

УДК 621.865

## ВИДЫ СОТРУДНИЧЕСТВА РОБОТОВ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Л.А. ЛОБОРЕВА, И.Э. ИЛЮШИН

(Могилевский государственный университет продовольствия)

*Приведена классификация сотрудничества роботов-манипуляторов. Описаны подходы к разработке программного обеспечения. Рассмотрены функции для реализации сотрудничества роботов и стратегии планирования траекторий роботов при совместной работе. Эффективность предложенной методики подтверждается результатами моделирования.*

**Ключевые слова:** офф-лайн программирование (OLP), робот-манипулятор, симуляция.

**Введение.** В современных исследованиях большое внимание уделяется управлению мультиагентными системами [1–5]. Простейшей мультиагентной системой в промышленности является робототехнический комплекс (РТК) с несколькими роботами и (или) позиционером, однако особенности работы такой системы в литературе рассматриваются редко. Технология с несколькими роботами позволяет сократить время производственного цикла, а системы становятся более компактными и гибкими. Робототехнический комплекс с несколькими роботами и одним контроллером идеально подходит для обработки симметричных заготовок, выполнения нескольких круговых сварных швов с регулировкой температуры, потока газа и металла. При этом повышается эффективность и улучшается качество.

Зачастую для программирования роботов применяют OLP. Созданные программы могут быть протестированы в виртуальной среде, откорректированы и загружены в контроллер робота. Это позволяет сократить время наладки по сравнению с ручным обучением, обыграть производственные сценарии, оценить время цикла, при необходимости изменить компоновку и избежать столкновений в реальной роботизированной ячейке.

**Целью исследования** в данной работе является проблема совместного управления несколькими роботами и позиционером.

**1. Инструкции для организации сотрудничества роботов.** Роботы и позиционеры в РТК могут действовать независимо или в координированном режиме. В режиме частичной координации роботы в РТК работают с одним стационарным объектом и координируются в определенных точках рабочего цикла. При этом частично синхронизируется порядок выполнения операций, но не координируются перемещения. Например, пара роботов проводит сварку детали с двух сторон в различных зонах. Позиционер ориентирует сварную конструкцию для работы с ее верхней частью. Роботы выполняют сварные швы, а позиционер ожидает завершения технологической операции. Далее позиционер поворачивает сварную конструкцию для выполнения сварных швов на ее нижней стороне. Операции обработки проводятся на неподвижной детали. При этом синхронизация необходима для сообщения информации: позиционеру – о допуске на передвижение сварной конструкции, роботам – о продолжении работы.

В полном скоординированном перемещении ряд роботов работает над одним движущимся объектом, при этом синхронизируются действия и перемещения. Например, подающий робот непрерывно перемещает по дуге сварную конструкцию, а два пятна точечной сварки выполняются другим роботом, двигающимся синхронно с первым. Такое движение выполняется командами на перемещение до промежуточной позиции и до конца дуги синхронно с командами перемещения в программе сварочного робота.

Некоторые промышленные блоки управления и контроллеры ориентированы на работу нескольких роботов: ABB Robotics имеет функцию MultiMove, KUKA Roboter GmbH – функцию RoboTeam, Yaskawa Motoman Robotics – функцию Independent/Coordinated (независимую/скоординированную). Указанные функции позволяют запрограммировать совместные задачи для нескольких роботов и устройств позиционирования. При организации сотрудничества роботов наиболее полезны следующие инструкции и команды:

- 1) MultiMove для роботов ABB на языке RAPID:
  - WaitSyncTask – синхронизация нескольких программных задач в специальной точке программы;
  - SyncMoveOn и SyncMoveOff – запуск и завершение режима синхронизации соответственно (команды перемещения в разных программных задачах выполняются одновременно, пока не будет выполнена команда SyncMoveOff). Перед инструкциями SyncMoveOn и SyncMoveOff необходимо запрограммировать точки останова;

