

---

*Аведьян Artem Богосович, cand. techn. sciences, expert of the CAD/PLM, [aavedyan@mail.ru](mailto:aavedyan@mail.ru), Russia, Moscow, Moscow aviation Institute,*

*Pavlenko Bogdan Sergeevich, student, [bogdan-skm@mail.ru](mailto:bogdan-skm@mail.ru), Russia, Moscow, Academy of national economy and state service under the President of the Russian Federation*

УДК 681.3

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МНОГОСВЯЗНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

Луэ Ху Дык, В.Ю. Волков

*Описан метод определения степени влияния входных воздействий многосвязного объекта управления на его выходные параметры. Для этого использовались интеллектуальные технологии (нечеткий вывод), что позволило повысить эффективность функционирования системы управления многосвязным технологическим объектом.*

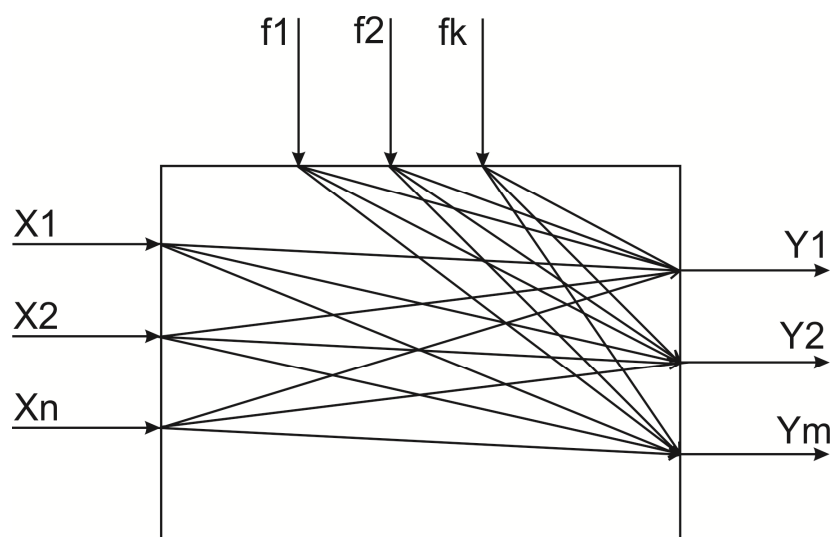
*Ключевые слова: многосвязный объект, степень влияния, интеллектуальный способ, нечеткая логика.*

Реальные промышленные объекты управления (ОУ) обычно являются многосвязными, т.е. имеют несколько входов и несколько выходов. При управлении такими объектами изменение связанных между собой управляемых и управляющих величин в разных контурах управления вызывает изменение всех остальных, что, в свою очередь, усложняет задачу управления. В ряде случаев такие ОУ можно моделировать, пренебрегая второстепенными воздействиями, а также второстепенными управляемыми величинами. В результате такого обоснованного упрощения можно получить простую модель с двумя (управляющим и возмущающим), а в некоторых случаях и с одним воздействием, и с одной управляемой величиной. Это существенно упрощает как анализ объекта, так и разработку системы автоматизированного управления им [1]. Однако во многих случаях необходимо обеспечить управление несколькими управляемыми величинами объекта, его выходными величинами, путем воздействия на несколько его входов, т.е. изменения управляющих величин, кроме того следует учесть еще и влияние возмущений, поступающих в разные контуры управления. Особенность управления таким, достаточно сложным в описании объектом, состоит в том, что зачастую управляющее воздействие по одному входу приводит к изменению не одной, а сразу нескольких управляемых

величин. Например, по некоторым оценкам [2], в химико-технологических процессах порядка 15% составляют двусвязные системы регулирования.

Таким образом, существует класс объектов, управляемые величины которых зависят от нескольких управляющих и возмущающих воздействий, а управление такими объектами довольно сложный процесс. Следовательно, выявление степени влияния входных переменных на выходные в различных контурах управления промышленных многосвязных объектов представляется достаточно актуальной задачей.

