

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.03

Тзя Яновна Данелян,
к.э.н, доцент, проф. каф. Прикладной информатики в экономике Московского государственного университета экономики, статистики и информатики (МЭСИ)
Тел.: (495) 442-80-98
Эл. почта: tdanelan@mesl.ru

В статье излагаются общие принципы структурного моделирования в аспекте теории систем, приводится взаимосвязь с другими видами моделирования с целью сведения их к основным направлениям моделирования. Рассматриваются используемые математические методы структурного моделирования, в частности метод экспертных оценок.

Ключевые слова: система, подсистема, моделирование, структурное моделирование, показатели системы, метод экспертных оценок, характеристики.

Tea Ya. Danelyan,
PhD in Economics, Professor, the Department of Applied Informatics in Economics, Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics (MESI)
Tel.: (495) 442-80-98
E-mail: tdanelan@mesl.ru

STRUCTURAL MODELLING

The article states the general principles of structural modeling in aspect of the theory of systems and gives the interrelation with other types of modeling to adjust them to the main directions of modeling. Mathematical methods of structural modeling, in particular method of expert evaluations are considered.

Keywords: system, subsystem, modeling, structural modeling, system indicators, method of expert evaluations, characteristics.

1. Введение

Моделирование — исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.

Структурное моделирование непосредственно связано с математическим, имитационным и статистическим моделированием при:

- 1) создании экономического объекта, расчете структурных характеристик;
- 2) моделировании работы системы при фиксированном факторе;
- 3) моделировании во временном периоде работы системы – многократное продвижение математических моделей по оси времени при изменении значения факторов внутренних и внешних.

Исходя из вышесказанного о возможных направлениях моделирования, можно их свести к двум основным направлениям моделирования:

- Структурное моделирование
- Функциональное моделирование

Назначение структурного моделирования: построение и модификация организационных структур экономических и других систем и оптимизация структурных связей.

Структурное моделирование или моделирование структурными уравнениями (structural equation modeling) можно кратко определить как совокупность методов многомерного анализа, позволяющих изучать взаимосвязи между наблюдаемыми и ненаблюдаемыми явлениями (переменными). Рассмотрим его более подробно.

2. Сущность структурного моделирования

Структурное моделирование – это моделирование организационной структуры систем и подсистем, таких как: информационные, организационные, функциональные, стратовые, управляющие, т.е. моделирование состава и связей между элементами системы.

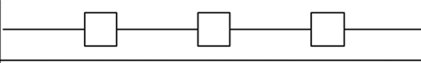
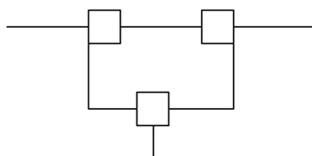
Правильная организация структуры всех подсистем определяет оптимальное функционирование всей системы, в целом.

Оптимальное поведение функционирования отражается в максимальной доходности системы (объекта).

При этом, структура каждой подсистемы может меняться в зависимости от внутренних и внешних факторов. Сущность взаимосвязи хорошо построенной структуры системы с результатами ее работы отображена в таблице ТАБ структуризации ($T\Sigma$) – сущность Σ и $C(\Sigma)$.

Таблица 1.

ТАБ структуризации ($T\Sigma$)

№ п/п	F_i	S_{ij} факт	схема системы $Z_{ij}(\Sigma)$	S фактор-вектор	C
1	2	3	4	5	6
1	F_1	S_{1m}		$(S_1^* \dots)$	
...
k	F_k	S_{km}		$(S_1^* \dots S_k^*)$	

Здесь:

F_i – max (min) доходности системы;

S_{ij} – влияние j -го фактора на i -ый исход (значение j -го фактора, при F_i доходе); S – фактор-вектор или вектор ситуаций $S = (S_1, S_2, \dots, S_k)$;

C – показатели структурного качества системы, интегрированный показатель, т.е. рейтинг или вес системы ($C(\Sigma)$) или $V(\Sigma)$;

$Z_{ij}(\Sigma)$ – схема системы Σ (проект или оргструктура).

