

## ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Фомин Е.И., Долотов К.С.*

*Московский государственный технологический университет "СТАНКИН",  
Москва*

**Ключевые слова:** редуктор, промышленные робототехнические системы, точность позиционирования, датчики положения, резольверы, передаточное число, разрешающая способность.

**Аннотация.** Данная статья посвящена анализу и выбору передаточного числа редукторов для промышленных робототехнических систем. Основной акцент делается на значении точности позиционирования в контексте требований к грузоподъемности и скорости работы роботов. Рассматриваются современные синхронные двигатели и их влияние на выбор передаточного числа редуктора. Приводится пример расчета разрешающей способности для различных осей робота. Данное исследование позволяет рекомендовать передаточное число редуктора, обеспечивающее оптимальную точность позиционирования.

## PRECISION OF GEARBOXES IN INDUSTRIAL ROBOTIC SYSTEMS

*Fomin E.I., Dolotov K.S.*

*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow*

**Keywords:** gearbox, industrial robotic systems, positioning accuracy, position sensors, resolvers, gear ratio, resolution capability.

**Abstract.** This article is dedicated to the analysis and selection of gearboxes for industrial robotic systems. The primary focus is on the importance of positioning accuracy in the context of payload capacity and robot speed requirements. Modern synchronous motors and their influence on the choice of gearbox ratio are discussed. An example calculation of resolution capability for various robot axes is provided. This study enables the recommendation of a gearbox ratio that ensures optimal positioning accuracy.

При выборе комплектации для осей промышленного робота на этапе проектирования одним из важнейших компонентов является редуктор. Редукторы могут иметь передаточное число от 30 до 120 и выше (рис. 1) [1]. В первую очередь выбор определяется требуемыми параметрами грузоподъемности, скорости (от 150 до 600 градусов/сек) и точности, однако современные синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов могут иметь весьма значительные значения моментов и скорости (до 50 Нм, при 6000 об/мин), что дает возможность конструкторам использовать редукторы с меньшим передаточным числом [2-3].

Рассмотрим пример определения необходимой точности позиционирования электродвигателей для 6-ти осевого промышленного робота с зоной досягаемости 1600 мм и грузоподъемностью 16 кг (рис. 2).

В качестве датчиков положения ротора (обратной связи) обычно применяют датчики углового положения (резольверы), установленные соосно на валу электродвигателя.



Рис. 1. Внешний вид мотор-редукторов Spinea (Словакия)

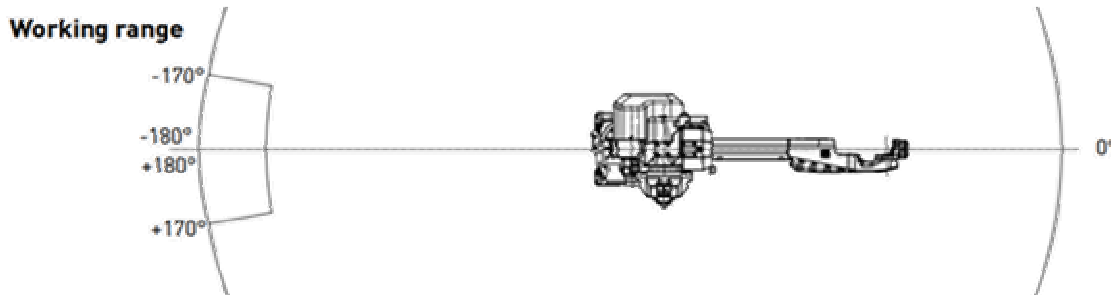


Рис. 2. Схема позиционирования промышленного робота

Расчет разрешающей способности (табл. 1) рассчитывается для каждой оси исходя из требований обеспечения точности не менее 0,1 мм на максимально возможном плече, по формуле

$$R_{es} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{0,1}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус плеча и  $R_{es}$  – разрешающая способность.

При размещении датчиков непосредственно на валу электродвигателя, требуемую разрешающую способность датчика на соответствующем звене необходимо разделить на передаточное число редуктора.

Табл. 1. Разрешающая способность

Ось	Диапазоны поворота осей (градусов), для робота 1600 мм/16 кг	Длина плеча, (мм)	Требуемая точность перемещения, (мм)	Требуемое расчетное разрешение датчика на оборот, не менее (дискрет/бит)
1	-185+185	1700	0,1	106760/17
2	-155+35	1521	0,1	95518/17
3	-130+154	820	0,1	51496/16
4	-350+350	60	0,1	3768/12
5	-130+130	100	0,1	6280/13
6	-350+350	60	0,1	3768/12

При минимальном  $U_{ред}=36$ , требуемое максимальное разрешение составит:  $R_{es\max}=106760/36=2965$  дискрет, т.е. с определенным запасом достаточным будет разрешение АЦП для оцифровки резольвера 12 бит. Увеличение передаточного числа редуктора снижает требования к точности определения угловой координаты, так при типовом значении  $U_{ред}=90$ , требуемое максимальное

