

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТОВ

Моделирование сборочного процесса является важным этапом разработки изделия и сборки модели, которая является базовой в анализе свойств и конструировании изделия. Целью данной работы является получение количественных характеристик размерных параметров соединений с привязкой к системе координат при моделировании сборочного процесса и последующей визуализацией в программе Excel геометрических моделей деталей и их соединения посредством адаптации математического аппарата, используемого в кинематике роботов для решения задач актуальных в процессе моделирования и анализе сборочного процесса.

Ключевые слова: размерный анализ, геометрическая модель, прямая задача кинематики роботов, сборка.

Введение. Моделирование сборочного процесса является важным этапом разработки изделия и сборки модели, которая является базовой в анализе свойств и конструировании изделия [1, 2]. Любая проектная либо исследовательская деятельность в определенной мере связана с моделированием [3]. Основой моделирования является теория подобия, однако в практике моделирования к абсолютному подобию не стремятся, более того, попытка как можно более полно отразить свойства и характеристики сложного объекта приводит к чрезмерному росту сложности моделей, что существенно снижает ее практическую полезность. В данной работе используются геометрические модели деталей, несущие необходимую для анализа информацию [4, 5].

Одним из важнейших показателей, определяющих способность выполнения служебного назначения, является геометрическая точность. От уровня точности выполняемого сборочного процесса, а также самого сборочного узла зависят такие факторы, как: надежность, работоспособность, экономичность, уровень вибрации и шума, качество и производительность изделия [6].

В то время как роботы широко используются в промышленных задачах, для которых достаточно позиционного управления — таких как сварка, транспортировка и окраска — применение роботов в других задачах, например сборочного производства, до сих пор не было широко распространено [7]. В данной работе предложен метод применения прямой задачи кинематики роботов в процессе

сборки с привязкой к системе координат и последующей визуализацией в программе Excel.

Цели и задачи исследования. Целью данной работы является получение количественных характеристик размерных параметров соединений с привязкой к системе координат при моделировании сборочного процесса.

Задачи:

1. Адаптация математического аппарата, используемого в кинематике роботов для решения задач актуальных в процессе моделирования и анализе сборочного процесса.

2. Построение геометрических моделей деталей с применением программы Excel на основе теории.

3. Применение разработанной методики для осуществления численных экспериментов в процессе анализа цилиндрического соединения.

4. Выявление размерных характеристик, описывающих параметры соединения с последующим их связыванием с разработанной методикой.

Результаты исследования. Предположим, что у нас есть манипулятор, имеющий два сустава, расположенных на торце детали, и осуществляющий процесс сборки в одной плоскости. Сам манипулятор не показан, его наличие необходимо для привязки геометрической модели детали к оси координат. Кинематика манипулятора рассматривается с точки зрения преобразования из системы координат, связанной с сочленениями, в систему координат, связанную со звеньями [8].

Прямая задача кинематики заключается в определении положения координат всех точек контура

детали [9–11], в данном случае определяются координаты точек, формирующих контур детали $(x_0; y_0), (x_1; y_1) \dots (x_i; y_i)$ по заданным L_1, L_{2i}, Q_1, Q_{2i} , где L_1 — длина плеча манипулятора, первый сустав, закрепленный в основании оси координат и повернут на угол Q_1 ; L_{2i} — длина локтя манипулятора, второй сустав, расположенный на конце первого сустава, крепится к каждой точке контура детали и повернут относительно плеча на угол Q_{2i} .

Таким образом, имеется две системы отсчета:

1. Связана с точкой крепления плеча L_1 и началом оси координат.

2. Начало координат расположено в точке крепления детали (локтя).

Необходимо определить смещение второй системы относительно первой (координаты смещения точек контура детали $(x_0; y_0), (x_1; y_1) \dots (x_i; y_i)$ относительно начала координат).

