

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ*

Александр Евгеньевич ВАРШАВСКИЙ^а, Виктория Васильевна ДУБИНИНА^б

^а доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Российская Федерация
varshav@cemi.rssi.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 7987-6250

^б ведущий инженер, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Российская Федерация
Viktoria@li.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Получена 16.04.2018
Получена в доработанном виде 11.05.2018
Одобрена 13.08.2018
Доступна онлайн 15.10.2018

УДК 330.4

JEL: O14, O33

Аннотация

Предмет. Анализ тенденций развития промышленных роботов ведущих зарубежных компаний на основе рассмотрения закономерностей изменения их основных технико-экономических показателей (цена, масса, грузоподъемность, радиус действия, точность позиционирования).

Цели. Выявление закономерностей и тенденций изменения основных технико-экономических показателей промышленных роботов во времени, а также взаимосвязи между показателями в целях использования их в дальнейшем для оценки и прогнозирования показателей отечественной робототехники.

Методология. Методология исследования основана на изучении и моделировании показателей промышленных роботов большой, средней и малой грузоподъемности.

Результаты. Показано, что технико-экономические характеристики промышленных роботов изменяются в соответствии с определенными тенденциями, о чем свидетельствует близость результатов, выявленных для роботов обеих рассмотренных компаний.

Выводы. Установлено наличие общих тенденций изменения основных технико-экономических показателей роботов обеих компаний в течение достаточно длительного периода времени. Во всех трех группах роботов различной грузоподъемности наблюдаются в целом рост цены, снижение массы и повышение точности позиционирования. При этом при росте грузоподъемности роботов каждой из выделенных групп наблюдается повышение их цены. Повышение точности позиционирования роботов большой грузоподъемности также ведет к росту их стоимости. Масса роботов, как правило, также повышается при росте грузоподъемности (характерно для всех роботов Fanuc и роботов большой грузоподъемности компании ABB) и радиуса действия. В то же время статистически значимая зависимость цены от точности роботов средней и малой грузоподъемности и от радиуса действия робота во всех трех группах роботов не была выявлена. Результаты проведенного анализа основных тенденций изменения технико-экономических показателей промышленных роботов, разработанных в последние десятилетия за рубежом, могут послужить основой для оценки и прогнозирования показателей отечественной робототехники, развитие которой необходимо для обеспечения научно-технологической безопасности России.

Ключевые слова:

промышленные роботы, технико-экономические показатели

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2018

Для цитирования: 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>

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется IV промышленной революции, реализация которой основана на развитии робототехники, информационно-коммуникационных и других прогрессивных технологий.

Центральным звеном в программе Industry 4.0 является сотрудничество человека и робота. Промышленные роботы (ПР) будут помогать работникам в решении различных задач, помимо повышения производительности труда повысится возможность трудиться для более пожилых рабочих, можно будет выпускать небольшие партии товара благодаря возможности быстрой перенастройки оборудования.

Тенденции развития промышленных роботов характеризуются следующими особенностями: повышением простоты использования, развертывания и обслуживания; созданием коллаборативных роботов; новыми способами управления роботами; усовершенствованием органов «чувств» роботов; повышением показателей эффективности производства при использовании роботов и обучением новых сотрудников с помощью роботов.

Промышленные роботы выполняют следующие задачи: погрузочно-разгрузочные работы, перемещение и упаковку изделий, укладку на паллеты; сварку, монтаж, обработку деталей, нанесение различных составов на поверхность, сборку [1].

Наиболее широко роботы используются в автомобильной промышленности (ежегодные отгрузки выросли с 69,1 тыс. в 2013 г. до 98,9 тыс. роботов в 2014 г.), однако в структуре парка используемых промышленных роботов доля этой отрасли несколько сокращается¹. Так, внедрение коллаборативных роботов привело к росту доли электронной промышленности в парке

роботов и отгрузках (с 36,1 тыс. ед. в 2013 г. до 48,4 тыс. ед. в 2014 г.).

Однако наша страна отстает от развитых и целого ряда развивающихся стран по числу установленных роботов. При этом производство роботов у нас практически отсутствует, что создает риски для научно-технологической безопасности России² [2].

В настоящее время промышленные роботы в России производят несколько компаний: ООО «Торговый дом «АРКОДИМ» (с 2016 г. роботы серии ARKODIM поставляются заказчикам – робот-сварщик, паллетайзер и др.); «БИТ Роботикс» (Москва) – разработчик и производитель дельта-роботов (для пищевой, фармацевтической и упаковочной промышленности); «Рекорд-Инжиниринг» (Екатеринбург) проектирует и производит промышленные манипуляторы, грузозахватные и грузоподъемные приспособления; Eidos Robotics («Эйдос-Робототехника», Казань) – резидент инновационного центра «Сколково» (занимается разработками в области компьютерного зрения, адаптивного управления роботами и коллаборативной робототехники, производит манипуляторы серии Нехарод с шестью степенями свободы). Волжский машиностроительный завод, который ранее был единственным производителем промышленных роботов в стране, прекратил их выпуск в 2015 г., однако его универсальные промышленные роботы все еще используются на российских предприятиях.

В России продажи промышленных роботов составляют около 600 ед. в год, плотность роботизации составляет около 2 роботов на 10 тыс. рабочих; в 2017 г. у нас насчитывалось 8 тыс. ед. промышленных роботов (в мире – 1,6 млн ед.), причем около 40% заняты в автомобилестроении (в мире – 38%). При этом основными поставщиками промышленной робототехники в Россию являются компании Kuka и Fanuc, а также

^{*} Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-06-00163а.

¹ Karabegovic I., Husak E. Significance of Industrial Robots in Development of Automobile Industry in Europe and the World // *Journal Engineering Economics*. 2012. Vol. 23. No. 4. P. 368–378.

² Варшавский А.Е. Основные тенденции и показатели развития робототехники // *Концепции*. 2015. № 1. С. 16–25.

ABB, которые занимают около 90% рынка, так как отечественных производителей промышленных роботов очень мало³ [3].

В связи с необходимостью перехода на реиндустриализацию экономики при значительном расширении производства промышленных роботов у нас в стране целесообразно проанализировать, каким образом происходило развитие роботов ведущих зарубежных компаний, рассмотреть основные тенденции изменения технико-экономических показателей основных типов промышленных роботов, разработанных в последние десятилетия, с тем чтобы иметь возможность оценивать и прогнозировать показатели отечественной робототехники⁴ [4–7].

Основное внимание уделим анализу развития роботов компаний ABB и Fanuc⁵. При этом рассмотрим основные характеристики, области применения, технико-экономические показатели роботов, в том числе проведем анализ изменения цены и массы во времени, а также стоимости единицы массы робота и других удельных показателей в соответствии с методологией, изложенной в работах [8–10].

Основные экономические показатели компаний

Компания ABB производит промышленные роботы с 1974 г., когда был выпущен электрический промышленный робот IRB 6. В 1975 г. ею был создан первый в мире промышленный робот грузоподъемностью 60 кг, который был использован на

³ Конюховская А. Рынок промышленной робототехники в России и мире // *Control Engineering*. 2016. № 3; Робототехника в России: кто сегодня производит промышленных роботов? URL: <https://robo-hunter.com/news/robototekhnika-v-rossii-cto-segodnya-proizvodit-promishlennih-robotov10381>

⁴ Громов Л.М. Руководство по научно-техническому прогнозированию. М.: Прогресс, 1977. 351 с.

