

# Исследование измерительной - управляющей системы на базе гибкого производственного участка

Дж.Ф. Мамедов

Кафедра автоматизации  
Сумгаитский Государственный университет  
г. Сумгаит, Азербайджан  
e-mail: cavan62@mail.ru

Г.С. Абдуллаев

Кафедра метрологии и стандартизации  
Сумгаитский Государственный Университет  
г. Сумгаит, Азербайджан

Б.А. Валиева

Научный отдел,  
Сумгаитский Государственный Университет  
г. Сумгаит, Азербайджан

Ш.Т. Мамедова

Научный отдел,  
Сумгаитский Государственный Университет  
г. Сумгаит, Азербайджан

Г.Г. Генжелиева

Кафедра Автоматизация процессов,  
Сумгаитский Государственный Университет,  
г. Сумгаит, Азербайджан

## Аннотация

Статья посвящена исследованию измерительной - управляющей системы на базе гибкого производственного участка станков (ГПУС) с применением численного метода для выбора интеллектуальных датчиков. На основе компоновочной схемы механического цеха предложена структура схемы автоматизации гибкого производственного участка с робототехническим комплексом на базе TRACE MODE с беспроводной сотовой связью SCADA-системы.

Для интеллектуализации управления в технологических оборудовании и промышленных роботах ГПУС разработан алгоритм выбора датчиков в зависимости от исходных параметров среды функционирования механического цеха.

**Ключевые слова:** робототехнический комплекс, гибкий производственный участок, промышленный робот, датчик, система управления, схема автоматизации.

## Введение

Современный этап развития науки и техники требует основательных научных исследований для комплексной автоматизации технических систем в различных отраслях промышленности. Одним из важных вопросов по обеспечению автоматизации технологических процессов является применение средств информационно-технического снабжения систем автоматизированного управления в гибких производственных участках [1, 2].

В этой связи, в статье рассматривается вопрос разработки измерительной и управляющей системы для робототехнического комплекса, функционирующий в сложных производственных условиях приборостроительного завода. Объектом исследования является гибкий производственный участок для изготовления частей для машиностроительного оборудования [1]. Для обеспечения гибкости технологического процесса в производственном участке предусматривается робототехнический комплекс с гибкой автоматизированной системой управления, манипуляционными устройствами для токарного, фрезерного, шлифовального и сверлильного станков (рис. 1) и локальной компьютерной сети на основе TRACE MODE [3].

## Создание схемы автоматизации ГПУ станков на базе TRACE MODE

Для программно-технической реализации интерфейса функционирования рассмотрен вопрос проектирования распределенной системы управления гибкого производственного участка станков с робототехническим комплексом (СУ ГПУС РТК) на базе TRACE MODE [4].

---

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018



Рис. 1. Структурная схема автоматизации гибкого производственного участка с робототехническим комплексом на базе TRACE MODE

В СУ ГПУС РТК на базе TRACE MODE для обмена данными используются все современные коммуникационные средства локальной сети; последовательный интерфейс RS-232, RS-485, RS-422; радиоканал; выделенные и коммутируемые телефонные линии; сети GSM; произвольные шины через стандартные интерфейсы (OPC, DDE, NetDDE, ODBC) и драйверы. С помощью этих средств можно организовать обмен информацией между всеми уровнями системы управления.

Процесс сбора информации с промышленными роботами (ПР) и станками ГПУ для обработки, анализа и управления удаленными объектами [SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) система] включают три составляющих: удаленный терминал, реализующий задачи контроля и управления [Remote Terminal Unit (RTU)]; диспетчерский пункт управления [Master Terminal Unit (MTU)], осуществляющий обработку данных и управление высокого уровня; коммуникационная система [Communication System (CS)], необходимая для передачи данных с удаленных точек или объектов на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на RTU [5].

Для обеспечения надежного процесса и высокого уровня сбора информации с производственных модулей ГПУС и беспроводной сотовой связи применяется SCADA-система. В качестве распределенной системы связи используется беспроводная сотовая связь цифрового стандарта GSM [4]. В ГПС GSMC служит централизованной системой оперативного оповещения персонала предприятия при возникновении нештатных ситуаций. С помощью GSM каждый клиент системы также может запросить в любой момент времени любую информацию о ходе технологического процесса и значения технологических параметров, подать команду на управление.