На первом этапе возьмем геометрическую модель детали, состоящую из пяти точек, образующих контур детали, пронумеруем их от начала координат (рис. 1). Исходя из заданных размеров детали $S_1=4, S_2=3, S_3=3, S_4=5, S_5=7, S_6=2$ определим длину локтя L_{2i} относительно каждой точки контура:

$$\begin{aligned} L_{2,1} &= S_1 \\ L_{2,2} &= \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \\ L_{2,3} &= \sqrt{(S_1 + S_3)^2 + S_2^2} \\ L_{2,4} &= \sqrt{(S_1 + S_3)^2 + S_6^2} \\ L_{2,5} &= S_6. \end{aligned}$$

Аналогично запишем формулы для расчета углов Q_{2i} относительно каждой точки контура, учитывая изменение знака в зависимости от направления расположения локтя относительно плеча и значения угла Q_1 . Для обеспечения возможности поворота геометрической модели детали под заданным углом необходимо ввести дополнительный угол Q_2 (рис. 2):

$$\begin{aligned} Q_{2,1} &= -Q_1 + Q_2 \\ Q_{2,2} &= \arctg \frac{S_2}{S_1} - Q_1 + Q_2 \\ Q_{2,3} &= \arctg \frac{S_2}{S_1 + S_3} - Q_1 + Q_2 \\ Q_{2,4} &= -\arctg \frac{S_6}{S_1 + S_3} - Q_1 + Q_2 \\ Q_{2,5} &= -\frac{\pi}{2} - Q_1 + Q_2. \end{aligned}$$

Определим координаты смещения точек контура детали $(x_0; y_0), (x_1; y_1) \dots (x_i; y_i)$ относительно начала координат:

$$\begin{aligned} x_0 &= L_1 \times \cos(Q_1), \\ y_0 &= L_1 \times \sin(Q_1). \end{aligned}$$

Координаты в системе отсчета детали (локтя):

$$\begin{aligned} x'' &= L_{2i} \times \cos(Q_{2i}), \\ y'' &= L_{2i} \times \sin(Q_{2i}). \end{aligned}$$

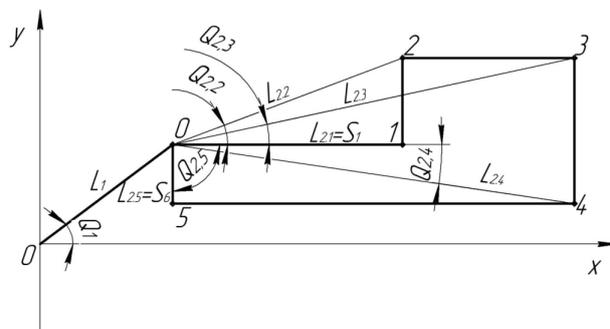


Рис. 1. Исходные данные геометрической модели детали 1

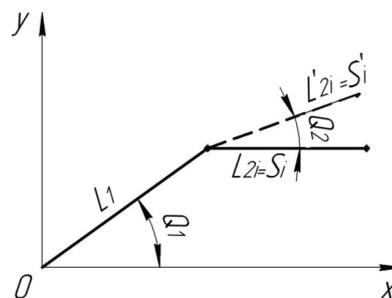


Рис. 2. Графическое изображение угла Q_2 , обеспечивающего поворот геометрической модели детали

Согласно рис. 1, видно, что в системе отсчета O угол поворота между локтем L_{2i} и плечом составляет $Q_1 + Q_{2i}$ отсюда:

$$\begin{aligned} x' &= L_{2i} \times \cos(Q_1 + Q_{2i}), \\ y' &= L_{2i} \times \sin(Q_1 + Q_{2i}). \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} x_i &= x_0 + x' = L_1 \times \cos(Q_1) + L_{2i} \times \cos(Q_1 + Q_{2i}), \\ y_i &= y_0 + y' = L_1 \times \sin(Q_1) + L_{2i} \times \sin(Q_1 + Q_{2i}). \end{aligned} \quad (1)$$

Внеся необходимые данные в программу Excel с учетом формулы 1 и учитывая, что $L_1=0$ и $Q_1=0$, получим автоматический расчет координат смещения точек контура детали с графической визуализацией (рис. 3).

Геометрическую модель детали 2 образует контур, состоящий из четырех точек, пронумерованных от начала координат (рис. 4). Исходя из заданных размеров детали $S_1=4, S_2=2, S_3=4, S_4=2$ определим длину локтя L_{2i} относительно каждой точки контура:

$$\begin{aligned} L_{2,1} &= S_1 \\ L_{2,2} &= \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \\ L_{2,3} &= S_4. \end{aligned}$$

Запишем формулы для расчета углов Q_{2i} относительно каждой точки контура:

$$\begin{aligned} Q_{2,1} &= -Q_1 + Q_2 \\ Q_{2,2} &= \arctg \frac{S_2}{S_1} - Q_1 + Q_2 \\ Q_{2,3} &= \frac{\pi}{2} - Q_1 + Q_2. \end{aligned}$$

