможных методов решения поставленной задачи, способных привести к достижению установленной цели.

Постановка задач оптимизации надежности сложных систем

Проектирование систем, имеющих сложную структуру, в совокупности с решением задач оптимизации их надежности является более трудоемким процессом, чем аналогичные процедуры с последовательными системами, что объясняется некоторой вычислительной сложностью определения показателей надежности. Однако за счет имеющейся сложности появляется возможность нахождения оптимальных вариантов ресурсных затрат при условии соблюдения требуемых значений.

Ввиду наличия у сложных систем управления широкого спектра применения, а также высокой вероятности их функционирования в условиях отказа отдельных подсистем показатели надежности, характерные для последовательных систем, даже при использовании оптимального резервирования на практике, как правило, являются неприемлемыми. Применение указанных формул для определения надежности сложных систем возможно в качестве критериев в моделях задач оптимального резервирования сложных систем. В целях повышения надежности, учитывая возможное ограничение ресурсов, целесообразно использовать способ резервирования на уровне подсистем и резервных элементов отдельных подсистем [1].

Для системы, состоящей из n подсистем, характерна следующая особенность: у каждой j-й подсистемы, независимо от остальных, возможно либо работоспособное состояние, которое можно обозначить через булеву переменную $s_j = 1$, либо состояние отказа $s_j = 0$. В таком случае описание множества G вероятных состояний системы возможно через n-мерный вектор $s = (s_1, \ldots, s_j, \ldots, s_n)$. Для каждого состояния системы s, входящего в множество G, характерен показатель условной вероятности $\Phi(s)$ функционирования системы в данном состоянии, значения которого находятся в пределах $0 \le \Phi(s) \le 1$.

Чтобы построить различные варианты υ_j j-й подсистемы, необходимо использовать элементы $u_{jk} \in U_j, k \in K_j$, одного или нескольких типов, имеющих различные технико-экономические характеристики, но идентичное функциональное назначение. Здесь U_j – множество разнотипных элементов j-й подсистемы, $K_j = \{1,2,\ldots,k_j^*\}$ – множество типов элементов. Элементы u_{jk} характеризуются надежностью $p_j(u_{jk})$, показателями ресурсов $g_{ij}(u_{jk})$ и резервируются с кратностью резервирования $\lambda_{jk} \in [\alpha_{jk}, \beta_{jk}]$, $0 \le \alpha_{jk} < \beta_{jk} < \infty$. В случае $\upsilon_j \in V_j$ значения показателей надежности $p_j(\upsilon_j)$ и ресурсов $g_{ij}(\upsilon_j)$ определяются с помощью элементного состава варианта, способа соединения элементов, кратности резервирования и числа типов элементов, которые в него входят.

В случае $\upsilon = (\upsilon_1, \ldots, \upsilon_n) \in V = \prod_{j \in J} V_j$ надежность $P(\upsilon)$ всей системы определяется с использованием условных вероятностей $\Phi(s), s \in G$, надежностей подсистем $p_j(\upsilon_j)$ и вычисляется по формуле $P = \sum_{(j_1,\ldots,j_l) \in G} \Phi_{j_1,\ldots,j_l} H_{j_1,\ldots,j_l}$. В случае системы $\upsilon \in V$ показатели ресурсов $g_i(\upsilon), i \in I$, выражаются с помощью показателей ресурсов $g_{ij}(\upsilon_j)$ подсистем.

Чтобы обеспечить бесперебойную работу, целесообразно выбрать вариант $\upsilon \in V$ системы, имеющий максимальную надежность, учитывая заданные ограничения $b_i, i \in I$, на ресурсы.