разрешение составит:  $R_{esmax}=106760/90=1186$  дискрет. В процессе регулирования для выполнения одной и той же задачи позиционирования электродвигатель совершит в 2,5 раза больше оборотов, что существенно облегчает задачу управления для связки сервопреобразователя и электродвигателя, исходя из этого время реакции системы тоже должно быть в 2,5 раза выше. Кроме этого, значительно меньше нагрузка на двигатель, а значит уменьшаются токи и потребляемая из сети мощность. Переход на двигатели с высоким крутящим моментом выглядит при этих условиях не самым лучшим вариантом и потребует повышенного быстродействия и скорости вычислений сервопреобразователя, качество регулирования для стандартного сервопреобразователя промышленного робота для оси с  $U_{ред}=36$  явно будет недостаточным (рис. 3) и качество управления роботом в процессе движения может быть не достигнуто. Использование высокомоментных двигателей может быть рекомендовано только для достижения высокой скорости перемещения и большой нагрузки.

На графиках видно, что позиционное задание выполняется корректно, однако графики фактической и заданной скорости имеют расхождения и значительные колебания. В некоторых случаях при высоких передаточных числах редуктора качественное регулирование не может быть достигнуто.

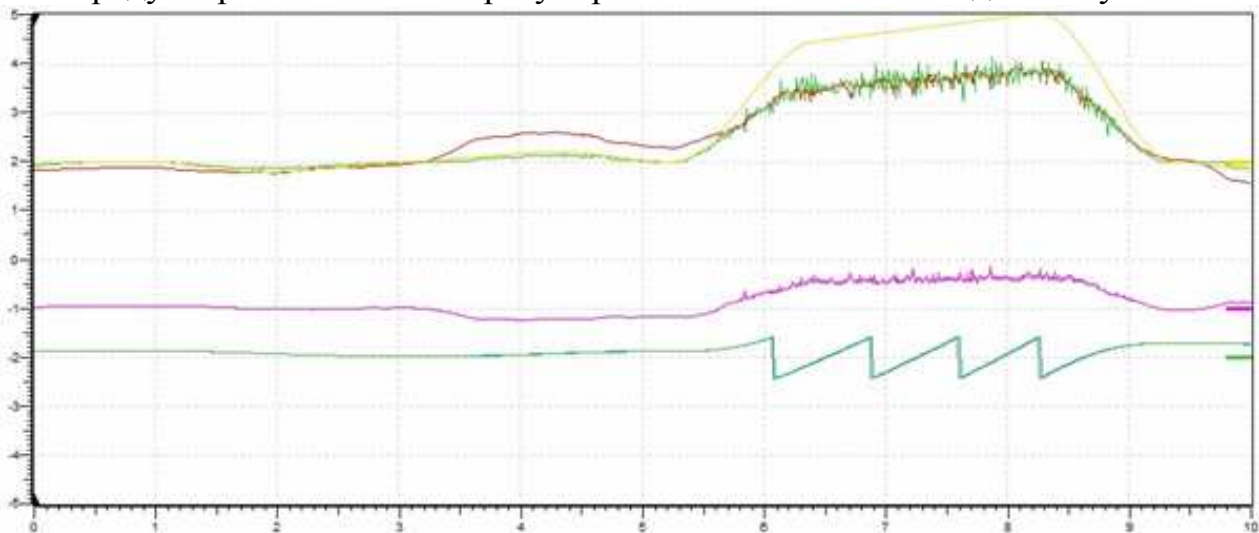


Рис. 3. Пример графиков регулирования сервопреобразователя

Редукторы представляют собой критический компонент в промышленных робототехнических системах, определяя нагрузочную способность, скорость перемещения и точность позиционирования. Современные синхронные двигатели с постоянными магнитами предоставляют возможности варьировать скорости и крутящие моменты в широком диапазоне, расширяя возможности в выборе редукторов с меньшим передаточным числом. При размещении датчиков на валу электродвигателя, разрешающая способность определяется передаточным числом редуктора. Исходя из результатов проведенных исследований, авторы рекомендуют выбирать передаточное число редуктора от 60 и выше для обеспечения оптимальной точности позиционирования. Правильный выбор редуктора с учетом всех перечисленных факторов существенно влияет на качество управления промышленным роботом.

### **Список литературы**

1. Габитов А.А., Каляшина А.В. Анализ обеспечения точности позиционирования промышленных роботов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2018. – Т. 74, № 4. – С. 49-54.
2. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов – Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Робототехнические системы». – М.: Высшая школа, 1986. – 264 с.
3. Воробьев Е.И., Бабич А.В., Жуков К.П., Попов С.А., Семин Ю.И. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для вузов: В 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 3: Основы конструирования. – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.

### Сведения об авторах:

*Фомин Евгений Игоревич* – ведущий научный сотрудник;

*Долотов Константин Сергеевич* – к.т.н., ведущий научный сотрудник.