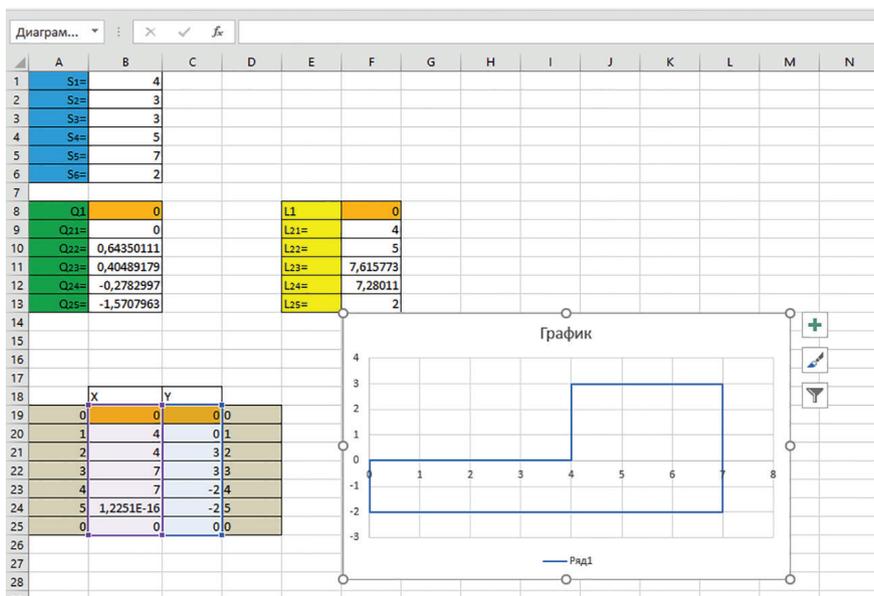


Рис. 3. Результат расчета для геометрической модели детали 1

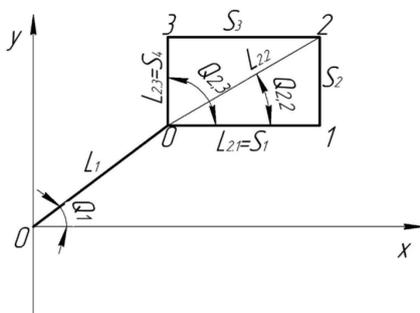


Рис. 4. Исходные данные геометрической модели детали 2

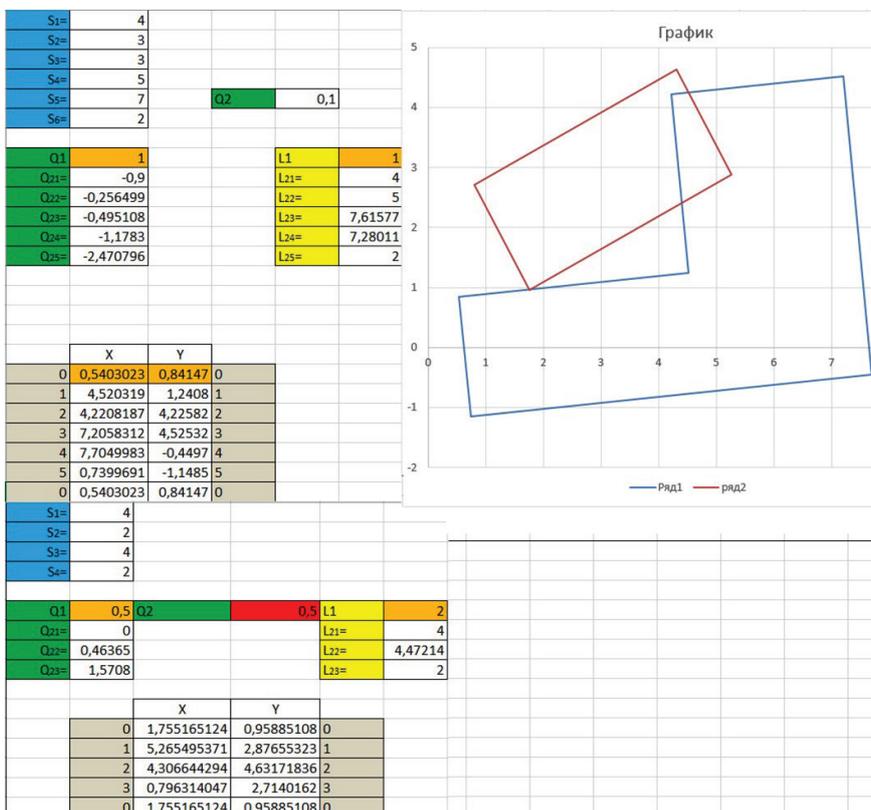


Рис. 5. Результат расчета для двух геометрических моделей деталей

Используя формулу 1, получим автоматический расчет в программе Excel координат смещения точек контура деталей с графической визуализацией для двух деталей (рис. 5).

Вывод. Тема работы связана с повышением производительности труда инженера-конструктора, что является одной из основных задач разработки изделия и сборки модели. Целью данной работы является получение количественных характеристик размерных параметров соединений с привязкой к системе координат при моделировании сборочного процесса. Полученные результаты позволяют произвести анализ количественных характеристик размерных параметров соединений на основе геометрических моделей деталей посредством адаптации математического аппарата, используемого в кинематике роботов для решения задач актуальных в процессе моделирования и анализе сборочного процесса с привязкой к системе координат и последующей визуализацией в программе Excel.

Библиографический список

1. Sodhi R, Turner J. U. Towards modeling of assemblies for product design // *Comput Aided Des*, 1994. Vol. 26 (2). P. 85–97. DOI: 10.1016/0010-4485(94)90029-9.
2. Dadalau A., Verl A. Bottem-up component oriented FEmodelling of machine tools // *4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011)*. Montreal, Canada, 2011. P. 277–294.
3. Пантюшин С. В., Назаретов В. М., Тягунов О. А. [и др.]. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств / под ред. И. М. Макарова. М.: Высшая школа, 1986. 175 с.
4. Масыгин В. Б. Автоматизация формирования схемы обработки осесимметричных конструкций // *Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы VIII Всерос. науч. конф., посвящ. памяти гл. конструктора ПО «Полет» А. С. Клинышкова*. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. С. 130–134.
5. Веников В. А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1984. 479 с.