- SyncMoveUndo – отключение синхронизированных движений;
- MoveExtJ (Move External Joints) – перемещение одного или несколько механических блоков без TCP (используется для перемещения дополнительных осей без робота);
- 2) RoboTeam для роботов KUKA на языке KUKA-Control-Panel (KCP):
  - PROGSYNC – одновременный запуск непрерывных движений взаимодействующих роботов. Независимо от того, какие действия они выполняли раньше, синхронизация программы заставляет одновременно начать движение всех задействованных роботов в точке синхронизации  $t_s$ . Затем контроллеры возобновляют выполнение своих программ;
  - ENTERSPACE – быстрое приближение робота к рабочему пространству для его ввода в общую зону. Другие роботы приостанавливаются;
  - EXITSPACE – приказ роботу, находящемуся в рабочей области, покинуть ее и позволить работать в этом рабочем пространстве другим устройствам или роботам. Им в определенной последовательности дается разрешение на вход;
  - GEOLINK – объединение ведомого (подчиненного) робота с базовой системой координат ведущего робота. При движении ведущего робота (или устройства) ведомый следует за этими движениями. Геометрическая связь может быть отменена путем выбора базовой ссылки, которая не связана с ведущим устройством или роботом (например, NULLFRAME);
  - SYNC – синхронизация отдельных блоков движения взаимодействующих контроллеров (MotionSync). Движения нескольких роботов можно синхронизировать так, чтобы каждому роботу требовалось одинаковое количество времени для выполнения этих движений. Команда SYNC является дополнительным компонентом, который может быть вызван и добавлен в блок движения LIN или CIRC;
  - SyncCmd () – синхронизация программ и движений;
  - RemoteCmd() – отправка команды другим контроллерам. Выполнение команды на локальном контроллере прерывается на время выполнения на пульте дистанционного управления;
  - LK() – «связанная кинематика» использует геометрическую связь отдельных кинематических систем (роботов). Движения внешних роботов адаптируются к движениям местного робота;
- 3) функция Independent/Coordinated роботов YASKAWA Motoman на языке INFORM:
  - SMOVL, SMOVC – перемещение ведомого манипулятора в позицию обучения с линейной и с круговой интерполяцией соответственно, при согласовании с ведущим роботом; SIMOV – с указанными приращениями линейной интерполяции при координации с ведущим;
  - SREFP – указание опорной точки отсчета для поворота во избежание столкновения во время скоординированного перемещения. Эта инструкция – контрольная точка для ведомого манипулятора;
  - + MOVJ – перемещение ведущего манипулятора в позицию обучения с совместной интерполяцией, + MOVL – с линейной интерполяцией. Эти инструкции размещаются после согласованной инструкции перемещения, индивидуальной интерполяции и являются скоординированными инструкциями перемещения к ведущему манипулятору;
  - PSTART – запуск задания;
  - PWAIT – ожидание завершения подзадачи;
  - TSYNC – синхронизация различных задач.

Если указанные инструкции роботом или его контроллером не поддерживаются, то они должны быть запрограммированы дополнительно. Причем необходимо учесть, какое количество контроллеров в РТК будет задействовано. Очевидно, что имеется необходимость разработки определенных подходов при управлении мультиагентной системой в зависимости от типа выполняемых движений.

**2. Виды сотрудничества роботов и планирование траекторий.** В роботизированных системах планирование траекторий обычно выполняется в декартовом пространстве или в пространстве конфигураций робота. Простейшая задача планирования траектории одиночного робота состоит в идентификации двух позиций робота для движения по линии и трех – для движения по дуге окружности в базовой системе координат робота. Для автоматического поиска и планирования сложной траектории движения предлагается использовать нейросетевой алгоритм поиска траекторий роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями, основанный на детерминистической дискретизации конфигурационного пространства [6]. Данный метод обеспечивает свойство «полноты» решения, учитывает сложную форму препятствий, характерную для сборочно-сварочных роботизированных комплексов, и ограничения, накладываемые на углы расположения технологического инструмента. Использование упрощенной функции активации нейронной сети позволяет уменьшить время расчета состояний сети и увеличить ее быстродействие.

При планировании траекторий движения нескольких взаимодействующих роботов возникают сложности, которые вызваны наличием множества систем координат для каждого робота (базовой, ин-

струмента (ТСП), суставов), а описание траектории для сварочного робота задается относительно системы координат обрабатываемой детали, которая представляет собой движущуюся динамическую структуру (рисунок 1).

