

## УДК 621.01

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА КИНЕМАТИКИ МЕХАНОТРОННЫХ СБОРОЧНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Коноплянченко Е.В., к.т.н., доцент, Яременко В.П., к.т.н., доцент,  
Сунь Чжаоян, Колодненко В.Н., Бало П.Н.**  
(Сумской национальной аграрный университет)

Из всего многообразия соединений, входящих в сборочные единицы, агрегаты и изделия, можно выделить типовые, имеющие общие характеристики по служебному назначению и форме поверхностей их сопряжения. Разделение сборочных соединений по форме сопрягаемых поверхностей облегчает задачу автоматизации их сборки. Поэтому процесс сборки типовых соединений можно рассматривать как ряд типовых процессов соединений деталей по их поверхностям: сферическим, коническим, цилиндрическим, резьбовым, плоским и др. При этом положение любой детали в пространстве определяется тремя перемещениями и тремя поворотами в системе координат. Поэтому процесс автоматической сборки любой сборочной единицы представляет собой пространственную задачу, которую можно решить с помощью размерных цепей относительных поворотов поверхностей системы собираемые детали - сборочная машина. При компоновке механотронных сборочных систем появляется возможность, создав типовые подпрограммы для каждого вида соединения, получать управляющие программы для сборки всего изделия.

Для автоматизации процесса синтеза рационального варианта механотронной структуры используем математические модели геометрических и кинематических перемещений сборочных элементов и исполнительных органов робототехнического сборочного оборудования. С целью описания математических моделей введены следующие условные обозначения элементов и событий сборочного процесса: **a** – охватывающая деталь (штулка); **b** – охватываемая деталь (вал). Ограничения: - деталь **a** является стационарной, неподвижно закрепленной в приспособлении; - деталь **b** позиционируется относительно детали **a** исполнительными органами сборочного оборудования.

Схема перемещений, иллюстрирующая математические модели, представлена на рис. 1. Согласно рис. 1 основными событиями процесса сборки являются:

$A_x^a, A_y^a, A_z^a$  - линейные перемещения детали **a** вдоль осей (X,Y,Z);

$\omega_x^a, \omega_y^a, \omega_z^a$  - вращение детали **a** вокруг осей (X,Y,Z);

$A_x^b, A_y^b, A_z^b$  - линейные перемещения детали **b** вдоль осей (X,Y,Z);

$\omega_x^b, \omega_y^b, \omega_z^b$  - вращение детали **b** вокруг осей (X,Y,Z);

$S^{a,b}$  - соединение детали **a** с деталью **b**.

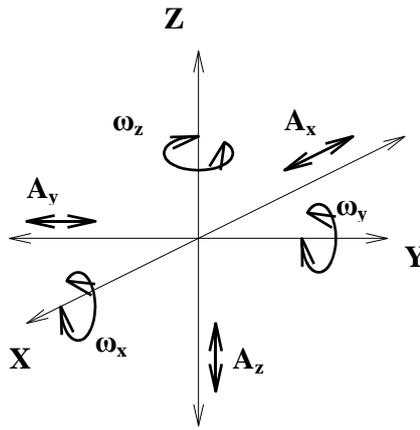


Рисунок - Схема геометрических перемещений сборочных элементов.

Математические модели геометрических перемещений сборочных элементов записываются условиями выполнения соединений согласно разработанной конструкторско-технологической классификации.

Следующим этапом формализации процесса является описание математических моделей исполнительных органов автоматизированного сборочного оборудования. В зависимости от структурно-кинематической схемы сборочные промышленные роботы классифицируются на 4 группы: прямоугольная (декартова) система координат; цилиндрическая система координат; сферическая (полярная) система координат; угловая (ангулярная) система координат. На основе разработанных классификаций видов соединений сборочных элементов и промышленных роботов появилась возможность выбрать в автоматизированном режиме робот с соответствующей степенью подвижности.

Вторым этапом выбора промышленных роботов является анализ возможности реализации сборочных соединений с учетом точности, массы и габаритных размеров собираемых элементов. Для сборки изделий выбираются те роботы, технические характеристики которых позволяют осуществить сборку с учетом рассматриваемых характеристик.

Третьим этапом выбора промышленных роботов является их выбор по стоимости. При анализе производственной технологичности собираемых изделий в первую очередь выбираются те роботы, которые имеют меньшую стоимость. Роботы ранжируются по их стоимости. Первый ранг имеют роботы, у которых стоимость минимальна. Если рассматриваемый робот не соответствует критериям выбора или структура производственного участка не совпадает со структурой технологической схемы сборки – то выбирается робот с большим рангом и снова выполняется анализ производственной технологичности. Данные зависимости учитываются при разработке алгоритмического и программного обеспечения решения задачи оптимизации производственной технологичности при сборке изделий.

