

Козлов В.В., Мокан Д.О., Чирва С.В., Антропова А.В. Особенности оценивания свойств сложных технических систем на этапе проектирования [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал, 2017. – № 4(38). – Режим доступа: http://iea.gostinfo.ru/files/2017_04/2017_04_05.pdf.

УДК 685.518.5

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Козлов В.В., доктор технических наук, профессор, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского».

Мокан Д.О., кандидат технических наук, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского».

Чирва С.В., ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского».

Антропова А.В., ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского».

Рассматриваются вопросы создания формализованной иерархической системы оценивания сложных технических систем. В основе предложенных формализмов использованы теория систем, теория фракталов и теория эффективности. В статье показано, что использование математического подхода при формировании множества свойств сложных технических систем и их показателей, позволяет достичь заданного уровня достоверности процесса оценивания и избежать субъективности такого процесса.

Ключевые слова: сложная техническая система, эффективность, оценивание, иерархия, фрактал, показатель.

UDC 685.518.5

FEATURES EVALUATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS AT THE DESIGN STAGE

Kozlov V.V., doctor of technical sciences, professor, Mozhaisky Military Space Academy,

Mocan D.O., candidate of technical sciences, Mozhaisky Military Space Academy,

Chirva S. V., Mozhaisky Military Space Academy,
Antropova A.V., Mozhaisky Military Space Academy,

Examines the creation of a formalized hierarchical system of evaluation of complex technical systems. In the basis of the proposed formalisms used in systems theory, theory of fractals and the theory of efficiency. The article shows that the

use of the mathematical approach in the formation of many properties of complex technical systems and their performance, allows to achieve a given level of reliability of the evaluation process and to avoid the subjectivity of such a process.

Keywords: complex technical systems, efficiency, evaluation, hierarchic, fractal, performance.

Основной проблемой при создании сложных технических систем (СТС) является преодоление противоречий между общностью теории синтеза сложных систем и конкретностью специфических методик по определению структурного и функционального облика СТС. Практика создания СТС показывает, что принимаемые ранее решения на этапе внешнего проектирования имели целью достижения ряда вербально назначенных свойств и значений их показателей. Однако, как правило, вербальные решения не приводят к желаемым (назначенным) результатам. Решение этой проблемы состоит в создании структур, функций и параметров СТС, обеспечивающих требуемую эффективность в достижении поставленной цели.

В качестве научной базы для формирования СТС следует принять научный подход, обеспечивающий формирование современных принципов построения СТС. Однако, при проектировании СТС с позиций любого научного подхода также возникает ряд проблем (но меньшего масштаба). Первая проблема (проблема заказчика) наличие четко и полно сформулированных требований предъявляемых к СТС. Решение этой проблемы состоит в формулировке необходимого и достаточного множества требований предъявляемых к СТС. Она связана с анализом свойств и целей функционирования системы более высокого уровня иерархии. Вопрос о необходимости и достаточности сформулированных требований является до сих пор нерешенным, а, может быть, и не решаемым в строгой постановке. Количественные показатели требований иногда вообще отсутствуют, а заказчик ограничивается лишь качественными признаками СТС. Требование,

например, экономичности, понимаемое, по-видимому, как минимум ресурсопотребления имеет смысл только при выполнении сравнения одного или нескольких вариантов СТС. В тоже время если альтернативный вариант сравнивается с заведомо несовершенным вариантом, то результат сравнения неутешительный. По-видимому, сравнение будет успешным, если будет получен эталон для сравнения, пусть даже пока недостижимый, но при этом возникает вопрос как его найти? Кроме того, если аналитическое выражение для показателя того или иного свойства получено, то какое его численное значение можно считать допустимым (пригодным)? Т.о. существует объективная проблема, в рамках которой следует решить: какова должна быть мощность множества свойств СТС? А также, как свойства СТС связаны между собой?

