

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ УЧАСТКА ОТЖИГА И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Дж. Ф. МАМЕДОВ¹, Г. С. АБДУЛЛАЕВ¹, Т. А. САФАРОВА¹, И. Л. КОРШУНОВ²

¹ Сумгаитский государственный университет,
AZ 5008, г. Сумгаит, Азербайджан

² Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
191023, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: dept.ait@inecon.ru

Исследованы технологические операции производственных модулей и стандартных активных элементов гибкого автоматизированного участка (ГАУ) отжига и механической обработки металлических заготовок (ОММЗ). Проведен математический анализ, основанный на применении N-ориентированных гиперграфов. С учетом функциональных связей активных элементов в компоновочной схеме ГАУ и информационных связей между активными элементами определена матрица инцидентности. В соответствии с компоновкой технических единиц в двумерной координатной системе определены основные свойства компоновочной схемы ГАУ ОММЗ для трехмерной координатной системы и построен гиперграф. На основе компоновочной схемы разгрузки конвейера печи отжига алюминиевых заготовок и загрузки их на конвейер производственного модуля шлифовальных станков выбраны типы датчиков для обслуживающего промышленного робота. Предложен алгоритм выбора информационно-измерительных элементов АСУ участка отжига и механической обработки металлических заготовок.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, информационно-измерительные элементы, гибкий автоматизированный участок, промышленный робот, датчик

Введение. При исследовании этапов проектирования автоматизированной системы управления (АСУ) гибкого автоматизированного участка (ГАУ) определено, что от создания ее информационного обеспечения, т.е. формирования систем управления баз данных и знаний при проектировании АСУ, поиска и выбора информационно-измерительных элементов на начальных стадиях, во многом зависят производительность и надежность ее дальнейшего функционирования [1—4]. Анализ АСУ ГАУ механической обработки, используемых в различных областях промышленности развитых стран [5—8], показал, что эффективность функционирования крупных предприятий с иерархическими уровнями автоматизированного управления во многом зависит от правильного выбора элементов системы управления ГАУ, оценки производительности производственного процесса, эффективного использования современных инновационных средств управления с дальнейшим формированием автоматизированной схемы ГАУ. Достаточно большое количество преобразователей и сложная структура сенсорной системы в каждом активном элементе ГАУ в целом определяют необходимость:

1) анализа объекта исследования ГАУ ОММЗ для изготовления испарителей холодильных установок и обоснования выбора его компоновочной схемы;

2) выбора информационно-измерительных подсистем активных элементов ГАУ ОММЗ с определением их точных координатных позиций и планированием информационных потоков.

Целью настоящей статьи является выбор информационно-измерительных элементов для

АСУ ГАУ ОММЗ в зависимости от компоновочной схемы ГАУ и обеспечение эффективности управления соответствующими производственными участками на технологическом уровне.

Анализ технологического процесса ГАУ отжига и обработки металлических заготовок. Объектом исследования является компоновочная схема ГАУ ОММЗ (рис. 1) с последовательным размещением печи отжига металлических заготовок (ПОМЗ) 1, промышленного робота (ПР₁) 2 для обслуживания ПОМЗ и автоматизированного конвейера (АК) 3, двух шлифовальных станков (ШС₁, ШС₂) 4, двух роботов ПР₂ и ПР₃ 5, обслуживающих соответственно ШС₁ и ШС₂.

