

УДК 519.8

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ОБОБЩЕННЫХ РЯДОВ ГРАМА – ШАРЛЬЕ**Лисицкий В.В., Дяченко С.И., Железняков Ю.В.***ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», Санкт-Петербург,
e-mail: lisickii@yandex.ru*

В настоящей статье проанализированы стохастические и детерминированные подходы к оценке эффективности сложных технических систем. На основе анализа подходов к оценке эффективности сложных технических систем выявлены недостатки подходов к оценке эффективности и предложен подход к оценке эффективности сложных технических систем с помощью обобщенных рядов Грама – Шарлье. Предложенный подход хорошо формализуем, минимизирует субъективность оценок эффективности присущих анализируемым подходам оценки эффективности и позволяет оценивать эффективность автоматических или автоматизированных, дискретных технологических систем как на этапе разработки, так и на этапе функционирования, которые функционируют в условиях ограничений наложенных на расходуемое количество ресурсов, с их пополнением или без их пополнения. Особенностью подхода является необходимость построения модели функционирования сложной технической системы в алгебре Грама – Шарлье.

Ключевые слова: эффективность, критерий эффективности, показатель эффективности, сложная техническая система, обобщенные ряды Грама – Шарлье

THE APPROACH FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS BY MEANS OF THE GENERALIZED ROWS OF THE GRAM-CHARLIER**Lisitskiy V.V., Dyachenko S.I., Zheleznyakov Yu.V.***Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: lisickii@yandex.ru*

In this article we analyze the stochastic and deterministic approaches for evaluating the effectiveness of complex technical systems. Based on the analysis of approaches for evaluating the effectiveness of complex technical systems, weaknesses of approaches to assessing the effectiveness were identified and the approach for evaluating the effectiveness of complex technical systems by means of the generalized rows of Gram-Charlier was proposed. The proposed approach is well-formalized, which minimizes the subjective assessment of the efficiency inherent to the analyzed approaches for evaluating the efficiency and allows to assess the effectiveness of automatic or automated, discrete technological systems both at the development stage and at the stage of functioning that operate under the conditions imposed on spendable amounts of resources, with their replenishment or without replenishment. A distinct feature of the approach is the necessity to establish a model of functioning of complex technical systems in algebra of the Gram-Charlier.

Keywords: efficiency, criterion of efficiency, indicator of efficiency, complex technical system, the ranks of the generalized Gram-Charlier

Особенностью синтеза сложных технических систем (СТС) является выделение двух четко выраженных этапов – системно-агрегативного и структурно-параметрического синтеза.

Системно-агрегативный синтез помимо прочего предполагает обоснование показателей качества сложной технической системы и эффективности ее функционирования, а также критериев оценивания эффективности функционирования.

Структурно-параметрический синтез помимо прочего предполагает анализ эффективности функционирования СТС в условиях воздействия случайных и антагонистических факторов. Следовательно, при анализе и синтезе СТС, особую важность приобретает теория эффективности, без использования которой трудно получить оценку эффективности. Теория эффективности строится на понятии эффективности. Под

эффективностью понимают комплексное операционное свойство целенаправленного процесса функционирования, характеризующее его приспособленность к выполнению стоящей перед системой задачи [4, 5].

Понятие эффективности напрямую связано с понятием качества. Качество – это свойство или совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению. Качество сложной системы проявляется в полной мере только в процессе ее функционирования, т.е. использования по назначению. Поэтому наиболее объективная оценка качества системы может быть получена по эффективности ее целевого применения [4, 5]. Эффективность невозможно «наблюдать» непосредственно, ее можно лишь определить косвенными методами.