При использовании системы, имеющей сложную (непоследовательную) структуру, задачу оптимизации надежности можно сформулировать следующим образом: максимизировать

$$P(\upsilon) = \sum_{s \in G} \hat{O}(s) \prod_{j \in J} p_j(\upsilon_j)^{s_j} \left(1 - p_j(\upsilon_j)\right)^{1 - s_j} \quad (1.1)$$

при ограничениях

$$g_i(\upsilon) \le b_i, i \in I_1 = \{1,2,\ldots,l\}, \quad (1.2)$$

$$g_i(\upsilon) \ge b_i, i \in I_2 = \{l+1,\ldots,m\}, \quad (1.3)$$

$$\upsilon = (\upsilon_1,\ldots,\upsilon_j,\ldots,\upsilon_n) \in V = \prod_{j \in J} V_j. \quad (1.4)$$

Суммирование по формуле (1.1) осуществляется по всем состояниям $s \in G$, для которых $\Phi(s) > 0$. Формулы (1.1) – (1.4) являются достаточно общими, возможно их использование при оптимизации надежности широкого класса технических систем. Трудности при решении задачи (1.1) – (1.4) возникают главным образом из-за несепарабельности функции надежности $P(\upsilon)$ (она является нелинейной в общем случае), дискретности переменных и т.д.

При предположениях для показателей $\Phi(s)$ (с учетом того, что при любом состоянии системы, включающей в себя существенные компоненты, справедливо $\Phi_{j_1,\dots,j_{l=1}} \le \Phi_{j_1,\dots,j_l}$, где $(j_1,\dots,j_l) \in G$, $(j_1,\dots,j_{l=1}) \in G$) функция $P(\upsilon)$ - монотонная по переменным $p_j(\upsilon_j)$, $j \in J$, что приводит к возможности использования методов дискретной оптимизации при решении задачи (1.1) – (1.4).

При рассмотрении монотонной структуры показатель $\Phi(s)$ является структурной функцией системы, которая принимает значения 0 и 1. Тогда расчет надежности монотонной системы необходимо выполнять по формуле (1.1), где суммирование осуществляется по всем $s \in G$, для которых $\Phi(s) = 1$.

Вопросы решения задач оптимизации надежности монотонных систем рассматриваются в [2]. В данной работе предлагается исследовать обратную задачу оптимизации надежности монотонной системы с одним ограничением: минимизировать стоимость

$$g(p) = \sum_{j \in J} g_j(p_j) \qquad (1.5)$$

при ограничении на надежность

$$P(p) = \sum_{s \in G} \Phi(s) \prod_{j \in J} p_j^{s_j} (1 - p_j)^{1 - s_j} \ge P_0, \quad (1.6)$$

где P_0 – требуемый уровень надежности $p = (p_1,\dots,p_j,\dots,p_n)$; $g_j(p_j)$ – стоимость j-й подсистемы (возрастающая функция от надежности подсистем p_j, $j \in J$); $g(p)$ – стоимость всей системы.

В процессе решения задачи (1.5) – (1.6) используется подход, в основе которого лежат идеи декомпозиции (разложение системы на отдельные модули или совокупности подсистем). В этом случае необходимо определить надежность каждого модуля, решив подзадачи с меньшей относительно исходной размерностью, используя множители Лагранжа. Тогда нижняя граница оценки надежности всей системы строится с применением оценки надежности модулей. В случае с последовательными системами данный подход позволяет получить глобальный оптимум.

Ряд работ предлагают использование различных методов при решении задач оптимального резервирования, содержащих несколько ограничений для систем, имеющих последовательную или сложную структуру. Наиболее оптимальными являются алгоритмы, которые представлены в работах [3; 4], где приведено описание следующей задачи оптимального резервирования: максимизировать

$$P(p_1(\lambda_1), p_2(\lambda_2), \dots, p_n(\lambda_n)) \qquad (1.7)$$

при ограничениях

$$g_i(\lambda) \le b_i, \ i \in I, \qquad (1.8)$$

$$\lambda = (\lambda_1,\dots,\lambda_n), \ \lambda_j \text{ – целое, } j \in J, \quad (1.9)$$

где $p_j(\lambda_j) = 1 - (1 - p_j)^{\lambda_i}$ – надежность j-й подсистемы при выборе резервных элементов λ_j; $g_j(\lambda)$, $i \in I$ – технико-экономические характеристики (например монотонно неубывающие функции по λ_j).

