

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК. 519 8

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. К. Дедков

Под термином «критерий эффективности» понимается чаще всего **условие**, на основе которого осуществляется определение **показателя** эффективности. Под «критерием» оценивания качества иногда понимают также **мерило**, **отличительный признак**, «**пробный камень**» или, по образному выражению, «**критерий истины**» [1].

«Критерий» формулируется в виде некоторого высказывания о качественном или количественном значении показателя, определяющего желаемые свойства сложной технической системы (СТС).

Термин «**показатель**» **эффективности** выражает собой **меру соответствия** достигнутых результатов требуемым значениям в отношении принятого критерия.

Критерий эффективности, как ее мерило, должен устанавливать соотношение между полезным (ожидаемым) эффектом, т.е. результатом функционирования, и требуемым или заданным результатом.

Различают критерии «**собственные**» и «**несобственные**».

Если исследуемый объект рассматривается как подсистема системы более высокого уровня иерархии, то об эффективности можно судить по результатам функционирования системы более высокого уровня и по тому, какой «вклад» в достижение общей цели вносит рассматриваемый объект.

Критерии, на основе которых оценивается эффективность составной части (подсистемы) сложной системы, называются «**несобственными**».

Если же исследуемый объект рассматривается как самостоятельная система, то говорят, что его эффективность оценивается по «**собственному**» критерию.

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.

Критерии могут быть частными, общими и обобщенными.

Существует две противоположные точки зрения на установление числа критериев в каждом конкретном случае [2].

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.

Проблема выбора критериев достаточно серьезная: для большинства крупномасштабных задач характерно наличие целого ряда критериев $W_1, W_2, \dots, W_k$ и соответствующих им показателей $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_k$, одни из которых следует **максимизировать**, а другие – **минимизировать**. Можно ли найти решение, удовлетворяющее сразу всем требованиям? Нет.

Решение, обращающее в максимум какой-либо показатель, как правило, не обращает ни в максимум, ни в минимум другие.

Поэтому широко применяемая формулировка «**достижение максимального эффекта при минимальных затратах**» – не более чем фраза, которая при научном анализе должна быть отброшена.

Как же поступают в случае, если задача «поликритериальна»? На практике применяют следующий прием: стараются составить из нескольких показателей один и пользоваться им при выборе решения.

Часто такой показатель принимает форму дроби, у которой в качестве числителя используется показатель, подлежащий **увеличению**, а в качестве знаменателя – показатель, значение которого должно быть **уменьшено**.

В числителе – полезный эффект, в знаменателе – затраты или в числителе – потери противника, в знаменателе – собственные потери и израсходованные средства.

Однако такой метод конструирования объединенного показателя некорректен. Он основан на допущении, что всегда недостаток в одном показателе может быть скомпенсирован за счет другого, например, малая вероятность достижения цели за счет малой стоимости.

Существуют две основные формы представления показателя эффективности любых решений в области рациональной деятельности человека, в том числе и при проектировании СТС [2].

Первой формой является **достижение максимума полезного эффекта при заданных затратах ресурсов**. В такой постановке принцип оптимальности может быть назван **принципом максимизации эффекта**.

При второй постановке оптимальность достигается путем **минимизации затрат ресурсов с обязательным достижением заданного эффекта (принцип экономии ресурсов)**.

Принципы максимизации эффекта и экономии ресурсов эквивалентны друг другу, в том смысле, что для поиска неизвестного решения можно использовать любую из процедур нахождения экстремума. Результат в обоих случаях должен быть один и тот же.

Основные критерии эффективности

Принципы максимизации эффекта и экономии ресурсов являются наиболее общими принципами выбора критериев эффективности.

Из этого следует, что должны существовать, по крайней мере, три группы критериев эффективности, исчерпывающим образом характеризующих 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.

Некоторые способы решения многокритериальных задач оценивания эффективности

Решение о выборе СТС, в наибольшей степени соответствующей предъявленным требованиям по критериям эффективности, не всегда может быть однозначным.

Так, самолет целевого назначения, совершающий полеты с целью раннего обнаружения и распознавания летящих объектов противника, должен обладать способностью обнаруживать и идентифицировать цели. Показателем эффективности операции, выполняемой таким самолетом, является вероятность того, что ни один объект противника не прорвется к цели.

Однако этот показатель не единственный. Существуют и другие показатели, такие как стоимость выполнения задачи, длительность нахождения самолета-разведчика в режиме выполнения задачи, т.е. в полете и т.д.

В практической деятельности многокритериальные задачи решаются довольно успешно, хотя математически строгого (корректного) решения задач многокритериальной оптимизации пока не существует.

1. **Задача выбора лучшего варианта СТС в условиях многокритериальности** прежде всего заключается в исключении из дальнейшего рассмотрения явно нерациональных вариантов СТС, уступающих другим по показателям эффективности.

Пусть качество функционирования СТС оценивается двумя показателями: $W_{БЗ}$ – вероятность выполнения боевой задачи и $C_{БЗ}$ – математическое ожидание стоимости выполнения боевой задачи.