⁵ Дубинина М.Г. Инновационные робототехнические фирмы и перспективные направления развития робототехники // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов: Математика. Компьютер. Образование. 2014. Т. 21. № 2. С. 75–82; Shimon Y. Nof: *Handbook of Industrial Robotics*, 2nd Edition, 1999. 1378 p.; Siciliano B., Khatib O. *Springer Handbook of Robotics*, Springer Science & Business Media, 2008. 1611 p.

автомобильном заводе Saab (Швеция). Роботы компании ABB используются в автомобильной, электронной и пищевой промышленности, фармацевтике, металлургии и при производстве пластмассы. Всего установлено более 300 тыс. роботов, выпускаемых компанией⁶.

Компания Fanuc была основана как дочерняя компания Fujitsu Limited в 1955 г. К 1974 г. ею был разработан и успешно внедрен в производство первый промышленный робот, в 1975 г. – первый электроэрозионный проволочно-вырезной станок Fanuc Robocut, а в 1977 г. начался экспорт промышленных роботов. Роботы компании Fanuc используются в автомобильной, пищевой, легкой и химической отраслях, в аэрокосмической отрасли, производстве медицинских изделий, электроники, пластмасс. Компания производит 5 тыс. роботов ежемесячно⁷.

Таким образом, для обеих компаний характерен высокий уровень производительности труда, рентабельности по валовой прибыли. Показатель наукоемкости (затраты на НИОКР к общей сумме доходов) компаний находится в диапазоне 3,4–6%. Обе компании производят широкий спектр промышленных роботов. Представляют интерес основные виды и технико-экономические показатели производимых компаниями роботов.

Основные типы роботов компаний ABB и Fanuc. В данном разделе представлены основные характеристики и рассмотрены главные области применения трех групп роботов компаний ABB и Fanuc – большой (свыше 100 кг), средней (до 80 кг) и малой (до 15 кг) грузоподъемности.

Роботы компании ABB. Далее рассмотрены следующие роботы компании ABB: большой грузоподъемности – серии IRB 6400 – для точечной сварки, сборки, обслуживания станков, погрузочно-разгрузочных работ и

⁶ ABB Robotics. URL: <http://new.abb.com/products/robotics>

⁷ Fanuc. URL: <http://fanuc.eu/ru/ru>

паллетирования и IRB 6600 – для резки, сварки, упаковки, шлифования, чистки и напыления, обработки материалов, снятия заусенец; средней грузоподъемности – серия IRB 4400 – для резки и удаления заусенец, шлифования и полировки, обслуживания станков, обработки материалов; малой грузоподъемности – серия IRB 2400 – для резки и удаления заусенец, склеивания и герметизации, шлифования и полировки, обработки материалов, обслуживания станков.

Развитие роботов происходило следующим образом. *Роботы большой грузоподъемности:* 1991 г. – модульный IRB 6000 для точечной сварки: грузоподъемность 200 кг; 1994 г. – IRB 6400 для обработки тяжелых предметов и деталей, грузоподъемность 120–200 кг; 1997 г. – IRB 6400R для применения в обрабатывающей промышленности, грузоподъемность 100–200 кг; 2001 г. – IRB 7600 для обслуживания станков и прессов, точечной сварки, погрузки/разгрузки, грузоподъемность 150–500 кг; 2002 г. – IRB 6600 используется большинством производителей автомобилей во всем мире, грузоподъемность 125–225 кг; 2005 г. – IRB 660 для паллетирования, погрузки/разгрузки, грузоподъемность 180–250 кг; 2007 г. – универсальный IRB 6640, грузоподъемность 130–235 кг; IRB 6620 для точечной сварки, грузоподъемность 150 кг; 2010 г. – IRB 460 для паллетирования, грузоподъемность 110 кг; 2013 г. – IRB 6700 (7-е поколение роботов) для точечной сварки, обслуживания станков и погрузки/разгрузки, грузоподъемность 150–300 кг; 2015 г. – IRB 8700 (8-е поколение) используется в литейном производстве, добыче полезных ископаемых, грузоподъемность 800 кг⁸.

Роботы средней грузоподъемности: 1979 г. – первый электрический робот IRB 60 для точечной сварки; 1982 г. – IRB 90 с гидроприводом, разработан для точечной сварки; 1986 г. – IRB 2000, приводимый в движение двигателями переменного тока,

⁸ Robotics. IRB 6700. The Next Generation of Large Industrial Robots. URL: http://robotforum.ru/assets/files/ABB_pdf/ABB_IRB_6700.pdf

отличался большим рабочим диапазоном и высокой точностью, грузоподъемность 10 кг; 1994 г. – компактный IRB 4400, который может работать с грузами до 60 кг на больших скоростях; 2005 г. – IRB 260, может быть смонтирован в малогабаритные производственные ячейки, используется для упаковки, грузоподъемность 30 кг; 2009 г. – IRB 2600, для дуговой сварки, перемещения материалов и работы со станками; грузоподъемность 12–20 кг.

Роботы малой грузоподъемности: 1974 г. – IRB 6, робот с антропоморфической конфигурацией и микропроцессорной системой управления; предназначен для дуговой сварки; грузоподъемность 6 кг; 1996 г. – IRB 2400, самый популярный промышленный робот, грузоподъемность 5–16 кг; 1998 г. – IRB 340 FlexPicker для подбора и размещения, грузоподъемность 1–2 кг; 2005 г. – IRB 1600, для дуговой сварки, обработки материалов, склеивания, шлифования и удаления заусенцев, грузоподъемность 6–8 кг; 2006 г. – IRB 5500, самый крупный и наиболее гибкий покрасочный робот; грузоподъемность 13 кг; 2008 г. – IRB 360, высокоскоростной робот-укладчик, отличается увеличенной грузоподъемностью (1–8 кг); 2009 г. – IRB 120, самый маленький в мире многофункциональный промышленный робот, грузоподъемность 3 кг; 2010 г. – IRB 52, компактный покрасочный робот; грузоподъемность 7 кг; 2012 г. – IRB 1520ID, высокоточный дуговой сварочный аппарат; грузоподъемность 4 кг⁹ [11].

Роботы компании Fanuc. Среди роботов компании Fanuc выделены следующие: большой грузоподъемности – S-420, S-430,

⁹ Маршал Д., Бредин К. История успеха. Вклад АББ в промышленную робототехнику. URL: <http://docplayer.ru/33801365-Istoriya-uspeha-vklad-abb-v-promyshlennuyu-robototekniku-devid-marshal-kristina-bredin-vsegda-v-pervyh-tyadah.html>; Hedge G.S. A Textbook of Industrial Robotics. Laxmi Publications, 2006. 219 p.; Miller R.K. Industrial Robot Handbook. Springer Science & Business Media, 1989. 686 p.; Дубинина М.Г. Технично-экономический анализ военных БПЛА Израиля // Концепции. 2017. № 1. С. 20–28; Комкина Т.А. Особенности развития рынка роботизированных хирургических систем // Концепции. 2017. № 1. С. 29–36.

S-900, R-1000i, R-2000i, M-410, M-900i; применяются для обработки материалов, транспортировки, погрузки/выгрузки деталей, склеивания, точечной сварки, укладки на паллеты, лазерной резки; средней грузоподъемности – M-10i, M-16i, M-20i, M-420i, M-710i, Arc Mate 120i; применяются для дуговой сварки, сборки деталей, погрузки/выгрузки, транспортировки деталей, обработки материалов; малой грузоподъемности – M-2i, M-3i, M-6i, M-10i, LR Mate 200i, Arc Mate 100i; применяются для транспортировки, погрузки/выгрузки деталей, сварки и резки, см. также [12, 13].

