

Научная статья

УДК 621.39

DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-2-83-91



Методика управления эффективностью технических систем

Константин Викторович Сазонов, cvviur6@mil.ru

Роман Леонидович Михайлов✉, cvviur6@mil.ru

Алексей Павлович Ратушин, cvviur6@mil.ru

Военный ордена Жукова университет радиоэлектроники,
Череповец, 162622, Российская Федерация

Аннотация: В настоящее время актуальной является задача выполнения технической системой целевой функции с минимальными затратами ресурса. Получение полезного эффекта технической системой зависит от множества факторов, которые, в свою очередь, могут послужить основой для формирования управляющего воздействия на функциональную часть системы. При этом необходимо учитывать и значимость полезного (целевого) эффекта в целях управления эффективностью технических систем. Целью данной статьи является описание инструментария, позволяющего адаптивно перераспределять ресурс, затрачиваемый на реализацию целенаправленного процесса в технической системе, исходя из требований потребительской функции и целевого эффекта. В результате проведенного исследования в статье предложена методика перераспределения ресурса технической системой в интересах управления ее эффективностью. Особенности методики является наглядность представления ее результатов, а также возможность применения при оценивании эффективности и управления ею применительно к различным типам технических систем, что позволит исследователям обосновать практическую значимость полученных результатов.

Ключевые слова: техническая система, эффективность, целенаправленный процесс, показатели качества, затрачиваемый ресурс

Ссылка для цитирования: Сазонов К.В., Михайлов Р.Л., Ратушин А.П. Методика управления эффективностью технических систем // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 2. С. 83–91. DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-2-83-91. EDN:TYFBGV

Technical Systems Effectiveness Management Technique

Konstantin Sazonov, cvviur6@mil.ru

Roman Mikhailov✉, cvviur6@mil.ru

Aleksey Ratoushin, cvviur6@mil.ru

Military University of Radio Electronics,
Cherepovets, 162622, Russian Federation

Abstract: Currently, the task of performing a target function by a technical system with minimal resource costs is urgent. Obtaining the beneficial effect of a vehicle depends on many factors, which can become the basis for the formation of a control effect on the functional part of the system. At the same time, it is necessary to take into account the importance of a useful (target) effect in order to manage the technical systems effectiveness. The purpose of this article is to describe an instrument that allows adaptively redistributing the resource spent on the implementation of a purposeful process in the vehicle, based on the requirements of the consumer function and the target effect. As a result of the conducted research, the article proposes a technique for redistributing the resource of a technical system in the interests of its effectiveness management. The features of the presented technique are the visibility of its results

presentation, as well as the possibility of application in evaluating the effectiveness and it's management in relation to various types of technical systems, which will allow to substantiate the practical significance of obtained results.

For citation: Sazonov K., Mikhailov R., Ratoushin A. Technical Systems Effectiveness Management Technique. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2024;10(2):83–91. (In Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-2-83-91. EDN:TYFBGV

Введение

В настоящее время любая область человеческой деятельности сталкивается с проблемой повышения эффективности применения технических систем (ТС). Очевидно, что научное обоснование данной проблемы возможно лишь на основе количественных методов. Количественное оценивание эффективности целенаправленного процесса (ЦП) применения ТС дает возможность на научной основе, с применением математических методов, решать проблему ее дальнейшего повышения. Кроме того, любые научные исследования, направленные на совершенствование ТС, в конечном счете необходимы для разрешения проблемной ситуации, в большинстве случаев заключающейся в несоответствии современного состояния науки (моделей, методов, методик) потребностям практики, а практическая значимость полученных результатов подтверждается именно приростом эффективности ЦП применения этой ТС.

В соответствии с [1, 2] исследование эффективности ЦП применения ТС представляет собой триединую задачу:

- оценивание эффективности ЦП применения ТС, включающую в себя расчет частных показателей, характеризующих этот процесс;
- анализ эффективности операции, т. е. обоснование показателя эффективности и сравнение соответствующих показателей различных ТС либо показателей одной ТС в различных условиях, сопутствующих этому применению;
- оптимальный синтез эффективной операции, т. е. определение наилучшей с позиции выбранного показателя эффективности стратегии применения ТС в конкретных (неизменных) условиях, сопутствующих этому применению.

Решение задачи оптимального синтеза эффективной операции в форме методики, по сути, позволяет осуществлять управление эффективностью ЦП применения ТС, что и является целью данной статьи. Вместе с тем, разрабатываемая методика должна решать все три вышеуказанные задачи и использоваться не только для обоснования наилучшей стратегии применения ТС, но и в качестве инструмента оценивания (сравнения) его эффективности для различных ТС на основе частных показателей ЦП.

В случае, когда речь идет о чем-то наилучшем, оптимальном, предполагается, что существует множество вариантов разрешения проблемной ситуации. При этом эффективность целенаправлен-

ной деятельности определяется как качеством ТС, так и качеством управляющих воздействий различных уровней на объект управления – функциональную часть этой ТС [1, 2].