Таким образом, алгоритм решения задачи (1.7) – (1.9) заключается в следующем.

Находится начальное допустимое решение

$$\lambda = \min_{i \in I} \frac{n b_i}{g_i(\lambda^0)},$$

где λ^0 – n-мерный вектор с компонентами $\lambda_j = 1$, $j \in J$. Полученное решение можно улучшить, добавив резервные элементы в подсистемах. Тогда пропорционально значению нормализованной частной производной

$$r_j = \frac{1}{p_j} \frac{\partial P}{\partial p_j}, \ j \in J,$$

которая для сложных систем вычисляется по формуле

$$r_j = \frac{1}{p_j} \left[P(p_1,\dots,p_n)\Big|_{p_j=1} - P(p_1,\dots,p_n)\Big|_{p_j=0} \right],$$

$$j \in J,$$

компоненты полученного решения вычисляются следующим образом:

$$\lambda_j = \max\{[X r_j], 1\}, \ j \in J,$$

где $X = \lambda / \sum_{j \in J} r_j$; $[\cdot]$ – ближайшее целое.

Окончание вычислений наступает в момент, когда получаемые решения находятся в допустимой области, иначе необходимо изменить количество резервных элементов λ_j в подсистемах (в зависимости от положительной или отрицательной погрешности округления $l_j = \lambda_j - Xr_j$), не нарушив ограничения (1.8). Применение данного алгоритма является целесообразным для оптимизации надежности сложной системы, состоящей из пяти подсистем. В работе [3] приведена модификация рассматриваемого алгоритма, применяемая при решении задачи оптимального резервирования в следующей постановке: максимизировать

$$P\left(p_1\left(p_1,\lambda_1\right), p_2\left(p_2,\lambda_2\right),\dots, p_n\left(p_n,\lambda_n\right)\right)$$

при ограничениях

$$\sum_{j\in J} g_{ij}\left(p_j,\lambda_j\right) \le b_i\ ,\ i \in I\ ,$$

где p_j – действительное число между 0 и 1; λ_j – целые положительные числа. При решении задачи следует определить количество резервных элементов λ_j и значения p_j, $j \in J$.

В отдельных случаях задача оптимального резервирования заключается в минимизации ненадежности системы

$$Q\left(Q_1\left(\lambda_1\right), Q_2\left(\lambda_2\right),\dots, Q_n\left(\lambda_n\right)\right),$$

где $Q_j\left(\lambda_j\right) = q_j^{\lambda j}$ – ненадежность j-й подсистемы при ограничениях.

Чтобы оптимизировать надежность сложных сетей, необходимо задать функцию надежности посредством параметрического представления, не являющегося сепарабельной функцией для сложных сетей. Таким образом, задачу оптимизации надежности сети возможно формализовать в классе задач нелинейного дискретного программирования.

В этом случае реализация метода происходит в несколько этапов. На первом этапе на основе алгоритма, являющегося модификацией метода BOX, определяется нецелочисленное решение задачи и принимается за начальное значение надежности сети. На втором этапе используется метод ветвей и границ, с помощью которого из полученных результатов формируется целочисленное решение [5].

Оптимизация надежности непоследовательной системы при нескольких ограничениях

Рассмотрим систему, состоящую из n подсистем j, $j \in J = \{1,2,\dots,n\}$, где каждая j-я подсистема, вне зависимости от остальных, может находиться в состоянии работоспособности или отказа. В этом случае в любой произвольный момент времени $t \in T$ система может находиться в одном из 2^n состояний, которые, в свою очередь, определяются (при предположении о независимости отказов) через текущие состояния ее подсистем.

Состоянию системы в текущей момент соответствует показатель условной вероятности $P_{j_1,\dots,j_l}$ ее функционирования. Подсистемы

$$j_1,\dots,j_l \in J_0 = \left\{\left(j_1,\dots,j_l\right) \middle| 1 \le j_1 < \dots < j_l \le n; l = \overline{1,n}\right\} \cup \{0\}$$

находятся в состоянии отказа, а остальные – работоспособны. Показатель условной вероятности функционирования системы, отражающий работоспособность всех систем, обозначается P_0.