Развитие роботов происходило следующим образом. *Роботы большой грузоподъемности:* M-900iA – 6-осевой робот для погрузки/разгрузки, сварки, обслуживания пресса, укладки на паллеты, транспортировки деталей; R-2000 – наиболее востребованные роботы Fanuc в мире; применяются для выполнения любых задач с материалами и точечной сварки; M-2000iA – наиболее грузоподъемный промышленный робот (грузоподъемность 2 300 кг), а радиус действия – 4 700 мм; обладает защитой запястья и плеча от проникновения воды и может использоваться в тяжелых условиях; применяется в автомобильной промышленности (может поднимать готовые автомобили).

Роботы средней грузоподъемности: M-20iA – легкий и компактный робот с полым запястьем для обработки, транспортировки деталей, погрузки/разгрузки, сварки; M-20iA/20M – применяется для погрузки/разгрузки, сборки и транспортировки деталей; M-10iA/12 – высокоскоростной робот с полым запястьем; применяется в пищевой промышленности для подбора и упаковывания, погрузки/разгрузки, укладки на паллеты, склеивания, герметизации, резки, полировки; серия R-1000 – многоцелевые высокоскоростные роботы; применяются при сварке, погрузке/разгрузке и укладке на паллеты.

Роботы малой грузоподъемности: Arc Mate 0iA – легкий и компактный робот для

дуговой сварки; Arc Mate 100iB – сварочный робот с электрическим сервоприводом для высокоскоростной сварки и резки, подбора и размещения; обладает узким запястьем, что обеспечивает легкий доступ к деталям; M-2iA – компактный дельта-робот для подбора и размещения, транспортировки и упаковки; подходит для использования в пищевой промышленности; обладает гладкой, легко очищающейся поверхностью; M-1iA – легкий дельта-робот; может использоваться на сборочной линии для перемещения материалов небольшого веса; применяется при сборке, упаковке в фармацевтической и электронной промышленности, при производстве пластмасс; M-3iA – используется для сбора, перемещения, погрузки/выгрузки; может подавать детали с разных сторон рабочей зоны.

Тенденции изменения технико-экономических показателей роботов

В данном разделе рассматриваются тенденции изменения цены и технических показателей (грузоподъемность, радиус действия, точность позиционирования, масса) роботов компаний ABB и Fanuc. Динамика цены и технических показателей роботов рассматривается для трех выделенных групп роботов, отличающихся по грузоподъемности (см. ранее): роботы большой, средней и малой грузоподъемности; источники данных¹⁰. Ввиду ограниченного объема статьи, далее приводятся несколько графиков только для роботов большой грузоподъемности.

Динамика цены роботов. *Роботы большой грузоподъемности.* За период 1997–2013 гг. цена роботов ABB серии IRB 6400–6600 возросла с 9 тыс. (IRB 6400-120/2.4, 1997 г.) до 29 тыс. долл. США (IRB 6640, 2007 г.), что можно объяснить увеличением сложности,

¹⁰ ABB. Robot Selector. URL:

<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/robot-selector>;

Global robots. URL: <http://globalrobots.com/robots.aspx>; Machineseeeker.

URL: <https://machineseeeker.com/fy/inserat/inseratliste/index?stichwort=industrial+robots&kategorieId=>; Fanuc.

Промышленные роботы.

URL: <http://fanuc.eu/ru/tu/роботы/страница-ассортимент-роботов>

повышением точности роботов. В целом для всех рассмотренных роботов АВВ зависимость цены P от времени описывается следующим уравнением:

$$P = 1\,628,4T - 79,186,$$

где $T = t - 1\,990$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,76$.

При этом без учета крупного робота IRB 6700 (№ 32) зависимость цены от времени описывается уравнением

$$P = 2\,168,3T - 5\,414,$$

где $T = t - 1\,990$, $R^2 = 0,87$.

За период 1998–2017 гг. цена роботов Fanuc возросла с 8 тыс. (S-420iW, 1999 г.) до 55 тыс. долл. США (R-2000iC/210L, 2016 г.). Для роботов Fanuc аналогичная зависимость имеет вид:

$$P = 1\,868,3T - 10\,391,$$

здесь и далее $T = t - 1\,990$, где t – текущий год, $R^2 = 0,64$.

Таким образом, тенденции роста цены роботов, выпускаемых двумя компаниями, достаточно близки: за 10 лет прирост цены промышленного робота большой грузоподъемности составляет примерно 16–21 тыс. долл. США (рис. 1).

В табл. 1 представлены марки роботов большой грузоподъемности компаний АВВ и Fanuc, номера которых используются на графиках.

Роботы средней грузоподъемности. За период 1994–2007 гг. цена роботов АВВ серии IRB 4400 возросла с 13 тыс. (IRB 4400-60, 1994 г.) до 30,5 тыс. долл. США (IRB 4400-60, 2007 г.). В целом для всех рассмотренных роботов АВВ зависимость цены P от времени описывается следующим уравнением:

$$P = 1\,393,4T + 4\,828,9, R^2 = 0,87.$$

За период 1998–2016 гг. цена роботов Fanuc возросла с 15 тыс. (M-710i, 1998 г.) до

30,9 тыс. долл. США (ARC Mate 120iC, 2015 г.). Зависимость цены P роботов Fanuc от времени описывается следующим уравнением:

$$P = 783,76T + 9\,337,2, R^2 = 0,58.$$

Таким образом, за 10 лет прирост цены промышленного робота средней грузоподъемности составляет примерно 7 тыс. долл. США для компании Fanuc и примерно 14 тыс. долл. США – для компании АВВ.

Роботы малой грузоподъемности. За период 1996–2006 гг. цена роботов АВВ серии IRB 2400 возросла с 11,8 тыс. (IRB 2400-10/1.5, 1996 г.) до 26,4 тыс. долл. США (IRB 2400L, 2006 г.). В целом для всех рассмотренных роботов АВВ зависимость цены P от времени описывается следующим уравнением:

$$P = 1\,258,7T + 4\,864,5, R^2 = 0,83.$$

За период 1995–2014 гг. цена роботов Fanuc возросла с 8,5 тыс. (M6i/Arcmate 100i, 1995 г.) до 22,1 тыс. долл. США (LR Mate 200iD/4S, 2014 г.). Зависимость цены P роботов Fanuc от времени описывается следующим уравнением:

$$P = 885,74T + 4\,553,1, R^2 = 0,69.$$

Таким образом, за 10 лет прирост цены робота малой грузоподъемности составляет примерно 8–13 тыс. долл. США.

Динамика массы роботов. *Роботы большой грузоподъемности.* За период 1997–2013 гг. масса роботов АВВ снизилась с 2 100 кг (IRB 6400-120/2.8, 1997 г.) до 1 250 кг (IRB 6700, 2013 г.). В целом для всех рассмотренных роботов серии IRB 6400–6600 зависимость массы M от времени для $t > 1\,995$ описывается следующим уравнением:

$$M = -72,986T + 148\,017, R^2 = 0,48.$$

В период 1994–2017 гг. также произошло снижение массы роботов Fanuc: если в начале периода она находилась в диапазоне 1 500–2 000 кг, то к концу периода уменьшилась

примерно до 1 100–1 300 кг. Исключение составляют роботы M-900iA/600, M-900iA/200P, M-900iB/400L, применяемые для резки стекловолокна (Fiberglass Cutting), подбора и перемещения деталей. Зависимость массы от времени для всех рассмотренных роботов Fanuc описывается уравнением

$$M = -4,066T + 9\,698,1, R^2 = 0,002 \quad (t \geq 1\,994).$$

При исключении трех ранее указанных роботов эта зависимость описывается уравнением

$$M = -20,853T + 43\,303, R^2 = 0,16.$$

Таким образом, можно предположить, что в 2020 г. масса роботов АВВ в среднем составит 1 130 кг, а масса роботов Fanuc – 1 390 кг; в 2025 г. – 1 045 кг и 1 370 кг соответственно, а без учета роботов Fanuc M-900iA/600, M-900iA/200P и M-900iB/400L масса составит 1 240 кг (2020 г.) и 1 200 кг (2025 г.).

