

## **Некоторые аспекты оценки эффективности целенаправленных систем**

А.В.Коршунов

В статье рассматривается категория эффективности, ее взаимосвязь с категориями качества, эффекта. Проводится анализ существующей системы показателей эффективности целенаправленных систем. Для оценки эффективности предлагается использовать показатели, основанные на сравнении требуемого и получаемого эффектов, позволяющие оценивать не только степень «выполнения», но и «перевыполнения» стоящих перед системой задач.

Ключевые слова:

эффективность, качество, эффект, оценка эффективности, показатели эффективности, целенаправленные системы

Понятие эффективности является одним из ключевых понятий теории систем, и его изучению посвящены многочисленные исследования [1...6 и др.]. В ходе этих исследований было показано, что эффективность представляет собой главный инвариант действия сложной системы, определяющий ее существование, перспективу развития и место в надсистеме [3], и выделены ее основные свойства [4]:

эффективность имеет количественную меру и выражается числом;

мера эффективности является внешней по отношению к системе, т.е. никакое описание устройства системы не может быть достаточным для введения этой меры;

оценка эффективности учитывает свойства надсистемы и охватывает как систему, так и надсистему;

нецеленаправленные системы эффективности не имеют.

Тем не менее, как ни парадоксально, понятие эффективности остается по ряду аспектов малоизученным. Свидетельством этому является достаточно большое количество

определений и трактовок этого понятия, не только не совпадающих между собой, но, подчас, и противоречащих друг другу, даже в одном источнике.

Так, например,

«Под эффективностью ракетной системы следует понимать способность ее выполнить требуемые задачи в установленное время и с наименьшими затратами при уровне боевого эффекта, не ниже заданного». [7, с.6]

«Под боевой эффективностью средства поражения (ракеты) или комплекса вооружения понимается степень его приспособленности для решения боевых задач в конкретных условиях при ограниченных затратах времени и средств». [7, с. 11]

«Под эффективностью стрельбы ракетами будем понимать степень выполнения ракетами требуемых боевых задач в заданных условиях». [7, с.12]

«Эффективность огневого поражения представляет собой характеристику степени реализации возможностей имеющихся сил и средств огневого поражения для достижения поставленных целей по нанесению ущерба противнику». [6]

«Эффективность - нормированный к затратам ресурсов результат действия или деятельности системы на определенном интервале времени». [3]

Следует отметить, что, поскольку наиболее распространенными из целенаправленных систем являются системы военного назначения, большинство имеющихся в литературе определений эффективности относится именно к таким системам.

Как видно из приведенных определений, при всех разночтениях и противоречиях, они отражают то, что как свойство (характеристика) системы эффективность связана с целенаправленностью или целеориентированностью, не совпадая с последней, и выступает как мера целенаправленности [8].

Естественно, что как имманентное свойство системы эффективность не может выступать в качестве характеристики последней без введения меры эффективности.

Под мерой эффективности понимается отображение эффективности  $\mathcal{E}$  на множество вещественных чисел  $\mathbb{R}_e$ . Обозначив меру как  $v$ , имеем:

$$v : \mathcal{E} \rightarrow \mathbb{R}_e. \quad (1)$$

Иными словами, мера эффективности выступает как отображение измерения, приписывающее эффективности числовую величину, именуемую показателем эффективности. Исходя из общих свойств показателей, можно утверждать, что показатель эффективности представляет собой упорядоченное множество.

Упомянутое ранее многообразие формулировок понятия «эффективность» необходимо влечет за собой многообразие показателей эффективности или, другими словами, многовариантность отображения  $v$ .

Так, в качестве показателей эффективности приводятся [1, 6]:

- нанесенный противнику ущерб, предотвращенный ущерб, математическое ожидание числа пораженных целей противника, глубина продвижения наступающих войск, время выполнения боевой задачи, среднее значение (математическое ожидание) ущерба, нанесенного противнику, площадь поражения;

- вероятность поражения объекта противника (цели), вероятность сохранения объекта, вероятность выполнения задачи, вероятность нанесения объекту гарантированного ущерба и ущерба не менее заданного, вероятность поражения цели.

Как следует из анализа приведенных показателей эффективности, большая часть из них представляет оценку результата действия системы – эффекта - без учета поставленных перед системой целей и оценки степени ее целенаправленности.