На рис. 1 приведена структура многосвязного объекта управления. Отличительной особенностью реальных многомерных многосвязных объектов является то, что каждая выходная, управляемая величина зависит не от одной, а от нескольких входных, управляющих величин, а также нескольких возмущений.



**Рис. 1. Многосвязный объект управления:**  
 $X1...Xn$  – входные величины;  $f1...fk$  – возмущения;  
 $Y1...Ym$  – выходные величины

Для того, чтобы упростить процесс управления многосвязными объектами, стараются «развязать» выходные величины так, чтобы каждая выходная, управляемая величина зависела только от «своей» входной, управляющей. Но даже при осуществлении такой развязки при последующем включении объекта в контуры управления, оказывается, что в системе управления возникают более или менее сложные контуры, которые потенциально могут привести к потере устойчивости системы управления. Как известно, потери устойчивости нужно избежать при проектировании системы управления [3].

В случае общая структура ОУ может быть задана в виде:

$$\bar{Q}(s) \cdot \bar{Y}(s) = \bar{R}(s) \cdot \bar{X}(s) + \bar{P}(s) \cdot \bar{F}(s), \quad (1)$$

где  $\bar{X}(s)$  - матрица изображения управляющих воздействий,  $\bar{R}(s)$  - матрица операторных коэффициентов управляющих воздействий,  $\bar{Y}(s)$  - матрица изображения выходных переменных,  $\bar{Q}(s)$  - матрица операторных коэффициентов выходных переменных,  $\bar{F}(s)$  - матрица изображения возмущающих воздействий,  $\bar{P}(s)$  - матрица операторных коэффициентов возмущающих воздействий.

Тогда, матричная передаточная функция объекта для управляющих воздействий определяется формулой:

$$\bar{W}_x(s) = \frac{\tilde{Q}(s)}{Q(s)} \bar{R}(s), \quad (2)$$

где  $\tilde{Q}(s)$  обозначена матрица, присоединенная для матрицы  $\bar{Q}(s)$ .

Матричная передаточная функция для возмущающих воздействий определяется формулой:

$$\bar{W}_f(s) = \frac{\tilde{Q}(s)}{Q(s)} \bar{P}(s). \quad (3)$$

В данном случае степень влияния изображений управляющего воздействия  $\bar{X}(s)$  и возмущающего воздействия  $\bar{F}(s)$  на изображение выходной величины  $\bar{Y}(s)$  определяется соответствующими передаточными функциями  $\bar{W}_x(s)$  и  $\bar{W}_f(s)$ .

Однако, в большинстве случаев, модель поведения ОУ практически невозможно описать аналитически. В таких случаях мы предлагаем использовать методы интеллектуальных технологий. Покажем, на примере, как определить степень влияния входных величин на выходные в системе управления концентрацией загрязняющих веществ, в которой в качестве ОУ выступает атмосферный воздух.

На территории промышленных регионов обычно располагается большое количество предприятий. Все эти предприятия во время своей работы выбрасывают в атмосферу большое количество загрязняющих веществ. При этом может возникнуть ситуация, когда суммарная концентрация загрязняющего вещества в атмосфере превысит ПДК, однако концентрации этого загрязняющего вещества (ЗВ), выбрасываемого отдельными предприятиями в атмосферу, не превышает ПДК. Далее, будем рассматривать все эти предприятия и атмосферный воздух как единую систему управления, причем, управляющими воздействиями (входами) являются режимы работы предприятий, возмущениями являются метеоусловия (скорость ветра, направление ветра, температура атмосферы), выходами являются нормируемые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе. Предлагается рассматривать такую систему как сложную многосвязную систему в виду недостаточности и неопределенности знаний об ОУ.

Пусть имеются  $N$  предприятий:  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , которые находятся в одном из режимов работы (пуск, останов, нормальный или аварийный ре-

жим); и есть данные о метеоусловиях: скорость ветра ( $V$ ), направление ветра ( $H$ ), температура атмосферы ( $T$ ).