Подсистема j может реализовываться в нескольких различных вариантах υ_{jl_j}, конечное множество которых можно обозначить $V_j = \left\{\upsilon_{j1},\dots,\upsilon_{jl_j},\dots,\upsilon_{jl_j^*}\right\}$, $j \in J$, где l_j^* - число вариантов j-й подсистемы.

Каждый l_j-й вариант υ_{jl_j} j-й подсистемы характеризуется надежностью $p_j\left(\upsilon_{jl_j}\right)$, $j \in J$, и учитываемыми при проектировании системы m технико-экономическими характеристиками (ресурсами) $g_{ij}\left(\upsilon_{jl_j}\right)$, $j \in J$, $i \in I = \{1,2,\dots,m\}$. Следовательно, можно утверждать, что в данной задаче задаются явно множества вариантов подсистем V_j, $j \in J$, и значения показателей ресурсов на вариантах подсистем. Для всей системы в целом устанавливаются ограничения b_i, $i \in I$, по таким ресурсам, как масса, стоимость и т.п. Необходимо выбрать вариант $\upsilon = \left(\upsilon_{1l_1},...,\upsilon_{jl_j},...,\upsilon_{nl_n}\right)$ системы, позволяющий максимизировать надежность и удовлетворяющий существующим ограничениям на ресурсы [6].

Математическая модель сформулированной задачи: максимизировать

$$P(\upsilon) = \sum_{j_1,...,j_l} P_{j_1,...,j_l} \prod_{\substack{j \in J \\ j \neq j_1,...,j_l}} p_j\left(\upsilon_{jl_j}\right) \prod_{k \in \{j_1,...,j_l\}} \left(1 - p_k\left(\upsilon_{kl_k}\right)\right) \qquad (2.1)$$

при ограничениях

$$g_i(\upsilon) = \sum_{j \in J} g_{ij}\left(\upsilon_{jl_j}\right) \leq b_i,\ i \in I, \qquad (2.2)$$

$$\upsilon = \left(\upsilon_{1l_1},...,\upsilon_{jl_j},...,\upsilon_{nl_n}\right) \in V = \prod_{j \in J} V_j, \qquad (2.3)$$

где $P(\upsilon)$, $g_i(\upsilon)$, $i \in I$ – показатели надежности и технико-экономических характеристик на варианте $\upsilon \in V$ системы.

Если $P_0 = 1$, а остальные условные вероятности равны нулю, то задача (2.1) – (2.3) представляет собой задачу оптимизации надежности последовательной системы. Множество $V = \prod_{j \in J} V_j$ можно назвать множеством возможных вариантов технической реализации системы. Вариант $\upsilon \in V$ является допустимым при удовлетворении условиям (2.2). Допустимый вариант υ^* является оптимальным при максимизации целевой функции (2.1). Таким образом, задача (2.1) – (2.3), при монотонности функции $P(\upsilon)$, в математической постановке относится к классу дискретных монотонных задач оптимизации.

Далее рассмотрим процедуры анализа и отсева вариантов и алгоритмов оптимизации. В алгоритме решения задачи (2.1) – (2.3) заложены процедуры анализа и отсева вариантов φ_1 и φ_2, а также реализующие оператор А аппроксимации множества допустимых вариантов и уточнения допусков.

В процессе процедуры φ_1 осуществляется вычисление и уточнение допусков для множества вариантов подсистем V_j, $j \in J$, по технико-экономическим характеристикам, а также исключение не удовлетворяющих полученным допускам вариантов подсистем. φ_2 является процедурой вычисления и уточнения допусков по надежности и исключения не удовлетворяющих допускам вариантов подсистем.

