

Абдуллаев Гурбан Садых оглу

**КООРДИНАЦИЯ НЕЧЕТКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОВ В ГИБКИХ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ (ГАП) БУРИЛЬНЫХ ТРУБ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2012/1/8.html](http://www.gramota.net/materials/1/2012/1/8.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2012. № 1 (56). С. 23-26. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2012/1/](http://www.gramota.net/materials/1/2012/1/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

## МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, СТРОИТЕЛЬСТВО, АРХИТЕКТУРА, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 519.7; 007; 159.995

Гурбан Садых оглу Абдуллаев

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан

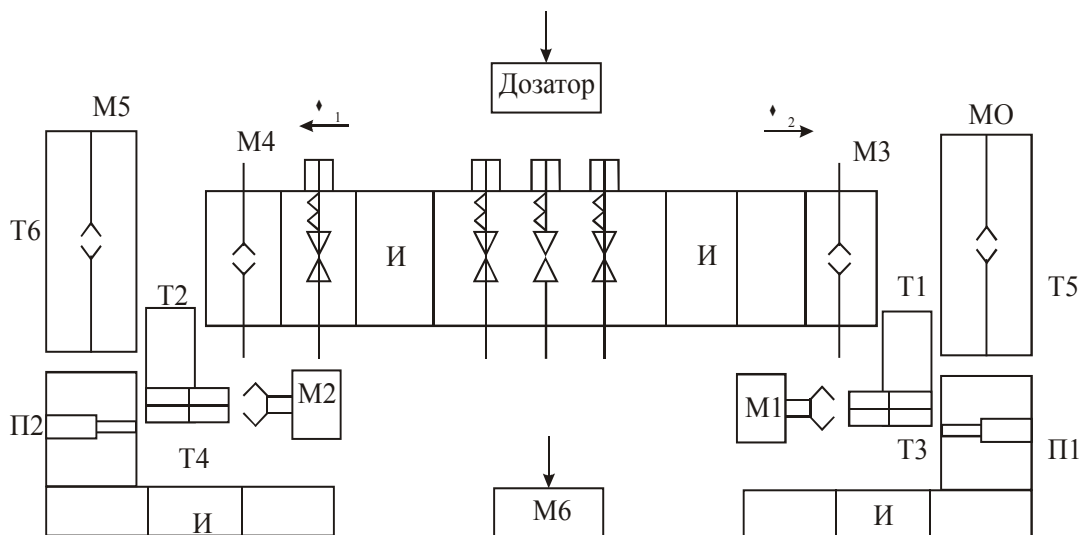
КООРДИНАЦИЯ НЕЧЕТКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОВ  
 В ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ (ГАП) БУРИЛЬНЫХ ТРУБ<sup>©</sup>

**Введение.** Изучение окружающего нас мира, проектирование новой техники и создание новых технологий невозможны без проведения разнообразных экспериментов, при этом далеко не всегда могут быть поставлены натурные эксперименты, зачастую они слишком дороги и требуют значительного времени, во многих случаях их проведение связано с риском и большими материальными или моральными издержками. В таких ситуациях предпочтительно компьютерное моделирование, которое невозможно без использования математических моделей сложных систем, в качестве которых рассматриваются объекты ГАП бурильных труб.

Роботизированный участок для сварки бурильных труб с трением состоит из набора манипуляторов различного назначения  $M = \{M_i\}$  с постоянным временем их срабатывания  $\tau_i = const, i = \overline{0,6}$  и транспортеров  $k = \{kj\}$ , движущихся со скоростью  $\omega = \{\omega_j\}, j = \overline{1,2}$ . Манипулятор  $M_0$  укладывает замки (муфта и ниппель) И (Рис. 1) на транспортер Т1. В дальнейшем они захватываются манипуляторами  $M1, \dots, M5$  в момент поступления их на составляющие рабочей позиции (поступление труб на стол) и далее подаются на позиции базировки замка Т1, ..., Т6. После сварки бурильные трубы укладываются на транспортные ролики Т2 и далее с помощью манипулятора М6 подаются на следующую операцию [1].

**Целью данной статьи является** описание управления и координации транспортно-интеллектуальных роботов, функционирующих при нечеткой исходной информации.