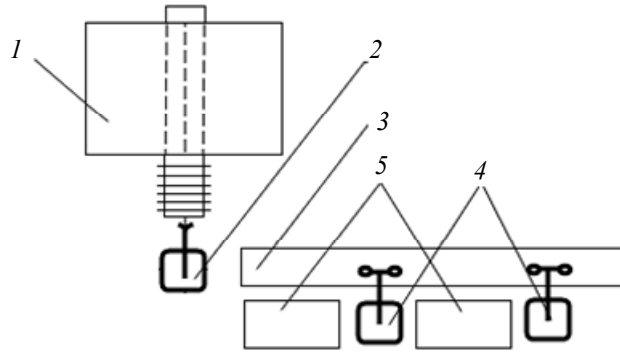


Рис. 1

Технологические операции в ГАУ ОММЗ выполняются согласно требованиям изготовления металлической заготовки для испарителей. На начальном этапе стальные заготовки, вырезанные по стандартному размеру испарителей для бытовых холодильников, отжигаются в печи ПОМЗ. Далее промышленный робот ПР₁, захватив металлическую заготовку из автоматического конвейера ПОМЗ, поворачиваясь на 90°, устанавливает ее на АК. Зафиксированная заготовка на АК перемещается до позиции ПР₂, где захватывается им и загружается в ШС₁. На ШС₁ осуществляется механическая обработка (шлифовка) поверхности стальной заготовки. Аналогичным образом захват и шлифовка следующей заготовки выполняются в другом производственном модуле ГАУ ОММЗ (ПР₃ и ШС₂).

Формализуем постановку задачи математического моделирования компоновочной схемы ГАУ ОММЗ с использованием обобщенной структуры математической модели, основанной на применении N -ориентированных гиперграфов с ограничениями на свойства вершин и ребер [9]:

$$G(P, U, F), \quad (1)$$

где $P = \{p_i | i = \overline{1, N_0}\}$ — множество вершин гиперграфа; p_i — i -я вершина; $U = \{U_m(P'_m) | m = \overline{1, M}\}$ — множество гиперребер гиперграфа; $u_m(P'_m)$ — m -е ребро гиперграфа; P'_m — множество инцидентных m -му ребру вершин $P'_m \subseteq P$; $P'_m = \{p_{vk}\}$, $\forall k \in K_m, K \subseteq \overline{1, I}$ — номер вершины в ребре ориентированного гиперграфа, $V = \{V_n | n = \overline{1, N}\}$. Номер вершины в ребре отражает определенное свойство вершины с конкретными значениями.

$F = \{u_l | \langle p_{n1}; p_{n2} \rangle | l = \overline{1, N_l}\}$ — функция, задающая систему связей между объектами ориентированного подграфа

$$G_i(P_F, U_F), \quad (2)$$

где $P_F \square P$ — подмножество связанных вершин; N_l — количество связей; $\langle p_{n1}; p_{n2} \rangle$ — пара вершин, инцидентных l -му ребру. Функция инцидентности подграфа имеет вид

$$F = \{l_{p_1 p_2}\}, \text{ где } l_{p_1 p_2} = \begin{cases} 0, & \text{если вершина } p_1 \text{ не принадлежит ребру } p_2, \\ -1, & \text{если вершина } p_1 \text{ является началом ребра } p_2, \\ 1, & \text{если вершина } p_1 \text{ является концом ребра } p_2. \end{cases} \quad (3)$$

N -ориентированный гиперграф [10] строится с учетом функциональных связей исследуемого ГАУ ОММЗ (рис. 2).

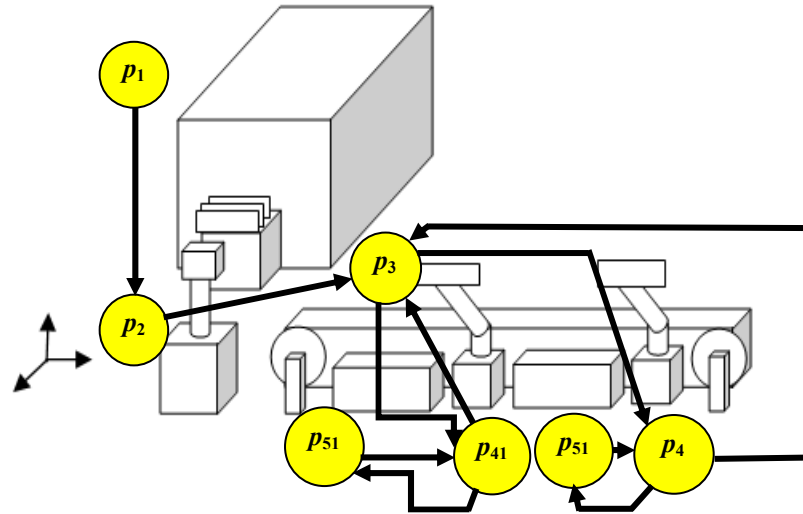


Рис. 2

С учетом функциональных связей активных элементов исследуемого производства (см. рис. 2) и выражения (3) запишем матрицу инцидентности.