Вопросы выбора технического решения автоматизированного управления ГПУС на базе TRACE MODE реализуются в четыре этапа: выбор аппаратных средств периферийного уровня системы и сетевого оборудования; организация структуры информационных потоков в системе; определение регламента информационного трафика, настройка серверов TRACE MODE. Структура информационных потоков в проекте СУ ГПУС должна обеспечивать необходимый уровень надежности и производительности.

При анализе схемы автоматизации ГПУС в рамках решения задачи создания организационной структуры формируются подсистемы управления и состав элементов управления; определяются функции отдельных подсистем управления ГПУС и представляются их структурные схемы; описываются информационные связи; строится обобщенная структурная модель системы управления ГПУС. Анализ функциональной структуры СУ ГПУС предусматривает изучение вопросов функционирования каждой управляющей подсистемы ГПУС; выбор состава функций системы; определение их взаимосвязи; составление обобщенной структуры задачи функционирования системы управления ГПУС. Технические задачи анализа структур СУ ГПУС включают в себя задачи определения состава основных элементов управления, контроля, интерфейсной связи, обеспечения сотовой связи в сети с удаленными объектами ГПУС, которые применяются для реализации функциональных задач СУ ГПУС; составления формальной структурной модели системы технических средств с учетом топологии расположения элементов системы и взаимодействия их как между собой, так и с внешней средой.

При построении схемы автоматизации ГПУС, состоящий из множества гибких производственных модулей (ГПМ<sub>n</sub>) станков, следует основываться на принципах иерархического распределения информационно-управляющих и контролируемых потоков между подсистемами схемы автоматизации ГПУС (рис. 2).



Рис. 2. Информационно-управляющая структура ГПУС

Множество подсистем общей схемы автоматизации ГПУС представляется следующим

образом:  $P \in \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ , где  $P_i$  системы управления включает:  $P_1$  - подсистема управления ГПУС;  $P_2$  - подсистема общесистемного и управляющего программного обеспечения;  $P_3$  - подсистема регистрации производственных данных на базе СУБД;  $P_4$  - подсистема производства;  $P_5$  - подсистема сенсорного очувствления станков ГПУС;  $P_6$  - подсистема контроля операций и качества изделия в ГПУС;  $P_7$  - подсистема обеспечения выполнения операций станков ГПУС;  $P_8$  - подсистема оперативного управления ГПУС;  $P_9$  - подсистема ввода производственной программы ГПУС.

### Алгоритм выбора датчиков для технических единиц ГПУС

Для интеллектуализации управления в технологических оборудовании и промышленных роботах ГПУС применяется система очувствления, способных учитывать полученную информацию о внешней среде, как в процессе планирования, так и в процессе исполнения [6]. Система очувствления воспринимает с помощью имеющихся в ее составе датчиков информации о состоянии внешней среды, обрабатывает ее. В результате вырабатываются сигналы воздействия, поступающие на один из входов системы управления, которая в свою очередь вырабатывает соответствующие сигналы на технологические единицы и промышленные роботы участков ГПУС.

Существенное влияние на выбор того или иного типа датчиков, на надежность каналов передачи информации, потребляемые мощности и конструктивное выполнение технических единиц ГПУС оказывает среда функционирования, характеризующаяся физическими свойствами  $F_{s_i}$ , геометрическими параметрами  $G_{p_i}$ , и параметрами объектов манипулирования  $O_{m_i}$ .