Основная особенность функционирования данного роботизированного участка заключается в возможности возникновения определенных конфликтных ситуаций, связанных с тем, что: бурильная труба (БТ), обработанная, например, снятием грата внутри труб  $T_i$ , обслуженная манипулятором  $M_i, i = \overline{1,4}$ , двигаясь на транспортере  $T_2$ , может попасть на рабочую позицию любого из набора последующих манипуляторов ( $M_{i+1}$ ) в тот момент, когда те обслуживают «свои» БТ, что может привести к технологически недопустимому «нахлесту» и, соответственно, сделает невозможным срабатывание манипулятора М6; интенсивность поступления БТ на обслуживание манипулятором М6 (что определяется расстоянием между БТ на транспортере Т2 и скоростью транспортера) может превысить его производительность [2].



**Рис. 1.** Роботизированный участок для сварки бурильных труб с трением

Не исключена возможность возникновения конфликтных ситуаций сразу на нескольких или даже на всех рабочих позициях.

Следует отметить, что возможность возникновения подобных ситуаций вызвана недетерминированностью интенсивности поступления БТ для сварки замка на данный роботизированный участок. Для разрешения таких

ситуаций предполагается снабдить манипуляторы  $M_2, \dots, M_5$  элементами «интеллекта», позволяющими в случае конфликтной ситуации принять соответствующее решение, предотвращающее «нахлест». Для этой цели из следующих очевидных соображений строятся технологические шкалы. Если  $\tau_0$  - время срабатывания манипулятора  $M_6$ , то тогда очевидно, что минимально допустимое расстояние между БТ на транспортере  $T_2$  определяется как  $I_{2\min} = \omega \tau_0$ , т.е. как величина «конфликтной» зоны вблизи рабочей позиции манипуляторов  $M_i$ ,  $i = \overline{2,5}$ . Вполне понятно, что между БТ и границей конфликтной зоны (по ходу транспортера  $T_2$ ) расстояние может быть шкалировано в виде  $I'_2 \in [0,1 \text{ конф}]$ ,  $i = \overline{2,5}$ , т.е. при попадании изделия в конфликтную зону  $i$ -го манипулятора ( $i = \overline{2,5}$ ), последний должен принять решение пропустить замки для БТ через нее, т.е. фактически задержать выполнение операции по переносу «своего» БТ от сварки трением на транспортер  $T_2$ . Время задержки срабатывания  $\tau_{\text{зад},i}$  при этом должно определяться расстоянием, которое нужно пройти БТ до конца конфликтной зоны, т.е.  $I'_{2i}$ . Естественно, чем больше  $I'_{2i}$ , тем более длительным должно быть время  $\tau_{\text{зад},i}$ ,  $i = \overline{2,5}$ .

Следует выделить ситуацию, когда конфликт произошел одновременно сразу на нескольких рабочих позициях, например на  $M_2$  и  $M_3$ . В этом случае после разрешения конфликта манипулятором  $M_2$ , расстояние между БТ, движущимися к рабочей позиции манипулятора  $M_3$ ,  $I_2 = I_{2\min}$ , т.е. для того чтобы обслужить «свое» изделие, манипулятор  $M_3$  должен пропустить оба изделия. Таким образом, каждый последующий (по ходу транспортера  $T_2$ ) манипулятор должен при возникновении конфликта на своей рабочей позиции учесть еще и все конфликты, произошедшие на рабочих позициях предыдущих манипуляторов. Иными словами, общее время задержки будет определяться из соотношения

$$\tau_{\text{зад.общ},i} = \tau_{\text{зад},i} + k\tau_0, \quad i = \overline{2,5}, \quad k = \overline{1,3} \quad (1)$$

где  $k$  - число предыдущих конфликтов. При этом время задержки срабатывания манипуляторов для разрешения конфликтов также шкалируется, т.е.  $\tau_{\text{зад},i} \in [0; 2\tau_0]$ .