Согласно приведенной классификации промышленных роботов, для каждого класса роботов можно записать условие выполнения вида перемещения:

- прямоугольная (декартова) система координат:  $\exists_{\theta \in M} R_{\theta} = A_x^b \wedge A_y^b \wedge A_z^b$ ,

где  $\mathbf{M} = \{1, \dots, \varphi\}$  - множество промышленных роботов данного класса;

- цилиндрическая система координат:  $\exists_{\theta \in \mathbf{M}} \mathbf{R}_\theta = \mathbf{A}_x^b \wedge \mathbf{A}_y^b \wedge \omega_z^b$ ,

где  $\mathbf{M} = \{1, \dots, \phi\}$  - множество промышленных роботов данного класса;

- сферическая система координат:  $\exists_{\theta \in \mathbf{M}} \mathbf{R}_\theta = \omega_x^b \wedge \omega_y^b \wedge \mathbf{A}_z^b$ ,

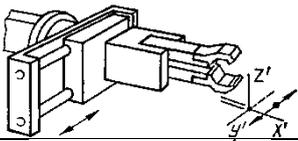
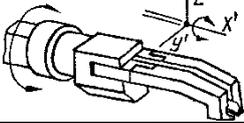
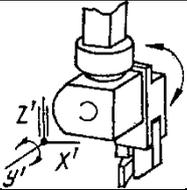
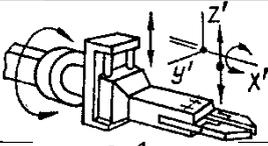
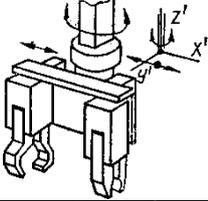
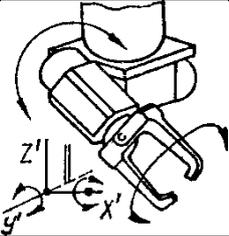
где  $\mathbf{M} = \{1, \dots, \tau\}$  - множество промышленных роботов данного класса;

- ангулярная (угловая) система координат:  $\exists_{\theta \in \mathbf{M}} \mathbf{R}_\theta = \omega_x^b \wedge \omega_y^b \wedge \omega_z^b$ ,

где  $\mathbf{M} = \{1, \dots, \zeta\}$  - множество промышленных роботов данного класса.

Для возможности реализации каждого вида соединения с учетом сборочного оборудования необходимо описать математические модели типовых вариантов захватных устройств манипуляторов. В таблице 1 представлены математические модели реализации геометрических перемещений типовых вариантов захватных устройств.

Таблица 1 – Реализация геометрических перемещений типовыми вариантами компоновки захватных устройств

№ п/п	Пример, эскиз	Математическая модель реализуемых перемещений
1.		$\exists_{\varpi \in \Delta} \mathbf{Z}_\varpi = \mathbf{A}_y^b$ , где $\Delta$ - множество устройств данного типа
2.		$\exists_{\varpi \in \Phi} \mathbf{Z}_\varpi = \omega_x^b$ , где $\Phi$ - множество устройств данного типа
3.		$\exists_{\varpi \in \Theta} \mathbf{Z}_\varpi = \omega_y^b$ , где $\Theta$ - множество устройств данного типа
4.		$\exists_{\varpi \in \Omega} \mathbf{Z}_\varpi = (\omega_x^b \wedge \mathbf{A}_z^b)$ , где $\Omega$ - множество устройств данного типа
5.		$\exists_{\varpi \in \Xi} \mathbf{Z}_\varpi = (\mathbf{A}_x^b \wedge \omega_z^b)$ , где $\Xi$ - множество устройств данного типа
6.		$\exists_{\varpi \in \Pi} \mathbf{Z}_\varpi = (\omega_x^b \wedge \omega_y^b)$ , где $\Pi$ - множество устройств данного типа

На этапе синтеза компоновочного решения промышленного робота для реализации заданного вида соединения в качестве условия выбора захватного устройства используется логическое выражение:  $\exists_{\xi \in I} K_{\xi} = ((\sim R_{\theta} \wedge S^{a,b}) \Rightarrow Z_{\varpi})$ , где  $I = \{1, 2, \dots, \lambda\}$  - множество компоновочных решений.

Анализ существующих систем классификации сборочных элементов и видов соединений показал, что все их многообразие можно свести в два основных направления: конструкторско-технологическое и технологическое.

Использование конструкторско-технологического направления позволяет повысить наглядность и простоту кодирования информации. Наличие иллюстрированного определителя видов соединений на предприятии приводит к их унификации при конструкторской и технологической подготовке производства. Использование технологического классификатора упрощает разработку технологического процесса сборки. Однако при использовании данного направления трудно осуществлять отработку конструкции изделия на технологичность, так как применяемое при сборке технологическое оснащение зависит не только от вида выполняемой операции, но и от последовательности сборки изделия. При изменении последовательности сборки изменяется технологичность объекта производства.

Для эффективного управления производственной технологичностью разработан классификатор, обеспечивающий связь между предметом производства и средствами производства. Выделено 10 классов видов соединений. Номер класса изменяется от 0 до 9. Каждый класс план характеризуется определенным признаком и отражает сопряжение сборочных элементов по поверхностям, линиям и точкам. В каждом классе выделено по 10 подклассов (изменяются от 0 до 9). Каждый класс имеет определенную степень подвижности элементов соединения при сборке.

В основу классификатора положены как геометрические параметры, определяющие траекторию перемещения деталей при сборке, так и конструктивно-технологические признаки, характеризующие поверхности по назначению и технологии их сборки. Разделение кодов, соединяемых элементов и видов соединений позволило сократить количество знаков кода. В классификаторе имеется резерв для дальнейшего расширения при разработке и использовании новых видов соединений. Технологический процесс сборки представляется в виде ряда типовых процессов соединений деталей (соответствуют определенным подклассам видов соединений). Степень подвижности сборочных элементов кодируется и определяется тремя вращениями и тремя перемещениями по трем осям координат. Поэтому автоматическую сборку любой сборочной единицы можно представить с помощью моделей геометрических и кинематических перемещений.

Применение разработанной методики классификации сборочных единиц позволяет проводить унификацию выпускаемых изделий, сокращать сроки технологической подготовки производства, а при использовании промышленных роботов – создавать унифицированные программные модули для каждого подкласса видов соединений.