Качество ТС – это ее свойство, обуславливающее пригодность для использования по назначению, применительно же к ЦП ее применения подобные его свойства – атрибуты называются операционными. Примерами качеств ТС применительно, например, к системам мониторинга, является состав, структура, масштабы данной системы, потенциальный объем информации об объектах, который можно получить с ее помощью и т. д. Операционными свойствами этой системы в процессе ЦП ее применения к определенному объекту являются своевременность, полнота и достоверность добываемой информации об объекте мониторинга.

Качество управляющих воздействий определяется обоснованностью стратегии ЦП применения ТС, под которой понимается определенная организация и способ проведения операции. Касаясь рассмотренного выше примера системы мониторинга, стратегия ее применения будет отражать такой порядок проведения операции (размещение элементов системы, их наведение на составные части объекта мониторинга и т. д.) при котором данная ТС, обладающая конкретными качествами, будет обладать требуемыми операционными свойствами в процессе ее ЦП. Таким образом, качество управляющих воздействий отражает степень оптимальности перевода качеств ТС в операционные свойства этой системы в процессе ее ЦП.

Каждое из операционных свойств ЦП применения ТС может быть описано количественно с помощью показателя, значение которого характеризует меру достижения максимального численного значения переменной, описывающей это свойство. В том случае, если имеется несколько операционных свойств и, соответственно, характеризующих их показателей, необходимо осуществить их свертку в один показатель результативности ЦП применения ТС, отражающий степень достижения цели. Как итог, интегральный показатель эффективности ЦП применения ТС должен основываться на множестве показателей, характеризующих как результативность, так и затраты на достижение целевого эффекта.

Затраты на достижение целевого эффекта (реализацию ЦП) можно описать через совокупность частных показателей. В классическом понимании они делятся на показатели ресурсоемкости и оперативности, а именно [1, 2]:

1) ресурсоемкость – расход операционных ресурсов на реализацию ЦП применения ТС, который может оцениваться числом требуемых технических средств, их стоимостью, количеством задействованного персонала и т. д.;

2) оперативность (своевременность) – расход времени, требуемого для получения целевого эффекта при реализации ЦП применения ТС.

При этом суммарная ресурсоемкость ЦП не может быть оценена каким-либо одним показателем, это связано с тем, что они находятся в обратно-пропорциональной зависимости. Так, например, использование двух одинаковых вычислительных машин увеличивает в два раза операционный ресурс и примерно в два раза снижает затрачиваемое на выполнение расчетных задач время.

Таким образом, целью данной работы является синтез универсальной методики, позволяющей не только оценить эффективность ТС либо сравнить эффективности нескольких ТС при реализации ЦП, но и обосновать пути ее повышения на основе маневра имеющимися ресурсами ТС (за счет повышения качества управляющих воздействий).

Анализ предметной области и постановка задачи исследования

Анализ исследований в предметной области показал, что основы методологии оценивания эффективности различных ТС при реализации ЦП изложены в трудах Г.Б. Петухова и представителей его научной школы [1, 2]. В них приведены основные понятия, связанные с эффективностью ТС, а также обоснован целевой показатель, отражающий вклад ТС в достижение целей функционирования вышестоящей системы (суперсистемы). Общие же подходы к управлению эффективностью посредством распределения (перераспределения) имеющихся в ТС ресурсов приведены в работах В.Г. Анисимова и Е.Г. Анисимова [3, 4]. Компиляция обоснованных в рамках вышеуказанных фундаментальных исследований результатов, по мнению авторов, и является той платформой, на основании которой необходимо осуществлять управление эффективностью ТС.

Подобный подход нашел свое отражение в трудах, посвященных совершенствованию различных ТС, а также оцениванию прироста целевого показателя функционирования этих ТС, т. е. их эффективности. В работах В.И. Владимирова и его учеников (например, [5]) изложены подходы к оцениванию эффективности таких ТС, как системы связи и радиоэлектронной борьбы, находящихся между собой в состоянии двустороннего информационного конфликта. Труды научной школы В.А. Липатникова (например, [6, 7]) посвящены оцениванию эффективности систем информационной безопасности в условиях одностороннего конфликтного взаимодействия с внешним источником деструктивного воздействия (злоумышленником). Схожие вопросы

применительно к АСУ военного назначения исследованы в работах А.А. Бойко [8], Л.Е. Мистрова [9] и И.И. Чукляева [10]. В работах С.И. Макаренко [11], О.С. Лауты [12] и Д.А. Тавалинского [13] рассмотрены вопросы оценивания эффективности противостоящих в ходе информационного конфликта телекоммуникационных систем и систем радиомониторинга, при этом авторами предложены различные целевые показатели этих систем и показана их взаимосвязь. Вопросы методических требований к оцениванию эффективности разрабатываемых в рамках диссертационных исследований ТС военного назначения подробно изложены в работе [14], при этом показана взаимосвязь между целевым показателем эффективности этой ТС и формальной постановкой научной задачи.

