

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТА ОДНОВРЕМЕННЫХ КОНФЛИКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

© 2022 А. В. Попов

ФГКОУ ВО «Воронежский институт МВД России» (Воронеж, Россия)

*Рассматриваются конфликтные отношения между элементами в эрготехнических системах. Анализируется динамика функций полезности отдельных элементов системы в зависимости от характера отношений между ними. Решается задача определения результата множественного воздействия на отдельный элемент системы. Предлагаются методы решения поставленной задачи, основанные на применении аппарата нечеткой логики и анализе поведения функций полезности в условиях независимости входных воздействий. Формулируются выводы о рациональности применения каждого из предложенных методов и возможности дальнейшего построения модели системы, учитывающей ее конфликтные свойства.*

*Ключевые слова:* теория конфликта, нечеткие множества, моделирование, отношения, системы, сети связи.

### **Введение**

Все существующие системы состоят из элементов и взаимодействий между ними, т. е. могут быть заданы множеством  $C = \{S, R\}$ , где  $S$  – множество элементов системы;  $R$  – множество взаимных воздействий элементов друг на друга. В случае, когда в структуру системы входят эргатические элементы (множество  $S_e = \{s_n\}$ ;  $S_e \subseteq S$ ) и неэргатические элементы (множество  $S_{ne} = \{s_m\}$ ;  $S_{ne} \subseteq S$ ), причем особое внимание акцентируется на операторской (административной) деятельности эргатического элемента по отношению к неэргатическому, такая система относится к классу эрготехнических [1]. Эрготехническая система функционирует тогда, когда содержит в своей структуре хотя бы один процесс, в ходе которого осуществляется взаимодействие между эргатическим и неэргатическим элементами, т. е.

$\exists r_{i,j} : r_{i,j} \in R; s_i \xrightarrow{r_{i,j}} s_j$ , где  $s_i \in S_e; s_j \in S_{ne}$  (или наоборот).

Необходимо отметить, что каждый  $i$ -й элемент системы обладает функцией полезности  $q(s_i) \forall i$ , характеризующей степень достижения его цели. В результате какого-

либо воздействия  $r_{i,j}$  функции  $q(s_i)$  и  $q(s_j)$  меняются некоторым образом. Динамика этих функций характеризует отношения между элементами с точки зрения теории конфликта [2, 3].

Выделяются три основных типа конфликтных взаимоотношений между элементами: синергизм, антагонизм, безразличие. В случае, когда при  $s_i \xrightarrow{r_{i,j}} s_j$  функции полезности обоих элементов одновременно возрастают или убывают ( $q(s_i) \uparrow (\downarrow) \cap q(s_j) \uparrow (\downarrow)$ ), делается вывод о том, что  $s_i$  синергетически воздействует на  $s_j$  или  $s_i >|_c s_j$ . Если  $q(s_i) \uparrow (\downarrow) \cap q(s_j) \downarrow (\uparrow)$ , то  $s_i$  антагонистически воздействует на  $s_j$  или  $s_i >|_a s_j$ ; если при  $q(s_i) \uparrow (\downarrow) q(s_j)$  не изменяется,  $s_i$  проявляет безразличие по отношению к  $s_j$  или  $s_i >|_b s_j$ . Таким образом с помощью положений теории конфликта можно определить динамику возрастания или убывания функций полезности взаимодействующих элементов при однозначном воздействии со стороны одного элемента на другой.

### Постановка задачи

Однако в случае множественности воздействий, характеризующихся разными типами отношений, со стороны  $i$ -го элемента на  $j$ -й возникает задача оценки результата входного воздействия и определения поведения функции полезности  $q(s_j)$ .

Представим систему из двух элементов в виде графа  $G_1$ , в котором множество вершин  $V = \{v_1, v_2\}$  будет соответствовать множеству элементов  $S = \{s_1, s_2\}$ ,  $s_1 \in S_e$ ;  $s_2 \in S_{ne}$ , а множество дуг  $E = \{e_{1,2}^1, e_{1,2}^2\}$  – множеству воздействий  $r_{1,2}^k$  элемента  $s_1$  на элемент  $s_2$ . На графе  $G_1$  сплошная дуга характеризует синергетическое отношение между элементами, пунктирная – антагонистическое (рис. 1).