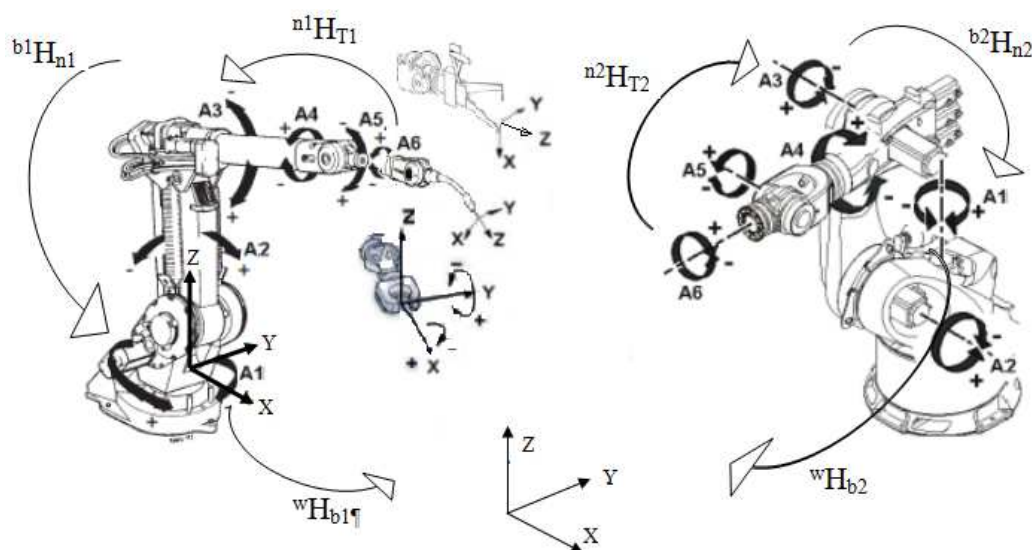


Рисунок 1. – Схема системы роботов (IRB 1410, KR 500), расположения осей и систем координат

Описание траектории для сварочного робота в базовой или абсолютной мировой системе координат создает проблемы, вызванные ограниченными возможностями обычного контроллера робота. Одновременный запуск (остановка) движений и их синхронизация должны выполняться между различными контроллерами роботов, что также проблематично.

При планировании траекторий для системы с несколькими роботами необходимо либо признать роботов независимыми в работе, либо идентифицировать одного робота как ведущего, а других – как ведомых, определить два декартовых положения для элементарного движения по линии и трех декартовых положений для движения по дуге окружности в основной базовой системе координат для ведущего робота.

В работе [7] выделено 3 вида совместного взаимодействия нескольких роботов и позиционера: параллельное сотрудничество, синхронное сотрудничество и совместное синхронное сотрудничество.

**2.1. Параллельное сотрудничество.** Независимо от того, какие движения роботы выполняли ранее, время запуска одновременного движения задается принудительно для всех роботов и позиционера в точке синхронизации  $t_0$ . При таком сотрудничестве нет ограничений на позиции или ориентации роботов. Ориентация технологического инструмента ограничена типом выполняемой операции, например, ориентация сварочного инструмента по отношению к детали и плоскости сварного шва. При параллельной работе не требуется определять стратегию совместного планирования пути, т.к. не существует ограничений для движения каждого робота, вызванного наличием в зоне другого робота. Траектории движений параллельно работающих роботов не пересекаются.

**2.2. Связанное синхронное сотрудничество.** Время запуска одновременного движения задается принудительно для всех роботов в точке синхронизации  $t_0$ . Все роботы синхронизируются и выполняют одинаковые движения по линии или окружности, а между инструментом, конечными эффекторами ведущего и ведомого устройств не существует относительного движения. Ведомый робот следует за движениями ведущего робота, поэтому не требуется разработка отдельных команд для движения ведомого робота. Такая форма сотрудничества используется при распределении нагрузки между роботами при перемещении груза или детали. Например, два робота перемещают груз, который выходит за пределы полезной нагрузки каждого робота. Для перемещения эффекторы робота должны схватить объект в двух указанных точках. При этом нет относительных движений между конечными эффекторами и объектом. При синхронном взаимодействии нет и относительного движения между конечными эффекторами ведущего и ведомого роботов после начала их движения, значит относительное положение или ориентация между захватами ведущего и ведомого будет постоянна в течение всего периода сотрудничества.