Таким образом, в настоящее время имеется достаточно большое число исследований, посвященных оцениванию эффективности ЦП применения ТС, однако область их использования ограничена сферами деятельности этих ТС и показателями качества ТС. В целом, данная работа является дальнейшим развитием исследований авторов [15–18] и призвана, в том числе, обеспечить исследователей наглядным инструментарием, позволяющим им, в приложении к конкретной предметной области, обосновать практическую значимость полученных результатов.

Исходные математические посылки

Последовательно рассмотрим подход к оцениванию эффективности ЦП применения ТС и управления ею, использованные при разработке предлагаемой методики.

Как показано выше, стратегия ЦП применения ТС определяет, с учетом качеств этой ТС, сам порядок достижения целей, стоящих перед ТС. Иными словами, каждая из возможных стратегий должна описывать порядок использования элементов ТС, т. е. реализовывать их оптимальное распределение по частным задачам, которые, в свою очередь, в своей совокупности (при последовательном или параллельном их решении) определяют цель применения ТС. Как показано в работах [3, 4] применительно к широкому классу ТС и сфер их применения подобная задача может быть формализована в виде выражения:

$$F_j(\delta) = \max_{\delta} \sum_{m=1}^M f_m(\delta), \quad (1)$$

где $F_j(\delta)$ – функция, определяющая значение j -го показателя, характеризующего операционные свойства ТС в процессе ее ЦП; δ – множество качеств (ресурсов) ТС; $f_m(\delta)$ – функция, отображающая прирост $F_j(\delta)$ при выполнении m -й задачи в ходе ЦП применения ТС.

Анализ, приведенный в работе [4], показывает, что решение задачи (1) применительно к конкретным ТС можно получить посредством использования метода ветвей и границ, метода динамического программирования и ряда алгоритмов, основанных на методе Маннэ. Отличительной особенностью данных методов и алгоритмов является последовательное назначение единиц ресурсов (элементов ТС) по объектам использования в интересах обеспечения на каждом шаге максимального приращения функции (1).

С учетом того факта, что зависимость каждого из показателей, характеризующих операционные свойства ТС в процессе ее ЦП, от реализованной стратегии принимает различный вид, предлагается следующий подход. Необходимо определить стратегии, каждая из которых позволяет максимизировать один из показателей, характеризующих операционные свойства ТС в процессе ее ЦП. Как показано в работе [4], необходимым и достаточным условием существования подобной стратегии является неубывающий и выпуклый кверху характер функции $f_m(\delta)$. В дальнейшем на основе свертки данных показателей получим значение показателя результативности ТС, которое, в свою очередь, совместно с показателями ресурсоемкости и оперативности позволит перейти к оцениванию эффективности ЦП применения ТС в целом.

Свертка показателей, характеризующих операционные свойства ТС в процессе ее ЦП, в значение результативности осуществляется следующим образом. Пусть имеется n показателей d_n , характеризующих операционные свойства ТС в процессе ее ЦП. В качестве меры оценивания результативности v предлагается использовать значение евклидова расстояния от начала координат до точки в n -мерном пространстве, каждая из координат которой соответствует показателю, характеризующему одно из операционных свойств ТС в процессе ее ЦП:

$$v = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2},$$

где d_n – значение n -го показателя, характеризующего операционные свойства ТС в процессе ее ЦП.

Пример расчета значения результативности v для случая, когда имеются три показателя: d_1, d_2, d_3 , характеризующие операционные свойства ТС в процессе ее ЦП ($n = 3$), представлен на рисунке 1. В качестве показателя результативности ЦП применения ТС предлагается использовать количественную оценку степени недостижения максимально возможного значения результативности. Например, за установленное время вычислителем было обработано 80 расчетных задач из 100 возможных, следовательно, степень недостижения максимально возможного значения результативности при реализации ЦП соответствует 20.

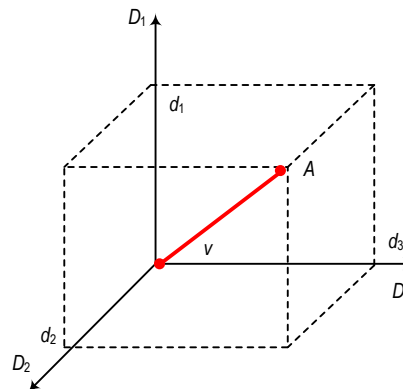


Рис. 1. Пример расчета значения результативности ТС при $n = 3$

Fig. 1. An Example of Technical System Performance Calculating, $n = 3$

Таким образом, значение показателя результативности V определяется посредством вычитания из максимально достижимого (заданного) значения результативности значения:

$$V = v_{\max} - v. \quad (2)$$

Отсюда следует вывод, что показатель результативности для идеального ЦП применения ТС (обладающей максимальным значением результативности) равен нулю:

$$V_{\text{ид}} = v_{\max} - v_{\max} = 0.$$

В соответствии с [1, 2] свертка H частных (единичных) показателей ресурсоемкости осуществляется в соответствии с выражением:

$$R = \sum_{h=1}^H B_h r_h, \quad (3)$$

где R – значение показателя ресурсоемкости ЦП применения ТС; r_h – значение h -го частного показателя ресурсоемкости ЦП применения ТС; B_h – весовой коэффициент h -го частного показателя ресурсоемкости ЦП применения ТС (задаются, как правило, экспертным путем для всех r_h).