p_1	p_2	p_3	p_{41}	p_{42}	p_{51}	p_{52}	
0	1	0	0	0	0	0	p_1
-1	0	0	0	0	0	0	p_2
0	-1	0	1	1	0	0	p_3
0	0	-1	0	0	1	0	p_{41}
0	0	-1	0	0	0	1	p_{42}
0	0	0	-1	0	0	0	p_{51}
0	0	0	0	-1	0	0	p_{52}

Здесь p_1 — вершина гиперграфа, соответствующая позиции ПОМЗ (1); p_2 — ПР₁ (2); p_3 — АК (3); p_{41} — ПР₂ (4) первого производственного модуля; p_{42} — ПР₃ (4) второго производственного модуля; p_{51} — ШС₁ (5) первого производственного модуля; p_{52} — ШС₂ (5) второго производственного модуля.

Рассмотрим $S = \{s_j | j = \overline{1, J}\}$ — множество всех возможных свойств вершин и ребер, $SP_i = \{s_j | j \in J_{1i} \square \subset \overline{1, J}\} \subset S$ — множество свойств i -й вершины, $SU_m = \{s_j | j \in J_{2m} \square \subset \overline{1, J}\} \subset S$ — множество свойств m -го ребра. Таким образом, множество номеров каждой вершины $V = \{v_n | n = \overline{1, N}\}$ заменяется множеством свойств SP_i , $i = \overline{1, I}$, каждому ребру $u_m(P_{1m})$ сопоставляется набор свойств SU_m , $m = \overline{1, M}$.

Ребрам подграфа $G(P_L, U_L)$, так же как и ребрам гиперграфа $G(P, U, F)$, поставим в соответствие свой набор свойств $SU_{Ll} = \{s_j | j \in J_{3l} \subset \overline{1, J}\} \subset S$, $l = \overline{1, N_l}$.

В соответствии с рис. 1 в двумерной системе координат определим основные свойства компоновочной схемы ГАУ ОММЗ для трехмерной системы (рис. 2). При этом задаются исходные координаты и геометрические размеры производственного модуля (ПОМЗ), АК, ПР и ШС и параметры их местоположения (рис. 3).

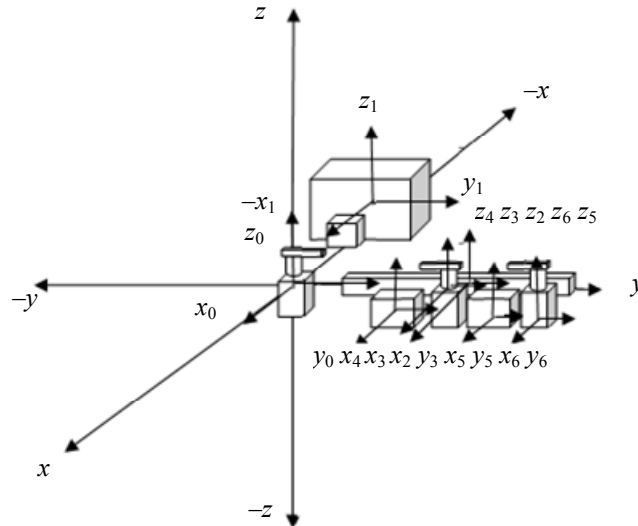


Рис. 3

Таким образом, на основе анализа технологического процесса ГАУ ОММЗ с обоснованием выбора активных элементов в производственных модулях и общей компоновочной схемы производственного участка возможно выбрать элементы управления и автоматизации всей технологической линии исследуемого ГАУ.

Выбор информационно-измерительных элементов ГАУ ОММЗ для автоматизации его технологического процесса. С целью построения автоматизированной системы управления всем технологическим процессом предлагается использовать сенсорную подсистему активных элементов ГАУ ОММЗ (рис. 4). Гибкость участка обеспечивается за счет автоматического изменения типоразмеров металлических заготовок, температурного режима печи [11] и заданий на механическую обработку деталей шлифовальными станками с применением бескабельной технологии на базе SCADA.