Пусть однородная матрица  ${}^{mb}P_m(t) \in R^{4 \times 4}$  определяет позицию или ориентацию ведущего робота ( $mb$  – master base) в базовой системе координат (в терминах RobotStudio – базовый фрейм), а  ${}^{sb}P_s(t) \in R^{4 \times 4}$  – положение или ориентацию ведомого (подчиненного) робота ( $sb$  – slave base) в подчиненном базовом

фрейме в момент времени  $t$ . Тогда координаты инструмента (рабочего органа, схвата, клещей и пр.) ведомого робота в базовой системе координат ведущего  ${}^{mb}P_s(t) \in R^{4 \times 4}$

$${}^{mb}P_s(t) = {}^{mb}H_{sb}(t) \cdot {}^{sb}P_s(t), \quad (1)$$

где  ${}^{mb}H_{sb}(t) \in R^{4 \times 4}$  – матрица преобразования подчиненного базового фрейма к базовому фрейму ведущего робота.

Рассматриваемые роботы-манипуляторы не мобильны, поэтому их базы не меняются в процессе сотрудничества, а значит, матрица преобразования  ${}^{mb}H_{sb}$  будет постоянной и однородной. Пусть  $t_0$  – время одновременного запуска для  ${}^{mb}P_m(t)$  и  ${}^{sb}P_s(t)$ . Если  ${}^mH_s(t) \in R^{4 \times 4}$  – матрица преобразования от системы координат инструмента ведомого к инструменту ведущего в его базовой системе координат в момент времени  $t_0$ , то

$${}^{mb}P_m(0) = {}^mH_s \cdot {}^{mb}P_s(0). \quad (2)$$

Подставляя уравнение (1) в выражение (2) в момент времени  $t = t_0$ , получим

$${}^{mb}P_m(0) = {}^mH_s \cdot {}^{mb}H_{sb} \cdot {}^{sb}P_s(0), \quad (3)$$

$${}^mH_s = {}^{mb}P_m(0) \cdot ({}^{sb}P_s(0))^{-1} \cdot {}^{sb}H_{mb}. \quad (4)$$

При связанном синхронном взаимодействии  ${}^mH_s$  будет постоянной в течение всего периода синхронного взаимодействия, из этого следует

$$\begin{aligned} {}^{mb}P_m(t) &= {}^mH_s \cdot {}^{mb}P_s(t) = {}^mH_s \cdot {}^{mb}H_{sb} \cdot {}^{sb}P_s(t) = {}^{mb}P_m(0) \cdot ({}^{sb}P_s(0))^{-1} \cdot {}^{sb}H_{mb} \cdot {}^{mb}H_{sb} \cdot {}^{sb}P_s(t) = \\ &= {}^{mb}P_m(0) \cdot ({}^{sb}P_s(0))^{-1} \cdot {}^{sb}P_s(t), \end{aligned} \quad (5)$$

тогда

$${}^{sb}P_s(t) = {}^{sb}P_s(0) \cdot ({}^{mb}P_m(0))^{-1} \cdot {}^{mb}P_m(t). \quad (6)$$

Уравнение (6) выражает голономные ограничения положения и ориентации между ведущим и ведомыми роботами во время их совместного взаимодействия. Из уравнения (6) следует, что траектория ведомого робота  ${}^{sb}P_s(t)$  в базовой системе координат может быть однозначно определена через траекторию ведущего  ${}^{mb}P_m(t)$  и относительное положение  ${}^{mb}P_m(0)$  в начальный момент времени связанного сотрудничества [8]. Таким образом можно планировать совместные траектории движения при связанном синхронном сотрудничестве роботов. При этом не нужно собирать дополнительную информацию для ведомых устройств. Для формирования элементарных перемещений определяются две декартовы позиции для движения по линии и три декартовых положения для движения по дуге окружности в подчиненной базовой системе координат ведомых роботов. Затем планируются номинальные траектории в конфигурационном пространстве для каждого робота, включая совместные движения между ведущим и ведомым.