Для определения эффективности вводится термин «критерий эффективности», под которым понимается условие, на осно-

ве которого определяется показатель эффективности [4, 5], выражающий меру соответствия достигнутых результатов требуемым значениям в отношении принятого критерия [1]. Критерии могут быть как векторными, если результаты функционирования СТС определяются совокупностью показателей, так и скалярными, если оценивание соответствия результатов функционирования заданным требованиям осуществляется на основе набора разнородных требований. Тогда удовлетворение требований по одному из показателей осуществляется на основе скалярного критерия.

Существуют две противоположные точки зрения на установление числа критериев в каждом конкретном случае [3].

Сторонники многокритериальных задач указывают на практическую невозможность соизмерения некоторых видов полезного эффекта и затрат, а следовательно, и невозможность использования единого обобщенного критерия эффективности.

С другой стороны, отмечается, что в случае применения для оценки эффективности и принятия решения нескольких критериев необходим какой-то алгоритм сопоставления показателей эффективности, в противном случае выбор решения невозможен. Необходим единый критерий эффективности для обеспечения выбора оптимального решения, к такому выводу приходят сторонники объединения критериев.

Для большинства СТС характерно наличие целого ряда критериев $W_1, W_2, \dots, W_k$ и соответствующих им показателей $P_1, P_2, \dots, P_k$, одни из которых следует максимизировать, а другие – минимизировать.

Критерии эффективности можно разделить на три группы, характеризующие основные цели функционирования СТС.

1. Функциональные критерии эффективности, характеризующие степень приспособленности СТС к выполнению своих задач или степень соответствия результатов функционирования заданным целям.

2. Экономические критерии эффективности. На основе экономических критериев решаются следующие задачи: какой ценой достигается требуемый эффект функционирования СТС; какова стоимость создания СТС с заданными показателями функционирования; достижимы ли заданные показатели функционирования при имеющихся в наличии ресурсах.

3. Временные критерии эффективности функционирования. На основе временных критериев решаются, например, задачи по определению минимального времени подготовки СТС к применению или по оцениванию минимального времени выполнения

поставленной задачи. Временному критерию чаще всего соответствуют показатели эффективности СТС в форме вероятности уложиться в определенные (заданные, гарантийные, директивные и т.п.) сроки.

При анализе и синтезе СТС решение о выборе системы в наибольшей степени соответствующей предъявленным требованиям по критериям эффективности требует решения многокритериальной задачи и не всегда может быть однозначным.

Выбору критериев эффективности, показателям эффективности и оценке обобщенной эффективности посвящено большое число работ в технической, экономической сферах и в других областях. Однако, несмотря на значительные успехи в развитии теории эффективности, есть вопросы, которые, на наш взгляд, требуют развития и уточнения.

Постановка задачи

Рассмотрим основные подходы к оценке эффективности функционирования СТС.

Стохастический подход к определению показателей эффективности предполагает использовать обобщенный показатель Π , который определяется по выражению (1)

$$\Pi = (\Pi_n, \Pi_p, \Pi_z), \quad (1)$$

где Π_n – комплексный показатель целевой надежности системы; Π_p – комплексный показатель целевой производительности системы; Π_z – комплексный показатель целевой экономичности системы.

При этом комплексные показатели Π_n, Π_p, Π_z рассматриваются как числовые вероятностные характеристики

$$\Pi_n = P\{Y_k \geq Y_n | U_k \leq U_n\}, \quad (2)$$

$$\Pi_p = P\{Y_k | U_k \leq U_n\}, \quad (3)$$

$$\Pi_z = P\{U_k | Y_k \geq Y_n\}. \quad (4)$$

В выражениях 2, 3, 4 $U_k \leq U_n, Y_k \geq Y_n$, критерии эффективности W_1, W_2