Очевидно, $W_{БЗ}$ следует обратить в максимум, а $C_{БЗ}$ – в минимум. Пусть предложено 15 вариантов систем, для каждой из которых известны $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$ (рис. 1).

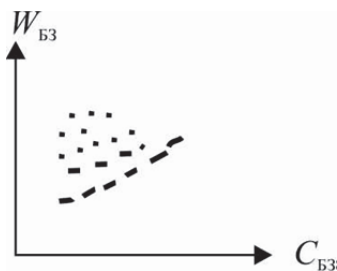


Рис. 1. Графическое представление различных вариантов СТС

Каждый вариант изображен точкой на рис. 1. Для выбора оптимального варианта СТС следует рассмотреть точки, расположенные одновременно на правой (наибольшая $W_{БЗ}$) и нижней (наименьшая $C_{БЗ}$) границе области возможных вариантов, так как они превосходят по показателям $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$ все остальные варианты.

Среди оставшихся вариантов, кроме соединенных на рис.1 пунктиром, необходимо установить: какой ценой оплачено известное повышение $W_{БЗ}$ или какой долей $C_{БЗ}$ можно пожертвовать, чтобы соблюсти экономию.

Аналогично производится отбрасывание непригодных вариантов, когда показателей эффективности не два, а несколько (правда при этом теряется наглядность).

Из рис. 1 также видно, что минимизация по одному критерию несовместима с максимизацией по другому.

2. Как отмечалось выше, нередко в качестве **обобщенного критерия эффективности берут максимум дроби**, в числителе которой те показатели, которые следует увеличивать, а в знаменателе те, которые надо уменьшать:

$$W = \max \frac{W_1 \dots W_l}{W_{l+1} \dots W_r}. \quad (1)$$

Недостаток такого подхода заключается в том, что низкий уровень одного показателя может быть скомпенсирован за счет уменьшения другого, например:

$$W = \max \frac{W_{БЗ}}{C_{БЗ}}. \quad (2)$$

Отсюда вытекает неоднозначность выбора $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$.

К этому критерию непосредственно примыкает другой, основанный на использовании максимума разности показателей:

$$W = \max(W_1 - W_2), \begin{cases} W_1 - \text{прибыль (выигрыш)}(W_{БЗ}) \\ W_2 - \text{затраты}(C_{БЗ}) \end{cases} \quad (3)$$

Недостаток этого показателя такой же, как и предыдущего.

Представленная на рис. 2 зависимость между показателями $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$ позволяет наглядно продемонстрировать недостатки изложенного выше подхода к формированию критериев эффективности.

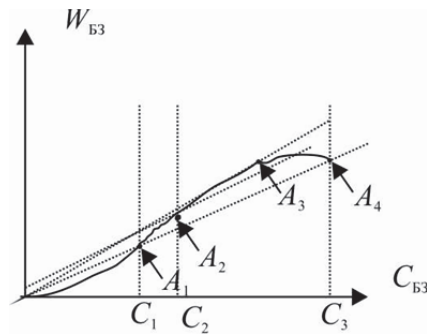


Рис. 2. Зависимости между показателями $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$

Отмеченные на рис. 2 точки A_1, A_2, A_3 и A_4 соответствуют различным вариантам выбора $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$. Наибольшее соотношение $\frac{W_{БЗ}}{C_{БЗ}}$ соответствует варианту A_3 , затем идет A_2 и, наконец, равнозначные, в смысле принятого показателя, A_1 и A_4 .

Следует ли из этого, что решение A_3 всегда окажется наилучшим?

Если ресурсы ограничены величиной C_1 , то решения $A_2 - A_4$ вообще не могут быть реализованы, а оптимальным является решение A_1 — «наихудшее» из приведенных на рисунке.

При ограничении C_3 предпочтение отдается варианту A_4 , несмотря на то, что по критерию (2) предпочтение должно быть отдано вариантам A_2 и A_3 . Заметим, что критерий (2), т.е. отношение полезного эффекта к затратам, на практике применяется довольно редко.

Если свести все показатели эффективности, соответствующие различным подходам к выбору критерия эффективности, к одной задаче, то соотношение между ними таково, как показано на рис. 3.

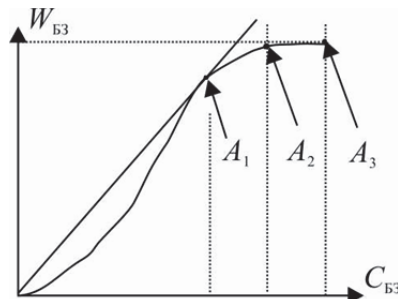


Рис. 3. График зависимостей между показателями эффективности:

A_1 — вариант решения, соответствующий максимальному отношению полезного эффекта к затратам;

A_2 — вариант решения, соответствующий максимальной разности полезного эффекта и затрат;

A_3 — вариант решения, соответствующий максимально возможному значению полезного эффекта при ограничении на величину затрат

3. Нередко на практике применяются другой обобщенный показатель эффективности, в качестве которого берут «взвешенную» сумму отдельных («частных») показателей эффективности, одни из которых следует максимизировать (они берутся со знаком «+»), а другие – минимизировать (они берутся со знаком «-»).

