УДК 519.1

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ КОНФЛИКТОВ

О. В. Пьянков

Воронежский институт МВД России

Поступила в редакцию 01.02.2014 г.

Аннотация. В статье рассматривается возможность исследования сложной системы на основе применения теории конфликта. Предлагаются оценки сбалансированности системы, учитывающие конфликтность отдельных элементов. Разработан подход комплексной оценки сложной системы с учетом временных и весовых параметров.
Ключевые слова: конфликт, оценки сбалансированности, графовая модель системы.
Annotation. The article discusses the possibility of studying a complex system based on the application of the theory of conflict. Offers a balanced rating of the system, taking into account the individual elements of conflict. The approach integrated assessment of a complex system using time and weight parameters.
Keywords: conflict, balance assessment, the graph model of the system.

ВВЕДЕНИЕ

Системное представление моделируемых объектов, как правило, предполагает их описание в виде конечного набора элементов и взаимоотношений между ними. Среди показателей эффективности функционирования таких систем важное место занимает их сбалансированность, т. е. наличие внутренних конфликтов и компромиссов. К предметным областям, в которых традиционно исследуют сбалансированность систем, относится психология (устойчивость малых групп), биология (пирамиды питания), экономика (транспортные сети и городское хозяйство) [1]. Наличие в таких областях большого многообразия элементов и отношений между ними позволяет их отнести к сложным системам и определить два пути системного исследования конфликта:

1. Описание взаимодействия элементов в общем виде, с учетом всех существенных факторов, обнаружение и исследование конфликтующих сторон, возможного характера их взаимодействия, причин и механизмов конфликтов.

2. В предположении, что сторонам причина и характер конфликта известны, выделение главного с точки зрения исследователя фактора (в крайнем случае, 2–3 факторов) и построение модели для оценки значимости априорного фактора и результатов конфликта.

В работах [2, 3, 4] были рассмотрены такие понятия, как степень и интенсивность конфликта, а также меры их измерения. Это дало возможность говорить о компромиссном решении конфликта, связанном с выбором и построением различных схем компромисса, и об оптимизации, связанной с поиском введенных понятий. В тоже время оценки сбалансированности рассматриваемых систем были общими по системе, т.е. не основывались, а соответственно и не учитывали конфликтные свойства отдельных элементов. Учёт конфликтности отдельных элементов дает возможность более тщательно подходить к анализу сбалансированности системы и предлагать действенные меры по ее улучшению. Определение отношений, преобладающих над другими в системе, позволяет делать вывод об эффективности её функционирования и выработать рекомендации по применению тех или иных управляющих воздействий.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для описания отношений между элементами будем пользоваться терминологией теории конфликтов [4].

Рассмотрим два элемента S_1, S_2, которые образуют некоторую систему S (S – окружение систем S_1, S_2, а S_1, S_2 – подсистемы S) с общей целью W. В процессе достижения этой цели подсистемы взаимодействуют с учетом своих локальных целей W_1, W_2. Введем множество

$$S = \{S_1 = (S_1, S_2),\ S_2 = (S_1, \overline{S}_2),$$
$$S_3 = (\overline{S}_1, S_2),\ S_4 = (S_1, \overline{S}_2)\},$$

где запись $\overline{S}_i$ означает отсутствие в окружении S подсистемы S_i и $S = (S_1, \overline{S}_2) = \varnothing$.

Будем считать, что существуют вещественные функции (например, функции полезности) $q(S)$ такие, что если $S_1, S_2 \subset S$ и $S_1 \succ^W S_2$ ($\succ^W$ – лучше в смысле W), то

$$q(S_1) > q(S_2).$$

Будем считать, что система S_2 конфликтует с системой S_1 в смысле достижения цели W ($S_2 > I\, S_1$), если

$$q(S_1) = q(S_1, S_2) < q(S_1, \overline{S}_2) = q(S_2). \qquad (1)$$

Это означает, что присутствие системы S_2 в окружении системы S уменьшает общую полезность достижения цели W в смысле критерия q.