В свою очередь показатель оперативности определяется как [1, 2]:

$$T = \sum_{s=1}^S t_s \text{ или } t = \max\{t_1, t_2, \dots, t_S\}, \quad (4)$$

где T – значение показателя оперативности ЦП применения ТС; t_s – временные затраты на выполнении s -й частной задачи в ходе ЦП применения ТС; S – общее количество частных задач в ходе ЦП применения ТС.

Таким образом, эффективность ЦП применения ТС характеризуется одним или несколькими операционными свойствами ТС, определяющими результативность этого ЦП, а также ресурсоемкостью и оперативностью достижения целевого эффекта, т. е. определяется их совокупностью – комплексом, включающим в себя три группы компонент:

V – показатель результативности ЦП применения ТС;

R – показатель затрат операционных ресурсов на получение целевого эффекта;

T – показатель затрат операционного времени на получение целевого эффекта.

Эффективность ЦП применения ТС характеризуется трехмерным вектором, содержащим три соответствующих показателя:

$$F_{<3>} = \langle V, R, T \rangle. \quad (5)$$

Вектор $F_{<3>}$ является основой для формирования критерия эффективности ЦП применения ТС и позволяет определить условия, при которых она удовлетворяет заданным требованиям. Для сравнительного оценивания эффективности используются два основных критерия – пригодности и оптимальности, которые выбираются с учетом вида вектора функции, цели применения ТС и цели анализа этой ТС, как объекта исследования [14].

Критерий пригодности используется в тех случаях, когда целью анализа ТС является обеспечение требуемых характеристик (показателей эффективности) ТС, являющейся объектом исследования. В таком случае критерий пригодности $G^{пр}$ в векторной форме принимает следующий вид:

$$G^{пр} | F_{<3>} \in \{F_{<3>}^{пр}\}, \quad (6)$$

где $F_{<3>}^{пр}$ – область допустимых значений показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС.

Критерий пригодности позволяет найти одно или несколько возможных решений, обеспечивающих требуемую эффективность применения ТС. Он применяется в случаях, когда целью исследования является определение диапазона возможных рациональных (пригодных) решений, удовлетворяющих ограничениям, заданным в виде множества $F_{<3>}^{пр}$.

Под допустимыми значениями принято считать критические значения показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности, при которых сама реализация ЦП применения ТС целесообразна. Область допустимых значений в данном случае представляет часть трехмерного пространства $F_{<3>}^{пр}$ (параллелепипед), ограниченного тремя плоскостями допустимых значений (рисунок 2). Любая точка, определяемая тройкой координат $\{v, r, t\}$, представляет собой комплексную характеристику эффективности по трем показателям $F_{<3>}$.

Таким образом, можно определить две крайние ситуации. Первая (точка 0) характеризует идеальный ЦП применения ТС, когда все показатели равны нулю. В этом случае максимально возможная результативность достигается без затрат ресурсов, за мгновенное время: $F_{<3>} = 0$.

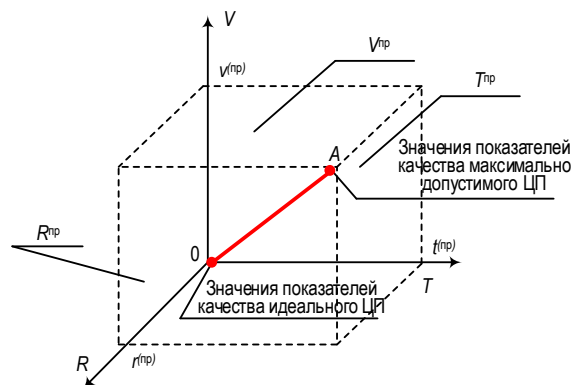


Рис. 2. Область допустимых значений показателей качества ЦП

Fig. 2. The Range of Targeted Process Quality Indicators Acceptable Values

Как показано выше, результативность идеального ЦП применения ТС считается максимально допустимой ($V = 0$), а для ЦП применения «реальных» ТС отражает потери в достижении целевого эффекта.

Вторая ситуация (точка A) описывает ЦП применения ТС, характеризующийся предельными значениями показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности (рисунок 2).

В случае, когда координаты $\{v, r, t\}$ не принадлежат области допустимых значений, реализация ЦП применения ТС нецелесообразна – значения показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности не удовлетворяют критерию пригодности.

Критерий оптимальности применяется, когда целью исследования является повышение эффективности (улучшение технических или эксплуатационных свойств) ТС. Критерий оптимальности $G^{опт}$ в векторной форме имеет вид:

$$G^{опт} | (F_{<3>} \in \{F_{<3>}^{пр}\})^{опт}. \quad (7)$$

В результате получим одно оптимальное (наилучшее) решение $F_{<3>}$ из всех возможных, удовлетворяющее заданным ограничениям. Решение считается оптимальным, если оно обеспечивает максимальную эффективность. При этом, как правило, принимается во внимание соотношение между максимально достижимой в рассматриваемых условиях и требуемой эффективностью. На практике критерий оптимальности принято использовать в случае, когда в рамках целенаправленного процесса оценивается ЦП нескольких ТС, либо одной системы в разных условиях, при удовлетворении показателей качества критерию пригодности.