Следует отметить, что сенсорная система, установленная на участке, состоит из телекамер, которые определяют нахождение БТ в  $i$ -й конфликтной зоне в момент срабатывания соответствующего манипулятора, а также расстояния между БТ и границами конфликтной зоны. Из-за низкой метрологической характеристики подобной измерительной системы, поступающая на обработку информация рассматривается как нечеткая. Таким образом, расстояние  $I'_{2i}$ ,  $i = \overline{2,5}$ , представляется в виде нечеткого множества, формулирующего лингвистическую переменную «Удаленность от конца зоны  $i$ », описываемую тройками вида

$$\phi_{2i}^0 = (\langle \phi_{2i}^j, u\phi_i, \tilde{\phi}_{2i} \rangle); \quad \tilde{\chi}_{2i}^j \in T_i^*(u), \quad i = \overline{2,5}; \quad j = \overline{0,10}$$

где  $T_i^*(u)$  - расширенное терм-множество лингвистических переменных «Удаленность от конца зоны БТ  $i$ »;  $\tilde{\chi}_{2i}$  - нормальное нечеткое множество, описываемое функциями принадлежности  $\mu\phi_2 : u\phi_2 \rightarrow [0,1]$ ;  $u\phi_i$  - универсальное множество вида  $u\phi_i = (0,1,2, \dots, 10)$ . Значения лингвистических переменных «Удаленность от конца зоны БТ  $i$ » приведены в Табл. 1.

Как и ранее, нечеткие множества  $\tilde{\chi}_{2i}$  представляются в виде

$$\tilde{\chi}_{2i} = \int_{u\phi_i} \mu\phi_2(u) / u, \quad i = \overline{2,5} \quad (2)$$

Соответственно и выходной показатель, характеризующий время задержки срабатывания манипуляторов  $\tau_{\text{зад},i}$ , также представляется в виде нечетких множеств вида

$$\tilde{\tau}_{\text{зад},i} = \int_{W\tau_i} \mu\tau_i(W) / W, \quad i = \overline{2,5} \quad (3)$$

**Таблица 1**

Значение лингвистической переменной «Удаленность от конца зоны БТ $i$ »	$u \in u\phi_i$
Совсем близко	0
Близко	1
Чуть дальше, чем близко	2
Почти средняя	3
Средняя	4
Чуть дальше, чем средняя	5
Почти далеко	6
Далеко	7
Чуть дальше, чем далеко	8
Почти на границе зоны БТ	9
На границе зоны БТ	10

Формирующие лингвистические переменные «Задержка  $i$ » описываются следующими тройками:

$$\phi_{2i}^o = \{ \langle \phi_{2i}^j, u\phi_i, \tilde{\phi}_{2i} \rangle \}; \tilde{\chi}_{2i}^j \in T_i^*(u), i = \overline{2,5}; j = \overline{0,10}$$

Для принятия решений манипуляторами, рассматриваемыми как промышленные интеллектуальные роботы (ИР), используется одно из правил нечеткого условного вывода, предложенных выше, бинарное отношение  $R(A_1(I'_{2i}), A_2(\tau_{зад.i}))$  в котором имеет вид

$$R(A_1(I'_{2i}), A_2(\tau_{зад.i})) = (\tilde{\phi}_{2i} \times W_{\tau_i} \xrightarrow{ALI3} U_{\phi_i} \tilde{\tau}_{зад.i}) \cap (\tilde{\phi}_{2i} \times W_{\tau_i} \xrightarrow{ALI3} U_{\phi_i} \times \tilde{\tau}_{зад.i}), i = \overline{2,5} \quad (4)$$

или на языке функций принадлежности

$$R(A_1(I'_{2i}), A_2(\tau_{зад.i})) = \int (\mu_{\phi_2}(u) \xrightarrow{ALI3} \mu_{\tau_i}(\omega) \wedge [(1 - \mu_{\phi_2}(u)) \xrightarrow{ALI3} (1 - \mu_{\tau_i}(\omega))]) / (u, \omega) = \begin{cases} \frac{1 - \mu_{\tau_i}(\omega)}{(1 - \mu_{\phi_2}(u)) + \mu_{\tau_i}(\omega)}, & \text{если } \mu_{\phi_2}(u) < \mu_{\tau_i}(\omega); \\ 1, & \text{если } \mu_{\phi_2}(u) = \mu_{\tau_i}(\omega) \\ \frac{1 - \mu_{\tau_i}(\omega)}{\mu_{\phi_2}(u) + (1 - \mu_{\tau_i}(\omega))}, & \text{если } \mu_{\phi_2}(u) > \mu_{\tau_i}(\omega), i = \overline{2,5} \end{cases} \quad (5)$$

В качестве отображения  $\xi: I'_{2i} \rightarrow U_{\phi_i}, i = \overline{2,5}$  предлагается соотношение

$$U_j = Ent \left[ (card \phi_i - 1) \left[ \frac{I'_{2i}^{Tex} - I'_{2i \min}}{I'_{2i \max} - I'_{2i \min}} \right]^a \right], j = \overline{0,10}, i = \overline{2,5} \quad (6)$$