При произвольном назначении весов этот метод не лучше предыдущего:

$$W = \sum_{j=1}^r a_j W_j, \quad (4)$$

где a_j – весовой коэффициент показателя эффективности W_j .

Абсолютные значения весовых коэффициентов соответствуют степени «важности» показателя W_j .

Следует отметить, что избежать субъективизма в определении весовых коэффициентов невозможно, кроме того, эти «веса» существенно зависят от обстановки, в которой производится оценивание. Эти коэффициенты могут меняться от одного этапа разработки СТС к другому, от значений других показателей, которые также изменяются от этапа к этапу и т.д.

Метод последовательных уступок

Предполагается, что существует возможность расположить показатели эффективности в порядке «убывающей важности»:

$$W_1, W_2, \dots, W_r.$$

Процедура поиска варианта СТС, удовлетворяющего требованию максимизации составляющих обобщенного показателя, заключается в следующем.

Для простоты полагаем, что каждый показатель следует обратить в максимум. Сначала производится поиск решения, доставляющего максимум главному критерию W_1 . Затем, исходя из практических соображений, назначается некоторая уступка ΔW_1 , которую можно допустить, чтобы обратить в максимум второй показатель W_2 .

На показатель W_1 накладывается ограничение:

$$W \geq W_1^* - \Delta W_1,$$

где W_1^* – максимальное значение показателя W_1 .

При этом ограничении ищется решение, доставляющее максимум показателю W_2 . Далее назначается уступка ΔW_2 , ценой которой можно максимизировать показатель W_3 и т.д.

Положительным в этом методе является то, что сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе достигается выигрыш в другом.

Метод выделения главного показателя

Данный метод заключается в том, что после ранжировки всех показателей, выделяется единственный «главный» показатель, который обращается в максимум. На остальные показатели накладываются ограничения типа:

$$\max W_1, \text{ при } W_2 \geq \omega_2, W_3 \geq \omega_3, \dots, W_r \geq \omega_r.$$

При такой постановке задачи все показатели, кроме главного, переводятся в разряд заданных условий функционирования СТС. Варианты, не укладывающиеся в заданные границы, сразу же отбрасываются.

Оценка эффективности и ее оптимальность будут зависеть от выбора ограничений. Чтобы оценить, насколько второстепенные показатели эффективности влияют на изменение главного показателя, необходимо произвести предварительное варьирование этими показателями.

Метод последовательной многокритериальной оптимизации.

Суть метода в поиске таких вариантов, которые лучше остальных хотя бы по одному показателю и не хуже их по остальным показателям. За «оптимальный» вариант берется один из таких вариантов.

Функциональный метод

Метод заключается в построении «критериальной функции», т.е. зависимости между частными показателями эффективности. В дальнейшем производится исследование «критериальной функции».

Список литературы

1. Петухов, Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели / Г. Б. Петухов. – Л. : Министерство обороны СССР, 1989. – С. 635.
2. Нарусбаев, А. А. Введение в теорию обоснования проектных решений / А. А. Нарусбаев. – Л. : Судостроение, 1976. – 224 с.

УДК. 519. 8

Дедков, В. К.

Принципы формирования критериев и показателей эффективности функционирования сложных технических систем / В. К. Дедков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 3–8.

Дедков Виталий Кириллович

доктор технических наук, профессор,
научный сотрудник отдела безопасности
и нелинейного анализа,
Учреждение Российской академии наук,
Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
(495) 135-61-95
E-mail: dedkov-33@rambler.ru

Dedkov Vitaliy Kirillovich

doctor of technical science, professor, the scientific
worker of the division of safety and nonlinear analysis
the establishment of the Russian academy of sciences
Computer center A. A. Dorodnitsyn,
Russian academy of sciences
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Аннотация. Рассматриваются основные принципы постановки задач оптимизации по критериям максимума и минимума полезного эффекта. Показано в частности, что принцип максимизации эффекта направлен на достижение максимума полезного эффекта при заданных затратах ресурсов, а принцип экономии ресурсов направлен на минимизацию затрат ресурсов с обязательным достижением заданного эффекта.

Ключевые слова: показатели эффективности, критерии эффективности, векторные критерии, скалярные критерии, максимизация, минимизация, достижение полезного эффекта, многокритериальность, обобщенные критерии.

Abstract. In article the basic principles of statement of problems of optimization by criteria of a maximum and a minimum of useful effect are considered. It is shown in particular that the principle of maximizing effect is directed on achievement of a maximum of useful effect at the set expenses of resources, and the principle of economy of resources is directed on minimization of expenses of resources with obligatory achievement of the set effect.

Key words: efficiency indicators, criteria of efficiency, vector criteria, scalar criteria, maximizing, minimization, achievement of useful effect, the mnogokriterialnost, the generalized criteria.