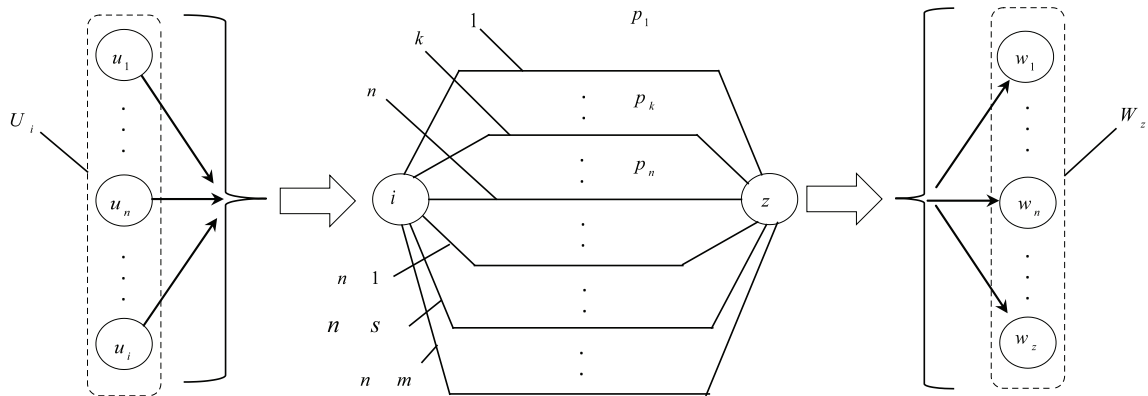
Определять эти показатели эффективности предлагается по выражению

$$\Pi_n = \int_0^\infty \int_y^\infty dF_n(y) dF_k(y), \quad (5)$$

где $F_k(y)$ – функция распределения возможного конечного результата функционирования и развития системы Y_k ; где $F_n(y)$ – функция распределения целевого результата функционирования системы для достижения цели Y_n ;

$$\Pi_p = \int_0^\infty y dF_k(y), \quad (6)$$

где y – переменная, выражающая возможные значения конечного результата функционирования и развития системы Y_k ;



Представление сложной технической системы в виде типового элемента схемы обработки

$$\Pi_3 = \int_0^{\infty} u dF_k(u), \quad (7)$$

где u – переменная, выражающая возможные значения расхода ресурсов U_k на получение конечного результата Y_k ; $F_k(u)$ – функция распределения случайной величины U_k .

На основании приведенных выражений необходимо получить аналитические выражения для функций $F_k(y)$, $F_u(y)$, $F_k(u)$, представляющих собой функции распределения случайных величин Y_k , Y_u , U_k . Выбор вида функциональной зависимости является трудно формализуемым этапом и несет на себе отпечаток субъективности.

Детерминированные подходы к определению показателей эффективности предполагают оптимизировать некий обобщенный критерий эффективности. Задачи оптимизации обобщенного критерия эффективности в детерминированных подходах решаются по-разному.

Задача оптимизации обобщенного критерия эффективности по максимуму дроби.

$$W = \max \frac{W_1 \dots W_k}{W_{k+1} \dots W_l}. \quad (8)$$

В числителе дроби критерии, которые следует увеличивать, а в знаменателе – критерии, которые надо уменьшать. Недостатком подхода является компенсации низких значений критериев за счет уменьшения более высоких критериев. Отсюда вытекает неоднозначность выбора W_1, W_{k+1} .

Задача оптимизации обобщенного критерия эффективности по максимуму разности критериев.

$$W = \max (W_1 - W_2), \begin{cases} W_1 - \text{выигрыш} \\ W_2 - \text{затраты} \end{cases}. \quad (9)$$

Недостаток подхода идентичен предыдущему.

Задача оптимизации обобщенного критерия эффективности по «взвешенной» сумме отдельных («частных») критериев эффективности и соответствующих им показателей

$$W = \sum_{j=1}^k a_j W_j, \quad (10)$$

где a_j – весовой коэффициент критерия эффективности W_j .

Недостатком подхода является субъективный подход к определению весовых коэффициентов a_j критериев эффективности W_j .