Это является следствием отмечаемой в литературе по квалиметрии коллективной методологической рефлексии эффективности, как меры качества [9]. Указанная рефлексия связана с тем, что категории качества и эффективности, как указывается там же, определяются через одни и те же родовые понятия. И, хотя как указывается, что логически последовательным было бы использование категории эффективности не как подменяющей категорию качества, а как взаимодействующей с ней, конкретных рекомендаций по этому поводу не дается.

Однако, на взгляд автора, соотнесение ряда положений системотехники и квалиметрии позволяет достаточно четко проследить связи и различия этих понятий.

Рассмотрим связь понятий качества и эффективности.

Остановимся на ряде вербальных и формально-математических определений и их соотношениях.

Качество системы (образца) – обобщенная положительная характеристика системы (образца), выражающая степень ее полезности для надсистемы, исследователя или пользователя. [3, 8].

Категория качества, в свою очередь, представляет собой систему ее частных суждений-определителей, из которых в качестве наиболее важных можно выделить семь [9]:

1) качество есть совокупность свойств (аспект свойства);

2) качество структурно, представляет собой иерархическую систему свойств или качеств частей объекта (аспект структурности);

3) качество есть динамическая система свойств (аспект динамичности);

4) качество – существенная определенность объекта, внутренний момент, выражающийся в закономерной связи составляющих частей и конституирующий условия развития объекта (аспект определенности);

5) качество имеет двоякую внешне-внутреннюю обусловленность (аспект обусловленности);

6) качество обуславливает единичность объекта (процесса), его специфичность, упорядоченность, устойчивость (аспект специфичности);

7) качество создаваемых объектов и процессов ценно (аспект ценности).

Как явствует из приведенных суждений, качество преимущественно определяется внутренними свойствами системы (эндогенность качества).

Под мерой качества понимается отображение качества  $R$  или его подмножеств – отдельных свойств или их групп  $\{r_i\} \subset R$  на множество вещественных чисел  $R_e$ . Обозначив меру через  $\mu$ , имеем:

$$\mu : R \rightarrow R_e \text{ или } \mu : \{r_i\} \rightarrow R_e. \quad (2)$$

Аналогично мере эффективности мера качества выступает как отображение измерения, приписывающее качеству, свойству или группе свойств число [9].

В общем случае качество может рассматриваться в теоретико-множественном смысле как определенное множество свойств, где свойство или группа свойств выступают осями некоторого пространства  $\Gamma$ . Тогда мера качества  $\mu$ , как определенное множество мер, где одна мера или группа мер выступают осями пространства:

$$\mu : \Gamma \rightarrow M. \quad (3)$$

Указанные оси часто именуется показателями качества [9], т.к. они образуют совокупность основных положительных, с точки зрения надсистемы, свойств системы с их мерами. Показатели качества являются системными инвариантами [8].

С формально-математической точки зрения показатели качества представляют собой неупорядоченное множество [3, 8]:

$$Q = \{Q_i\}, i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где  $Q_i$  – определены на различных множествах (в различных функциональных пространствах, на разных осях пространства мер) и имеют различные размерности.

Каждый из показателей качества  $Q_i$  представляет собой упорядоченное множество (непрерывное, дискретное, состоящее из переменных  $(0, 1)$ , семантическое, нечеткое):

$$\begin{aligned} Q_i &= \{Q_{ij}\}, \quad j = \overline{1, m}, \\ Q_{i1} &< Q_{i2} < \dots < Q_{im}. \end{aligned} \quad (5)$$

При этом каждое конкретное значение показателя выступает как количественная характеристика свойства [10].

Возвращаясь назад к понятию качества, можно сказать, что с теоретико-множественной точки зрения оно является частично упорядоченным множеством:

$$\begin{aligned} Q &= \{Q_k\}, \\ \varphi: J \times Q &\rightarrow Q, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\varphi$  - отображение прямого (декартова) произведения  $J \times Q$  в множество  $\hat{Q}$ ;

$J$  - «упорядочивающее» множество.

По сути, (6) представляет собой выражение, обратное (2) и (3).

Не останавливаясь здесь подробно на понятиях порядка и упорядоченности, отметим лишь, что само упорядочивающее множество  $J$ , с помощью которого в заданное неупорядоченное множество  $Q$  привносится отношение порядка, не обязательно должно быть упорядоченным. Природа такого множества и принципы его построения могут быть самыми различными.