**2.3. Комбинированное синхронное сотрудничество.** Для всех роботов в период синхронизации  $\Delta_t$  принудительно задается одинаковое время движения. Ведущий робот выполняет основное линейное или дуговое перемещение, а ведомые выполняют различные виды движения относительно системы инструмента ведущего. Движение ведомых накладывается на основное движение ведущего робота.

Подчиненный робот следует основным движениям ведущего робота, но также выполняет собственные наборы движений. Такой тип сотрудничества двух роботов распространен при сварке: ведомый робот обрабатывает заготовку (выполняет сварной шов), а ведущий робот (или позиционер) транспортирует, ориентирует заготовку, поворачивает ее с одной стороны на другую. Относительное положение и ориентация между заготовкой и инструментом робота сохраняются при движении заготовки.

Если ведущий робот (или позиционер) удерживает заготовку, а в это время ведомое устройство – инструмент обработки, то траектория движения ведущего робота определена заранее, а траектория подчиненного устройства не может быть указана напрямую и определяется требованиями обработки детали при совместном комбинированном движении. Как правило, требования по обработке деталей задаются в системе координат детали. Предполагается, что относительное движение не допускается, когда ведущий робот удерживает заготовку. В таком случае требования к обработке можно задать или преобразовать к ТСП ведущего робота, т.к. существует постоянная матрица преобразования между фреймом детали и фреймом инструмента ведущего робота. При совместном сотрудничестве необходимо сохранить определенные временные ограничения согласно требованиям, предъявляемым к обработке детали.

Пусть  ${}^{mb}P_m(t)$  – траектория движения ведущего робота в его базовом фрейме,  ${}^{me}P_s(t)$  – требуемая обработка в ТСР ведущего робота, которая также является траекторией движения подчиненного робота в ТСР ведущего робота. Траектория ведомого робота  ${}^{me}P_s(t)$  должна быть преобразована из системы координат инструмента ведущего в базовую систему координат подчиненного робота. При однородном преобразовании получим

$${}^{sb}P_s(t) = {}^{sb}H_{mb} \cdot {}^{mb}H_{me}(t) \cdot {}^{me}P_s(t), \quad (7)$$

где  ${}^{sb}H_{mb}$  – матрица преобразования из базовой системы координат ведущего в базовый фрейм подчиненного робота;

${}^{mb}H_{me}(t)$  – матрица преобразования от фрейма инструмента ведущего робота в его базовый фрейм.

${}^{mb}H_{me}(t)$  является обратной матрицей для  ${}^{me}H_{mb}(t)$  позиции или ориентации инструмента робота в его базовой системе координат.

$${}^{mb}H_{me}(t) = ({}^{me}H_{mb}(t))^{-1} = ({}^{mb}P_m(t))^{-1}. \quad (8)$$

Подставив уравнение (8) в формулу (7), получим

$${}^{sb}P_s(t) = {}^{sb}H_{mb} \cdot ({}^{mb}P_m(t))^{-1} \cdot {}^{me}P_s(t). \quad (9)$$

Уравнение (9) выражает голономные ограничения положения и ориентации между ведущим и подчиненными роботами во время их совместного движения. Следовательно, траектория ведомого робота  ${}^{sb}P_s(t)$  может быть однозначно определена через траекторию ведущего  ${}^{mb}P_m(t)$  с учетом требований обработки  ${}^{me}P_s(t)$ . Уравнение (9) позволяет планировать совместные траектории движения при комбинированном синхронном сотрудничестве роботов и позиционера.

**3. Базовый состав программы управления несколькими устройствами.** Рассмотренные виды сотрудничества можно реализовать с помощью вышеописанных инструкций либо с помощью дополнительно разработанных модулей.

Программа управления при сотрудничестве роботов и позиционера содержит модули, которые обеспечивают:

- 1) анализ рабочего пространства, определение пересечения рабочих зон роботов и позиционера;
- 2) определение зоны для совместной работы;
- 3) формирование траекторий роботов до сотрудничества;
- 4) подведение роботов к точкам пространства, при достижении которых вызывается режим синхронизации;
- 5) присвоение роботам или позиционеру приоритета «ведущий» («master») или «ведомый» («slave»);
- 6) переход в режим синхронизации;
- 7) корректировка траекторий ведомых согласно типу сотрудничества;
- 8) согласование скоростей ведущего и ведомых;
- 9) выход из синхронизированного режима при работе вне совместной зоны, перевод в независимый режим.