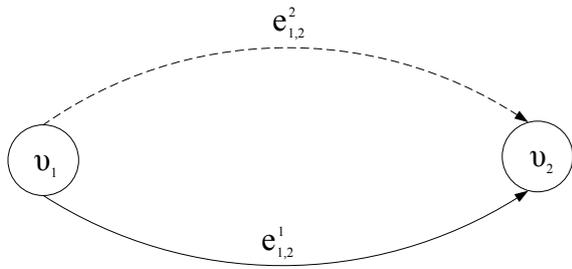


Рисунок 1. Граф  $G_1$

Из рисунка 1 видно, что элемент  $s_1$  одновременно оказывает и синергетическое, и антагонистическое воздействие на элемент  $s_2$ , т.е.  $(s_1 >_c s_2) \cap \dots$ , в результате чего при  $q(s_1) \uparrow (\downarrow)$  нельзя сразу определить поведение  $q(s_2)$ .

### Решение

Для решения задачи могут использоваться различные подходы. Один из них основан на применении аппарата нечеткой логики [4].

В таком случае нечеткое множество  $A$  представляется в следующем виде:

$$A = \{(x, \mu_A(x))\}, \quad (1)$$

где  $x$  – элементы универсального множества  $X$ ,  $\mu_A(x)$  – функции принадлежности, элементов универсального множества  $X$  (если нечеткое множество  $A$  нормально, то  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ ).

В рамках решаемой задачи элементы множества  $X$  будут характеризовать «силу» воздействия одного элемента на другой. Таким образом  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ , где  $x_1$  – очень сильное воздействие;  $x_2$  – сильное;  $x_3$  – среднее;  $x_4$  – слабое,  $x_5$  – очень слабое.

Оценка модели, а также агрегирование всей нечеткой информации производится с помощью специальных операторов. К таким операторам относятся треугольные нормы ( $t$ -нормы), треугольные конормы ( $t$ -конормы) и др.

Под  $t$ -нормой понимается действительная функция  $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , которая должна удовлетворять следующим условиям:

$$T(0, 0) = 0; T(\mu_A, 1) = T(1, \mu_A) = \mu_A; \quad (1)$$

$$T(\mu_A, \mu_B) \leq T(\mu_C, \mu_D), \text{ если } \mu_A \leq \mu_C, \mu_B \leq \mu_D; \quad (2)$$

$$T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A); \quad (3)$$

$$T(\mu_A, T(\mu_B, \mu_C)) = T(T(\mu_A, \mu_B), \mu_C). \quad (4)$$

Под  $t$ -конормой понимается действительная функция  $\perp: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , которая должна удовлетворять следующим условиям:

$$\perp(1, 1) = 1; \perp(\mu_A, 0) = \perp(0, \mu_A) = \mu_A; \quad (5)$$

$$\perp(\mu_A, \mu_B) \geq \perp(\mu_C, \mu_D), \text{ если } \mu_A \geq \mu_C, \mu_B \geq \mu_D; \quad (6)$$

$$\perp(\mu_A, \mu_B) = \perp(\mu_B, \mu_A); \quad (7)$$

$$\perp(\mu_A, \perp(\mu_B, \mu_C)) = \perp(\perp(\mu_A, \mu_B), \mu_C). \quad (8)$$

При выполнении всех условий делается вывод о применимости  $t$ -норм и  $t$ -конорм к рассматриваемой системе, в противном случае необходимо использовать другой подход к определению результирующего динамического состояния функции полезности элемента, подвергающегося множественному воздействию.

Другой подход основан на исследовании свойств функции полезности элемента, подвергающегося множественному воздействию.

Функция полезности  $q(s_j) \forall j$  является функцией, зависящей от времени, так как состояние  $j$ -го элемента может изменяться на определенном временном интервале, т. е.  $s_j = s_j(t)$ . В условиях множественности входных воздействий на элемент  $s_j$  будем рассматривать множество функций полезности  $j$ -го элемента при независимом воздействии  $r_{i,j}^k \forall i, k$ .

Результатом будет являться множество  $Q(s_j) = \{q(s_j)|_{r_{i,j}^1}, q(s_j)|_{r_{i,j}^2}, \dots, q(s_j)|_{r_{i,j}^k}\}$ . На следующем этапе необходимо найти на некотором временном интервале  $t$  значения производных всех функций  $q(s_j) \in Q(s_j)$ .

Таким образом оценочный показатель входных воздействий на  $j$ -й элемент может быть определен по следующей формуле:

$$\zeta_j = \sum_{i,k} \frac{d(q(s_j)|_{r_{i,j}^k})}{dt}, t = \Delta t. \quad (9)$$

В случае, если  $\zeta_j > 0$ , делается вывод о том, что  $q(s_j) \uparrow$ ; если  $\zeta_j < 0 \rightarrow q(s_j) \downarrow$ .

Сложность использования данного подхода обуславливается необходимостью проведения большого количества натуральных экспериментов для определения необходимых зависимостей и дальнейшей аппроксимации функций  $q(s_j)$ .