Наиболее широко применяются пороговый, весовой, ранговый и семантический принципы.

Эффект - результат, следствие каких-либо причин, действий.

Эффект  $G$  представляет собой упорядоченное множество, определяемое как [3, 8]:

$$\psi: Q \times T \rightarrow G \quad \text{или} \quad \psi_1: Q \times T \rightarrow G, \quad (7)$$

где  $T$  - вполне упорядоченно множество моментов времени;

$\psi, \psi_1$  - отображения.

Следует подчеркнуть, что отображения  $\psi$  и  $\psi_1$  в (7) являются сложными, поскольку для целенаправленных систем, являющихся открытыми, т.е. взаимодействующими со средой, для определения эффекта необходимо знать характеристики среды и способ функционирования системы. В этом смысле (7) точнее было бы записать как:

$$\psi: Q \times T \times S \times F \rightarrow G \quad \text{или} \quad \psi_1: Q \times T \times S \times F \rightarrow G, \quad (8)$$

где  $S$  - множество, характеризующее среду функционирования системы;

$F$  - множество способов функционирования системы.

Если на качество, в первую очередь, оказывают влияние внутренние свойства системы (эндогенность качества), на эффект дополнительно влияют среда и способ функционирования системы, то на эффективность будет влиять еще и стоящая перед системой цель (экзогенность эффективности). Таким образом, можно записать:

$$\xi: G \times A \rightarrow \mathcal{E} \text{ или } \xi: Q \times T \times S \times F \times A \rightarrow \mathcal{E}, \quad (9)$$

где  $A$  – множество целей функционирования системы;

$\xi, \xi_1$  – отображения.

Выражение (9) показывает взаимосвязь категорий качества и эффективности и позволяет избежать методологической рефлексии эффективности, как меры качества.

Кроме того, из указанного выражения следует, что наиболее корректным является определение эффективности как степени соответствия возможных или полученных результатов необходимым или желаемым [5]. Иными словами, эффективность представляет собой степень соответствия результатов функционирования системы целям.

Возвращаясь к приведенным выше показателям эффективности, отметим, что существующая исторически сложившаяся система показателей эффективности эклектична и включает показатели эффективности как таковой, так и показатели производимого целенаправленной системой эффекта. Разница между ними ясно видна из сравнения (8) и (9).

Для систем военного назначения, к показателям эффекта из приведенных выше показателей в первую очередь относятся показатели, так или иначе определяющие нанесенный или предотвращенный ущерб, а также показатели типа площади поражения, глубины продвижения и времени выполнения боевой задачи.

К показателям оценки собственно эффективности следует отнести показатели типа вероятности выполнения задачи, вероятности нанесения объекту гарантированного ущерба и ущерба, не менее заданного, вероятности поражения цели. Т.е. во все эти показатели этой группы явно или неявно входит заданный ущерб или цель применения оружия.

Вследствие этого, в методическом и в методологическом планах было бы точнее использовать в качестве показателей эффективности только вторую группу показателей.

Следует, однако, учитывать, что показатели второй группы показателей не в полной мере характеризуют эффективность как степень соответствия результатов целям. Они определяют вероятность того, что результат будет больше или менее поставленной цели, и одновременно характеризуют вероятность невыполнения задачи. Однако эти показатели не позволяют судить о степени "перевыполнения" поставленной задачи. В то же время, перевыполнение поставленной задачи, например, нанесение объекту поражения избыточного

ущерба, ведет к перерасходу ресурсов и, фактически, приводит к выполнению более жесткой задачи, чем поставленная, что, обычно, не требуется.

В этих условиях для оценки эффективности целенаправленной системы и определения степени близости результата поставленной задаче целесообразно использовать показатели, основанные на сравнении требуемого и получаемого эффектов. В частности, в качестве такового может использоваться математическое ожидание их отношения:

$$W = M\left[\frac{U}{U_3}\right], \quad (10)$$

где  $U, U_3$  – получаемый и требуемый (планируемый) эффекты, соответственно.

Умножение (10) на значение планируемого эффекта (в силу неслучайности последнего) приводит к переходу к традиционному показателю математического ожидания эффекта (при использовании в качестве эффекта ущерба – к математическому ожиданию наносимого ущерба):

$$W \times U_3 = M\left[\frac{U}{U_3}\right] \times U_3 = \frac{M[U]}{U_3} \times U_3 = M[U]. \quad (11)$$

Аналогичные показатели могут быть введены и для других показателей эффекта.