где  $card U_{\phi_i}$  - мощность универсальных множеств вида  $U_{\phi_i} = (0, 1, 2, \dots, 10)$ ;  $I'_{2i}^{Tex}$  - текущее значение расстояния до границы конфликтной зоны БТ,  $i, a$  - коэффициент ( $a \geq 1$ ). Для вычисления оценок функции принадлежности для синглтонов из (2) вида  $\mu_{\phi_i}(u_i)/u_j$  предлагается следующая процедура  $\forall_j = \overline{0,10}; \forall_i = \overline{2,5}$ :

$$\mu_{\phi_2}(u_j) = 1 - \frac{1}{card U_{\phi_i} - 1} \left| U_j - Ent \left[ (card U_{\phi_i} - 1) \left( \frac{I'_{2i}^{Tex} - I'_{2i \min}}{I'_{2i \max} - I'_{2i \min}} \right)^2 \right] \right| \quad (7)$$

Задержка времени срабатывания манипуляторов  $\tau_{зад.i}$  так же, как и прежде, представляется в виде нечеткого множества (6), а для вычисления оценок соответствующих функций принадлежности используется соотношение (7).

Рассмотрим пример реализации процесса принятия решений по «координации» функционирования роботизированного участка для ГАП сварка трением БТ. Пусть время срабатывания манипулятора  $M6$ , являющегося завершающим элементом данного роботизированного участка,  $\tau_6 = 5c$ , скорость транспортера  $T2$   $\omega_2 = 0,2$  м/с, расстояние между рабочими позициями манипуляторов  $M2, \dots, M5$   $I'_i = 3,5$  м, длина рабочей части транспортера  $T2$   $I_{раб.2} = 22$  м. Тогда минимально допустимое расстояние между БТ на транспортере  $T2$   $I_{2 \min} = \omega_2 \tau_6 = 1.0$  м, а длина конфликтной зоны  $2I_{конф} = 2 I_{2 \min} = 2,0$  м. Таким образом, соответствующая шкала расстояний до конца конфликтной зоны имеет вид:  $I_{2i} \in (0; 2; 0]$  м.

Предположим, что  $I'_{22}^{Tex} = 1,5$  м и  $I'_{24}^{Tex} = 0,5$  м т.е. зафиксирован конфликт на рабочей позиции манипуляторов  $M2$  и  $M4$ . Шкала времени задержки в данном случае, очевидно, строится из тех соображений, что максимальное время задержки  $\tau_{зад.max}$  должно быть равно времени, которое необходимо затратить изделию, движущемуся на  $T2$ , для того, чтобы выйти из конфликтной зоны ГАП БТ т.е. шкала имеет вид  $\tau_{зад.i} \in [0; 20]$  с. Согласно (6) и (7) строятся нечеткие множества, соответствующие расстояниям до конца конфликтной зоны ГАП БТ, т.е.

$$\tilde{\phi}_{22}^{max} = \text{чуть дальше, чем далеко} = \bullet 2/0 + \bullet 3/1 + \bullet 4/2 + \bullet 5/3 + \bullet 6/4 + \bullet 7/5 + \bullet 8/6 + \bullet 8/7 + \bullet 1/8 + \bullet 9/9 + \bullet 8/10$$

$$\tilde{\phi}_{24}^{max} = \text{среднее} = \bullet 6/0 + \bullet 7/1 + \bullet 8/2 + \bullet 9/3 + \bullet 1/4 + \bullet 9/5 + \bullet 8/6 + \bullet 7/7 + \bullet 6/8 + \bullet 5/9 + \bullet 4/10$$

Используя операцию максимальной композиции над полученными нечетными множествами и матрицей нечетких бинарных отношений (8), получаем нечетные множества, соответствующие задержкам времени срабатывания манипуляторов

$$\tilde{\phi}_{22}^{max} = \text{большая} = \bullet 2/0 + \bullet 3/1 + \bullet 4/2 + \bullet 5/3 + \bullet 6/4 + \bullet 7/5 + \bullet 8/6 + \bullet 9/7 + \bullet 1/8 + \bullet 9/9 + \bullet 8/10$$

$$\tilde{\tau}_{зад.4} = \text{почти средняя} = \bullet 6/0 + \bullet 7/1 + \bullet 8/2 + \bullet 9/3 + \bullet 1/4 + \bullet 9/5 + \bullet 8/6 + \bullet 7/7 + \bullet 6/8 + \bullet 5/9 + \bullet 4/10$$