Рассмотрим систему, модель которой представлена на рисунке 1 и проверим применимость методов, позволяющих оценить динамику функции полезности  $q(s_2)$ .

Проанализируем рациональность применения к рассматриваемой задаче первого из предложенных методов. Согласно [4], наиболее часто применяемыми случаями t-норм являются следующие операции:

$$\min(\mu_A, \mu_B);$$

$$T_p(\mu_A, \mu_B) = \mu_A \cdot \mu_B;$$

$$T_m(\mu_A, \mu_B) = \max(0, \mu_A + \mu_B - 1);$$

$$T_w(\mu_A, \mu_B) = \begin{cases} \mu_A, & \text{если } \mu_B = 1, \\ \mu_B, & \text{если } \mu_A = 1, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Для t-конорм соответственно:

$$\max(\mu_A, \mu_B);$$

$$\perp_p(\mu_A, \mu_B) = \mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B;$$

$$\perp_m(\mu_A, \mu_B) = \min(1, \mu_A + \mu_B);$$

$$\perp_s(\mu_A, \mu_B) = \begin{cases} \mu_A, & \text{если } \mu_B = 0, \\ \mu_B, & \text{если } \mu_A = 0, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Выберем t-норму –  $\min(\mu_A, \mu_B)$ ;

t-конорму –  $\max(\mu_A, \mu_B)$  и проверим для них выполнение условий 1-8.

–  $\min(0, 0) = 0$ : условие выполняется, поскольку при отсутствии связи между элементами  $s_1$  и  $s_2$  оценка результирующего воздействия обращается в ноль;

–  $\min(\mu_A, \mu_B) \leq \min(\mu_C, \mu_D)$ , если  $\mu_A \leq \mu_C$ ,

$\mu_B \leq \mu_D$ : условие выполняется, т. к. при условии пропорциональности соотношений воздействий между элементами неравенство в любом случае будет верным;

–  $\min(\mu_A, 1) = \min(1, \mu_A) = \mu_A$ : условие не выполняется, поскольку динамика функции  $q(s_2)$  будет зависеть от наиболее сильного влияния (в случае t-нормы, результат должен быть равен 1). Из этого следует, что применить t-норму к системе с такими физическими свойствами нельзя.

Проверим выполнимость условий для t-конорм:

–  $\max(1, 1) = 1$ : условие выполняется, т. к. результирующее воздействие будет являться максимальным из всех возможных;

–  $\max(\mu_A, 0) = \max(0, \mu_A) = \mu_A$ : условие выполняется, поскольку рассматривается ситуация, когда имеется лишь одно воздействие на элемент  $s_2$  и функция  $q(s_j)$  будет зависеть от силы и характера этого воздействия;

–  $\max(\mu_A, \mu_B) \geq \max(\mu_C, \mu_D)$ , если  $\mu_A \geq \mu_C, \mu_B \geq \mu_D$ : условие выполняется, так как совокупность

более сильных воздействий оказывает большее влияние чем совокупность более слабых воздействий на отдельно взятый элемент;

–  $\max(\mu_A, \mu_B) = \max(\mu_B, \mu_A)$ : условие не выполняется, поскольку воздействия элементов определены некоторыми физическими процессами, значимость которых в эрготехнических системах различна. Следовательно, использование t-норм для такой задачи неприемлемо.

Используем второй подход при оценке результата множественного воздействия на элемент  $s_2$ , основанный на анализе функций полезности в условиях независимости.

Поскольку на элемент  $s_2$  осуществляются воздействия  $r_{1,2}^1$  и  $r_{1,2}^2$ , решение задачи будет сводиться к анализу функций  $q(s_j)|_{r_{i,j}^1}$  и  $q(s_j)|_{r_{i,j}^2}$ . Пусть в обоих случаях будет линейная зависимость функции полезности элемента  $s_2$  от времени воздействий  $r_{1,2}^1$  и  $r_{1,2}^2$  с условием, что антагонистическое воздействие будет сильнее синергетического, т.е.  $r_{1,2}^2 > r_{1,2}^1$ . В начальный момент времени  $t_0 = 0$  функции  $q(s_2)|_{r_{1,2}^1}$  и  $q(s_2)|_{r_{1,2}^2}$  обладают некоторым количественным показателем ( $q(s_2)|_{r_{1,2}^1} = q(s_2)|_{r_{1,2}^2} = 100$  при  $t = t_0$ ). На рисунке 2 представлены графики функций, для которых верно соотношение силы входных воздействий.