Как известно наиболее важным свойством СТС является эффективность процесса функционирования системы [1, 2]. Нам представляется, что подход, направленный на формирование максимально полного множества свойств СТС и их показателей предполагает введение в показатель эффективности помимо традиционных трех векторных компонент: A (группа показателей цели операции), R (группа показателей ресурсопотребления) и T (группа временных показателей) еще и информационную составляющую I (группа показателей информации, необходимой для реализации операции системы). При этом I (information) – комплексное свойство, характеризующее обеспеченность потребной информацией для достижения цели, и необходимое не только для описания структурно-архитектурных аспектов системы, но и для описания ее поведенческой составляющей, учитывающий человеческий фактор во всех его проявлениях.

Если структуры объектов можно увидеть в реалии, то строго математически построенной структуры системы оценивания пока не существует. Здесь показано, как можно построить такую иерархическую,

формально построенную систему оценивания для СТС. Алгоритм такого построения направлен на решения следующих проблемных вопросов: Как агрегировать векторные компоненты показателя эффективности в итоговую оценку? Каким образом выстраивать иерархические уровни для свойств СТС? Как переходить от одного уровня иерархии к другому? Как найти полное множество свойств СТС?

Для того, что бы решить эти проблемы следует отойти от вербального назначения свойств СТС и на начальном этапе выйти на максимально абстрактный (наиболее общий уровень) перечисления векторов свойства эффективности. Приняв, что оценивание свойства эффективности Ef основано на использовании четверки базовых векторов $Ef < A, R, T, I >$, в дальнейшем следует выявить полное количество свойств, которые могут содержать элементы приведенной выше четверки векторов и построить для них иерархическую систему, связывающую эти свойства. Количество компонентов эффективности можно получить, используя операции размещения (1)

$$A_r^k = A(a_r^k) = \frac{k!}{(k-r)!}, \quad (1)$$

где, упорядоченный набор r различных элементов исходного множества, состоящего из k элементов. Таким образом, размещение рассматриваемой четверки векторов дает: комбинации по «три» вершины $\frac{4!}{(4-3)!} = 24$;

комбинации по «две» вершины $\frac{3!}{(3-2)!} = 6$; 24 по $6 \Rightarrow 144$; комбинации по

«одной» вершине $\frac{2!}{(2-1)!} = 2$; 144 по $2 \Rightarrow 288$. В результате общее количество

компонентов свойства эффективности равно $24+144+288 = 456$ свойствам.

Причем периферийный уровень компонентов, с единичными векторами A, R, T и I может быть продлен до уровня такой детализации, где появляется

возможность доступного и достоверного их оценивания. Так, например, для свойств, описывающих затратные (ресурсные) показатели это $R_1, R_2, \dots, R_{11}, R_{12}, \dots, R_{21}, R_{22}, \dots$ - ресурсы с различной степенью детализации.

Далее возникают трудности по агрегированию многовекторных свойств эффективности в итоговую оценку. Вместе с тем, известно [3], что четырехмерного пространства векторов A, R, T и I невозможно построить однозначную структуру (для системы оценивания). Однако, для векторных пространств с количеством базовых векторов кратным 6 такие однозначные структуры возможны. Известно, что переход от первоначального четырехмерного пространства в шестимерное пространство можно выполнить используя положения теории фракталов [4]. В качестве таких положений могут быть использованы аффинные преобразования. Так, если для четырех компонентов, которыми описываются четыре составляющих вектора эффективности $\langle A, R, T, I \rangle$ задать систему итерированных функций аффинными преобразованиями в виде:

$$T_i(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, 4,$$

здесь $T : X \rightarrow X$ сжимающее отображение на множестве X , а значения коэффициентов матрицы (a, b, c, d) определяют масштабы сжатия и поворота, а коэффициенты (e, f) - смещение, тогда можно получить базовую структуру системы оценивания, графическая интерпретация представляет собой шестигранник.