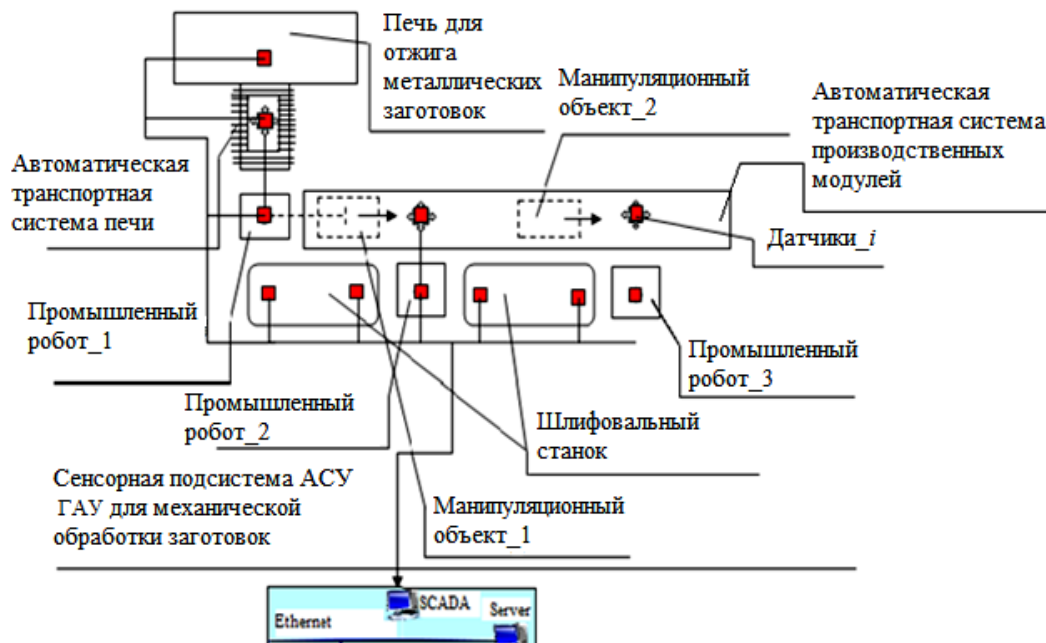


Рис. 4

Выбор элементов информационно-измерительной подсистемы начинается с поэтапного технологического исследования производственных модулей и их активных элементов. На первом этапе объектом исследования является производственный модуль, где осуществляется отжиг металлических заготовок для дальнейшей механической обработки на шлифовальных станках.

Существенное влияние на выбор информационно-измерительного элемента АСУ ГАУ ОММЗ, надежность каналов передачи информации [12], потребляемую мощность и конструктивное выполнение стандартных элементов оказывает среда функционирования, характеризующаяся физическими свойствами F_{s_i} , геометрическими параметрами G_{p_i} и параметрами объектов манипулирования O_{m_i} [13].

Выбор датчиков для применения в системе управления воздействиями на стандартные активные элементы ГАУ зависит от исходных параметров среды функционирования, $I_{вс_i}$, исходных геометрических размеров производственного модуля (компоновка стандартных элементов исследуемого ГАУ, рис. 1) $I_{мо_i}$, исходных параметров $I_{мо_i}$. Кроме того, необходимо выполнение следующих условий [14]:

1) внешняя среда производственного участка: температура воздуха $\approx 18—28$ °С; температура поверхности $\approx 12—29$ °С; относительная влажность воздуха $\approx 15—75$ %; скорость движения воздуха $\approx 0,1—0,5$ м/с; интенсивность теплового облучения: коротковолновое $0,76—1,5$, длинноволновое $\geq 1,5$ Вт/м²;

2) допустимая площадь всего ГАУ ОММЗ определяется исходя из размеров трех производственных модулей

$$S_{\text{ГАУ}} = \sum_{j=1}^n k_{ff} \sum_{ff=i=1}^n (S_i + \Delta b_j), \quad i = \overline{1—3}, \quad (5)$$

где k_{ff} — коэффициент, учитывающий рабочую зону для обслуживания ПОМЗ (4,5—5,0); АК (3,5—4,5); ШС₁ и ШС₂ (3,0—4,0); S_i — площадь производственных модулей; Δb_j — зоны безопасности производственных модулей;

3) размеры заготовки: согласно специфике производственного процесса ГАУ ОММЗ на технологической линии для отжига и шлифовки требуется плоская квадратная стальная заготовка размером $a \times a \times h$, где длина и ширина должны составлять 300—500 мм, а высота не менее 5 мм.