В качестве меры оценивания эффективности предлагается использовать значение евклидова расстояния от начала координат до точки $\{v, r, t\}$, соответствующей значениям показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности.

Евклидово расстояние – это длина l отрезка прямой между двумя точками евклидова пространства, вычисляемая по декартовым координатам точек:

$$l = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + (z_0 - z_1)^2}, \quad (8)$$

где (x_0, y_0, z_0) и (x_1, y_1, z_1) – координаты точек, между которыми определяется евклидово расстояние.

Таким образом, интегральное значение показателя эффективности по трем критериям, характеризующим результативность, ресурсоемкость и оперативность ЦП применения ТС для ТС А и ТС Б, определяется выражениями (рисунок 3):

$$l_A = \sqrt{v_A^2 + r_A^2 + t_A^2}, \quad l_B = \sqrt{v_B^2 + r_B^2 + t_B^2}, \quad (9)$$

где l_A – интегральное значение показателя эффективности ТС А; (v_A, r_A, t_A) – показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС А; l_B – интегральное значение показателя эффективности ТС Б, (v_B, r_B, t_B) – показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС Б.

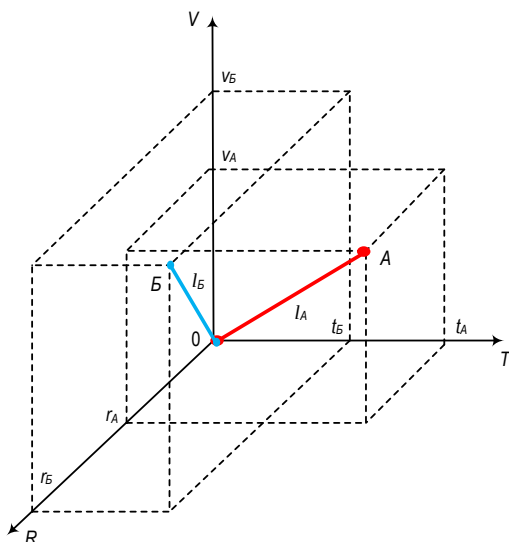


Рис. 3. Графическая интерпретация сопоставительного анализа показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС

Fig. 3. Graphical Interpretation of the Comparative Analysis of Performance Indicators, Resource Intensity and Efficiency of the Targeted Process of Applying the Technical System

В соответствии с подобным подходом большей эффективностью будет обладать процесс с меньшим значением метрики l . В связи с тем, что при вычислении декартового расстояния используются абсолютные (безразмерные) значения показателей, сравнить два ЦП по эффективности можно посредством отношения большего значения к меньшему:

$$\begin{cases} \frac{l_A}{l_B} & \text{если } l_A > l_B \\ \frac{l_B}{l_A} & \text{если } l_A < l_B \end{cases}, \quad (10)$$

Методика управления эффективностью ЦП применения ТС

Согласно представленному выше описанию, разработана методика управления эффективностью ЦП применения ТС по критерию оптимальности (методика 1) в виде последовательности шагов.

Шаг 1. В качестве исходных данных определяются цель применения ТС, перечень и значения показателей качества ТС, присваивается номер цикла работы методики $i = 1$.

Шаг 2. Определяются и упорядочиваются показатели, характеризующие операционные свойства системы в процессе ее применения. Для выбора позиций (номеров) показателей используются результаты экспертных оценок. В общем случае номер присваивается случайным образом.

Шаг 3. Осуществляется выбор стратегии ЦП применения ТС (1). При этом максимизации подлежит j -й показатель, характеризующий операционные свойства системы в процессе применения, чей упорядоченный номер соответствует номеру цикла работы методики ($j = i$).

Шаг 4. Рассчитываются показатели, характеризующие операционные свойства ТС.

Шаг 5. Рассчитывается показатель результативности ЦП применения ТС (2).

Шаг 6. Рассчитываются показатели ресурсоемкости (3) и оперативности (4) ЦП применения ТС, соответствующие выбранной стратегии.

Шаг 7. Определяется область допустимых значений каждого из показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС посредством обоснования критерия пригодности (6). Для выбора этих значений используются требования руководящих документов, результаты предыдущих реализаций ЦП и т. д.

Шаг 8. Осуществляется оценивание показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС, обеспечивающих попадание в область допустимых значений. При невыполнении критерия пригодности, реализация ЦП применения ТС в соответствии с используемой на данном цикле стратегией нецелесообразна. Осуществляется увеличение на единицу номера цикла работы методики ($i = i + 1$) и переход к шагу 3.

Шаг 9. Рассчитывается интегральное значение эффективности l_i (9).