Фрактальные иерархические структуры интересны тем, что, во-первых, они очень часто встречаются в самой природе (т.е. это не вербально назначенные, а естественные структуры), а во-вторых, фрактальная структура имеет характерную точку (аттрактор), в которой объединены все свойства элементов структуры, т.е. аттрактор для системы оценивания СТС может выступать в качестве свойства эффективности. В-третьих,

фрактальные структуры могут иметь практически бесконечную периферию с самоповторением исходной структуры (рис. 1)

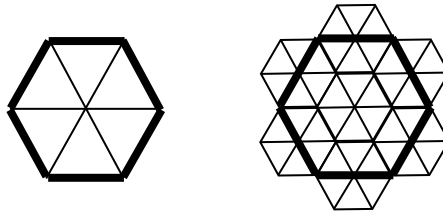


Рис. 1 Фрактальные структуры

В вершинах фрактального шестиугольника верхнего иерархического уровня системы оценивания следует разместить 6 сочетаний компонент вектора эффективности, обладающих наибольшей общностью. Основываясь на фрактальном шестиугольнике, остальные 18 сочетаний по три элемента ($TRI \dots$), следует вводить еще три уровня иерархии (рис. 2).

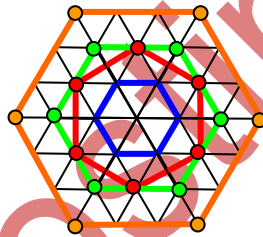


Рис. 2. Фрактальный шестиугольник

Для наполнения структуры комбинациями вектора эффективности имеющих по два компонента (288 элементов), в соответствии с общей концепцией синтеза иерархической структуры должны быть размещены на более удаленной от центра периферии. В результате можно построить полную структуру свойств для оценивания свойств СТС (рис. 3)

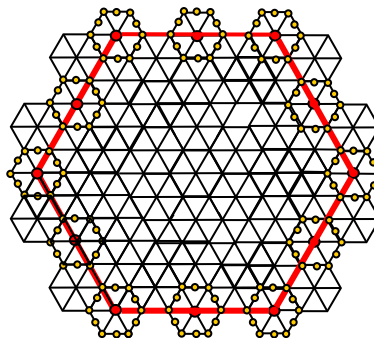


Рис. 3 Полная структура свойств для оценивания свойств СТС

Следующим этапом формирования иерархической системы оценивания эффективности СТС является семантический анализ [5]. Процедуры семантического анализа позволяют найти соответствие между компонентами векторов эффективности и их словесным описанием. В результате можно получить структуры типа (рис.4, 5)