Для множества вариантов V_j, $j \in J$, допуски по технико-экономическим характеристикам, ввиду сепарабельности функций $g_i(\upsilon)$, $i \in I$, можно определить следующим образом:

$$d_{ij} = b_i - \sum_{k \in J \setminus \{j\}} \min_{\upsilon_{kl_k} \in V_k} g_{ik}\left(\upsilon_{kl_k}\right),\ i \in I,\ j \in J. \qquad (2.4)$$

Исключаемое по допускам (2.4) множество $\overline{V}_j$ вариантов j-й подсистемы определяется следующим образом:

$$\overline{V}_j = \left\{\upsilon_{jl_j} \middle| g_{ij}\left(\upsilon_{jl_j}\right) > d_{ij}, \upsilon_{jl_j} \in V_j, i \in I\right\},\ j \in J.$$

Тогда $\overline{V}=\prod\limits_{j\in J}\overline{V}_j$ – исключаемое из дальнейшего рассмотрения процедурой φ_1 множество вариантов системы.

Стоит отметить, что не во всех случаях применение процедуры φ_1 способствует существенному уменьшению множеств V_j, $j\in J$, поскольку в процессе ее выполнения по допускам d_{ij}, $i\in I$, $j\in J$, происходит отсеивание заведомо недопустимых вариантов подсистем. Поэтому если хотя бы для одного $j\in J$ $V_j/\overline{V}_j\neq\emptyset$, можно сделать вывод о том, что исходная задача (2.1) – (2.3) недопустима. Дополнительно сузить множества V_j, $j\in J$, отсеяв варианты подсистем, не входящие в оптимальные по надежности варианты системы, можно, используя определяемые процедурой φ_2 допуски по надежности. Вводится следующее дополнительное ограничение на значение функции надежности системы:

$$P_*^{(\gamma)}\leq P(\upsilon)\leq P_{\max}, \qquad (2.5)$$

где значение $P_*^{(\gamma)}\in\left[P_{\min},P_{\max}\right]$, $P_{\min}=\min\limits_{\upsilon\in V}P(\upsilon)$, $P_{\max}=\max\limits_{\upsilon\in V}P(\upsilon)$.

Выбор начального значения $P_*^{(\gamma)}$ в ограничении (2.5) и его изменения указаны в описанном ниже алгоритме.

Способ вычисления допусков по надежности для множеств V_j, $j\in J$, осуществляется следующим образом.

Пусть $\overline{\upsilon}=\arg\max P(\upsilon)$, $\overline{\upsilon}=\left(\overline{\upsilon}_{1l},\ldots,\overline{\upsilon}_{nl_n}\right)$, $\upsilon_j=\min\left\{\upsilon_{jl_j}\left|P\left(\overline{\upsilon}_{1j_1},\ldots,\overline{\upsilon}_{j-1j_{j-1}},\overline{\upsilon}_{j+1j_{j+1}},\overline{\upsilon}_{nl_n}\right)\geq P_*^{(\gamma)},\upsilon_{jl_j}\in V_j\right.\right\}$, $j\in J$. В этом случае допуском для множества вариантов подсистем по надежности является величина

$$d_*^{(\gamma)}=P\left(\overline{\upsilon}_{1l_1},\ldots,\overline{\upsilon}_{j-1l_{j-1}},\upsilon_j,\overline{\upsilon}_{j+1l_{j+1}},\ldots,\overline{\upsilon}_{n\ln}\right),\ j\in J. \qquad (2.6)$$

Множество V_j вариантов j-й подсистемы, исключаемых по допуску (2.6), определяется так: $\underline{V}_j=\left\{\upsilon_{jl_j}\left|P\left(\overline{\upsilon}_{1l_1},\ldots,\overline{\upsilon}_{j-1l_{j-1}},\upsilon_{jl_j},\overline{\upsilon}_{j+1l_{j+1}},\ldots,\overline{\upsilon}_{n\ln}\right)<d_j^{(\gamma)},\upsilon_{jl_j}\in V_j\right.\right\}$, $j\in J$, где $d_j^{(\gamma)}$ – допуск (2.6). Тогда $\underline{V}=\prod\limits_{j\in J}\underline{V}_j$ – множество вариантов системы, исключаемых из дальнейшего рассмотрения по ограничению (2.5) процедурой φ_2.