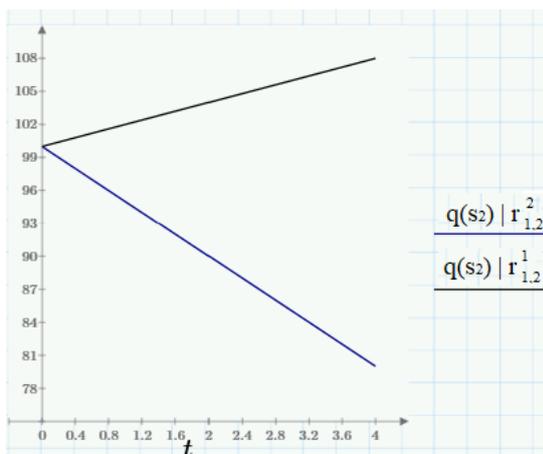


Рисунок 2. Графики функций  $q(s_j)|_{r_{i,j}^1}$  и  $q(s_j)|_{r_{i,j}^2}$

Определим знак оценочного показателя  $\zeta_j$  на временном интервале  $\Delta t$ , на котором  $\forall r \exists q(s_j)|_r: q'(s_j)|_r \notin \emptyset$ .

$$\zeta_j = \frac{d(q(s_2)|_{r_{1,2}^1})}{dt} + \frac{d(q(s_2)|_{r_{1,2}^2})}{dt}, \Delta t = 4.$$

Из выражения следует, что  $\zeta_j < 0$ , из чего следует, что антагонистическое воздействие будет являться доминирующим и, соответственно, функция  $q(s_2)$  в результате множественного воздействия будет убывать. При таких функциональных зависимостях, как  $q(s_2)|_{r_{1,2}^1}$  и  $q(s_2)|_{r_{1,2}^2}$ , функция, определяемая соотношением сил входных воздействий  $r_{1,2}^1$  и  $r_{1,2}^2$   $\Xi(r_{1,2}^1, r_{1,2}^2)$  будет иметь следующий вид (см. рис. 3):

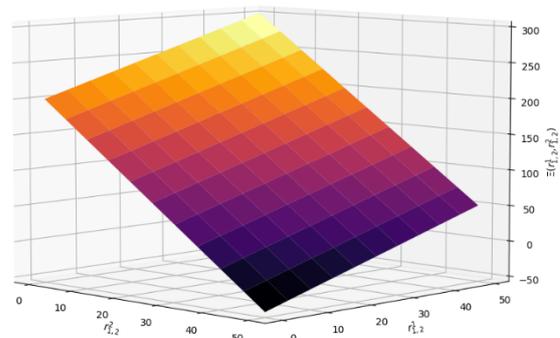


Рисунок 3. График функции  $\Xi(r_{1,2}^1, r_{1,2}^2)$

Полученная в результате плоскость подтверждает факт доминирования  $r_{1,2}^2$  над  $r_{1,2}^1$ , поскольку с ростом  $r_{1,2}^2$  функция  $\Xi(r_{1,2}^1, r_{1,2}^2)$  убывает значительно быстрее по сравнению с ее возрастанием при увеличении  $r_{1,2}^1$ .

### Заключение

Таким образом предложенные методы позволят оценить результат множественного воздействия на конкретный элемент эрготехнической системы со стороны других элементов. Анализ динамики функции полезности элемента, подвергающемуся воздействию будет способствовать построению модели такой системы, обладающей необходимыми конфликтными свойствами для ее дальнейшего исследования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев В. В. Моделирование информационного воздействия на эргатический элемент в эрготехнических системах / В. В. Алексеев [и др.]. – Москва : «Стенвил», 2003. – 200 с.

2. Светлов В. А. Управление конфликтом. Новые технологии принятия решений в конфликтных ситуациях: учебное пособие / В. А. Светлов. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2019. – 136 с.

3. Сысоев В. В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении / В. В. Сысоев. – М.: Московская академия экономики и права, 1999. – 151 с.

4. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. – Москва : Наука, 1986. – 312 с.

## STUDY OF METHODS FOR ASSESSING THE RESULT OF SIMULTANEOUS CONFLICTING INFLUENCES IN ERGOTECHNICAL SYSTEMS

© 2022 A. V. Popov

*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (Voronezh, Russia)*

*Conflict relations between elements in ergotechnical systems are considered. The dynamics of utility functions of individual elements of the system depending on the nature of the relationship between them is analyzed. The problem of determining the result of multiple impacts on a single element of the system is solved. The methods of solving the task based on the application of fuzzy logic and analysis of behavior of utility functions in conditions of independence of input influences are proposed. Conclusions about the rationality of using each of the proposed methods and the possibility to further build a model of the system, taking into account its conflict properties are formulated.*

*Keywords: conflict theory, fuzzy sets, modelling, relations, systems, communication networks.*