При выборе датчика температуры (термопары) необходимо учитывать конфигурацию печи отжига металлических заготовок, которая имеет форму полого параллелепипеда размером от 30×300×5 до 500×500×5 мм, а также материал заготовки — алюминий. Температура отжига металлических заготовок 600—800 °С. В связи с этим требуется использовать датчик температуры в виде термопары, представляющий собой трубку из перекристаллизованного оксида алюминия KER-710 (С-799). Температура измеряется над поверхностью конвейера автоматической транспортной системы в районе перемещения заготовки. Внутри камеры печи отжига температура равномерно распространяется по всем направлениям координатных осей x , y , z .

В зависимости от размеров металлической заготовки требуется выбирать режим нагрева печи (от 600 до 700 °С) для обеспечения гибкости производственного процесса. Следовательно, лингвистические термы для этих параметров будут иметь следующий вид [15].

Размеры металлических заготовок:

$P_{мз_1}$ — размер металлической заготовки *минимальный* (300×300×5 мм);

$P_{мз_2}$ — размер металлической заготовки *средний* (400×400×5 мм);

$P_{мз_3}$ — размер металлической заготовки *максимальный* (500×500×5 мм).

Температура отжига металлических заготовок:

$T_{отж_1}$ — температура отжига *наименьшая* (600, 615, 630 °С);

$T_{отж_2}$ — температура отжига *средняя* (620, 655, 670 °С);

$T_{отж_3}$ — температура отжига *высокая* (655, 675, 700 °С);

$T_{отж_4}$ — температура отжига *наибольшая* (720, 760, 800 °С).

Определим условия режима работы датчика температуры (термопара дна печи — TI/GL/07–А/В) в печи отжига металлических заготовок.

Правило 1. Если размер металлической заготовки минимальный, температура отжига наименьшая.

Правило 2. Если размер металлической заготовки средний, температура отжига высокая.

Правило 3. Если размер металлической заготовки максимальный, температура отжига наибольшая.

Датчик температуры не может напрямую обрабатывать данную нечеткую информацию, поэтому результат процесса логического вывода из представленных правил должен быть преобразован в четкие числовые значения. В этой связи конкретное число, которое необходимо определить (температура отжига заготовок в печи и типоразмеры заготовок), должно обеспечить представление информации, содержащейся в нечетком множестве. Для получения четкого результата используется центроид, представляющий собой среднее арифметическое всех нечетких показателей температур в полости печи отжига. Чтобы найти центральный показатель среди нечетких температурных данных для каждого типоразмера заготовки, используется следующее выражение [15]:

— для минимальных типоразмеров заготовок

$$v_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{отж}_i} a_{\min}}{m a_{\min}}, \quad (6)$$

— для средних типоразмеров заготовок

$$v_{\text{med}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{отж}_i} a_{\text{med}}}{m a_{\text{med}}}, \quad (7)$$

— для максимальных типоразмеров заготовок

$$v_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{отж}_i} a_{\max}}{m a_{\max}}, \quad (8)$$

где v — конкретное значение температуры в печи (абсцисса „центра тяжести“ температурной области в печи отжига, °C); $t_{\text{отж}_i}$ ($i=1-4$) — значения нечетких температурных данных, установленные для режима работы термопары печи отжига в зависимости от типоразмеров заготовки (a_{\min} , a_{med} , a_{\max}); $m=1-3$ — число нечетких показателей при каждом температурном режиме $t_{\text{отж}_i}$ печи отжига.

На основе (6)—(8) определяются абсциссы „центра тяжести“ температурных областей, которые представляются выходными данными управляющих сигналов и строится зависимость температурного режима $t_{\text{отж}_i}$ печи отжига (рис. 5).