Шаг 10. Расчетное интегральное значение эффективности l_i вносится в соответствующее множество $\{l_i\}$. Если были максимизированы все j -е показатели, характеризующие операционные свойства ЦП применения ТС ($i = \max j$), то осуществляется переход к шагу 11. В противном случае ($i < \max j$) – осуществляется увеличение на единицу номера цикла работы методики ($i = i + 1$) и переход к шагу 3.

Шаг 11. В множестве $\{l_i\}$ определяется максимальное интегральное значение эффективности $l_{\max} = \max l_i$.

Шаг 12. На выходе методики имеется стратегия, соответствующая максимальному интегральному значению эффективности ЦП применения ТС $l_{\max}$.

Применительно к решению частной задачи оценивания эффективности ЦП применения ТС разработанная методика приобретет следующий вид (методика 2).

Шаг 1. В качестве исходных данных определяются показатели результативности (2), ресурсоемкости (3) и оперативности (4), полученные в ходе ЦП применения k ТС, $k = 1, \dots, K$.

Шаг 2. Определяется область допустимых значений каждого из показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС посредством обоснования критерия пригодности (6). Для выбора значений используются требования руководящих документов, результаты предыдущих реализаций ЦП и т. д.

Шаг 3. Осуществляется оценивание показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС, обеспечивающих попадание в область допустимых значений. При невыполнении критерия пригодности, значение показателя эффективности ЦП применения такой ТС приравнивается к нулю.

Шаг 4. Рассчитывается интегральное значение эффективности l_i (9).

Шаг 5. Расчетные интегральные значения эффективности l_k вносятся в соответствующее множество $\{l_k\}$.

Шаг 6. В множестве $\{l_k\}$ определяется максимальное интегральное значение эффективности:

$$l_{\max} = \max l_k.$$

Шаг 7. На выходе методики имеются либо величина интегрального значения эффективности ТС при $k = 1$, либо прирост значения этого показателя при ЦП применения одной ТС относительно второй ($k = 2$) (10), либо упорядоченные по величине значения этого показателя для всех ТС ($k = 3, \dots, K$).

Пример использования разработанной методики при оценивании эффективности ЦП применения ТС

Рассмотрим предложенный подход на примере. Воспользуемся представленной выше методикой 2 для сравнения эффективности ЦП применения двух ТС.

Пусть существуют две ТС (А и Б), показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения которых определены векторами:

$$\{v_A = 10 \%, r_A = 3 \text{ шт.}, t_A = 10 \text{ с.}\},$$

$$\{v_B = 20 \%, r_B = 2 \text{ шт.}, t_B = 8 \text{ с.}\},$$

где v_A (v_B) – показатель результативности ЦП применения ТС А (Б); r_A (r_B) – показатель ресурсоемкости ЦП применения ТС А (Б); t_A (t_B) – показатель оперативности ЦП применения ТС А (Б).

Визуальный экспертный анализ числовых значений показателей не позволяет определить приоритет той или иной ТС (в данном случае, для ТС А больше затраты и лучше результативность, а для ТС Б меньше затраты и хуже результативность). В результате расчета интегрального показателя эффективности получим $l_A = 14$ и $l_B = 21$ и, следовательно, отношение $\frac{l_B}{l_A} = 1,5$, что свидетельствует о преимуществе в эффективности ЦП применения ТС А относительно ЦП применения ТС Б в полтора раза.

Возможна ситуация, когда при исследовании эффективности ЦП применения ТС нет необходимости использовать все значения показателей результативности, ресурсоемкости и оперативности ЦП применения ТС, либо значение выбранных показателей фиксируется при исследовании различных реализаций ЦП. Например, вводится ограничение о том, что имеющиеся операционные ресурсы бесконечны и соответствующий показатель ресурсоемкости при расчете интегрального показателя эффективности не учитывается. Графическая интерпретация эффективности для таких случаев представлена на рисунке 4. Выражение (5) в этих случаях принимает вид:

$$l = \sqrt{v^2 + t^2} \text{ и } l = t. \quad (11)$$

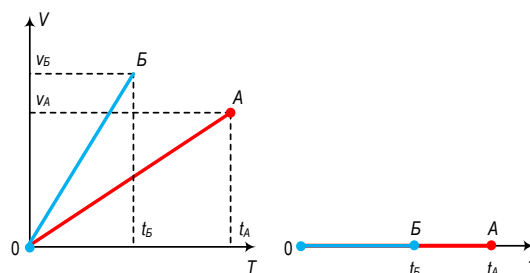


Рис. 4. Графическая интерпретация эффективности в случаях оценивания показателей результативности и оперативности (слева) и показателя оперативности ЦП применения ТС (справа)

Fig. 4. Graphical Interpretation of Effectiveness in Cases of Evaluating Performance Indicators and Efficiency Indicators (Left) and the Efficiency Indicator of Targeted Application of the Technical System (Right)

Заключение

Рассмотренная в статье методика основана на использовании основных понятий теории эффективности ЦП и теории распределения ресурсов. Эффективность функционирования ТС, являющаяся предметом исследования данной статьи, рассмат-

ривается как характеристика ее целевого предназначения и в общем случае характеризуется тремя основными свойствами – результативностью (степенью недостижения цели ЦП), ресурсоемкостью и оперативностью. Следует отметить, что при решении конкретных задач исследований ТС цель в ряде случаев состоит в улучшении или достижении заданного уровня одного из этих свойств, чаще всего результативности, а другие свойства учитываются в ограничениях и могут перераспределяться исходя из поставленных задач. Приведены обобщенные формы критериев пригодности и оптимальности реализации ЦП применения ТС.