Традиционными методами для рассматриваемого ОУ практически невозможно определить степень влияния его «входов» на «выходы» аналитически. Мы предлагаем для определения вышеуказанной степени влияния использовать нечеткий логический вывод Мамдани с входными переменными ( $X_1, X_2, \dots, X_N, V, H, T$ ). Выходные переменные это базовые вклады каждого предприятия в общее загрязнение, соответственно для  $N$  предприятий  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$ . Базовые вклады предприятий это относительные величины концентрации ЗВ в точке измерения при моделировании распространения ЗВ от этих предприятий в атмосфере, которые затем уточнены с помощью экспертов. Эти относительные величины равнопропорциональны значениям фактических концентраций, создаваемых всеми предприятиями – источниками загрязнения атмосферного воздуха [4].

Для  $k$ -ого предприятия база знаний экспертной системы нечеткого вывода представляется в следующем виде:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \ \dots \ x_N = \tilde{a}_{Nj} \Theta_j \ v = \tilde{a}_{(N+1)j} \Theta_j \ h = \tilde{a}_{(N+2)j} \Theta_j \ t = \tilde{a}_{(N+3)j} \Theta_j \ \text{с весом } w_j) \Rightarrow y_k = \tilde{d}_j, \ j = \overline{1, m}, \ x_{N+1} = v, \ x_{N+2} = h, \ x_{N+3} = t, \quad (4)$$

где  $y_k$  - базовый вклад  $k$ -ого предприятия,  $\tilde{a}_{ij}$  - нечеткий терм, которым оценивается переменная  $x_i$  в  $j$ -м правиле,  $i = \overline{1, N+3}$ ;  $\tilde{d}_j$  - заключение  $j$ -го правила;  $w_j \in [0, 1]$  - весовой коэффициент  $j$ -го правила;  $m$  - количество правил в базе знаний;  $\Theta_j$  - логическая операция, связывающая фрагменты antecedента  $j$ -го правила (ей может быть логическая операция И или ИЛИ);  $\Rightarrow$  - нечеткая импликация.

Обозначим:

$\mu_j(x_i^*)$  - функция принадлежности входа  $x_i^* \in [\underline{x}_i^*, \overline{x}_i^*]$  нечеткому терму  $\tilde{a}_{ij}$ , то есть:

$$\tilde{a}_{ij} = \int_{x_i^* \in [\underline{x}_i^*, \overline{x}_i^*]} \mu_j(x_i^*) / x_i^*, \ i = \overline{1, N+3}; \quad (5)$$

$\mu_{d_j}(y_k)$  - функция принадлежности выхода  $y_k \in [\underline{y}_k, \overline{y}_k]$  нечеткому терму  $\tilde{d}_j$ , то есть:

$$\tilde{d}_j = \int_{y_k \in [\underline{y}_k, \overline{y}_k]} \mu_{d_j}(y_k) / y_k \quad (6)$$

Степень выполнения посылки  $j$ -го правила для текущего входного вектора  $\mathbf{X}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*, h^*, v^*, t^*)$  рассчитывают так:

$$\mu_j(\mathbf{X}^*) = w_j (\mu_j(x_1^*) \chi_j \mu_j(x_2^*) \chi_j \dots \mu_j(x_N^*) \chi_j \mu_j(v^*) \chi_j \mu_j(h^*) \chi_j \mu_j(t^*)), \ j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где:  $\chi_j$  - обозначает  $t$ -норму, если в  $j$ -м правиле базы знаний используется логическая операция И ( $\Theta_j = И$ ), и соответствует  $s$ -норме при  $\Theta_j = ИЛИ$ .

В результате базовый вклад  $k$ -ого предприятия представляется в виде:

$$\tilde{y}_k^* = \text{agg} \left( \int_{j=1, m} \min(\mu_j(X^*), \mu_{d_j}(y_k)) / y_k \right), \quad (8)$$

где: *agg* – агрегирование нечетких множеств, которое обычно реализуют операцией максимума.