Роботы средней грузоподъемности. Масса роботов АВВ составляет в среднем 1 200 кг (за исключением моделей с массой 1 040 кг, производство которых началось с 2005 г.). Зависимость массы M роботов АВВ от времени для $t \geq 1\,994$ описывается уравнением

$$M = -6,4468T + 14\,082, T = t - 1\,990, R^2 = 0,23.$$

Можно выделить два основных диапазона изменения массы роботов Fanuc: около 130–370 кг и 500–700 кг, за исключением модели M-710iW (2000 г.) массой 845 кг. Зависимость массы M для всех рассмотренных роботов Fanuc от времени описывается уравнением

$$M = -11,883T + 24\,253, T = t - 1\,990, R^2 = 0,10.$$

Таким образом, можно выделить три диапазона изменения уровня массы роботов средней грузоподъемности: 1 040–1 200 кг, 560–845 кг, 130–370 кг. Кроме того, можно предположить, что в 2020 г. масса роботов

АВВ составит около 1 120 кг, а масса роботов Fanuc – 250 кг, в 2025 г. – 1 110 кг и 230 кг соответственно.

Роботы малой грузоподъемности. У роботов малой грузоподъемности компании АВВ масса рассмотренных моделей составляет 380 кг. У роботов компании Fanuc прослеживается снижение массы со временем. Масса роботов снизилась с 290 кг (M6i/Arcmate 100i, 1995 г.) до 14–170 кг. При этом с конца 2000-х гг. масса большей части моделей находится в диапазонах примерно 14–50 кг и 110–170 кг. Зависимость массы M роботов Fanuc от времени описывается уравнением

$$M = -12,178T + 24\,570, T = t - 1\,990, R^2 = 0,48.$$

Можно предположить, что в 2020 г. масса роботов Fanuc в среднем составит 32 кг, а в 2025 г. – 26 кг.

Изменение грузоподъемности роботов.

Роботы большой грузоподъемности. Можно выделить несколько диапазонов изменения грузоподъемности роботов АВВ: 120–125 кг, 150–160, 180, 200, 225–235 кг. При этом в 1997–1999 гг. в среднем уровень грузоподъемности был несколько ниже, чем после 2000 г. У роботов Fanuc можно выделить шесть уровней грузоподъемности: 100 кг, 125, 165, 200, 250, 350–400 кг. В целом роботы компании Fanuc отличаются более высоким уровнем грузоподъемности по сравнению с роботами компании АВВ.

Роботы средней грузоподъемности. С конца 1990-х гг. можно выделить четыре уровня грузоподъемности роботов АВВ: 10 кг, 30, 45 и 60 кг. Грузоподъемность роботов Fanuc преимущественно находится в диапазоне 10–70 кг, однако начиная с 2011 г. производятся роботы грузоподъемностью 80 кг.

Роботы малой грузоподъемности. Можно выделить три уровня грузоподъемности роботов компании АВВ: 7 кг, 10 кг и 16 кг. До 2013 г. можно выделить два диапазона изменения грузоподъемности роботов

компании Fanuc: 5–8 кг и 2–3 кг, а затем этот диапазон расширился от 0,5 кг до 8 кг.

Изменение радиуса действия роботов.

Роботы большой грузоподъемности. Можно выделить два основных диапазона изменения радиуса действия роботов ABB – 2 400–2 550 мм, 2 800–3 000 мм (за исключением роботов IRB 6650-125/3.2 и IRB 6650 с радиусом действия 3 200 мм, которые применяются для точечной сварки и погрузочно-разгрузочных работ; и модели IRB 6620, которая применяется для перемещения предметов, точечной сварки и обслуживания станков с радиусом действия 2 200 мм). У роботов Fanuc можно выделить четыре диапазона изменения радиуса действия: 2 200 мм, 2 400–2 600, 3 100, 3 500–3 700 мм.

Роботы средней грузоподъемности. Можно выделить два относительно постоянных диапазона изменения радиуса действия роботов ABB: 1 950 мм и 2 450–2 550 мм. Со временем радиус действия роботов Fanuc расширяется: если до 2010 г. он находился в пределах 1 500–1 800 мм, то затем его максимальная величина повысилась до 2 000–2 200 мм, а минимальная снизилась до 1 400 мм.

Роботы малой грузоподъемности. Можно выделить два относительно стабильных диапазона изменения радиуса действия роботов ABB: 1 500–1 550 мм и 1 800 мм. У роботов Fanuc можно выделить два основных диапазона изменения радиуса действия: около 800 мм и 1 400 мм. Однако с 2013 г. диапазон радиуса действия расширился – от 300 мм до 2 000 мм.

Изменение точности позиционирования роботов.

Роботы большой грузоподъемности. Точность позиционирования роботов ABB в основном находится в диапазоне 0,07–0,2 мм. Зависимость точности позиционирования A роботов ABB от времени описывается следующим уравнением:

$$A = -0,0057T + 11,44, R^2 = 0,31.$$

Если в 1990-х гг. точность позиционирования роботов Fanuc составляла 0,4–0,5 мм, то с 2003 г. стали выпускаться роботы с более высокой точностью позиционирования – порядка 0,2–0,3 мм. Зависимость точности позиционирования A роботов Fanuc от времени описывается следующим уравнением:

$$A = -0,0086T + 17,525, R^2 = 0,29.$$

Роботы обеих компаний используются для точечной сварки, однако компания ABB выпускает в целом более точные роботы. Можно предположить, что в 2020 г. средняя точность позиционирования роботов ABB составит 0,06 мм, в 2025 г. – 0,055 мм, роботов Fanuc 0,24 и 0,23 мм соответственно.

Роботы средней грузоподъемности. Точность позиционирования роботов ABB в основном находится в диапазоне 0,05–0,1 мм, за исключением моделей IRB 4400-60 и IRB 4400-60 (0,19 мм). При этом роботы с более высокой точностью позиционирования (0,05 и 0,07 мм) стали выпускаться с 1998 г. Точность позиционирования роботов Fanuc находится в диапазоне 0,04–0,2 мм. Таким образом, можно предположить, что в 2020–2025 гг. точность позиционирования роботов ABB составит около 0,077 мм, а роботов Fanuc – около 0,07 мм.

Роботы малой грузоподъемности. Зависимость точности позиционирования A роботов ABB описывается следующим уравнением:

$$A = -0,0003T + 0,58, R^2 = 0,005.$$

Зависимость точности позиционирования A роботов Fanuc описывается следующим уравнением:

$$A = -0,0029T + 5,85, R^2 = 0,24.$$

Таким образом, можно предположить, что в 2020 г. точность позиционирования роботов ABB и Fanuc составит 0,0459 и 0,03 мм, а в 2025 г. – 0,0452 и 0,026 мм соответственно.

Зависимость цены от технических показателей

В данном разделе рассматриваются зависимости цены от массы, грузоподъемности и точности позиционирования (статистически значимая зависимость цены от радиуса действия для всех групп роботов не была выявлена).