Для управленца важны графы 2,6. ТАБ Σ

Т.о. необходимо построить структуру системы, $Z_{ij}(\Sigma)$, у которой будет соответствующий $V(\Sigma)$ рейтинг, отвечающий эталонному весу системы, $V_{\max}(\Sigma)$, получающей максимальный доход F .

3. Модель структурного моделирования

Формализация вычисления структурных показателей системы Σ .

1) k_1 – сложность – (k_1^*, k_1^{**})

$$k_1^* : c = (1 + \xi\mu)\bar{e} \quad (1)$$

$$\mu = \left\{ \begin{array}{l} \mu_1 = \frac{M}{N(N-1)}; \mu_2 = \frac{M}{N(N-1)k(k-1)}; \\ \mu_3 = \frac{M}{N(N-1)k(k-1)r(n+m)(r(m+n)-1)} \end{array} \right\} \quad (2)$$

где:

k – количество элементов;

N – количество уровней (путей);

$n + m$ – количество выходов по управлению и по информации;

r – количество входов;

C – стр-ный коэффициент;

μ_1, μ_2, μ_3 – вычисляются в зависимости от мощности элементного E множества системы;

ξ – сложность изготовления элемента и сложность изготовления связи между ними.

$$\bar{e} = \sum_{i=1}^N e_i k_i \quad (3)$$

где:

e – сложность изготовления всех элементов i -ых типов;

e_i – сложность изготовления элементов I -го типа;

k_i – количество элементов I -го типа;

M – количество реально существующих связей;

N – количество подсистем / элементов в системе;

μ – относительный коэффициент, используется для подсчета сложности (μ_1, μ_2, μ_3);

m – количество выходов по I ;

n – количество выходов по f .

Если система задана как проект, т.е. в статике, то

$$c = \mu \quad (4)$$

k_1^* – структурная стоимость;

k_2^{**} – функциональная стоимость;

$$k_1^{**} : (M \times L)k = V_F \quad (5)$$

M – количество параллельных работ;

L – самая сложная работа (длина самой длинной цепочки процесса);

k – относительный коэффициент, связанный с внедрением системы в среду реализации;

V_F – объем требуемых работ для которых необходимо выполнить получение конечного результата;

2) k_2 – надежность (R)

$$R_1 = \frac{K_v}{N} \quad (6)$$

где:

K_v – количество элементов с максимальным числом входов

N – общее число элементов в Σ (системе)

или

$$R_2 = \frac{\#S\#}{M} \quad (7)$$

где:

$\#S\#$ – количество подсистем в системе;

M – общее число связей.

Эти формулы (4, 5, 6, 7) применимы, если система дана как схема (проект).

При работающей системе R считается по формуле (8):

$$R = (T^H, \bar{T}, P, \Delta) \quad (8)$$

где:

T^H – время нормальной работы системы;

T – среднее время безошибочной работы системы;

P – вероятность безошибочной работы системы в заданном отрезке времени;

Δ – количество ошибок в системе в заданном отрезке времени;

3) k_3 – пропускная способность определяет max/min работу системы по времени.

$$\Pi_1 = \frac{\#S_I\#}{\#S\#} \quad (9)$$

$$\Pi_2 = \frac{M}{(H \times L)K} \quad (10)$$

где:

$\#S_I\#$ – количество однотипных подсистем по I – информация;

L – длина вычислительной цепочки;

H – степень параллелизма работ (количество одновременно выполняемых работ);

$\#S\#$ – количество подсистем в системе.

4) k_4 – универсальность. Сколько видов деятельности может воплощаться в системе.

$$U_1 = \frac{K_v}{N} \quad (11)$$

$$U_2 = \frac{\#\tilde{S}\#}{\#S\#} \quad (12)$$

где:

K_v – количество элементов с максимальным числом разнотипных входов;

N – количество всех элементов в системе;

$\#S^*$ – количество подсистем разнотипных по функциям;
 $\#S\#$ – число подсистем в системе;

5) k_5 – информативность:

$$I_\varepsilon = \frac{\overline{K_I}}{N} \quad (13)$$

где:

$\overline{K_I}$ – количество элементов с максимальным числом однотипных информационных выходов;
 N – общее число элементов.