Естественно предположить, что в этом случае для S_1 и S_2 существуют другие отношения, обеспечивающие выполнение условий:

$$q(S_1) = q(S_1, S_2) > q(S_1, \overline{S}_2) = q(S_2), \qquad (2)$$

$$q(S1) = q(S1, S2) = q(S1, \overline{S}2) = q(S2). \qquad (3)$$

В (2) присутствие S_2 повышает ожидаемую полезность в смысле W, и говорят, что S_2 сотрудничает с S_1 ($S_2 > I_c\, S_1$). Если же присутствие S_2 никак не влияет на общую полезность (соотношение 3), то S_2 и S_1 независимы ($S_2 > I_н\, S_1$).

Для изучения структурных характеристик отношений конфликта, сотрудничества, независимости необходима математическая модель, компонентами которой должны быть:

1. Непустое множество элементов.
2. Непустое множество отношений, в которых находятся элементы рассматриваемой системы.
3. Отношение положительной обратной связи между элементами системы, если она находится в бесконфликтном состоянии, и отношение отрицательной обратной связи, если она находится в конфликтном состоянии.

Моделью, объединяющей все четыре указанных компонента, является знаковый орграф (ориентированный, направленный граф, всем дугам которого присвоены знаки «+» или «–»). Обозначим орграф как

$$G = G(S, U), \qquad (4)$$

где S – множество вершин орграфа, соответствующих элементам системы, $|S|$ – мощность множества;

U – множество дуг орграфа, соответствующих бинарным отношениям элементов системы.

Будем приписывать знаки «+» и «–» каждой дуге следующим образом:

– если S_i конфликтует с S_j, то дуга u_{ij} снабжается знаком «–»;

– если S_i сотрудничает с S_j, то дуга u_{ij} снабжается знаком «+»;

– если элементы S_i и S_j независимы, то дуга u_{ij} не изображается.

Будем называть цикл сбалансированным, если число дуг u_i со знаком «–» четно. Соответственно граф называется сбалансированным, если все циклы графа сбалансированы.

Теоретический анализ сбалансированности на уровне структурного анализа осуществляется с помощью оценок, введенных Харари [1]:

$$M^- = C^- / C = (C - C^+) / C, \qquad (5)$$

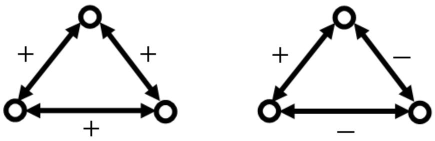
$$M^+ = C^+ / C = (C - C^-) / C, \qquad (6)$$

где C – число всех ориентированных циклов (далее орциклов),

C^+ – число сбалансированных орциклов,

C^- – число несбалансированных орциклов.

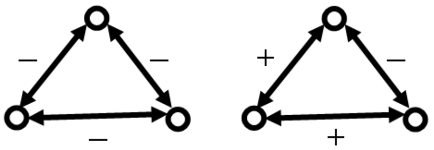
Значения оценки M лежат между 0 и 1. Если $M^+ = 1$, значит, данный орграф имеет нулевую степень конфликтности, так как все его обратные связи положительны. Любое изменение состояния элемента вызывает его дальнейшее изменение. Такая система может быть, как синергетической, так и антагонистической [5]. Примеры таких систем для трех элементов приведены на рис. 1.



Синергетическая система *Антагонистическая система*

Рис. 1. Примеры систем с нулевой степенью конфликтности

Если $M^- = 1$, значит, рассматриваемый орграф имеет высшую степень конфликтности, так как все его обратные связи отрицательны. Внутренние конфликты элементов вызывают максимальный упадок работоспособности системы. Такая система может быть как антисинергетической, так и антиантагонистической [5]. Примеры обеих систем для трех элементов указаны на рис. 2.



Антисинергетическая система *Антиантагонистическая система*

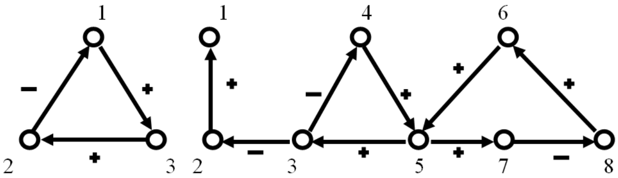
Рис. 2. Примеры систем с высшей степенью конфликтности

Методологический смысл, который могут иметь оценки сбалансированности, подобные M, заключается в том, что если приравнять степень конфликтности системы к степени ее неустойчивости, то с их помощью можно измерять готовность системы перейти в новое, более устойчивое, состояние [5].