Зависимость цены от массы. *Роботы большой грузоподъемности.* Зависимость цены P роботов АВВ от массы M описывается уравнением

$$P = 3 \cdot 10^7 \cdot M^{-0,98}, R^2 = 0,31.$$

Увеличение массы на 1% ведет к снижению цены на 0,98%. Цена роботов Fanuc слабо зависит от их массы; можно лишь отметить некоторое снижение цены с увеличением массы. Соответствующая зависимость для роботов Fanuc описывается уравнением

$$P = 153\,269M^{-0,26}, R^2 = 0,02.$$

Увеличение массы на 1% ведет к снижению цены на 0,26%. При исключении роботов сверхбольшой массы (M-900iA/600, M-900iA/200P, M-900iB/400L) зависимость описывается уравнением

$$P = 1 \cdot 10^7 \cdot M^{-0,89}, R^2 = 0,15.$$

Рост массы на 1% ведет к снижению цены на 0,89%.

Роботы средней грузоподъемности. Можно выделить два диапазона изменения цены роботов АВВ: примерно 13–17 тыс. и 22–30 тыс. долл. США. У роботов Fanuc выделяются четыре основных диапазона: 14–15 тыс. долл. США, 19–21 тыс., 25–28 тыс. и 30–32 тыс. долл. США. Для них получено следующее уравнение:

$$P = 49\,327M^{-0,13}, R^2 = 0,06.$$

Увеличение массы на 1% ведет к снижению цены на 0,13%. При исключении роботов M-16iB/20 и M-710iB/70 уравнение имеет вид:

$$P = 7\,3942M^{-0,2}, R^2 = 0,22.$$

Таким образом, рост массы на 1% ведет к снижению цены на 0,2%.

Роботы малой грузоподъемности. Масса роботов компании АВВ одинакова у всех моделей. Более ранние модели роботов компании Fanuc отличались большой массой (около 290 кг) и относительно низкой ценой. Однако диапазон изменения цены для роботов с массой около 150 кг и роботов более легких (20–50 кг) примерно одинаков – от 15 до 30 тыс. долл. США.

Зависимость цены от грузоподъемности. *Роботы большой грузоподъемности.* Зависимость цены P от грузоподъемности C роботов АВВ описывается следующим уравнением:

$$P = 41,27C^{1,18}, R^2 = 0,44.$$

При увеличении грузоподъемности на 1% цена увеличивается на 1,18% (рис. 2а). Для роботов Fanuc при исключении робота сверхбольшой грузоподъемности (M-900iA/600) эта зависимость описывается уравнением

$$P = 2\,325,2C^{0,43}, R^2 = 0,08.$$

При увеличении грузоподъемности на 1% цена увеличивается на 0,43% (рис. 2б).

Роботы средней грузоподъемности. Можно выделить три основных диапазона изменения цены роботов АВВ: 13–15 тыс., 16–17 тыс. и 22 тыс. долл. США. Средняя цена роботов АВВ и Fanuc слабо зависит от их грузоподъемности. В среднем для АВВ примерно 19,5 тыс. долл. США, Fanuc – 23,7 тыс. долл. США.

Роботы малой грузоподъемности. Можно выделить три основных диапазона изменения грузоподъемности роботов АВВ: 5–7 кг, 10 кг и 16 кг. Средняя цена роботов Fanuc также незначительно зависит от грузоподъемности.

Зависимость цены от точности позиционирования. *Роботы большой грузоподъемности.* Повышение точности позиционирования роботов также сопряжено с ростом цены. Однако при одной и той же

точности позиционирования цена роботов может значительно отличаться. Зависимость цены P роботов АВВ от точности позиционирования A описывается следующим уравнением:

$$P = 1\,855,8A^{-1,01}, R^2 = 0,49.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению цены на 1,01%. Зависимость цены P роботов Fanuc от точности позиционирования A описывается уравнением

$$P = 132\,46A^{-0,43}, R^2 = 0,06.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению цены на 0,43%. При этом роботы большой грузоподъемности компании Fanuc в целом менее точны по сравнению с роботами компании АВВ.

Роботы средней грузоподъемности. Статистически значимая зависимость цены от точности позиционирования роботов компаний АВВ и Fanuc не выявлена.

Роботы малой грузоподъемности. При одной и той же точности позиционирования цена роботов обеих компаний может значительно отличаться из-за различной сложности и назначения.

Зависимость массы от технических показателей

В данном разделе рассматриваются зависимости массы от таких технических показателей, как точность позиционирования, грузоподъемность, радиус действия.

Зависимость массы от точности позиционирования. *Роботы большой грузоподъемности.* Зависимость массы M всех роботов АВВ от точности позиционирования A описывается уравнением:

$$M = 4\,513,8A^{0,39}, R^2 = 0,24.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению массы на 0,39% (рис. 3а).

Более легкие роботы Fanuc отличаются более высокой точностью позиционирования. Для всех роботов Fanuc эта зависимость описывается уравнением

$$M = 2\,900,4A^{0,58}, R^2 = 0,41.$$

При исключении роботов S-420FD (№ 1), S-900H (№ 5), M-410iHW (№ 6), S-430iW (№ 7), S-430iF (№ 8), S-900iB/200 (№ 9), M-900iB/400L (№ 39), точность позиционирования которых наиболее низка и равна 0,5 мм, зависимость имеет вид

$$M = 4\,278,3A^{0,85}, R^2 = 0,52,$$

то есть повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению массы на 0,85% (рис. 3б).

Роботы средней грузоподъемности. Масса роботов АВВ средней грузоподъемности находится в диапазоне 1040–1200 кг и практически не зависит от точности позиционирования. В отличие от роботов АВВ более легкие роботы компании Fanuc имеют более высокую точность позиционирования. Зависимость массы M роботов Fanuc от точности позиционирования A описывается следующим уравнением:

$$M = 2\,138,2A^{0,79}, R^2 = 0,4.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению массы на 0,79%.

Роботы малой грузоподъемности. Масса рассмотренных роботов АВВ одинакова (380 кг). В начале рассматриваемого периода масса роботов Fanuc изменялась в широком диапазоне – от 14 до 290 кг, но затем этот диапазон уменьшился до 45–57 кг. Зависимость массы M роботов Fanuc от точности позиционирования A достаточно хорошо описывается уравнением

$$M = 5\,901,9A^{1,45}, R^2 = 0,93.$$

Таким образом, повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению массы на 1,45%.

Зависимость массы от грузоподъемности. Роботы большой грузоподъемности. Можно отметить рост массы роботов АВВ при снижении грузоподъемности. Масса роботов Fanuc возрастает с увеличением их грузоподъемности. Зависимость массы M всех роботов Fanuc от грузоподъемности C описывается следующим уравнением:

$$M = 176,92C^{0,4}, R^2 = 0,27.$$

Повышение грузоподъемности на 1% ведет к увеличению массы на 0,4%. Для роботов с массой 2 000 кг и менее (без M-900iA/600, M-900iA/200P, M-900iB/400L) зависимость описывается уравнением

$$M = 399,19C^{0,24}, R^2 = 0,11.$$

Повышение грузоподъемности на 1% ведет к увеличению массы на 0,24%.

Роботы средней грузоподъемности. Масса роботов АВВ средней грузоподъемности зависит от грузоподъемности. Зависимость массы M роботов Fanuc от грузоподъемности C описывается уравнением

$$M = 42,143C^{0,65}, R^2 = 0,67.$$

Повышение грузоподъемности на 1% ведет к увеличению массы на 0,65%.