Указанный подход к управлению исследован путем имитационного моделирования в среде RobotStudio (рисунок 2).

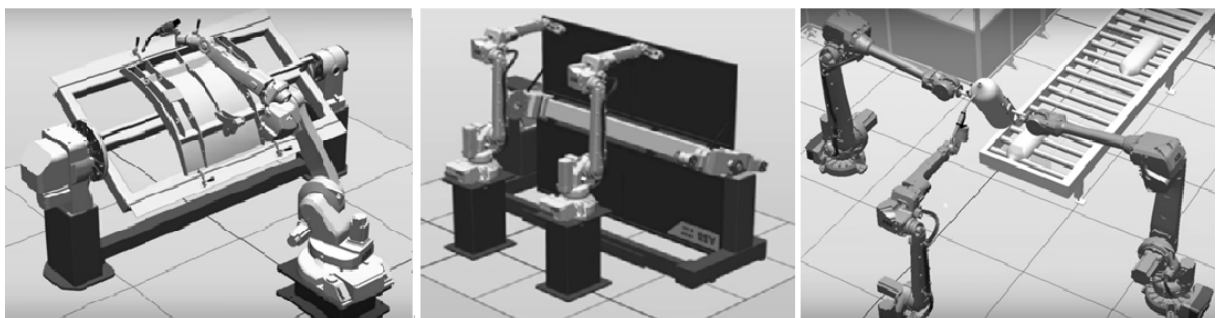


Рисунок 2. – Примеры роботизированных ячеек

При моделировании определялись места возможного столкновения, корректировались точки траекторий и скорости движения звеньев роботов. Рассматривалось сотрудничество некоторых распространенных роботов, их параметры Денавита – Хартенберга приведены в таблице.

Таблица. – Параметры Денавита – Хартенберга

ABB IRB 140				KUKA KR 500			
$\alpha$ , градус	$a$ , м	$d$ , м	$\Theta$ , градус	$\alpha$ , градус	$a$ , м	$d$ , м	$\Theta$ , градус
0	0	0,352	$\Theta_1$	90	0,5	-1,045	$\Theta_1$
-90	0,07	0	$\Theta_2$ -90	0	1,3	0	$\Theta_2$
0	0,36	0	$\Theta_3$	-90	0,055	0	$\Theta_3$
-90	0	0,38	$\Theta_4$	90	0	-1,025	$\Theta_4$
90	0	0	$\Theta_5$	-90	0	0	$\Theta_5$
-90	0	0	$\Theta_6$	180	0	-0,29	$\Theta_6$
ABB IRB 1410				Motoman HP20			
$\alpha$ , градус	$a$ , м	$d$ , м	$\Theta$ , градус	$\alpha$ , градус	$a$ , м	$d$ , м	$\Theta$ , градус
90	0	0,475	$\Theta_1$	-90	0,15	0	$\Theta_1$
0	0,15	0	$\Theta_2$	0	0,76	0	$\Theta_2$
90	0,60	0	$\Theta_3$	-90	0,14	0	$\Theta_3$
-90	0,12	0,72	$\Theta_4$	90	0	0,795	$\Theta_4$
90	0	0	$\Theta_5$	90	0	0	$\Theta_5$
0	0	0,085	$\Theta_6$	0	0	-0,105	$\Theta_6$

В представлении Денавита – Хартенберга формируется однородная матрица преобразования размерности  $4 \times 4$ , описывающая положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена. Значит можно последовательно преобразовать координаты рабочего инструмента, схвата манипулятора из системы отсчета, связанной с последним звеном, в базовую систему отсчета, являющейся инерциальной системой координат для динамической системы.