Для сложных технических систем, процессы в которых протекают стохастически, дискретно, нестационарно, необходим подход к оценке эффективности, хорошо формализуемый с минимумом субъективности. Таким подходом может быть подход к оценке эффективности сложных технических систем с помощью обобщенных рядов Грама – Шарлье.

Решение задачи

Очертим класс сложных технических систем, для которых применим подход к оценке эффективности с помощью обобщенных рядов Грама – Шарлье. Это системы автоматические или автоматизированные (человеко-машинные, организационно-технические, эргатические, организационного управления) дискретные технологические системы (то есть такие сложные технические системы, в которых протекают дискретные технологические, процессы), функционирующие в условиях ограничений, наложенных на расходуемое количество ресурсов в сложных техниче-

ских системах, с пополнением ресурсов или без пополнения.

Прежде чем перейти к оценке эффективности функционирования сложных технических систем, отметим, что в основе оценки эффективности функционирования лежит модель функционирования сложной технической системы, построенная в алгебре обобщенных рядов Грама – Шарлье.

Алгебраическая модель сложной технической системы является отображением в алгебре обобщенных рядов Грама – Шарлье графовой модели сложной технической системы. В основе графовой модели сложной технической системы лежит схема обработки. Для примера представим модель сложной технической системы в виде типового элемента схемы обработки (рисунок).

Основой модели схемы обработки является типовой элемент, где U_i – множество номеров узлов схемы обработки, исходящих из которых дуги инцидентны i -му узлу; W_z – множество номеров узлов схемы обработки, инцидентные которым дуги исходят из z -го узла.

Запишем алгебраическую модель сложной технической системы, представленной в виде графовой модели на рисунке.

$$\left. \begin{aligned} \tilde{f}_z^{v+} &= \tilde{\phi}_{i,z}^v \otimes \tilde{f}^+; \\ \tilde{f}^+ &= \bigotimes_{w \in W_z} \tilde{f}_{z,w}^+; \\ \tilde{\phi}_{i,z}^v &= \tilde{f}_i^v \tilde{f}_{i,z}^v; \\ \tilde{f}_{i,z} &= \tilde{f}_{i,z}^1 \otimes \tilde{f}_{i,z}^2; \\ \tilde{f}_{i,z}^1 &= \bigoplus_{k=1}^n (p_k \bullet \tilde{f}_{i,z,k}); \\ \tilde{f}_{i,z}^2 &= \bigotimes_{s=n+1}^{n+m} \tilde{f}_{i,z,s}; \\ \tilde{f}_i^v &= \tilde{f}_i^{v-} \otimes \tilde{f}^{\mu+}; \\ \tilde{f}_i^{v-} &= \bigotimes_{u \in U_i} \tilde{f}_{u,i}^+ \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $\tilde{f}$ с индексами – частичная сумма обобщенных рядов Грама – Шарлье функции f плотности распределения вероятностей случайной величины $\hat{t}$ с соответствующими индексами.

$\tilde{\phi}_{i,z}^v$ – частичная сумма обобщенных рядов Грама – Шарлье функции ϕ плотности распределения вероятностей случайной величины $\hat{T}_{i,z}^v$.

Трансформация типового элемента схемы обработки (за счет исключения тех или иных дуг) влечет однозначно соответствующую ей трансформацию модели (11) путем исключения частичных обобщенных рядов Грама – Шарлье. Как видно, модель позволяет автоматизировать процесс ее построе-

ния, это является важной особенностью метода моделирования в алгебре обобщенных рядов Грама – Шарлье.

При оценке эффективности, как отмечалось выше, наибольшие трудности возникают при определении функции распределения случайных величин (как правило затрат ресурсов и т.п.), так как приходится строить условные законы распределения использованных ресурсов. Аналитически корректно это построение выполнить, как правило не удастся, а численные эксперименты порождают дополнительные трудности и не всегда возможны.