Роботы малой грузоподъемности. Масса рассмотренных роботов АВВ составляет 380 кг. В начале периода можно выделить три основных диапазона изменения массы роботов Fanuc: 290 кг, 110–175 кг и 14–39 кг. Затем диапазон изменения массы снизился до 24–150 кг. В целом масса M роботов Fanuc возрастает с ростом грузоподъемности C в соответствии с уравнением

$$M = 30,063C^{0,54}, R^2 = 0,11.$$

Повышение грузоподъемности на 1% ведет к увеличению массы на 0,54%. При исключении роботов M-6i, ArcMate 100i зависимость описывается уравнением

$$M = 34,259C^{0,25}, R^2 = 0,04.$$

Повышение грузоподъемности на 1% ведет к увеличению массы на 0,25%.

Зависимость массы от радиуса действия. Роботы большой грузоподъемности. Зависимость массы M роботов АВВ от радиуса действия r описывается уравнением

$$M = 6,4751r^{0,72}, R^2 = 0,08.$$

При росте радиуса действия на 1% масса увеличивается на 0,72%. При исключении роботов IRB 6400R-150/2.5 (№ 17), IRB 6400R-200/2.5 (№ 18) и IRB 6650-125/3.2 (№ 19) уравнение имеет вид:

$$M = 0,3041r^{1,11}, R^2 = 0,17 \text{ (рис. 4a)}.$$

С ростом радиуса действия роботов компании Fanuc масса также возрастает. Соответствующее уравнение имеет вид:

$$M = 0,36r^{1,05}, R^2 = 0,26.$$

При росте радиуса действия на 1% масса увеличивается на 1,05% (рис. 4b).

Роботы средней грузоподъемности. Зависимость массы M роботов АВВ от радиуса действия r описывается уравнением

$$M = 568,95r^{0,1}, R^2 = 0,06.$$

Повышение радиуса действия на 1% ведет к увеличению массы на 0,1%. Зависимость массы M от радиуса действия r роботов Fanuc описывается следующим уравнением:

$$M = 2 \cdot 10^{-6} \cdot r^{2,51}, R^2 = 0,3.$$

Повышение радиуса действия на 1% ведет к увеличению массы на 2,51%.

Роботы малой грузоподъемности. Масса роботов компании АВВ одинакова для всех роботов (380 кг). Зависимость массы M от радиуса действия r роботов Fanuc описывается следующим уравнением:

$$M = 3 \cdot 10^{-5} \cdot r^{2,14}, R^2 = 0,74.$$

Повышение радиуса действия на 1% ведет к увеличению массы на 2,14%. При исключении

роботов M-6i, ArcMate 100i зависимость описывается уравнением

$$M = 0,0005r^{1,7}, R^2 = 0,74.$$

Повышение радиуса действия на 1% ведет к увеличению массы на 1,7%.

Взаимосвязь технических показателей

Проведенный анализ не выявил статистически значимой зависимости радиуса действия от точности позиционирования и грузоподъемности, получена лишь зависимость грузоподъемности от точности позиционирования.

Зависимость грузоподъемности от точности позиционирования. Роботы большой грузоподъемности. Зависимость грузоподъемности C роботов АВВ от точности позиционирования A описывается следующим уравнением:

$$C = 73,184A^{-0,37}, R^2 = 0,21.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению грузоподъемности на 0,37%. Соответствующая зависимость для всех роботов Fanuc описывается уравнением

$$C = 268,84A^{0,30}, R^2 = 0,63.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению грузоподъемности на 0,3%. При исключении роботов сверхбольшой грузоподъемности – M-900iA/600 и M-900iA/400L – зависимость описывается уравнением

$$C = 209,1A^{0,13}, R^2 = 0,02.$$

Повышение точности позиционирования на 1% ведет к снижению грузоподъемности на 0,13%.

Роботы средней грузоподъемности. Зависимость грузоподъемности C роботов АВВ от точности позиционирования A описывается следующим уравнением:

$$C = 542,8A^{1,09}, R^2 = 0,43.$$

При повышении точности позиционирования на 1% грузоподъемность снижается на 1,09%. Зависимость для роботов Fanuc описывается уравнением

$$C = 180,18A^{0,84}, R^2 = 0,23.$$

При повышении точности позиционирования на 1% грузоподъемность снижается на 0,84%.

Роботы малой грузоподъемности. Зависимость грузоподъемности C роботов АВВ от их точности позиционирования A описывается следующим уравнением:

$$C = 0,2961A^{-1,2}, R^2 = 0,5.$$

Для роботов Fanuc уравнение имеет вид:

$$C = 8,5279A^{0,19}, R^2 = 0,06.$$

При повышении точности позиционирования на 1% грузоподъемность снижается на 0,19%.

Заключение

Проведенный анализ развития промышленных роботов различного назначения, производимых двумя компаниями – АВВ и Fanuc, свидетельствует о наличии общих тенденций изменения основных технико-экономических показателей в течение достаточно длительного периода времени.

Анализ выявил достаточно близкие тенденции роста цены трех групп роботов различной грузоподъемности. При этом происходило снижение массы во всех трех группах роботов (за исключением роботов малой грузоподъемности компании АВВ). Наблюдается также в среднем повышение точности позиционирования роботов. Соответственно, снижение массы роботов сопровождается ростом их цены (исключением являются роботы малой грузоподъемности компании АВВ, масса которых одинакова, но цена изменяется в достаточно широком диапазоне).

В то же время при росте грузоподъемности роботов каждой из трех групп наблюдается повышение их цены. Однако зависимость

цены от радиуса действия робота во всех трех группах роботов не была выявлена. Повышение точности позиционирования роботов большой грузоподъемности также ведет к росту их стоимости. При этом статистически значимая зависимость цены от точности роботов средней и малой грузоподъемности не была выявлена.

Роботы более высокой точности позиционирования, производимые компанией Fanuc, характеризуются меньшей массой (эта зависимость наблюдается во всех трех группах роботов). Такой характер зависимости наблюдается также для роботов компании ABB, имеющих наибольшую грузоподъемность.

При росте грузоподъемности в большинстве случаев происходит рост массы роботов.

Однако если такая зависимость характерна для всех трех групп роботов компании Fanuc, то для роботов компании ABB она характерна лишь для группы роботов большой грузоподъемности. Масса роботов повышается также с ростом радиуса действия. Более точные роботы имеют чаще всего меньшую грузоподъемность (такая зависимость характерна для роботов Fanuc всех трех групп грузоподъемности). С помощью выявленных однофакторных зависимостей была проведена также оценка эластичностей изменения ряда показателей, что позволяет оценить различные варианты возможного влияния изменения одних технико-экономических показателей на другие.