6) k_6 – иерархичность:

$$Y^\varepsilon = \frac{\#Y^f \#}{\#Y\#} \quad (14)$$

где:

$\#Y^f\#$ – количество уравнений (путей) по типам иерархии: управление, информация, функции, деятельность, время;
 $\#Y\#$ – общее количество уравнений (путей) в системе.

Наименьшая иерархичность – Y^F – должна быть по управлению и наибольшая по функциям.

4. Характеристики структурного моделирования

Совокупность всех показателей системы определяет качество функционирования так, системы через сумму метрических величин (оценочных характеристик) структуры системы – определяется вес или рейтинг системы, который связан с качеством функционирования системы.

Любые показатели качества системы как структурные, так и функциональные, подразделяются на: единичные ($ПК^E$), групповые ($ПК^Г$), интегрированные ($ПК^E$).

Интегрированный $ПК^E$ связан с рейтингом системы. В теории экспертных оценок этот показатель называется весом системы ($V_{вес}^{\delta} d/ПК^E \Sigma$).

Единичный показатель $ПК^E$ связан с одной характеристикой системы: структурной или функциональной – X_i , т.е. X_i – единичная характеристика системы, а множество $X = \{X_i\}$ – это множество (совокупность) всех единичных характеристик.

Групповой показатель $ПК^Г$ связан с группой характеристик системы, а множество вида $X = \{\{X_j^k\} \dots \{X_k^p\}\}$ – это множество возможных типов k и p групповых характеристик.

Основными единичными характеристиками системы являются характеристики, связанные со структурой системы: сложность, иерархичность, информативность, пропускная способность, и со способами функционирования системы: надежность, функциональная сложность, пропускная способность системы, следовательно, сущность структурного моделирования сводится к разработке модели вычисления структурных характеристик и веса системы $ПК^E(\Sigma)$.

Чтобы вычислить $ПК^E$ (вес), необходимо из вышеперечисленных единичных характеристик построить интегрированную характеристику, с тем чтобы отоб-

рать наиболее важные единичные характеристики из множества $ПК^E$ характеристик, применяется подход экспертных оценок, с тем чтобы несущественные единичные характеристики не участвовали в определении веса системы.

Одним из применяемых методов экспертных оценок является метод характеристик балльных оценок. Алгоритм метода балльных оценок, связанный с получением рейтинга системы:

1. рассчитываются количественные значения структурных характеристик $X_i \cong k_i$;

2. строится экспертная таблица для проставления экспертных оценок по каждой характеристике ik ; группы экспертов;

3. в таблицу проставляются оценки экспертов для каждой характеристики k_i вида $V_i \cong k_i$, т.е. i -я оценка j -го эксперта;

4. определяется усредненный вес каждой k_i – характеристики по формуле:

$$V_{ji} = \frac{j \sum V_{ij}}{j \sum_i \sum V_{ij}} \quad (15)$$

5. Вычисленный вес характеристики k_i проставляется по каждой характеристике в таблицу-матрицу весов;

6. В полученной матрице строки упорядочиваются по возрастанию значений весов характеристик k_i ;

7. К трансформированной матрице весов характеристик k_i применяется формула расчета веса (рейтинга) системы (16).

$$ПК^E = V^E = \sum_1^n X_i \overline{V}_i \quad (16)$$

где

- X_i – метрическая величина характеристики k_i ;
- k_i – i -характеристика системы;
- V_i – усредненные оценки (вес) характеристики k_i ;
- $V \Sigma$ – вес системы;
- \mathcal{E}_j – эксперт j -ый;
- k_i – характеристика i единичная;
- V_{ij} – оценка i характеристики j экспертом;