Указанная проблема решается идентификацией СТС в терминах обобщенных рядов Грама – Шарлье. Другими словами, создается единый механизм одновременного, синхронного, функционально связанного формирования использованных ресурсов. Это позволяет оперировать с полученными на его основе законами распределения использованных ресурсов как с законами распределения условно независимых величин, то есть постулировать следующее равенство

$$f_{<n>}(u_{<n>}) = \prod_{i=1}^n f_i(u_i), \quad (12)$$

где $f_{<n>}$ – плотность распределения вероятности случайного n -мерного вектора $\bar{X}_{<n>} = \{\bar{x}_i; i = \overline{1, n}\}$ использованных ресурсов n видов;

$U_{<n>}$ n -мерный вектор $U_{<n>} = \{u_i; i = \overline{1, n}\} \in R^n$; f_i – плотность распределения вероятности случайной величины $\bar{x}_i$ затрат ресурсов i -го вида.

Использовать выражение (12) возможно, если известна аналитическая зависимость $f_i(u_i)$ или правила позволяющие вычислить значение $f_i(u_i)$, учитывающие влияние на f_i характеристик процесса функционирования СТС. В рамках алгебры обобщенных рядов Грама – Шарлье построение зависимости f_i не представляет ни теоретических, ни вычислительных проблем и подробно описана в [2].

Выводы

На основе анализа подходов к оценке эффективности предложен подход к оценке эффективности сложных технических систем с помощью обобщенных рядов Грама-Шарлье. Предложенный подход хорошо формализуем, минимизирует субъективность оценки эффективности при условии анализируемым подходам оценки эффективности. Он позволяет оценивать эффективность автоматических или автоматизи-

рованных, дискретных технологических систем, которые функционируют в условиях ограничений, наложенных на расходимое количество ресурсов, с их пополнением или без их пополнения. При этом для его применения необходимо построение модели функционирования СТС в алгебре Грама – Шарлье.

Список литературы

1. Дедков В.К. Принципы формирования критериев и показателей эффективности функционирования сложных технических систем [Текст] / В.К. Дедков. // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 3–8.
2. Лысенко И.В. Анализ и синтез сложных технических систем. Часть 2 Основы теории обобщенных рядов Грама-Шарлье и ее применение: Анализ и синтез сложных технологических систем [Текст] / И.В. Лысенко. – М.: Военное издательство, 1995. – 260 с.
3. Нарусбаев А.А. Введение в теорию обоснования проектных решений [Текст] / А.А. Нарусбаев. – Л.: Судостроение, 1976. – 224 с.
4. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1 Методология, методы,

модели [Текст] / Г.Б. Петухов. – Л.: Министерство обороны СССР, 1989. – 647 с.

5. Петухов Г.Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. – М.: АСТ, 2006. – 502 с.

References

1. Dedkov V.K. Printsipy formirovaniya kriteriev i pokazateley effektivnosti funkcionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh system [Tekst] / V.K. Dedkov // Nadezhnost i kachestvo slozhnykh system. 2013. no. 4. pp. 3–8.
2. Lysenko I.V. Analiz i sintez slozhnykh tekhnicheskikh system. Chast 2. Osnovy teorii obobshchennykh ryadov Grama-Sharle i ee priminenie: Analiz i sintez slozhnykh tekhnologicheskikh system [Tekst] / I.V. Lysenko. M.: Voennoe izdatelstvo, 1995. 260 p.
3. Narusbaev A.A. Vvedenie v teoriyu obosnovaniya proektnykh resheniy [Tekst] / A.A. Narusbaev. L.: Sudostroenie, 1976. 224 p.
4. Petukhov G.B. Osnovy teorii effektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Chast 1. Metodologiya, metody, modeli [Tekst] / G.B. Petukhov. L.: Ministerstvo oborony SSSR, 1989. 647 p.
5. Petukhov G.B. Metodologicheskie osnovy vneshnego projektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremennykh system [Tekst] / G.B. Petukhov, V.I. Yakunin. M.: AST, 2006. 502 p.