6. Масыгин В. Б. Система компьютерного моделирования конструкции и технологии изготовления осесимметричных изделий для обоснования решений на проектно-производственных стадиях жизненного цикла изделия // *Фундаментальные исследования и инновационные технологии в маши-*

ностроении: науч. тр. IV Междунар. науч. конф. М.: Издат. дом Спектр, 2015. С. 168–171. ISBN 978-5-4442-0110-7.

7. Wang J, Zhang G, Zhang H. [et al.]. Force control technologies for new robotic application // *IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications*; Woburn, MA. 2008. P. 143–149.

8. Ноф Ш. Справочник по промышленной робототехнике. В 2 кн. / пер. с англ. под ред. Д. Ф. Миронова. М.: Машиностроение, 1989. Кн. 1. 480 с. ISBN 5-217-00615-3.

9. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 624 с.

10. Корендяев А. И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. М.: Наука, 2006. Кн. 1. 383 с. ISBN 5-02-034439-7.

11. Song H. C., Song J. B. Precision robotic deburring based on force control for arbitrarily shaped workpiece using CAD model matching // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2013. Vol. 14, no. 1. P. 85–91. DOI: 10.1007/s12541-013-0013-2.

ПРИМАК Дарья Дмитриевна, аспирантка кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 1861-4359

AuthorID (РИНЦ): 945942

Адрес для переписки: venenifer@yandex.ru

ВОЛКОВ Иван Александрович, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 6172-1346

AuthorID (РИНЦ): 233687

Адрес для переписки: bki-omsk@rambler.ru

МАСЯГИН Василий Борисович, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 7032-2852

AuthorID (РИНЦ): 379618

ORCID (SCOPUS): 0000-0001-8649-5830

Scopus Author ID: 6507478238

Адрес для переписки: masyagin@omgtu.ru

Для цитирования

Примак Д. Д., Волков И. А., Масыгин В. Б. Применение геометрических моделей при анализе размерных параметров соединений на основе прямой задачи кинематики роботов // *Омский научный вестник*. 2018. № 3 (159). С. 14–17. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-14-17.

Статья поступила в редакцию 06.04.2018 г.

© Д. Д. Примак, И. А. Волков, В. Б. Масыгин