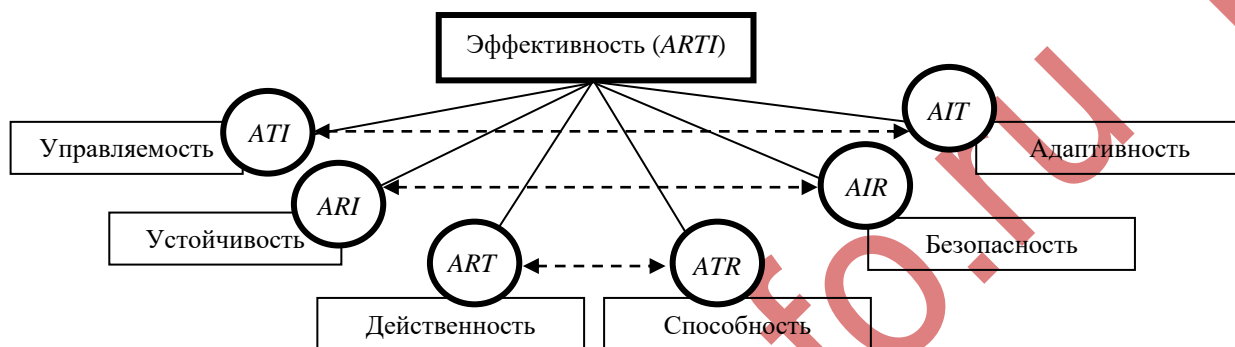


Рис. 4. Первый фрактально-иерархический уровень

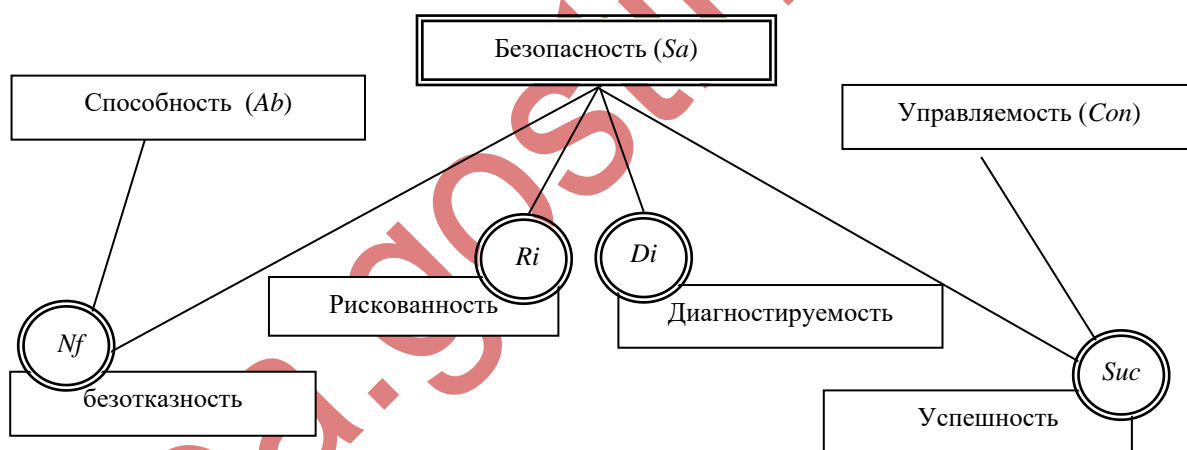


Рис.5. Второй фрактально-иерархический уровень

Для новых свойств СТС используются новая символика, представленная в табл. 1

Таблица 1

Таблица обозначений свойств
(ARTI – эффективность)

<i>ART</i>	Действенность	<i>In</i>	<i>IRA</i>	Диагностируемость	<i>Di</i>
<i>ATI</i>	Управляемость	<i>Con</i>	<i>RIT</i>	Безотказность	<i>Nf</i>
<i>AIR</i>	Безопасность	<i>Sa</i>	<i>TRA</i>	Возможность	<i>Pos</i>

<i>ATR</i>	Способность	<i>Ab</i>	<i>RTA</i>	Обеспеченность	<i>Sup</i>
<i>ARI</i>	Устойчивость	<i>Fi</i>	<i>TRI</i>	Сохраняемость	<i>St</i>
<i>AIT</i>	Адаптивность	<i>Ad</i>	<i>IAR</i>	Устойчивость структуры	<i>Ss</i>
<i>RAT</i>	Достижимость	<i>At</i>	<i>RAI</i>	Устойчивость процесса	<i>Sp</i>
<i>TIR</i>	Оперативность	<i>Op</i>	<i>ITR</i>	Долговечность	<i>Du</i>
<i>TAI</i>	Обратимость	<i>Rp</i>	<i>IAT</i>	Модифицируемость	<i>Mo</i>
<i>ITA</i>	Монотонность	<i>Mon</i>	<i>TIA</i>	Модернизируемость	<i>En</i>
<i>RTI</i>	Успешность	<i>Suc</i>	<i>IRT</i>	Результативность	<i>Ra</i>
<i>RAI</i>	Рискованность	<i>Ri</i>	<i>TAR</i>	Скоординированность	<i>Cor</i>

В дальнейшем методами морфологического анализа [6] и анализа размерностей [7], удастся перейти от словесного уровня описания свойств эффективности к описанию свойств в виде математических соотношений. Так, например, безопасности представляется в виде функции.

$$Sa = f(Nf, Di, Ri, Suc),$$

которая записывается в виде мультипликативной свертки (поскольку все свойства входящие в безопасности зависимы)

$$Sa = Nf^{\alpha_1} \cdot Di^{\alpha_2} \cdot Ri^{\alpha_3} \cdot Suc^{\alpha_4}, \sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1,$$