Пусть в результате последовательного применения процедур φ_1 и φ_2 на множестве V получено новое множество вариантов $V^{(\gamma)}=V/\left(\overline{V}\cup\underline{V}\right)$. $\underline{V}$ является множеством вариантов, исключаемых из множества V процедурой φ_2; $\overline{V}$ – множество отсеиваемых вариантов, получаемое в результате применения процедуры φ_1 на множестве $V/\underline{V}$.

Возможны следующие случаи:

1. $V^{(\gamma)}=\emptyset$. В этом случае система ограничений (2.2), (2.3) при $\upsilon\in V^{(\gamma)}$ не содержит допустимых вариантов. Поэтому $\left|V/V\right|$ вариантов системы исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Если для достижения сепарабельности будет использовано логарифмическое преобразование $\overline{P}(\upsilon)=\ln P(\upsilon)=\sum\limits_{j\in J}\ln p_j\left(\upsilon_j\right)$, которое оставляет неизменным результат сравнения вариантов по заданному критерию, то для произвольного допустимого варианта υ задачи (2.1) – (2.3) выполняется условие $P(\upsilon)\leq P_*^{(\gamma)}$. Это служит основанием для утверждения, что максимальное значение надежности $P_{\max}$ полагается равным $P_*^{(\gamma)}$.

Если множество $V^{(\gamma)}=\emptyset$ при $P_*^{(\gamma)}=P_{\min}$, то у задачи (2.1) – (2.3) отсутствуют допустимые варианты, т.е. систему реализовать невозможно.

2. $V^{(\gamma)} \neq \emptyset$. В этом случае множество $V^{(\gamma)}$ исследуется на наличие максимальных вариантов, после чего выполняется проверка на оптимальность на основе следующих критериев оптимальности.

Пусть $\upsilon' = \arg\max_{\upsilon \in V^{(\upsilon)}} P(\upsilon)$.

1. Если вариант υ' системы удовлетворяет условиям (2.2) и $P(\upsilon') \geq P_*^{(\gamma)}$, то υ' является оптимальным вариантом реализации системы (критерий оптимальности 1).

2. Если вариант υ' не удовлетворяет условиям (2.2), то вариант $\upsilon'' \in V^{(\gamma)}$, удовлетворяющий (2.2) и условию $P(\upsilon'') \geq P_*^{(\gamma)}$, а также максимизирующий (2.1), является оптимальным (критерий оптимальности 2).

3. Если вариант υ' удовлетворяет условиям (2.2), но $P(\upsilon') < P_*^{(\gamma)}$, то вариант $\upsilon'' \in V^{(\gamma)}$, удовлетворяющий условиям (2.2) и условию $P(\upsilon'') \geq P_*^{(\gamma)} = P(\upsilon')$, а также максимизирующий (2.1), является оптимальным (критерий оптимальности 3) .