Выбор датчиков для управляющих воздействий на активные элементы ГПУС в зависимости от исходных параметров среды функционирования (внешняя среда функционирования ГПУС)  $I^{ec_i}$ , исходных геометрических размеров (компоновка активных элементов в производственном модуле участков ГПУС)  $I^{p_i}$ , исходных параметров манипуляционного объекта (технические данные изготавливаемого изделия по участкам ГПУС)  $I^{mo_i}$  осуществляется при выполнении условия:

$$D_i \Rightarrow \begin{cases} \forall D_{fs} \in \{I^{ec_i}, F_{s_i} \in \text{данные внешней среды}\} \\ \forall D_{gp} \in \{I^{p_i}, G_{p_i} \in \text{компоновочные размеры}\} \\ \forall D_{pot} \in \{I^{mo_i}, O_{m_i} \in \text{формы и размеры изделий}\} \end{cases} \quad (1)$$

где  $D_i \in \{D_{fs_i}, D_{gp_i}, D_{pot_i}\}$  - множество типов датчиков, которые выбираются в соответствии с физическими свойствами, геометрическими параметрами и параметрами объектов манипулирования ГПУС;  $F_{s_i}$  - нормативные данные освещенности; температуры; взрывоопасности; радиоактивности; наличия помех; вибрации и ударов; влажности.  $G_{p_i}$  -

допустимые компоновочные размеры оборудования, промышленных роботов, конвейеров и производственных модулей по функциональному назначению; размеры рабочих зон активных элементов участков ГПУС; формы рабочих зон; формы приспособлений; препятствия.  $O_{m_i}$  - стандартные размеры серии выпускаемых изделий; форма манипулируемого изделия; масса манипуляционного объекта по участкам ГПУС; материал изделия; способ транспортирования изделия; степеней подвижности манипуляционного робота, который перемещает изделие; число классов изделия.

Геометрические параметры среды функционирования ГПУС, учитываемые при выборе ее компоновочной схемы, позволяют строить структурную схему оптимального размещения сенсорных элементов на технологических оборудовании, роботах, конвейерах и других технических единицах ГПУС. При этом построенная схема размещения датчиков на активных элементах и соответственно на участках ГПУС обеспечивает надежную информационную связь с исполнительными механизмами, установленными на этих же оборудовании, и управляющими компьютерами.

В зависимости от применяемых компоновочных схем производственных участков ГПУС и их схем автоматизации определяются требования к его точности позиционирования. Суммарная погрешность позиционирования должна обеспечивать требуемую точность установки манипуляционного объекта на технологических оборудовании. Погрешность установки объекта в приспособление складывается из двух составляющих: погрешности несовпадения центра формы детали с определенным центром в оборудовании и погрешности ориентации по углу относительно некоторой оси.

Основной характеристикой датчика, которую необходимо учитывать при его выборе является статическая и динамическая погрешность. Статическая погрешность датчика характерна для позиционирующих манипуляторов на автоматизированной транспортной системе, выполняющих функции фиксирования заготовки и захватных устройств промышленного робота, захватывающих и разгружающих заготовки. Для определения статической погрешности применяется расчетная формула [7]:

$$\Delta x_c = x_{n1} - \kappa_{\phi} \quad (2)$$

где  $x_{n1}$  - показание датчика, характеризующее значение выходного сигнала при фиксировании заготовки;  $\kappa_{\phi} = const$  - истинное значение измеряемой величины (координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  постоянной позиции фиксирования) на входе датчика, характеризующее наличие манипуляционного объекта на позиционирующем манипуляторе.

Соответственно исходные координаты фиксирования наличия манипуляционного объекта на позиционирующем манипуляторе автоматизированной транспортной системы гибкого производственного модуля определяются следующим образом [7]:

$$\begin{aligned} x &= 0, \\ y &= R_{ucxIP} = r_0 \cos \alpha_0, \\ z &= h_{ucxIP} = r_0 \sin \alpha_0, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $R_{ucxIP}$ ,  $h_{ucxIP}$  – соответственно по радиусу и высоте исходное положение захвата руки промышленного робота в зависимости от исходных полярных координат  $r_0$ ,  $\alpha_0$ .

Для определения погрешности датчика в динамическом режиме применяется расчетная формула [7]:

$$\Delta x_{\delta} = x_{n2} - \kappa_{\delta}, \quad (4)$$

где  $x_{n2}$  – показание датчика, характеризующее значение выходного сигнала при линейном и угловом перемещении;  $\kappa_{\delta} = \text{vario}$  – истинное значение измеряемой величины (координаты  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  позиций перемещения) на входе датчика, характеризующее наличие заготовки при изменениях позиций заготовки в рабочей зоне обслуживания промышленного.