Однако для полного определения несбалансированности системы одной оценки M мало, поскольку она не отражает конфликтность отдельного элемента и не показывает, насколько сильно он взаимодействует с другими частями системы. Особенно это может проявляться в графах, имеющих значительное количество циклов. Более того достаточно сложно определить интенсивность и динамику конфликта, используя выражения (5) и (6).

Например, на рис. 3 изображены два графа, несбалансированность которых M^- одинакова ($M_а^- = M_б^- = 1$), казалось бы, оба графа, судя по оценке, максимально несбалансированны, а потому элементы системы максимально конфликтны. Однако в левом графе все вершины включены в цикл, и для них это утверждение абсолютно верно, в то время как у правого две вершины (1 и 2) не включены в несбалансированные отношения и влияние на них опосредовано через конфликтные элементы.

Поэтому можно судить о недостаточности оценки сбалансированности графа (конфликтности элементов системы) только через отношение сбалансированных и несбалансированных циклов.



а) *б)*

Рис. 3. Пример несбалансированных графов

РЕШЕНИЕ

Введем следующие определения и оценки сбалансированности:

Определение 1. Вершина графа s_i^c считается сбалансированной по циклам, если все циклы, которым она принадлежит, сбалансированы.

Определение 2. Вершина графа s_i^s считается сбалансированной по системе, если она не принадлежит ни одному из циклов.

Определение 3. Вершина графа s_i^n считается несбалансированной, если хотя бы один из циклов, которым она принадлежит, несбалансирован.

Следует отметить, что после определения вида всех вершин графа должно выполняться условие:

$$|s^c| + |s^s| + |s^n| = |S|,$$

где $|s^c|$ – мощность множества вершин, сбалансированных по циклам;

$|s^n|$ – мощность множества несбалансированных вершин;

$|s^s|$ – мощность множества сбалансированных по системе вершин;

$|S|$ – мощность множества вершин графа.

Также введем определения, позволяющие оценивать динамические свойства конфликтности элементов в системе.

Определение 4. Вершина графа s_i^{Dk} считается динамичной k_D-й степени, если длина самого короткого цикла, в который входит вершина, равна k.

Определение 5. Вершина графа s_i^{Sk} считается статичной k_S-й степени, если длина самого длинного цикла, в который входит вершина, равна k.

Поскольку вершина может одновременно входить и в сбалансированные, и несбалансированные циклы, то можно также ввести следующие оценки сбалансированности вершин:

1. Оценка сбалансированности вершины s_i по циклам:

$$M_i^+ = C^+(s_i) / C(s_i), \quad (7)$$

где $C(s_i) = C^+(s_i) + C^-(s_i)$ – общее число циклов, которым принадлежит вершина s_i.

При $M_i^+ = 1$ вершина s_i будет считаться сбалансированной.

2. Оценка несбалансированности вершины s_i по циклам:

$$M_i^- = C^-(s_i) / C(s_i), \quad (8)$$

где $C(s_i) = C^+(s_i) + C^-(s_i)$ – общее число циклов, которым принадлежит вершина s_i.

При $M_i^- = 1$ вершина s_i будет считаться несбалансированной.

3. Оценка сбалансированности графа по сбалансированности его вершин:

$$M_c = |s^c| / |S|. \quad (9)$$

4. Оценка сбалансированности графа по системе:

$$M_s = |s^s| / |S|. \quad (10)$$

5. Оценка несбалансированности графа:

$$M_n = |s^n| / |S|. \quad (11)$$

6. Оценки средней сбалансированности и несбалансированности графа:

$$M_m^+ = \frac{1}{|S|} \sum_{i=1}^{|S|} M_i^+, \quad M_m^- = \frac{1}{|S|} \sum_{i=1}^{|S|} M_i^-. \quad (12)$$

7. Оценка динамичности графа:

$$M_{dk} = \left|s^{Dk}\right| / \left|S\right|. \quad (13)$$

8. Оценка статичности графа:

$$M_{sk} = \left|s^{Sk}\right| / \left|S\right|. \quad (14)$$

Рассмотрим значения оценок для графов на рис. 3.