Заключение

Поскольку непоследовательные системы управления со сложной структурой имеют широкий спектр применения, а вероятность их функционирования в случае отказа отдельных подсистем высока, показатели их надежности зачастую являются неприемлемыми для практического применения [7]. Рассмотренный выше вариант оптимизации надежности системы, имеющей несколько ограничений, обладает высокой вычислительной сложностью, но также позволяет находить оптимальные варианты ресурсных затрат, соблюдая при этом требуемые значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко, В.Т. Математическое моделирование процессов информационного обмена в распределенных управляющих системах: монография / В.Т. Еременко; под общ. ред. И.С. Константинова. - М.: Машиностроение-1, 2004. - 224 с.
2. Bodin, L.D. Optimization procedures for the analysis of coherent structures / L.D. Bodin // IEEE Trans. on Reliab. - 1969. - R-18. - № 3. - P. 118-126.
3. Gopal, K. A new method for reliability optimization / K. Gopal, K.K. Aggarwal, J.S. Gupta // Microelectronics and reliability. - 1978. - R-17. - № 6. - P. 606-608.
4. Gopal, K. An improved algorithm for reliability optimization / K. Gopal, K.K. Aggarwal, J.S. Gupta // Jbid. - 1978. - R-27. - № 5. - P. 325-328.
5. Рытов, М.Ю. Теоретические основы управления обменом данными в среде корпоративного портала промышленного предприятия: монография / М.Ю. Рытов, К.А. Мегаев, С.В. Еременко. - Брянск: БГТУ, 2014. - 196 с.
6. Рытов, М.Ю. Метод оптимизации дополнительных технических возможностей алгоритмов обработки информации в среде портала органов исполнительной власти / М.Ю. Рытов // Информационные системы и технологии. - 2016. - № 4. - С. 94-103.
7. Еременко, В.Т. Методологические предпосылки разработки теории обработки информации в коммуникационной среде информационного портала органов исполнительной власти / В.Т. Еременко, М.Ю. Рытов // Информация и безопасность. - 2016. - Т. 19. - Вып. 4. - С. 493-499.

1. Eryomenko, V.T. *Simulation of Information Exchange in Distributed Management Systems*: monograph / V.T. Eryomenko: under the general editorship of I.S. Konstantinov. – M.: Mechanical Engineering-1, 2004. – pp. 224.
2. Bodin, L.D. Optimization procedures for the analysis of coherent structures / L.D. Bodin // IEEE Trans. on Reliab. - 1969. - R-18. - № 3. - P. 118-126.
3. Gopal, K. A new method for reliability optimization / K. Gopal, K.K. Aggarwal, J.S. Gupta // Microelectronics and reliability. - 1978. - R-17. - № 6. - P. 606-608.
4. Gopal, K. An improved algorithm for reliability optimization / K. Gopal, K.K. Aggarwal, J.S. Gupta // Jbid. - 1978. - R-27. - № 5. - P. 325-328.
5. Rytov, M.Yu. *Theoretical Fundamentals of Data Exchange Management in Environment of Industrial Enterprise Portal*: monograph / M.Yu. Rytov, K.A. Megaev, S.V. Eryomenko. – Bryansk: BSTU, 2014. – pp. 196.
6. Rytov, M.Yu. Method for optimization of additional technical potentialities of information processing algorithms in environment of executive power portal / M.Yu. Rytov // *Information Systems and Technologies*. – 2016. – No.4. – pp. 94-103.

7. Eryomenko, V.T. Methodological preconditions for theory development of information processing in communication environment of information portal of executive power / V.T. Eryomentko, M.Yu. Rytov // *Information and Safety*. – 2016. – Vol.19. Issue 4. – pp. 493-499.

Статья поступила в редколлегию 10.05.18.
Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического унивебрситета Киричек А.В.

Сведения об авторах:

Мишин Дмитрий Станиславович, к.юрид.н., доцент кафедры информационных технологий в деятельности ОВД Орловского юридического института МВД России им. В.В. Лукьянова, e-mail: mishinds@mail.ru.
Еременко Владимир Тарасович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационной безопасности Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, e-mail: wladimir@orel.ru.
Рытов Михаил Юрьевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Системы информационной безопасности» Брянского государственного технического университета, e-mail: r m ozikts@yandex.ru.

Mishin Dmitry Stanislavovich, Can. Law, Assistant Prof. of the Dep. Of Information Technologies in Activities of Interior Department of Lukiyanov Law Institute of Orel of the Interior Ministry of Russia, e-mail: mishinds@mail.ru.
Eryomenko Vladimir Tarasovich, D. Eng., Prof., Head of the Dep. of Information Safety of Turgenev State University of Orel, e-mail: wladimir@orel.ru.
Rytov Mikhail Yurievich, Can. Eng., Assistant Prof., Head of the Dep. “Systems of Information Safety”, Bryansk State Technical University, e-mail: r m ozikts@yandex.ru.