здесь показатель безотказности (*Nf*) представляется в виде

$$Nf = Rec^{\alpha_1} \cdot Rep^{\alpha_2} \cdot Fa^{\alpha_3} \cdot Wi^{\alpha_4} \cdot Jo^{\alpha_5} \cdot In^{\alpha_6}; \sum_{i=1}^6 \alpha_i = 1,$$

где, показатель диагностируемости имеет вид:

$$Di = \frac{Jo \cdot P}{\bar{C} \cdot \bar{t}},$$

в свою очередь *Jo* - показатель работоспособности; *P* - показатель надежности контрольно-измерительной аппаратуры; $\bar{C} = \frac{C_{диагност}}{C_{изделие}} \in (0 \div 1)$ -

относительные затраты на диагностирование; $\bar{t} = \frac{t}{R} \in (0 \div 1)$ - относительное

время на диагностирование, *R* - назначенный ресурс. И так далее. Например, показателем ущербности *Da* имеет вид:

$$Da = \frac{C_{\text{восстан}}}{C_{\text{созд}} + C_{\text{восстан}}} \cdot \frac{t_{\text{восстан}}}{t_{\text{созд}} + t_{\text{восстан}}},$$

где C и t – соответствующие показатели стоимости и продолжительности операций. Показатель успешности примет вид $Suc = Suc^{\text{проект}} \cdot Suc^{\text{экспл}}$, где общий показатель эксплуатационной «успешности» может быть представлен выражением

$$Suc^{\text{экспл}} = \prod_{i=1}^n (Suc_i^{\text{экспл}})^{\lambda_i},$$

а проектный показатель «успешности» можно представить зависимостью:

$$Suc^{\text{проект}} = \frac{[C_1 \cdot u_1(t)]_{\text{план}}}{[C_2 \cdot u_2(t)]_{\text{реальность}}},$$

где $u(t)$ – соответствующие управляющие переменные, а C – показатели затрат на управление. Аналогичные соотношения получены для всех 456 показателей.

Для агрегирования двух или нескольких показателей в общую оценку здесь предложено использовать закон сохранения информации. Как указано в работе [13] «статический закон сохранения информации для замкнутого субъект-объектного информационного процесса с фиксированными величинами энтропий субъекта и объекта, предлагается в следующей формулировке: Сумма количеств взаимной информации и ее дефицита постоянна и равна сумме энтропий объекта и субъекта». Количественный закон в его качественной формулировке концептуально совпадает с известными качественными формулировками [8,9 и 10] где полагают, что некоторая композиция (мультипликативная или аддитивная) энтропии и количества информации должна быть константой. Гухман В.Б. [13] подчеркивает:

«В классической теории информации [11], которая, в сущности, есть теория коммуникации (связи) исследуются только аспекты внешней информации, и не рассматривается внутренняя информация и, соответственно, не формулируется закон сохранения информации.

Сформулированный закон – идеализация в том смысле, что субъект и объект реально не статичны, в динамике развития их внутренняя информация переменна, и ее самождественность, как свойство диалектически взаимодействует с ее же изменчивостью как отношением. Следовательно, необходим динамический закон сохранения информации и, возможно, другие законы, постулирующие онтологическую взаимосвязь между свойством и отношением в феномене информации». Таким образом, признавая существования закона сохранения информации, можно перейти к решению проблемы агрегирования показателей свойств эффективности.

Элементарный акт свертки двух связанных показателей представляется соотношением

$$\left. \begin{aligned} P &= p_1^{\lambda_1} \cdot p_2^{\lambda_2} \\ \lambda_1 + \lambda_2 &= 1 \end{aligned} \right\}$$

где (p_1, p_2) показатели нижнего уровня, а (P) показатель верхнего уровня. Корректное и однозначное решение этой системы соотношений для агрегирования вынуждает искать дополнительное условие или использовать метод экспертных оценок для назначения весовых коэффициентов (λ) . При агрегировании показателей СТС используемых в иерархической системе оценивания, представляется разумным использовать аппарат оценивания информации, предложенный Шенноном [12], который позволит записать недостающие для агрегирования соотношения. Общий подход к решению такой задачи сводится к тому, что необходимо найти такое преобразование исходных значений двух показателей, которое было бы эквивалентно, по информационному содержанию, новым двум промежуточным значениям, причем равным друг другу (рис. 6).