Таблица 1
Роботы большой грузоподъемности компаний ABB и Fanuc

Table 1
ABB and Fanuc large capacity robots

№ робота	Модель робота
Роботы большой грузоподъемности компании ABB	
1	IRB 6400-120/2.8
2	IRB 6400-120/2.4
3	IRB 6400-120/2.4
4	IRB 6400-120/2.8
5	IRB 6400-200/2.4
6	IRB 6400S
7	IRB 6400-120/2.4
8	IRB 6400-150/2.4
9	IRB 640
10	IRB 6400R-150/2.5
11	IRB 6400R-150/2.8
12	IRB 6400R-150/2.8
13	IRB 6400 Foundry Prime
14	IRB 6600-175/2.55
15	IRB 6600-225
16	IRB 6600-175/2.8
17	IRB 6400R-150
18	IRB 6400R-200
19	IRB 6600-125
20	IRB 6650S
21	IRB 6400R-150/2.8
22	IRB 6400R-200/2.8
23	IRB 6600-175/2.55
24	IRB 6600-175/2.8
25	IRB 6600-175/2.55
26	IRB 6600-225/2.55
27	IRB 6640 Foundry Plus
28	IRB 6650
29	IRB 6620
30	IRB 6600-175/2.8
31	IRB 6640
32	IRB 6700
Роботы большой грузоподъемности компании Fanuc	
1	S-420FD
2	S-420S
3	S-420iF
4	S-420iW
5	S-900H
6	M-410i HW
7	S-430iW
8	S-430iF
9	S-900iB/200
10	R-2000iA/200F
11	S-430iR
12	S-430iL
13	F-200iB
14	R-2000iA/165
15	R-2000iA/165F
16	R-2000iA/165EW
17	R-2000iA/165R
18	R-2000iB/165R
19	R-2000iB/200T
20	R-2000iA 125L

21	R-2000iA/200EW
22	M-900iA/350
23	R-2000iB/100H
24	R-2000iB/165F
25	R-2000iB/125L
26	R-2000iB/210F
27	R-1000iA/100F
28	M-900iA/260L
29	R-2000iA/210F
30	R-2000iB/200R
31	M-900iA/600
32	R-2000iB/150U
33	R-2000iB/170CF
34	M-900iA/350
35	R-2000iB/100P
36	R-2000iC/165F
37	M-900iA/200P
38	R-2000iB/210WE
39	M-900iB/400L
40	R-2000iC/125L
41	R-2000iC/210F
42	R-2000iC/270F
43	R-2000iC/210L
44	M-900iB/360
45	R-2000iB/220U
46	M-900iB/280L

Источник: авторская разработка

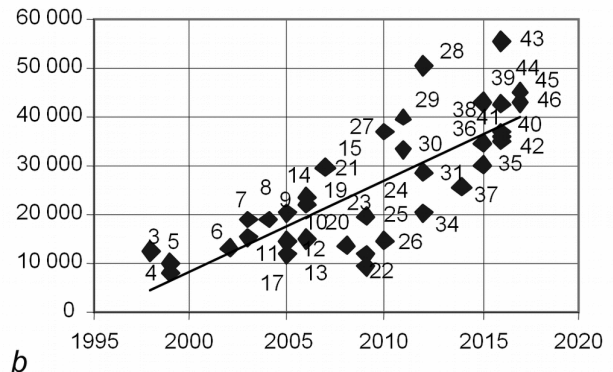
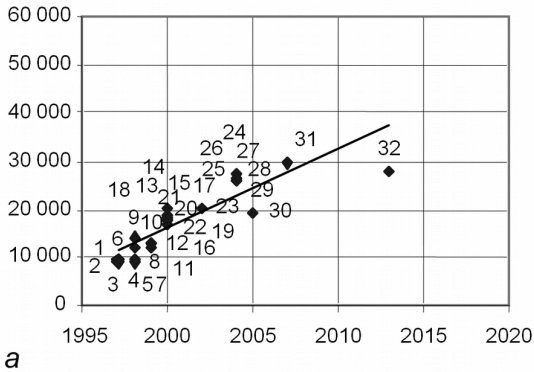
Source: Authoring

Рисунок 1

Зависимость цены (долл. США) роботов большой грузоподъемности от времени: а) АBB; б) Fanuc

Figure 1

The correlation of the price (USD) for large capacity robots and time: а) АBB; б) Fanuc



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

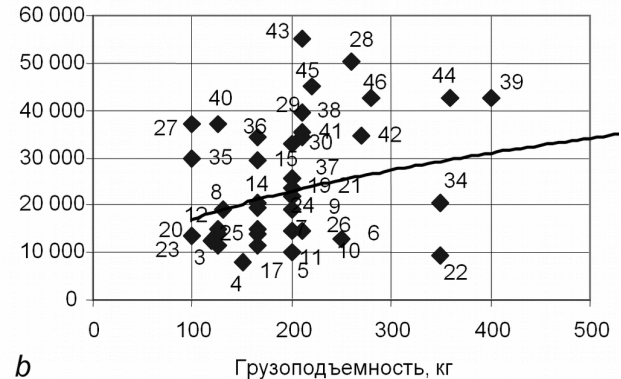
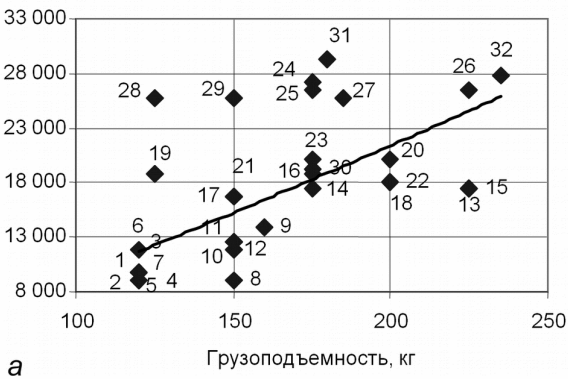
Рисунок 2

Зависимость цены (долл. США) роботов большой грузоподъемности от грузоподъемности (кг): а) АBB; б) Fanuc

а) АBB; б) Fanuc

Figure 2

The correlation of the price (USD) for large capacity robots and carrying capacity (kg): а) АBB; б) Fanuc



Источник: авторская разработка

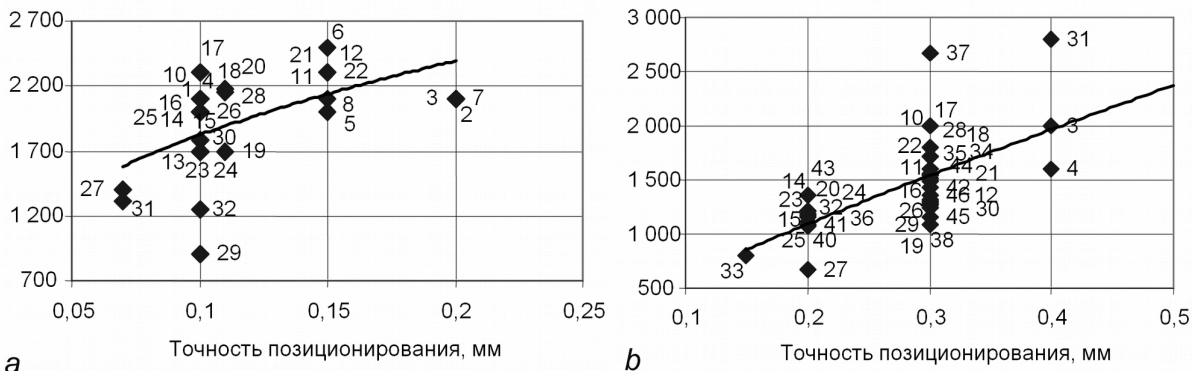
Source: Authoring

Рисунок 3

Зависимость массы (кг) роботов большой грузоподъемности от точности позиционирования (мм): а) ABB; б) Fanuc

Figure 3

The correlation of mass (kg) of large capacity robots and positioning accuracy (mm): a) ABB; b) Fanuc