Соответственно исходные координаты фиксирования наличия манипуляционного объекта при ее линейном и угловом перемещении определяются следующим образом:

При линейных перемещениях соответственно вдоль осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ :

1) выполняется прямолинейное перемещение вдоль оси  $z$ , а остальные координаты остаются неизменными:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0, \\ y_1 &= 0, \\ z_1 &= \Delta z = r_1 \sin \alpha_1 - r_0 \sin \alpha_0. \end{aligned} \quad (5)$$

При угловом перемещении вокруг оси  $z$ :

2) выполняется угловое перемещение вокруг оси  $z$ , а остальные координаты остаются неизменными:

$$\begin{aligned} x_3 &= \cos \varphi - \sin \varphi, \\ y_3 &= \sin \varphi + \cos \varphi, \\ z_3 &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $r_1, \alpha_1$  – полярные координаты, соответствующие позиции после прямолинейного перемещения захвата руки промышленного робота в верх вдоль оси  $Z$ ;  $\varphi = \pi/2$  – угол поворота руки промышленного робота вокруг оси  $Z$ .

Зависимость выходного сигнала датчика измерения линейных и угловых перемещений  $x_{n2}$  от значения входного параметра  $\kappa_{\delta} \in \{z_i, \pi/2\}$  определяется с помощью системы уравнений:

$$\begin{aligned} x_{n2z} &= a + b(r_1 \sin \alpha_1 - r_0 \sin \alpha_0), \\ x_{n2\varphi} &= a + 2b \left( \pi - \arccos \frac{1}{\sqrt{2}} - \arcsin \frac{1}{\sqrt{2}} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты регрессии, которые определяются составлением систем уравнений с помощью метода наименьших квадратов.

С учетом того, что промышленный робот в производственном модуле ГПУС выполняет множество перемещений по степеням подвижности, то при этом возникает необходимость определения суммарной статической и динамической погрешности измерения.

Используя выражения (4), (5) и (6) можно определить общую суммарную погрешность измерения механических перемещений:

$$\Delta = \begin{cases} n_x (x_{n2\varphi} - (\cos \varphi - \sin \varphi)) + x_{n1} - r_0 \cos \alpha_0, \\ n_y (x_{n2\varphi} - (\sin \varphi + \cos \varphi)) + x_{n1} - r_0 \cos \alpha_0, \\ n_z (x_{n2z} - (r_1 \sin \alpha_1 - r_0 \sin \alpha_0)) + 2(x_{n1} - r_0 \sin \alpha_0). \end{cases} \quad (8)$$

где  $n_x$  – соответственно число перемещений вдоль осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

### Заключение

1. Предложена структурная схема автоматизации гибкого производственного участка с робототехническим комплексом на базе TRACE MODE;
2. Разработан алгоритм выбора датчиков для манипуляционных роботов, функционирующих в ГПУ станков.

### Список используемых источников

1. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов. – К.: ИД «Профессионал», 2004. – 304 с.
2. Роботизированные технологические комплексы/ Г. И. Костюк, О. О. Баранов, И.Г. Левченко, В. А. Фадеев – Учеб. Пособие. – Харьков. Нац. аэрокосмический университет «ХАИ», 2003. – 214с.
3. Фридлянд А.В. Практические вопросы построения распределенных систем в ТРЕЙС МОУД. – М: Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, № 5, 2001.
4. Айзин В.С. ТРЕЙС МОУД 6: развитие технологий интегрированной автоматизации. М: Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, № 5, 2001.
5. Анзимиров Л.В. Интегрированная SCADA и Softlogic система TRACE MODE5 2002 году, №1, стр. 23-31.
6. Ахмедова Т.А. LC-автогенераторные датчики для информационно-измерительных систем и управления робототехническими комплексами.// Автоматизация и современные технологии. Москва: 2012, №7, стр. 20-24.
7. Мамедов Дж.Ф. Задачи и этапы разработки автоматизированного выбора и проектирования гибких производственных систем. Редакция технической литературы «Издательство Бакинского Университета» Б., 2002, стр.175.