Таблица 1

Оценки сбалансированности графов

Оценка		Граф на рис. 3а	Граф на рис. 3б
M_i^+		(0, 0, 0)	(–, –, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
M_i^-		(1, 1, 1)	(–, –, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
M_c		0	0
M_n		1	6/8 = 0.75
M_s		0	2/8 = 0.25
M_m^+		0	0
M_m^-		1	6/8 = 0.75
M_{dk}	$k=3$	1	3/8 = 0.375
	$k=4$	–	3/8 = 0.375
M_{sk}	$k=3$	1	2/8 = 0.25
	$k=4$	–	4/8 = 0.5

В рассматриваемом на рис. 3 примере, для левого графа $M_n = 1,$ в то время как для правого $M_n = 0,75$ (см. табл. 1). Значит, у второго графа лишь 75 % всех элементов втянуто в конфликтные отношения. Значения M_{d3}, M_{d4}, M_{s3}, M_{s4} говорят, что для графа на рис. 3б имеются циклы разной длины, и половина вершин принадлежит самому длинному циклу с $k = 4.$ Смысл этой оценки заключается в большей статичности системы, т.е. задействовании большего числа элементов при изменении функции полезности $q_i(S_i)$ элемента в цепи обратной связи.

В процессе функционирования элементы системы по-разному взаимодействуют между собой, т.е. между одними элементами это взаимодействие сильное и ощутимое, а между другими слабое (но все же имеется!), которым можно пренебречь. В связи с этим возникает задача построения модели системы с учетом «силы» взаимодействия. Для оценки силы взаимодействия могут быть использованы подходы либо на основе непосредственного количественного расчёта, либо путем экспертной оценки. При этом можно рассчитать не только сбалансированность цикла, но и изменение значения интересуемого параметра (функции полезности). Введение веса цикла $V\left[C\left(s_i\right)\right]$, которому принадлежит вершина s_i, позволяет произвести анализ циклов орграфа по значимости и влиянию на значения параметров элементов системы. Анализ весов циклов, которым принадлежит вершина, позволяет выявить циклы с минимальными $V_{\min}$ и максимальными $V_{\max}$ весами, и ввести следующие определения:

Определение 6. Вершина графа $s_i^{V\max}$ считается сильной $V_{\max}$-й степени, если максимальный вес цикла, которому принадлежит вершина равен $V_{\max}$.

Определение 7. Вершина графа $s_i^{V\min}$ считается слабой $V_{\min}$-й степени, если минимальный вес цикла, которому принадлежит вершина, равен $V_{\min}$.

В рассмотренных выше способах оценки воздействий одного элемента на другой не были затронуты вопросы передачи этого воздействия. Согласно законам природы осуществление любого процесса занимает некоторый временной интервал и, проектируя систему, анализируя процессы, происходящие в ней, необходимо учитывать время передачи изменений. Естественно, что не всегда зависимость значения исследуемого параметра системы является функцией непрерывной и всюду дифференцируемой. Более того поскольку достаточно часто может использоваться экспертный подход определения силы воздействия, то при разработке системы становится удобным введение дискретного времени. Величина дискрета Δt должна выбираться исходя из рассматриваемых задач и свойств взаимодействий элементов исследуемой системы: это могут быть и наносекунды, и дни, и недели. Для комплексной оценки системы в орграфе G можно приписывать дугам время t_{ij}, в течение которого возмущающее изменение значения параметра одного элемента S_i приводит к полному изменению значения другого элемента S_j. Рассмотрим данный процесс более подробно.

Пусть в начальный момент времени значение функции полезности элемента S_i равно q_j^0, S_i воздействует на другой элемент S_j, значение функции полезности которого равно q_j^0. Пусть по некоторой причине у элемента S_i значение параметра за интервал времени t_1 изменяется до значения q_i^1, что приводит к передаче данного изменения к элементу S_j за время t_2. Происходит изменение значения параметра у элемента S_j до значения q_j^1, что занимает временной интервал t_3. Тогда вес дуги в модели орграфа, учитывающий временной интервал, будет равен временному интервалу t_2, а весь процесс изменения значений параметров элементов системы будет занимать время, равное

$$T = t_1 + t_2 + t_3. \qquad (16)$$

В зависимости от характера решаемых задач, значения t_i выражения (16) могут принимать нулевые значения. Для исследования циклических свойств системы выражение (16) легко преобразуется к виду

$$T_ц = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \qquad (17)$$

где t_4 – время, необходимое для передачи изменения от элемента S_j к элементу S_i;

t_5 – время, необходимое для изменения значения параметра элемента S_i от q_i^1 до q_i^2.