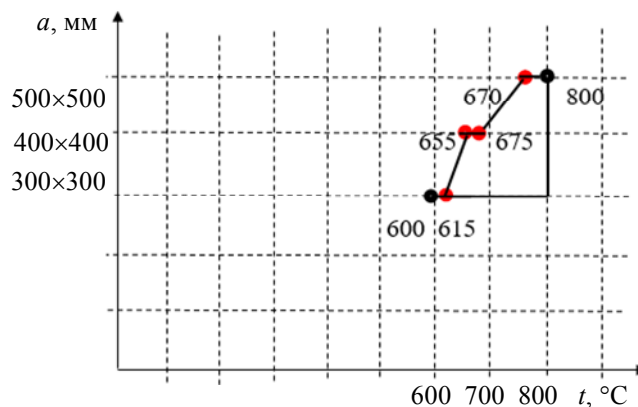


Рис. 5

Выбор информационно-измерительных элементов для ПР₁ зависит от специфики технологических операций ПОМЗ и загрузки АК производственных модулей ШС₁ и ШС₂. Особенностями работы ПР₁ являются значительные динамические нагрузки и большая доля малых перемещений. При этом возникает необходимость выбора передаточного отношения с учетом минимизации времени перемещения робота по всем степеням свободы. Таким образом, общее передаточное отношение, состоящее из передаточных отношений степеней подвижности робота, определяется в виде [16]:

$$i_{об} = \sqrt[3]{\frac{5(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2)(J_1 + J_2 + J_3)r_0 \sin \alpha_0}{2\pi\eta_{об}\Delta T \sqrt{l_0^2 + r_0^2 \sin^2 \alpha_0} \sin \left[\arcsin \frac{r_0 \sin \alpha_0}{\sqrt{l_0^2 + r_0^2 \sin^2 \alpha_0}} - \alpha_0 \right] (r_0^2 \sin^2 \alpha_0 - r_0 h_0)}}, \quad (7)$$

где J_1, J_2, J_3 — момент инерции двигателей по перемещениям руки ПР₁ соответственно вверх, вперед и вращению; $\Delta T = T_d - T_T$ — разность динамического момента и момента трения; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ — угловые скорости исполнительных механизмов для реализации движений вверх, вперед и вращательного движения.

Исходя из заданной погрешности позиционирования и перемещений степеней подвижности $\Delta l, \Delta h, \varphi$ выбираются датчики положения для ПР₁. Достижимая погрешность позиционирования определяется следующим образом [17]:

— погрешность позиционирования от прямолинейного перемещения вверх и вниз вдоль оси z :

$$\Delta z = \frac{(r_0 \sin \alpha_0 - h_0)K_{\Delta}}{D_n}, \quad (8)$$

— погрешность позиционирования от прямолинейного перемещения вперед вдоль оси y или x :

$$\Delta y = \frac{K_{\Delta} \sin \left[\arcsin \frac{r_0 \cos \alpha_0}{\sqrt{l_0^2 + r_0^2 \cos^2 \alpha_0}} - \alpha_0 \right] \sqrt{l_0^2 + r_0^2 \cos^2 \alpha_0}}{D_n \cos \alpha_0}, \quad (9)$$

— погрешность позиционирования от вращательного перемещения вокруг оси z :

$$\Delta \varphi = \frac{K_{\Delta} \pi l_0}{D_n}, \quad (10)$$

где D_n — число дискрет датчика, $K_{\Delta} = 1,5; \dots; 3$ — коэффициент, учитывающий качество измерительных цепей системы управления.

Заключение. Для технологического анализа исследуемого ГАУ ОММЗ сформированы системы ограничений математического моделирования компоновочной схемы, основанной на применении N -ориентированных гиперграфов. Разработан алгоритм выбора информационно-измерительных элементов производственного модуля отжига и выбора передаточного отношения с учетом минимизации времени перемещения промышленного робота в зависимости от компоновочного размещения активных элементов ГАУ ОММЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Astrom K. J. and Kumar P. R. Control: A perspective // Automatica. 2014. Vol. 50, N 1. P. 3—43.
2. Albertos P., Sala A. Multivariable Control Systems: An Engineering Approach. London: Springer-Verlag, 2004.
3. Овечкин М. В., Проскурин Д. А., Сергеев А. И., Галина Л. В. Автоматизация выбора основного технологического оборудования на машиностроительных предприятиях // Теоретический и практический взгляд на современное состояние науки: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., 20—30 сент. 2015 г. Кемерово: КузГТУ, 2015. С. 92—95.