Каждая система координат имеет три оси: ось  $z_{i-1}$  направлена вдоль оси  $i$ -го сочленения; оси  $x_i$ ,  $y_i$  и  $z_{i-1}$  располагаются перпендикулярно, образуя правую декартову систему координат. Четыре параметра каждого звена робота полностью описывают вращательное или поступательное движение и определяются параметрами:

$\Theta_i$  – присоединенный угол, на который надо повернуть ось  $x_{i-1}$  вокруг оси  $z_{i-1}$ , чтобы она стала сонаправлена с осью  $x_i$  (знак определяется в соответствии с правилом правой руки);

$d_i$  – расстояние между пересечением оси  $z_{i-1}$  с осью  $x_i$  и началом  $(i - 1)$ -й системы координат, отсчитываемое вдоль оси  $z_{i-1}$ ;

$a_i$  – линейное смещение – расстояние от пересечения осей  $z_{i-1}$  и  $x_i$  до начала  $i$ -й системы координат, отсчитанного по оси  $x_i$ , т.е. наименьшее расстояние от оси  $z_{i-1}$  до  $z_i$ ;

$\alpha_i$  – угловое смещение – угол, на который надо повернуть ось  $z_{i-1}$  вокруг оси  $x_i$ , чтобы она стала сонаправленной с осью  $z_i$  (знак определяется в соответствии с правилом правой руки).

Для вращательных сочленений параметры  $d_i$ ,  $a_i$  и  $\alpha_i$  являются характеристиками сочленения, постоянными для данного типа робота. Присоединенный угол  $\Theta_i$  является переменной величиной, изменяющейся при движении (вращении)  $i$ -го звена относительно  $(i - 1)$ -го.

**Заключение.** Использование нескольких роботов и позиционера в роботизированной ячейке позволяет уменьшить время выполнения сложных технологических операций и улучшить производительность технологических линий, сделать их более гибкими и компактными. Описанные стратегии планирования совместного сотрудничества и методы управления системами при сотрудничестве роботов могут стать дополнением стандартного программного обеспечения OLP. Методы OLP позволяют уменьшить время простоев РТК, затрачиваемое на перепрограммирование роботов. При создании программ управления необходимо учитывать, что один контроллер управляет роботом и позиционером или роботы и позиционеры имеют свои контроллеры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каляев, И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М. : ФИЗМАЛИТ, 2009. – 280 с.
2. Efficient multi-robot motion planning for unlabeled discs in simple polygons / A. Adler [et al.] // IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. – 2015. – № 12. – P. 1309–1317.

3. Imeson, F. Multi-robot task planning and sequencing using the SAT-TSP language / F. Imeson, S.L. Smith // In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. – 2015. – P. 5397–5402.
4. Solovey, K. Finding a needle in an exponential haystack: Discrete RRT for exploration of implicit roadmaps in multi-robot motion planning / K. Solovey, O. Salzman, D. Halperin // International Journal Robotics Res. – 2016. – № 35. – P. 501–513.
5. Wagner, G. Subdimensional expansion for multirobot path planning / G. Wagner, H. Choset // Artif. Intell. – 2015. – № 219. – P. 1–24.
6. Лоборева, Л.А. Поиск траекторий сборочно-сварочных роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями / Л.А. Лоборева, М.М. Кожевников // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2017. – № 11. – С. 43–50.
7. Gan, Y.H. Cooperative Path Planning and Constraints Analysis for Master-Slave Industrial Robots / Y.H. Gan, X.Z. Dai, J. Li // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2012. – Vol. 9, 88. – P. 1–13.
8. Gan, Y. Off-Line Programming Techniques for Multirobot Cooperation System / Y.H. Gan, X.Z. Dai, J. Li // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Vol. 10. – P. 282–299.
9. Mohammed Almagd Forward and Inverse Kinematic Analysis and Validation of the ABB IRB 140 Industrial Robot // International journal of electronics, mechanical and mechatronics engineering. – 2017. – Vol. 7, № 2. – P. 1383–1401.
10. Бредин, К. Работа в команде / К. Бредин // АББ Ревю. – 2005. – № 1. – С. 26–29.

Поступила 19.09.2018

## TYPES OF COOPERATION ROBOTS IN ROBOTIC COMPLEX

*L. LOBOREVA, I. ILIUSHIN*

*The article gives an categorizes the cooperation of robotic manipulators. Approaches to software development are described. The functions for realization of cooperation of robots and strategies for planning robot trajectories in collaboration are considered. The effectiveness of the proposed approach is confirmed by the results of modeling.*

**Keywords:** *Off-Line Programming (OLP), robot manipulator, Simulation.*