

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Дубинина В.В.

В данной статье проведен анализ технико-экономических показателей промышленных роботов для покраски, точечной сварки и паллетирования компаний Kuka, Fanuc и Yaskawa Motoman. Для этих роботов построены модели зависимости их цены от грузоподъемности, радиуса действия, точности позиционирования, массы, технического индекса.

DOI: 10.20537/mce2021econ11

Введение. В настоящее время темпы автоматизации ускоряются, промышленные роботы распространяются на предприятиях по всему миру, расширяется список задач и отраслей, в которых они применяются. Кроме того, увеличивается ассортимент и появляются новые типы роботов — от гибких механических конечностей до умных машин, которые могут работать вместе с людьми. С развитием информационных технологий в промышленной робототехнике происходят постоянные изменения, приводящие к новым функциональным решениям и более широким возможностям применения промышленных роботов.

Целью данной работы является построение моделей зависимости цены промышленных роботов (ПР) от таких технических характеристик как грузоподъемность (кг), радиус действия (мм), точность позиционирования (мм), масса (кг), а также технический индекс, рассчитанный как произведение грузоподъемности на радиус действия и отнесенный к массе роботов.

Аналогичные исследования проводились по сервисным роботам, где моделировалась зависимость цены от технических показателей для медицинских, персональных роботов и БПЛА [1]; а также по промышленным роботам компаний Fanuc и ABB большой, средней и малой грузоподъемности [2].

Ведущие компании-производители промышленных роботов. Использование промышленных роботов на производстве расширяется. Возможности ПР постоянно совершенствуются, и они способны выполнять

более сложные и разнообразные задачи с наибольшей скоростью и точностью. К основным задачам роботов относятся: паллетирование, перемещение и упаковка изделий, сварка, сборка, обработка деталей, покраска.

Так, например, в 2019 г. на долю роботов, выполняющих операции по перемещению, приходилось 42% (в России — 46%), сварку и пайку — 21% (27%), сборку — 10%, обработку — 1% (4%) [3].

В данной работе были рассмотрены ПР для паллетирования компаний Fanuc и Yaskawa Motoman, а также роботы для точечной сварки и покраски компании Kuka.

Роботы компании Yaskawa Motoman используются в автомобильной, аэрокосмической, пищевой, химической промышленности и т.д.; роботы Fanuc — в аэрокосмической, автомобильной промышленности, в отрасли товаров народного потребления и многих других отраслях; роботы компании Kuka — в автомобильной, пищевой и электронной промышленности, для производства пластмасс, в металлообработке и т.д.

Эти компании являются ведущими производителями робототехники в мире. К 2019 г. по всему миру было установлено 500 тыс. роботов компании Fanuc, 400 тыс. ед. — Yaskawa Motoman, 381 тыс. ед. — Kuka (табл. 1).

Таблица 1. Количество установленных ПР за всё время (тыс. ед.). Источник: [4,5,6].

Компании	2014	2018	2019
Fanuc	250	400	500
Yaskawa Motoman	300	360	400
Kuka	100	350	381

Роботы для паллетирования с помощью специального захвата осуществляют подбор продукции с конвейера и укладывают ее на паллеты. Грузоподъемность роботов-паллетайзеров Motoman составляет 50–800 кг, Fanuc — 40–1700 кг.

Роботы-паллетайзеры Motoman используются на заводах Boeing, Audi; Fanuc — для паллетирования изоляционных материалов, компонентов для грузовых автомобилей DAF, на заводах Honda, Audi, Volkswagen, Hyundai, Nissan, Opel и BMW, в пищевой промышленности - укладывают на паллеты сыры, джемы, консервы и другую продукцию в компаниях Nestlé, Unilever, Budweiser, Coca-Cola и др. В компании Hero AG для заполнения коробок с джемом и укладки их на поддоны применяются три робота Fanuc M-710iC.

Роботизированная точечная сварка является одной из самых востребованных операций на современном производстве. Она характеризуется высокой производительностью при стабильном качестве выполнения работы. Точечная сварка в основном применяется в автомобильной промышленности. Например, роботы Kuka для точечной сварки сваривают держатель приборной панели на заводе Mercedes, кузова для Jeep Wrangler на заводе Toledo, также применяются в металлургической промышленности.

В России сварочные роботы применяются на заводах Volgabus (производство автобусов, используется 29 роботов Kuka), LADA — 13 сварочных робота, АвтоВаз — 6 ед. В 2019 г. КАМАЗ установил 11 сварочных роботов Kuka [7]. На заводах компании «Группа ГАЗ» задействованы более 600 ПР, из которых 100 ед. — роботы Kuka. На сварочных линиях установлено более 90 роботов Fanuc [8].