4. *Богатырев В. А., Богатырев А. В.* Надежность функционирования кластерных систем реального времени с фрагментацией и резервированным обслуживанием запросов // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 6. С. 409—416.
5. *Титов В. С., Беседин А. В., Бобырь М. В.* Анализ методов автоматизации управления высокой точности технологических процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. № 7. С. 29—32.
6. *Тугов В. В., Сергеев А. И., Шаров Н. С.* Проектирование автоматизированных систем управления: Учеб. пособие. СПб: Лань, 2019. 172 с.
7. *Liu Yan, Kong Ruijie.* Design of Control System for Flexible Automatic Processing Line // 2018 10th Intern. Conf. on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). 17—19 Aug. 2018. DOI: 10.1109/CICN.2018.8864961.
8. *Kuznetsova V. B., Sergeev A. I., Serdyuk A. I.* Information Support for Manufacturing Components // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36, N 11. P. 902—905.
9. *Reff N., Rusnak L. J.* An oriented hypergraphic approach to algebraic graph theory // Linear Algebra and its Applications. 2012. Vol. 437, N 9. P. 2262—2270.
10. *Kulik B., Fridman A., Zuenko A.* Logical Analysis of Intelligence Systems by Algebraic Method // Cybernetics and Systems 2010: Proc. of 20th Europ. Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010). Vienna, Austria, 2010. P. 198—203.
11. *Yevtushenko A., Kuciej M., Och E.* Effect of the thermal sensitivity in modeling of the frictional heating during braking // Advances Mechanical Engineering. 2016. N 8. P. 1—10.
12. *Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Derkach A. N.* Timeliness of the Reserved Maintenance by Duplicated Computers of Heterogeneous Delay-Critical Stream // CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2522. P. 26—36.
13. *El-Khalil R., Darwish Z.* Flexible manufacturing systems performance in U.S. automotive manufacturing plants: a case study // Production Planning & Control. 2019. Vol. 30, N 1. P. 48—59.
14. *Сердюк А. И., Сергеев А. И., Корнипаев М. А., Проскурин Д. А.* Разработка технического предложения по созданию гибкой производственной системы механической обработки // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3, ч. 2. С. 272—279.
15. *Kaufmann A. and Gupta M. M.* Introduction to Fuzzy Arithmetic: theory and applications. NY: Van Nostrand Reinhold Co., 1985.
16. *Schmidt P. A., Mael E.* et al. A Sensor for Dynamic Tactile Information with Applications in Human-Robot Interaction and Object Exploration // Robotics and Autonomous Systems. 2006. Vol. 54. P. 1005—1014.
17. *Petruk O., Szewczyk R., Salach J., Nowicki M.* Digitally Controlled Current Transformer with Hall Sensor // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2014. Vol. 267. P. 641—647.

Сведения об авторах

- Джаванишир Фирудин оглу Мамедов** — д-р техн. наук, профессор; Сумгаитский государственный университет, кафедра автоматизации процессов; заведующий кафедрой; E-mail: cavan62@mail.ru
- Гурбан Садых оглу Абдуллаев** — канд. техн. наук, доцент; Сумгаитский государственный университет, кафедра метрологии и стандартизации; заведующий кафедрой; E-mail: cavan62@mail.ru
- Тарана Ага гызы Сафарова** — Сумгаитский государственный университет, кафедра информационных технологий и программирования; ст. преподаватель; E-mail: cavan62@mail.ru
- Игорь Львович Коршунов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра информационных систем и технологий; заведующий кафедрой; E-mail: dept.ait@unecon.ru

Поступила в редакцию
05.05.2021 г.

Ссылка для цитирования: Мамедов Дж. Ф., Абдуллаев Г. С., Сафарова Т. А., Коршунов И. Л. Информационно-измерительное обеспечение АСУ участка отжига и механической обработки металлических заготовок // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 10. С. 859—868.

INFORMATION AND MEASURING SUPPORT OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR METAL BLANKS ANNEALING AND MACHINING SECTION

J. F. Mammadov¹, G. S. Abdullayev¹, T. A. Safarov¹, I. L. Korshunov²

¹Sumgait State University, AZ 5008, Sumgait, Azerbaijan

²St. Petersburg State University of Economics, 191023, St. Petersburg, Russia

E-mail: dept.ait@unecon.ru

Technological operations of production modules and standard active elements of a flexible automated section for annealing and mechanical processing of metal blanks have been investigated. A mathematical analysis based on the use of N-oriented hypergraphs has been carried out. The incidence matrix is determined with the account for functional connections between the active elements in the flexible automated section layout scheme. In accordance with the layout of technical units in a 2-dimensional coordinate system, the main properties of the layout scheme of the flexible automated section for annealing and mechanical processing of metal blanks in a 3-dimensional coordinate system are determined, and a hypergraph scheme is constructed. Based on the layout diagram of unloading the conveyor of the annealing furnace for aluminum billets and loading them onto the conveyor of the production module of grinding machines, the types of sensors for the service industrial robot were selected. An algorithm for the selection of information and measuring elements of the automated control system for the annealing and machining of metal blanks is proposed.