Использование дискрета Δt позволяет преобразовать выражения (16) и (17) к следующему виду:

$$T = a_1 \cdot \Delta t + a_2 \cdot \Delta t + a_3 \cdot \Delta t = \sum a_i \cdot \Delta t = N \cdot \Delta t, \qquad (18)$$

$$T_ц = a_1 \cdot \Delta t + a_2 \cdot \Delta t + a_3 \cdot \Delta t + a_4 \cdot \Delta t + a_5 \cdot \Delta t = \sum a_i \cdot \Delta t = N_ц \cdot \Delta t. \qquad (19)$$

Тогда для анализа элементов системы, представляемой орграфом, можно ввести следующие определения:

Определение 8. Вершина графа s_i^{Bk} считается быстрой k_B-й степени, если минимальное из $T_ц$ всех циклов, в которые входит вершина, равно $k \cdot \Delta t$.

Определение 9. Вершина графа s_i^{Mk} считается медленной k_M-й степени, если максимальное из $T_ц$ всех циклов, в которые входит вершина, равно $k \cdot \Delta t$.

В результате рассмотрения всех вершин орграфа в соответствии с определениями 4, 5, 8, 9 у исследователя появляется возможность построения гистограммы распределения элементов системы по свойствам динамичности, статичности, быстроте, медленности.

Следовательно, оценка вершине графа может быть задана следующим кортежем признаков:

$$\left(M_i^+,\, M_i^-, k_D, k_S, V_{\max}, V_{\min}, k_B, k_M\right). \quad (20)$$

При исследовании системы, в которой будет использоваться функция полезности q, определенная для каждого элемента S_i, в выражение (20) можно ввести дополнительный признак q_i для некоторого заданного состояния системы:

$$\left(q_i, M_i^+,\, M_i^-, k_D, k_S, V_{\max}, V_{\min}, k_B, k_M\right). \quad (21)$$

Оценки (5), (6), (9)–(14) позволят в свою очередь комплексно оценить исследуемую систему по значимым параметрам и подготовить решение о необходимости и целесообразности её изменения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование сложной системы с целью выявления противоречий в ней и подготовки рациональных решений по их ослаблению или устранению требует тщательного анализа важных и существенных взаимодействий между элементами системы [6]. Подход к решению этой задачи на основе теории конфликтов и предлагаемых в статье оценок позволяет получить не только качественную, но количественную характеристику сбалансированности системы и ее элементов. Выявление конфликтных элементов может быть использовано для структурных изменений системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Робертс Ф. С.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. – М. : Наука, 1986. – 496 с.

2. *Дружинин В.В.* Введение в теорию конфликта / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов, М. Д. Конторов. – М. : Радио и связь, 1989. – 288 с.

3. Математические модели конфликтных ситуаций/ Томас Л. Саати; пер. с англ. В. Н. Веселого и Г.Б. Рубальского; под ред. И. А Ушакова. – М. : Сов. радио, 1977. – 302 с.

4. *Сысоев В. В.* Моделирование дискретных измерительных информационных систем ситуационного управления в их структурно-параметрическом представлении / В. В. Сысоев, Ю. С. Сербулов, Р. А. Солодуха. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. ак., 2003. – 113 с.

5. *Светлов В. А.* Введение в единую теорию анализа и разрешения конфликтов / В. А. Светлов. – М. : Либроком, 2012. – 306 с.

6. *Пьянков О. В.* Математическое моделирование информационно-аналитической системы на основе теории конфликтов / Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 75–79.

Пьянков О. В. – к.т.н., доцент, заместитель начальника кафедры инфокоммуникационных систем и технологий Воронежского институт МВД России. E-mail: pyankovov@vimvd.ru
Tel. 8-904-210-34-19.

Pyankov O. V. – Candidate of technical sciences, assistant professor. The deputy chief of chair of Infocommunication Systems and Technologies. Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia. E-mail: pyankovov@vimvd.ru
Tel. 8-904-210-34-19.