Покрасочные роботы используются для выполнения широкого круга задач. Например, в автомобильной промышленности — для покраски и нанесения разнообразных покрытий на колесные диски машин, покраски деталей и кузовов автомобилей; в мебельной промышленности они окрашивают изделия, наносят лак на деревянные поверхности, в электронной — красят крышки ноутбуков.

Покрасочные роботы Kuka используются в компаниях Boeing, Hanneх, на автомобильных заводах BMW, Ford, Porsche, Mercedes Benz, Audi, Chrysler, Ferrari.

Моделирование зависимости цены промышленных роботов от их технических показателей. Для построения моделей зависимости рассмотрены роботы Kuka для точечной сварки (8 моделей роботов), произведенные в период 2008–2016 гг. и ценой от 16 тыс. долл. до 52 тыс. долл.; покрасочные роботы Kuka 2002–2015 гг. выпуска и ценой 11–78 тыс. долл. (22 ПР); роботы-паллетайзеры Fanuc — произведенные в период 2003–2017 гг. и ценой 10–55 тыс. долл. (20 ПР), Yaskawa Motoman — 2009–2015 гг. выпуска и ценой от 23 тыс. долл. до 51 тыс. долл. (8 ПР).

Для роботов компании Kuka, предназначенных для покраски и точечной сварки, были построены модели зависимости цены от грузоподъемности, технического индекса и года выпуска.

Технический индекс (ТІ) рассчитан как отношение произведения грузоподъемности на радиус действия к массе роботов:

$$ТІ = \frac{\text{грузоподъемность} \times \text{радиус действия}}{\text{масса}}$$

Такой выбор технического индекса связан с тем, что развитие ПР направлено на увеличение их грузоподъемности и радиуса действия при снижении массы.

Моделирование зависимости цены ПР от технических показателей проведено на основании данных, приведенных в табл. 2,3.

Таблица 2. Техничко-экономические показатели покрасочных роботов Кука (по данным [9]).

Модель робота	год	цена, долл.	грузо-подъемность, кг	радиус действия, мм	масса, кг	точность позиционирования, мм
KR 150	2002	11809	150	2700	1245	0.12
KR 180	2006	11809	180	2700	1267	0.12
KR 210	2005	11809	210	2700	1267	0.12
KR 16 KS-F	2007	13954	16	1801	235	0.1
KR 60 L45-3	2004	13982	45	2430	610	0.25
KR 240	2008	14665	240	2700	1267	0.12
KR 16 KS	2007	15035	16	1801	235	0.1
KR 30 L16	2004	16892	16	3102	700	0.07
KR 150-2	2009	17526	150	2700
KR 60 L30-3 KS	2007	18520	30	...	615	0.25
KR 360	2006	18645	360	2826	2350	0.15
KR 30-3	2011	18724	30	2033	665	0.15
KR 60-3 F	2009	19764	60	2041	880	0.06
KR 360 L240-2	2007	20882	240	3300
KR 5 Arc	2015	21184	5	1412	127	0.1
KR 60	2010	21727	60	2033	635	0.2
KR 30-2	2003	21929	30	2033	865	0.15
KR 30 L16-2	2015	25922	16	3102	700	0.07
KR 210-2 F	2009	40737	210	2700	1412	0.06
KR 500 L340-3	2013	49900	340	3325	2411	...
KR 500	2008	52799	500	2836	2350	0.15
KR 500-3	2014	78338	500	2826	2385	...

Технические характеристики роботов Кука для точечной сварки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Техничко-экономические показатели роботов Кука для точечной сварки (по данным [9]).

Модель робота	Год выпуска	Цена, долл.	Грузоподъемность, кг	Радиус действия, мм	Точность позиционирования, мм	Масса, кг	ТТ
KR 6 R1820	2016	16602	6	1820	0.04	168	65.0
KR 210 R2700-2	2008	20007	210	2701	0.05	1077	526.7
KR 240 R3330	2013	29517	240	3326	0.08	2421	329.7
KR 360 R2830	2016	36222	360	2826	0.08	2385	426.6
KR 150 R2700-2	2014	37356	150	2701	0.05	1072	377.9
KR 10 R1420	2016	40800	10	1420	0.04	160	88.8
KR 280 R3080	2015	49478	280	3076	0.08	2415	356.6
KR 500 R2830	2016	52799	500	2826	0.08	2385	592.5

Для перечисленных моделей роботов Кука были построены зависимости вида:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + bt, \quad (1)$$

где Y — цена или логарифм цены роботов, тыс. долл., x_1 — грузоподъемность, кг, x_2 — логарифм технического индекса, t — год выпуска роботов.