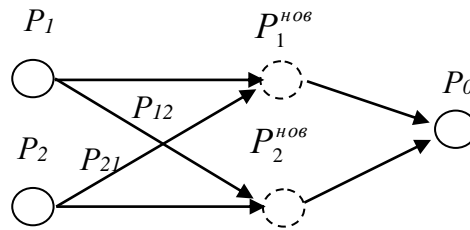


Рис.6. Общий подход к решению задачи

Основываясь на равенстве информации, которая с одной стороны учитывает преобразование численных значений показателей P_1 и P_2 с учетом их взаимной зависимости можно записать

$$I_1 = P_2 \ln \frac{P_2}{P_1^{nov} P_2^{nov}} + P_1 \ln \frac{P_1}{P_1^{nov} P_2^{nov}}$$

С другой стороны, информация полученная после адекватного преобразования может быть представлена соотношением

$$I_2 = -\ln \frac{P_1}{P_1^{nov}} - \ln \frac{P_2}{P_2^{nov}}$$

Равенство этих информаций с учетом того что

$$P_1^{nov} = \frac{P_{21}}{P_2}, \quad P_2^{nov} = \frac{P_{12}}{P_1}, \quad P_1^{nov} = P_2^{nov} = P_0$$

приводит к соотношению закона сохранения информации $I_1 = I_2$ или соотношению

$$P_0 \cdot P_1 [\ln(P_1 \cdot P_2) - \ln(P_0 \cdot P_2)] + P_0 \cdot P_2 [\ln(P_1 \cdot P_2) - \ln(P_0 \cdot P_1)] + \ln(P_1 \cdot P_2) = \ln(P_0^2)$$

Это уравнение иррационально и может быть решено, относительно P_0 численно или графически. В частности для условия $P_1 = 0.3$, $P_2 = 0.6$ решение составляют значения $P_0 = 0.4323$, при этом весовые коэффициенты имеют следующие значения $\lambda_1 = 0.473$, $\lambda_2 = 0.527$.

Таким образом, представленный здесь подход позволил предложить достаточно полное множество свойств и показателей для СТС, объединенных единой фрактальной иерархической структурой и показать алгоритм их агрегирования в показатель эффективности.

Список использованных источников и литературы:

1. Петухов Г.Б., Морозов Л. М., Сидоров В. Н. Методологические основы теории эффективности. Л. 1982.
2. Куковец П.А.. Методика оценки эффективности использования научно-технического потенциала // Организация и управление научными исследованиями. Выпуск 1. – К., 1978. – С. 24-26.
3. Голубицкий М., Гийемин В., Устойчивые отображения и их особенности, пер. с англ., М., 1977;
4. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
5. Шрейдер Ю.Ф. Об одной модели семантической теории информации. – «Проблемы кибернетики», 1965, вып. 13
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики - М.: Издательство иностранной литературы, 1963.
7. Седов Л. И. Механика сплошных сред т1. М.: Изд. «Наука» 1970., 492 с.
8. Реньи А. Трилогия о математике. М., 1980. с.235
9. Айламазян А.К., Стась Е.В. Информатика и теория развития. М., 1989.
10. Юзвшин И.И. Информациология. М. 1996.
11. Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия количества информации. – «Проблемы передачи информации», 1965, №1, с.3-11.
12. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики - М.: Издательство иностранной литературы, 1963.
13. Гухман В.Б. Философская сущность информационного подхода. Дисс... доктора философ. наук. - Тверь-Москва, 2001.

© Козлов В.В.,
 © Мокан Д.О.,
 © Чирва С.В.,
 © Антропова А.В.