Источник: авторская разработка

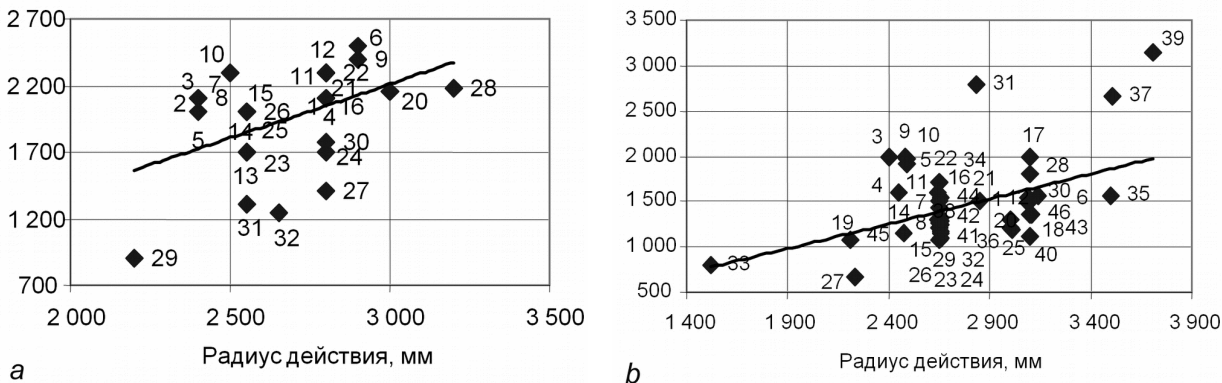
Source: Authoring

Рисунок 4

Зависимость массы (кг) роботов большой грузоподъемности от радиуса действия (мм): а) ABB; б) Fanuc

Figure 4

The correlation of mass (kg) of large capacity robots and working range (mm): a) ABB; б) Fanuc



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. McKerrow P.J. Introduction to Robotics. Sydney: Addison-Wesley Publishing Company, 1991. 811 p.
2. Варшавский А.Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8. № 4с. С. 682–697. URL: <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2017.8.4.682-697>
3. Матюшок В.М., Красавина В.А. Мировой рынок новейших ИТ-технологий и национальные интересы // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2017. Т. 13. Вып. 11. С. 1988–2004. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.11.1988>

4. Martino J.P. *Technological Forecasting for Decision Making*. McGraw-Hill, 1993. 462 p.
5. Варшавский А.Е., Дубинина М.Г. Синергия производства военной и гражданской продукции (на примере авиационной промышленности) // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2017. Т. 13. Вып. 1. С. 20–33. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.1.20>
6. Камараева Е.Я., Максимов Н.А., Пьянова М.В. О налоговых последствиях роботизации // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2017. Т. 13. Вып. 9. С. 1608–1622. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.9.1608>
7. Ларин С.Н., Баранова Н.М., Хрусталёв Е.Ю. Развитие IT-индустрии как определяющая тенденция роста экономики знаний: анализ опыта США и России // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2017. Т. 13. Вып. 4. С. 615–630. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.4.615>
8. Сахал Д. *Технический прогресс: концепции, модели, оценки* / под ред. А.А. Рывкина. М.: Финансы и статистика, 1985. 366 с.
9. Мартино Дж. *Технологическое прогнозирование*. М.: Прогресс, 1977. 591 с.
10. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Методология управления созданием высокотехнологичной продукции на этапах формирования научно-технического задела // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 200–220. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.2.200>
11. Ross L.T., Fardo S.W., Masterson J.W., Towers R. *Robotics: Theory and Industrial Applications*. Goodheart-Willcox Company, 2010. 156 p.
12. Макаров И.М., Топчиев Ю.И. *Робототехника: история и перспективы*. М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. 349 с.
13. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. *Робототехника* / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 624 с.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

PRINCIPAL TRENDS IN FEASIBILITY INDICATORS OF INDUSTRIAL ROBOTS

Aleksandr E. VARSHAVSKII ^{a*}, Viktoriya V. DUBININA ^b

^a Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
varshav@cemi.rssi.ru
ORCID: not available

^b Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
Viktoria@li.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Received 16 April 2018
Received in revised form
11 May 2018
Accepted 13 August 2018
Available online
15 October 2018

JEL classification: O14, O33

Keywords: industrial robot,
feasibility indicator

Abstract

Importance We analyze development trends of industrial robots manufactured by the leading foreign companies by reviewing how key feasibility indicators change (price, mass, payload capacity, working range, positioning accuracy).

Objectives The research identifies patterns and trends in developments of feasibility indicators of industrial robots over time. We also trace the correlation between the indicators in order to use them in the future for evaluating and forecasting the Russian robotics.

Methods In this research, we examine and model indicators of large, medium- and light-weight robots.

Results Feasibility indicators of industrial robots are showed to change in line with trends, being evidenced with the close correlation between results on robots of both companies under study.

Conclusions There are common trends in developments of key feasibility indicators of robots manufactured by the companies throughout a long period of time. Growing prices, decreasing mass and higher positioning accuracy are observed in all the three groups of robots. The higher the payload capacity of the robots, the higher their price. Higher positioning accuracy of heavy weight robots also boosts their cost. The mass of robots also tends to increase in line with their payload capacity and working range. The findings can lay the basis for evaluating and forecasting indicators of the national robotics, which should be moved forward in order to ensure the scientific and technological security of Russia.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2018

Please cite this article as: Varshavskii A.E., Dubinina V.V. Principal Trends in Feasibility Indicators of Industrial Robots. *National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 10, pp. 1916–1935.
<https://doi.org/10.24891/ni.14.10.1916>

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 17-06-00163a.

References

1. McKerrow P.J. Introduction to Robotics. Addison-Wesley Publishing, 1991, 811 p.
2. Varshavskii A.E. [Problems of the development of advanced technologies: robotics]. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovation. Research)*, 2017, vol. 8, no. 4s, pp. 682–697. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2017.8.4.682-697>

3. Matyushok V.M., Krasavina V.A. [Global market of brand new information technology and the national interests]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2017, vol. 13, iss. 11, pp. 1988–2004. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.11.1988>
4. Martino J.P. *Technological Forecasting for Decision Making*. McGraw-Hill, 1993, 462 p.
5. Varshavskii A.E., Dubinina M.G. [Synergy of the military and civilian production: A case study of the aircraft industries]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2017, vol. 13, iss. 1, pp. 20–33. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.1.20>
6. Kamaraeva E.Ya., Maksimov N.A., P'yanova M.V. [On tax implications of robotification]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2017, vol. 13, iss. 9, pp. 1608–1622. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.9.1608>
7. Larin S.N., Baranova N.M., Khrustalev E.Yu. [Development of the IT-industry as a growth trend in the knowledge economy: Analyzing the evidence from the USA and Russia]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2017, vol. 13, iss. 4, pp. 615–630. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ni.13.4.615>
8. Sahal D. *Tekhnicheskii progress: kontseptsii, modeli, otsenki* [Patterns of Technological Innovation]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 1985, 366 p.
9. Martino J.P. *Tekhnologicheskoe prognozirovanie* [Technological Forecasting for Decision Making]. Moscow, Progress Publ., 1977, 591 p.
10. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [The methodology for managing high-tech production during the formation of Science and Technology knowledge resources]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 2, pp. 200–220. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.2.200>
11. Ross L.T., Fardo S.W., Masterson J.W., Towers R. *Robotics: Theory and Industrial Applications*. Goodheart-Willcox Company, 2010, 156 p.
12. Makarov I.M., Topcheev Yu.I. *Robototekhnika: istoriya i perspektivy* [Robotics: History and prospects]. Moscow, Nauka, Moscow Aviation Institute Publ., 2003, 349 p.
13. Fu K.S., Gonzalez R.C., Lee C.S.G. *Robototekhnika* [Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence]. Moscow, Mir Publ., 1989, 624 p.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.