Анализ показал, что в рассматриваемой системе управления [5], если на стационарном посту наблюдения за загрязняющими веществами измеренная концентрация (суммарная) загрязняющего вещества  $C > \text{ПДК}$ , то концентрация загрязняющего вещества, создаваемая выбросами  $k$ -го предприятия в контрольной точке ( $c_k$ ) вычисляется по следующей формуле:

$$c_k = c \frac{\tilde{y}_k^*}{\sum_{j=1} \tilde{y}_j^*} \quad (9)$$

Следовательно, множеством

$$y = \left\{ \frac{\tilde{y}_k^*}{\sum_{j=1} \tilde{y}_j^*}, k = \overline{1, N} \right\}$$

определяется степень влияния входных переменных (режимов работы предприятия промышленного региона) при различных метеоусловиях на концентрацию ЗВ в атмосферном воздухе. Это позволит наиболее эффективно принимать управляющие решения, направленные на снижение концентрации ЗВ в атмосферном воздухе, так как в соответствии со степенью влияния можно управлять нагрузкой каждого предприятия, тем самым, снижая выбросы ЗВ в атмосферу во время нормального ведения технологического процесса.

Таким образом, использование интеллектуальных технологий позволило повысить эффективность работы системы управления многосвязным технологическим объектом.

### Список литературы

1. Зырянов В.Г. Системы управления многосвязными объектами: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 112 с.
2. Еремин Е.Л., Чепак Л.В. Алгоритмы адаптации дискретно-непрерывных систем для объектов с запаздыванием по управлению. Вычислительные технологии Том 11, № 3, 2006.
3. Федосов Б.Т. Многомерные объекты. Описание, анализ и управ-

ление. URL: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_171\\_MultyDim\\_Obj\\_Contr.htm](http://model.exponenta.ru/bt/bt_171_MultyDim_Obj_Contr.htm) (дата обращения 09.09.2013).

4. Вент Д.П., Волков В.Ю., Луэ Ху Дык. О возможности использования интеллектуального регулятора в дополнительном контуре системы управления. Известия ТулГУ. Технические Науки. Тула, 2013. Вып. 2. С. 48 –53.

5. Волков В.Ю., Луэ Ху Дык. Интеллектуальная система выработки рекомендаций по снижению выбросов в атмосферу химико-технологическими предприятиями. Труды XIV Международной конференции: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара, 2012. С. 278 – 285.

*Луэ Ху Дык, аспирант, [huyducvn\\_ht@mail.ru](mailto:huyducvn_ht@mail.ru), Россия, Новомосковск, НИ (ф) РХТУ им. Д.И. Менделеева,*

*Волков Владислав Юрьевич, канд. техн. наук, доц., [duga@mail.ru](mailto:duga@mail.ru), Россия, Новомосковск, НИ (ф) РХТУ им. Д.И. Менделеева*

**METHODS FOR IDENTIFYING THE DEGREE OF INFLUENCE BETWEEN THE  
PARAMETERS OF OBJECTS MULTIPLY**

*Leu Huy Duc, V.Yu. Volkov*

*The method to calculate the degree of influence of input parameters multiply the control object to its output parameters. For this purpose, intellectual technology (fuzzy logic), thus improving the efficiency of the management system multiply technological object.*

*Key words: multiply the object, the degree of influence, intelligent way, fuzzy logic.*

*Leu Huy Duc, postgraduate, [huyducvn\\_ht@mail.ru](mailto:huyducvn_ht@mail.ru), Russia, Novomoskovsk, Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia", Novomoskovsk branch,*

*Volkov Vladislav Yurevich, candidate of technical science, docent, [duga@mail.ru](mailto:duga@mail.ru), Russia, Novomoskovsk, Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia", Novomoskovsk branch*