Введение показателя эффективности типа (11) влечет за собой уточнение диапазона его изменения.

В традиционной системе показателей эффективности четко выделяются размерные и безразмерные показатели.

Первые, практически, совпадают с выделенной в начале данного подраздела показателями эффекта. Говорить о диапазонах изменения этих показателей можно только применительно к каждому отдельно взятому показателю.

Безразмерные показатели включают в себя вероятностные показатели собственно эффективности и показатель математического ожидания наносимого ущерба. Эти показатели имеют точный диапазон изменения - их значения принадлежат замкнутому интервалу  $[0, 1]$ .

Предлагаемый показатель вида (10) также относится к безразмерным, однако область изменения его значений математически представляется полуоткрытым неограниченным интервалом  $[0, \infty)$ .

Нахождение показателя в интервале  $[0, 1)$  свидетельствует о невыполнении задачи, равенство единице - о точном ее выполнении, а принадлежность интервалу  $(1, \infty)$  - о перевыполнении задачи и перерасходе средств.

Таким образом, использование показателя типа (10) при исследовании вопросов эффективности целенаправленных систем позволит определять наряды средств, близкие к оптимальным по возможностям решения поставленной задачи. При этом допустимым становится введение ограничений типа:

$$W_1 \leq W \leq W_2, \quad (12)$$

где  $W_1$ ,  $W_2$  - минимально и максимально допустимые (необходимые) уровни эффективности.

Показатель эффективности типа (10) с успехом может быть использован в обобщенном показателе "эффективность - стоимость", принадлежащем более высокому уровню иерархии в системе показателей.

## ВЫВОДЫ

1. Проанализировано понятие эффективности. Показаны наблюдающаяся в литературе не полная теоретическая проработанность этого понятия и отсутствие его четкого общепринятого определения, являющееся следствием коллективной методологической рефлексии эффективности, как меры качества.

2. Рассмотрены категории качества и эффекта, показаны их общие черты и принципиальные различия между ними. Показана их связь с категорией эффективности, позволяющая избежать упомянутой рефлексии. Приведено наиболее корректное с точки зрения автора определение понятия эффективности как степени соответствия результатов функционирования системы целям.

3. Рассмотрена существующая система показателей эффективности целенаправленных систем на примере систем военного назначения. Показано, что сложившаяся система показателей эффективности включает как показатели эффективности как таковой, так и показатели производимого целенаправленной системой эффекта, и что используемые показатели эффективности не позволяют в полной мере оценить эффективность как степень соответствия результатов поставленным целям.

Для оценки эффективности предложено использовать показатели, основные на сравнении требуемого и полученного эффектов. На примере одного из таких показателей - математического ожидания отношения получаемого и требуемого эффектов - показано, что подобные показатели позволяют оценивать степень не только «выполнения», но и «перевыполнения» поставленной задачи, что может быть использовано в обобщенном показателе «эффективность-стоимость».



### Библиографический список

1. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники. - М.: Воениздат, 1976. - 224 с.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. - М.: Сов. радио, 1976. - 296 с., ил.
3. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Основы военной системотехники. - М.: МО СССР, 1983. - 416 с.
4. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. -Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 199 с.,ил.
5. Червоный А.А , Шварц В.А., Козловцев А.П., Чобанян В.А. Вероятностные методы оценки эффективности вооружения. - М.: Воениздат, 1979. - 95 с., ил.
6. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. – СПб.: «Галлея Принт», 2006. - 424 с.
7. Белов Г.В., Зоншайн С.И., Оскерко А.П. Основы проектирования ракет. Учебное пособие для вузов. – М.: «Машиностроение», 1974. – 256 с.
8. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. - М.: Радио и связь, 1985. - 200 с., ил.
9. Андрианов Ю.М., Субето А.И. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. - Л.: Машиностроение Ленингр. отделение, 1990. - 216с., ил.
10. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. - М.: Воениздат, 1970. - 256 с.

### Сведения об авторе

Коршунов Андрей Владимирович, старший научный сотрудник Научного центра МО РФ, д.т.н., тел. 8-499-263-30-28, e-mail: a-kors@yandex.ru