Разработанная методика отличается от известных тем, что учитывает влияние качества управляющих воздействий на функциональную часть ТС на

ее операционные свойства и, в дальнейшем, на результативность ЦП применения этой ТС. Это позволяет осуществлять управление эффективностью ЦП применения этой ТС при фиксированных (неизменяющихся) ее качествах посредством определения соответствующей стратегии, максимизирующей величину интегрального значения эффективности ТС. Кроме того, в рамках методики предложен оригинальный подход к оцениванию эффективности применения ТС, обладающий универсальностью применения, а соответствующий обоснованный показатель, интегральное значение эффективности ТС, характеризуется наглядностью и позволяет обосновывать практическую значимость исследований в различных предметных областях применения ТС.

Список источников

1. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1: Методология, методы, модели. Л.: МО СССР, 1989. 660 с.
2. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.
3. Алексеев О.Г., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Модели распределения средства поражения в динамике боя. М.: МО СССР, 1989. 109 с.
4. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Пеннер Я.А. Метод распределения неоднородных ресурсов при управлении организационно-техническими системами // Вопросы оборонной техники Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 3–4 (93–94). С. 20–26. EDN:VUWHAJ
5. Владимиров В.И., Владимиров И.В. Основы оценки конфликтно-устойчивых состояний организационно-технических систем (в информационных конфликтах). Воронеж: ВАИУ, 2008. 231 с.
6. Костарев С.В., Карганов В.В., Липатников В.А. Технологии защиты информации в условиях кибернетического конфликта. СПб.: ВАС, 2020. 716 с.
7. Липатников В.А., Шевченко А.А. Математическая модель процесса управления информационной безопасностью распределенной информационной системы в условиях несанкционированного воздействия злоумышленника // Информационные системы и технологии. 2022. № 3(131). С. 121–130. EDN:KSBCKGK
8. Бойко А.А. Киберзащита автоматизированных систем воинских формирований. СПб: Научные технологии, 2021. 300 с.
9. Мистров Л.Е., Головченко Е.В. Метод оценки управляемости конфликтно-устойчивой информационной системы авиационного формирования // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 1(59). С. 28–35. EDN:JHPFRO
10. Чуляев И.И., Морозов А.В., Болотин И.Б. Теоретические основы оптимального построения адаптивных систем комплексной защиты информационных ресурсов распределенных вычислительных систем. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2011. 227 с.
11. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки. СПб.: Научные технологии, 2020. 337 с.
12. Коцыняк М.А., Кулешов И.А., Кудрявцев А.М., Лаута О.С. Киберустойчивость информационно-телекоммуникационной сети. СПб.: Бостон-спектр, 2015. 150 с.
13. Тавалинский Д.А., Красиков Д.А. Графодинамическое моделирование информационно-телекоммуникационной сети в интересах рационального распределения ресурсов // Динамика сложных систем – XXI век. 2022. Т. 16. № 3. С. 40–46. DOI:10.18127/j19997493-202203-04. EDN:DRZZKH
14. Мальцев Г.Н., Онуфрей А.Ю., Разумов А.В. Методические рекомендации по формализованной постановке научной задачи исследования в диссертациях по военно-научным специальностям // Вооружение и экономика. 2023. № 3(65). С. 9–23. EDN:FKWJMW
15. Сазонов К.В., Присяжнюк С.П. Потенциальная информативность как новая характеристика отражения материального объекта // Информация и космос. 2006. №2. С. 100–105. EDN:KXAJJX
16. Михайлов Р.Л. Новый базовый подход и методика оценивания информационного превосходства в информационном конфликте // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19. № 1. С. 7–20. DOI:10.18469/ikt.2021.19.1.01. EDN:SOFNMK
17. Михайлов Р.Л. Анализ подходов к формализации показателя информационного превосходства на основе теории оценки и управления рисками // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 3. С. 98–118. EDN:ZXPLMN
18. Ратушин А.П. Применение итеративной оптимизации для решения задачи ситуационного конфигурирования распределенного множества взаимосвязанных операций в составе иерархической процедуры идентификации цифровых сигналов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2022. Т. 27. № 2. С. 72–85. DOI:10.18127/j15604128-202202-09. EDN:ABEIKK