Для определения физических значений времени задержки срабатывания манипуляторов с учетом того, что  $\omega_2 = 8$ , а  $\omega_4 = 4$ , используем выражение (7), т.е.  $\tau_{зад.max} = 16$  с,  $\tau_{зад.4} = 8$  с. С учетом выражения (1) общее

время задержки срабатывания манипулятора  $M_4 \tau_{зад.общ.4} = 8 + 5 = 13$  с. Такая длительность задержек времени срабатывания манипуляторов позволяет разрешить существующие конфликтные ситуации на роботизированном участке ГАП БТ, а также обеспечивает ритмичное поступление замка на манипулятор М6.

**Выводы.** Отметим, что рассмотренные в данной статье модельное управление и координация промышленными ИР могут быть интерпретированы с точки зрения построения системы решения задач работ как «вырожденные» случаи. Очевидно, что указанная модель отражала «рефлекторный» характер принятия решений промышленными ИР, так как в этих случаях процедура планирования целенаправленного поведения сводилась, в конечном счете, к детерминированной последовательности операторов-действий, что связано со спецификой дискретных производств, где роботы выполняют вспомогательные функции и особого «интеллекта» от них не требуется. Иначе обстоит дело с автономными интеллектуальными мобильными роботами. Здесь необходим комплексный подход к принятию решений, что требует углубленных исследований и различных подходов.

Использование ИР позволяет обеспечить максимальную производительность, высокое качество и технико-экономические показатели ГАП БТ.

#### Список литературы

1. Абдуллаев Г. С., Аскерова А. О. Управление ГПС для сварки бурильных труб трением // Автоматизация и современные технологии. 2001. № 3. С. 42-43
2. Tanscheit R., Scharf E. M. Experiments with the Rule-Based Self-Organizing Controller for Robotics Applications // Fuzzy Sets and Syst. 1988. № 26. P. 195-214.

УДК 681.5

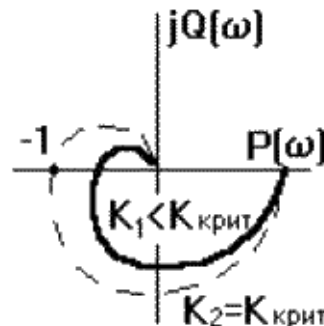
Юрий Валерьевич Ильюшин, Алена Леонидовна Кравцова  
Пятигорский государственный гуманитарно-технологический университет

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ<sup>©</sup>

#### Понятие структурной устойчивости

Астатическая система может быть неустойчивой по двум причинам: неподходящий состав динамических звеньев и неподходящие значения параметров звеньев.

Системы, неустойчивые по первой причине, называются структурно неустойчивыми. Это означает, что изменением параметров системы нельзя добиться ее устойчивости, нужно менять ее структуру.



**Рис. 1.** Система, состоящая из любого количества инерционных и колебательных звеньев

Например, если система состоит из любого количества инерционных и колебательных звеньев, она имеет вид, показанный на Рис. 1. При увеличении коэффициента усиления системы  $K$  каждая точка ее АФЧХ удаляется от начала координат, пока при некотором значении  $K_{крит}$  АФЧХ не пересечет точку  $(-1, j0)$ . При дальнейшем увеличении  $K$  система будет неустойчива. И, наоборот, при уменьшении  $K$  такую систему, в принципе, можно сделать устойчивой, поэтому ее называют структурно устойчивой.

Если система астатическая, то  $n$  - порядок астатизма - равен количеству последовательно включенных интеграторов. При ее размыкании характеристическое уравнение системы имеет нулевые корни, поэтому при  $\omega \rightarrow \infty$  АФЧХ стремится к  $\infty$ . Например, пусть  $W_p(p) = K/(p(Tp+1))$ , тогда АФЧХ разомкнутой системы:

$$W(j, \omega) = \frac{K}{j\omega(j\omega T + 1)} = \frac{K}{j\omega - \omega^2 T} = \frac{K\omega^2 T - jK\omega}{\omega^2 + \omega^4 T^2} = P(\omega) + jQ(\omega)$$