Keywords: automated control system, information and measurement elements, flexible automated site, industrial robot, sensor

REFERENCES

1. Astrom K.J., and Kumar P.R. *Automatica*, 2014, no. 1(50), pp. 3–43.
2. Albertos P., and Sala A. *Multivariable Control Systems: An Engineering Approach*, London, Springer-Verlag, 2004.
3. Ovechkin M.V., Proskurin D.A., Sergeev A.I., Galina L.V. *Teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad na sovremennoye sostoyaniye nauki* (Theoretical and Practical Look at the Current State of Science), Materials of the International Scientific and Practical Conference, September 20–30, 2015, Kemerovo, 2015, pp. 92–95. (in Russ.)
4. Bogatyrev V.A., Bogatyrev A.V. *Information Technologies*, 2016, no. 6(22), pp. 409–416. (in Russ.)
5. Titov V.S., Besedin A.V., Bobyr M.V. *Industrial Automatic Control Systems and Controllers*, 2003, no. 7, pp. 29–32. (in Russ.)
6. Tugov V.V., Sergeev A.I., Sharov N.S. *Proyektirovaniye avtomatizirovannykh sistem upravleniya* (Design of Automated Control Systems), St. Petersburg, 2019, 172 p. (in Russ.)
7. Liu Yan Kong Ruijie, *10th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, Aug.17–19, 2018. DOI: 10.1109/CICN.2018.8864961.
8. Kuznetsova V.B., Sergeev A.I., Serdyuk A.I. *Russian Engineering Research*, 2016, no. 11(36), pp. 902–905.
9. Reff N., Rusnak L.J. *Linear Algebra and its Applications*, 2012, no. 9(437), pp. 2262–2270.
10. Kulik B., Fridman A., Zuenko A. *Cybernetics and Systems 2010: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010)*, Vienna, Austria, 2010, pp. 198–203.
11. Yevtushenko A., Kuciej M., Och E. *Advances Mechanical Engineering*, 2016, no. 8, pp. 1–10.
12. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Derkach A.N. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, vol. 2522, pp. 26–36.
13. Raed El-Khalil & Zainab Darwish, *Production Planning & Control*, 2019, no. 1(30), pp. 48–59.
14. Serdyuk A.I., Sergeev A.I., Kornipaev M.A., Proskurin D.A. *Modern high technologies*, 2016, no. 3 (pt. 2), pp. 272–279. (in Russ.)
15. Kaufmann A., and Gupta M.M. *Introduction to Fuzzy Arithmetic: theory and applications*, NY, Van Nostrand Reinhold Co., 1985.
16. Schmidt P.A., Mael E. et al. *Robotics and Autonomous Systems* 2006, vol. 54, pp. 1005–1014.
17. Petruk O., Szweczyk R., Salach J., Nowicki M. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2014, vol. 267, pp. 641–647.

Data on authors

- Javanshir F. Mammadov** — Dr. Sci., Professor; Sumgait State University, Department of Process Automation; Head of the Department; E-mail: cavan62@mail.ru
- Gurban S. Abdullayev** — PhD, Associate Professor; Sumgait State University, Department of Metrology and Standardization; Head of the Department; E-mail: cavan62@mail.ru
- Tarana A. Safarova** — Sumgait State University, Department of Information Technologies and Programming; Senior Lecturer; E-mail: cavan62@mail.ru

Igor L. Korshunov

— PhD, Associate Professor; St. Petersburg State Economical University, Department of Information Systems and Technologies; Head of the Department; E-mail: dept.ait@unecon.ru

For citation: Mammadov J. F., Abdullayev G. S., Safarov T. A., Korshunov I. L. Information and measuring support of the automated control system for metal blanks annealing and machining section. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 10. P. 859—868 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-10-859-868