Получена положительная корреляция между ценой покрасочных роботов и их грузоподъемностью (модель 1), а также техническим индексом (модель 2), см. табл. 4. При этом цена роботов увеличивается с течением времени.

В модели 3 увеличение технического индекса приводит к большему росту цены по сравнению с покрасочными роботами этой же фирмы (модель 2). Увеличение года выпуска робота для точечной сварки повышает его стоимость в большей степени, чем у покрасочного.

Технические показатели роботов компаний Fanuc [10] и Yaskawa [11] использованы для получения моделей 4 и 5 (табл. 4). Для обеих компаний получена положительная корреляция между логарифмом цены робота и логарифмом технического индекса.

Таблица 4. Оценки параметров модели (1) для разных типов промышленных роботов Kuka, Fanuc и Yaskawa.

Параметры	Покрасочные роботы Kuka		Роботы для точечной сварки Kuka	Роботы-паллетайзеры Fanuc	Роботы-паллетайзеры Yaskawa
	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5
Y	цена	Логарифм цены	Логарифм цены	Логарифм цены	Логарифм цены
a_0	12770 (3.5)	-152.2 (-3.17)	-218.4 (-2.4)	-104.1 (-3.2)	8.8 (14.5)
a_1	75.1 (4.5)
a_2	...	0.28 (2.34)	0.4 (2.4)	0.4 (3.8)	0.3 (2.7)
b	...	0.08 (3.35)	0.1 (2.5)	0.1 (3.4)	...
R^2	0.50	0.50	0.63	0.63	0.55

Заключение. Таким образом, в данной работе были рассмотрены модели промышленных роботов для выполнения наиболее распространенных операций. Получено, что цена промышленных роботов компаний Kuka, Yaskawa Motoman и Fanuc для различных операций растет с увеличением технического индекса и года выпуска модели. Также выявлена положительная корреляция между ценой роботов и их грузоподъемностью для покрасочных роботов Kuka.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комкина Т.А., Никонова М.А., Дубинина М.Г. Технико-экономический анализ отдельных видов сервисных роботов // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т.19, вып.10. С. 1965–1986.
 DOI: <https://doi.org/10.24891/ea.19.10.1965>.

2. *Варшавский А.Е., Дубинина В.В.* Основные тенденции изменения технико-экономических показателей промышленных роботов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2018. – Т. 14, № 10. – С. 1916 – 1935. <https://doi.org/10.24891/ni.14.10.1916>
3. Цифры про роботов. Отчет IFR и НАУПП о рынке робототехники. URL: <https://ritm-magazine.ru/ru/video/cifry-pro-robotov-otchet-ifr-i-naurr-o-rynke-robototekhniki.html>
4. Использование промышленных роботов: обзор рынка робототехники в России и мире. URL: https://delprof.ru/upload/iblock/987/DelProf_Analitika_Rynok-robototekhniki.pdf
5. НАУПП. Аналитическое исследование: Мировой рынок робототехники. URL: [http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rynka-robototekhniki-\(yanvar-2016\).pdf](http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rynka-robototekhniki-(yanvar-2016).pdf)
6. Сбербанк. Аналитический обзор мирового рынка робототехники 2019. URL: https://adindex.ru/files2/access/2019_07/273895_sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf
7. Производственные роботы-манипуляторы KUKA – немецкое качество. URL: <https://vektor.us.ru/blog/obzory/robot-manipulyator-kuka.html>
8. ГАЗ. Роботизация производственных площадок. URL: <https://gazgroup.ru/technology/robots/>
9. Промышленные роботы Kuka. URL: <https://www.kuka.com/ru-ru/продукция-услуги/промышленная-робототехника/промышленные-роботы>
10. Промышленные роботы Fanuc. URL: <https://www.fanuc.eu/ru/роботы>
11. Роботы Motoman. URL: <https://ru.yaskawa.eu.com/products/robots>

ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF INDUSTRIAL ROBOTS

Dubinina V.V.

This paper presents the analysis of technical and economic indicators of industrial robots for painting, spot welding and palletizing by Kuka, Fanuc and Yaskawa Motoman. For these robots, the models of the dependencies of the price on the payload, reach, repeatability, robot weight and technical index are developed.