References

1. Petuhov G.B. *Fundamentals of the Theory of the Effectiveness of Purposeful Processes. Part 1: Methodology, Methods, Models*. Leningrad: USSR Ministry of Defence Publ.; 1989. 600 p. (in Russ.)
2. Petuhov G.B., Jakunin V.I. *Methodological Bases of External Design of Purposeful Processes and Purposeful Systems*. Moscow: AST Publ.; 2006. 504 p. (in Russ.)
3. Alekseev O.G., Anisimov E.G., Anisimov V.G. *Models of the Distribution of the Means of Destruction in the Dynamics of Combat*. Moscow: USSR Ministry of Defence Publ.; 1989. 109 p. (in Russ.)
4. Anisimov E.G., Anisimov V.G., Penner Ya.A. Method of allocation of heterogeneous resources while managing of organizational-technical systems. *Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu*. 2016;3-4 (93-94);20–26. (in Russ.) EDN:VUWHAJ
5. Vladimirov V.I., Vladimirov I.V. *Basis of Assessment of the Conflict-Stable States of Organizational and Technical Systems (in Information Conflicts)*. Voronezh: Military Aviation Engineering University Publ.; 2008. 231 p. (in Russ.)
6. Kostarev S.V., Karganov V.V., Lipatnikov V.A. *Technologies of Information Protection in the Conditions of Cybernetic Conflict*. Saint Petersburg: Military Communications Academy Publ.; 2020. 716 p. (in Russ.)
7. Lipatnikov V.A., Shevchenko A.A. Mathematical Model of Information Security Management Process for a Distributed Information System under Conditions of Unauthorized Attacker Impact. *Information Systems and Technologies*. 2022;3(131): 121–130. (in Russ.) EDN:KSBCGK
8. Boyko A.A. *Cyber Security of Automated Systems of Military Formations*. Saint Petersburg: Naukoemkie Tekhnologii Publ.; 2021. 300 p. (in Russ.)
9. Mistrov L.E., Golovchenko E.V. Method for Assessing the Control of Conflict-Resistant Information System of Aircraft Formation. *Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation*. 2021;1(59);28–35. (in Russ.) EDN:JHPFRO
10. Chukliaev I.I., Morozov A.V., Bolotin I.B. *Theoretical Foundations of Optimal Construction of Adaptive Systems of Comprehensive Protection of Information Resources Distributed Computing Systems*. Smolensk: Military Academy of Army Air Defence Publ.; 2011. 227 p. (in Russ.)
11. Makarenko S.I. *Models of the Communication System under Conditions of Deliberate Destabilizing Influence and Conducting Monitoring*. Saint Petersburg: Naukoemkie Tekhnologii Publ.; 2020. 337 p. (in Russ.)
12. Kotsyniak M.A., Kuleshov I.A., Kudryavcev A.M., Laut O.S. *Cyber-Resilience of the Information and Telecommunications Network*. Saint Petersburg: Boston-spektr Publ.; 2015. 150 p. (in Russ.)
13. Tavalinskiy D.A., Krasikov D.A. Graphic Dynamic Modelling of Information Telecommunication Network in Interests of a Rational Distribution of Resources. *Dynamics of Complex Systems - XXI century*. 2022;16(3):40–46. (in Russ.) DOI:10.18127/j19997493-202203-04. EDN:DRZZKH
14. Maltsev G.N., Onufreev A.Y., Razumov A.V. Methodological Recommendations on the Formalized Formulation of the Scientific Research Problem in Dissertations in Military Scientific Specialties. *Armament and Economics*. 2023;3(65):9–23. (in Russ.) EDN:FKWJMW
15. Sazonov K.V., Prisyazhnyuk S.P. Potential Informative Content as a New Characteristic of Reflection of a Material Object. *Information and Space*. 2006;2:100–105. (in Russ.) EDN:KXAJJX
16. Mikhailov R.L. New Basic Approach and Methodic for Assessing of Information Conflict Superiority. *Infokommunikacionnye tehnologii*. 2021;19(1):7–20. (in Russ.) DOI:10.18469/ikt.2021.19.1.01. EDN:SOFNMK
17. Mikhailov R.L. Analysis of Approaches to the Formalization of the Indicator of Information Superiority Based on the Theory of Assessment and Risk Management. *Systems of Control, Communication and Security*. 2017;3:98–118. (in Russ.) EDN:ZXPLMN
18. Ratoushin A.P. Application of Iterative Optimization to Solve the Problem of Situational Configuration of a Distributed set of Interrelated Operations as Part of a Hierarchical Procedure for Identifying Digital Signals. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*. 2022;27(2):72–85. (in Russ.) DOI:10.18127/j15604128-202202-09. EDN:ABEIKK

Статья поступила в редакцию 18.03.2024; одобрена после рецензирования 01.04.2024; принята к публикации 03.04.2024.

The article was submitted 18.03.2024; approved after reviewing 01.04.2024; accepted for publication 03.04.2024.

Информация об авторах:

САЗОНОВ Константин Викторович | доктор технических наук, профессор, научно-педагогический сотрудник Военного университета радиоэлектроники

МИХАЙЛОВ Роман Леонидович | доктор технических наук, доцент, научно-педагогический сотрудник Военного университета радиоэлектроники

РАТУШИН Алексей Павлович | доктор технических наук, доцент, научно-педагогический сотрудник Военного университета радиоэлектроники