Таблица-матрица 2

№	хар-ка	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	...	\mathcal{E}_m	$V_{ij-вес}$
1	2	3	4	5	6	7
1	K_1	V_{11}	V_{12}		V_{1m}	
2	K_2	V_{21}	V_{22}		V_{2m}	
i	... $k_i = x_i$					
n	$K_n = x_n$	V_{n1}	V_{n2}		V_{NM}	

Величина балла определяется на интервале от 1 до 100 в десятибалльной системе счисления в зависимости от количества характеристик k системы Σ . Так если $i = 1, 10$, то очевидно, что наивысший балл это 10, т.о. если $k_i \rightarrow x_i \rightarrow \mathcal{E}_{ij} \rightarrow \overline{V}_i$, то формулами (17), (18) вычисляются усредненные веса k_i -ых характеристик системы Σ , а по формуле (19) вычисляется интегрированный структурный показатель системы Σ , то есть вес (рейтинг) системы V^E .

$$\bar{V}_{1j} = \frac{\sum_{j=1}^M V_{1j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M V_{ij}}$$

$$\bar{V}_{2j} = \frac{\sum_{j=1}^M V_{2j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M V_{ij}}$$

$$\bar{V}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^M V_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M V_{ij}} \quad (17)$$

$$\begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \dots \\ k_n \end{pmatrix} \stackrel{df}{\cong} \begin{pmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \\ \dots \\ \bar{v}_n \end{pmatrix} (52) V^e = \sum_{i=1}^N k_i \bar{V}_i \quad (18)$$

Чтобы рейтинг \sum был более точным, для его вычисления применяется метод численных оценок, т.е. оценка Эксперта j выражается в дробях от 0 до 1

Таблица-матрица 3

Номер п/п	критерий	Эксперты [0–1]Э2 Эj ЭМ			
1	2	3	4	5	6
1	$x_1 = k_1$			j	M
2	$x_2 = k_2$	0,01	0,05		1
...	...				
	$x_i = k_N$				

Когда таблица 3 заполнена, усредненный вес считается по формуле вида (20):

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{i=1}^m V_{ij}}{M} \quad (20)$$

для каждого показателя рейтинг вычисляется по формуле (17) системы \sum .

Чтобы связать рейтинг со способностью системы хорошо выполнять заданную работу, связывают про-

цесс структурного моделирования (вычисление рейтинга) с:

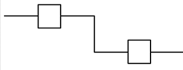

1. Со схемой, представленной в графическом виде и ее спецификацией.

2. С функциональным моделированием работы системы (мат. моделирование с использованием ЗЛП).

Таким образом вычисляется максимально возможный исход работы системы, который должен соответствовать данному рассчитанному рейтингу системы.

Для моделирования во времени работы системы используют методы имитационного и статистического моделирования. Все результаты структурного и функционального моделирования системы заполняются в таблицу – соответствия (4).

Таблица-соответствия 4

№ п/п	V^e Вес \sum	F (доход \sum)	Структура системы \sum	Структурная спецификация \sum (связи, уровни)	Метод функц. моделирования	ПК ^Е ПК ^Г ПК ^В
1	2	3	4	5	6	7
1	V_1^e	$F^{(max)}$		$e_1 - i_2 - e_2 - f_1 - i_1$	МЛР, MANAGER, Структурное моделирование	
2	V_2^e				BELMAN Интерполирование Ddf (лифференцирование)	
...
k	V_k^e					

Литература

1. Данелян Т.Я. Теория систем и системный анализ: Учебно-методический комплекс. – М.: ЕАОИ, 2013.
 2. Ивахненко А.Г. Системный анализ: Учебное пособие для вузов. – Курск, 2008.
 3. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

References

1. Danelyan T.Ya. Theory of systems and system analysis: Educational and methodical complex. – M.: EAOI, 2013.
 2. Ivakhnenko A.G. System analysis: Manual for higher education institutions. – Kursk, 2008.
 3. Kachala V.V. Bases of the theory of systems and the system analysis: Manual for higher education institutions. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2007.