

УДК 338.4, 338.012

JEL: O14, O33

DOI: 10.18184/2079-4665.2020.11.3.294-319

Мировые тенденции и направления развития промышленных роботов

Александр Евгеньевич Варшавский¹, Виктория Васильевна Дубинина²

¹⁻²Центральный экономико-математический институт Российской академии наук (ЦЭМИ РАН), Москва, Российская Федерация

117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

¹varshav@cemi.rssi.ru

²Viktoria@li.ru

Аннотация

Цель. Основная цель данной статьи заключается в анализе ключевых тенденций и направлений развития промышленных роботов, а также проблем, связанных с их распространением. Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи: выполнен анализ динамики мирового парка промышленных роботов, структуры парка роботов по регионам (Европа, Америка, Азия / Австралия), а также ежегодных объемов и структуры мировых продаж роботов по ключевым отраслям промышленности; рассмотрены основные задачи промышленных роботов, выполняемые ими в этих отраслях, и направления их использования; проведены анализ динамики парка роботов по отраслям промышленности в различных странах (Япония, США, Южная Корея, Китай, Германия и др.) и анализ показателей и проблем использования промышленных роботов в России.

Методы или методология проведения работы. Методология исследования состоит в сравнительном анализе применения промышленных роботов в разных отраслях промышленности (автомобильной, пищевой, химической, электронной и др.) на основе статистических данных по странам. Применены системный подход, табличная и графическая интерпретация информации, анализ динамики уровней временного ряда, расчет индексов роста показателей.

Результаты работы. Проведенный анализ показал, что применение промышленных роботов обеспечивает снижение травматизма на рабочем месте, производственных затрат и повышение качества конечного продукта, производительности, гибкости и безопасности, что способствует значительному расширению их использования как в развитых, так и в развивающихся странах.

Выводы. В последнее время роботизация стала доступна даже в неиндустриальных странах. Внедрение роботизации в производственные процессы повышает конкурентоспособность экономики. Ускорение цифровизации и автоматизации, а также упрощение использования промышленных роботов стимулирует их распространение. В России более широкое применение промышленных роботов, развитие промышленного интернета вещей и осуществление цифровизации возможно только на базе восстановления и дальнейшего развития машиностроения, электронной и других отраслей обрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: промышленные роботы, индустриализация, обрабатывающая промышленность, Промышленный Интернет вещей

Благодарность. Статья подготовлена при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-010-00065.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Варшавский А. Е., Дубинина В. В. Мировые тенденции и направления развития промышленных роботов // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2020. Т. 11. № 3. С. 294–319

<https://doi.org/10.18184/2079-4665.2020.11.3.294-319>

© Варшавский А. Е., Дубинина В. В., 2020



Global Trends and Directions of Development of Industrial Robots

Alexander E. Varshavsky¹, Victoria V. Dubinina²

¹⁻²Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS), Moscow, Russian Federation
47, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117418

¹varshav@cemi.rssi.ru

²Viktoria@li.ru

Abstract

Purpose: the main purpose of this article is to analyze the main trends and directions of development of industrial robots, as well as the problems associated with their distribution. To achieve these goals, the following tasks were solved: analysis of the dynamics of the stock of industrial robots, the structure of the stock of robots by region (Europe, America, Asia / Australia), as well as the annual volumes and structure of world sales of robots by key industries; analysis of the main tasks of industrial robots, performed by them in these industries, and the directions of their use; analyze the dynamics of the robot fleet by industry in different countries (Japan, USA, South Korea, China, Germany, etc.); analysis of indicators and problems of using industrial robots in Russia.

Methods: the research methodology consists in a comparative analysis of the use of industrial robots in different industries (automotive, food, chemical, electronic, etc.) based on statistical data by country. A systematic approach, tabular and graphical interpretation of information was applied, analysis of the dynamics of the levels of the time series, the calculation of growth indices of indicators.

Results: the analysis showed that the use of industrial robots reduces injuries at the workplace, production costs and improves the quality of the final product, productivity, flexibility and safety, which contributes to a significant increase in their use in both developed and developing countries.

Conclusions and Relevance: recently, robotization has become available even in non-industrial countries. The introduction of robotization into production processes increases the competitiveness of the economy. The acceleration of digitalization and automation, as well as the ease of use of industrial robots, are driving their proliferation. In Russia, the wider use of industrial robots, the development of the industrial Internet of things and the implementation of digitalization are possible only on the basis of the restoration and further development of mechanical engineering, electronic and other manufacturing industries.

Keywords: industrial robots, industrialization, manufacturing industry, Industrial Internet of Things

Acknowledgments. The article was prepared with the partial support of the RFBR grant No. 20-010-00065.

Conflict of Interest. The Authors declare that there is no Conflict of Interest.

For citation: Varshavsky A. E., Dubinina V. V. Global Trends and Directions of Development of Industrial Robots. *MIR (Modernizatsiia. Innovatsii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2020; 11(3):294–319. (In Russ.)

<https://doi.org/10.18184/2079-4665.2020.11.3.294-319>

Введение

Использование промышленных роботов (далее – ПР) в производстве началось в 1961 г., и затем, благодаря постоянному развитию технологий, машинного обучения, искусственного интеллекта, Промышленного Интернета вещей (IIoT), а также Интернета вещей (IoT), значительно расширилось. Промышленные роботы могут быть запрограммированы на выполнение опасных и повторяющихся задач со стабильной точностью. Они помогают снизить потери сырья, оптимизировать эксплуатационные расходы и повысить производительность. Роботы снижают производственные затраты и время цикла в обрабатывающей промышленно-

сти, улучшают качество и надежность продукции, обеспечивают лучшее использование производственных площадей, сокращают отходы и повышают безопасность на рабочем месте¹.

Применение промышленных роботов целесообразно для автоматизации повторяющихся, опасных или трудных, требующих высокой степени точности или частоты, высокоскоростных операций, а также при мелкосерийном производстве. Автоматизация становится все более применимой к задачам с небольшим объемом [1]. Возможности промышленных роботов постоянно совершенствуются, они могут выполнять более сложные и разнообразные задачи с наибольшей скоростью и точностью².

¹ How manufacturing robots are changing the world in 2018. URL: <https://blog.technavio.com/blog/manufacturing-robots-changing-world> (дата обращения 29.10.2019).

² Theresa Knell. Polish industry needs automation. *Spotlightmetal*. 2019. URL: <https://www.spotlightmetal.com/polish-industry-needs-automation-a-815667/> (дата обращения 04.03.2020).

Благодаря постоянному развитию технологий и переходу к новому этапу развития – 4-й промышленной революции (Industry 4.0) применение роботов все больше расширяется [2]. Ускорение цифровизации и автоматизации, а также упрощение использования промышленных роботов стимулирует их распространение. Если раньше наибольшим спросом промышленные роботы пользовались в автомобильной и электронной промышленности, то в настоящее время они находят применение в медицине, пищевой, аэрокосмической и других отраслях. Тем не менее, в автомобильной промышленности все еще используется наибольшее количество роботов [3].

В данной статье проведен анализ основных тенденций и направлений развития промышленных роботов, а также проблем, связанных с их распространением. Рассмотрены динамика мирового парка промышленных роботов в период 1998–2018 гг., структура парка роботов по регионам (Европа, Америка, Азия / Австралия) в период 2004–2018 гг., а также ежегодные объемы и структура мировых продаж роботов по ключевым отраслям промышленности в 2009–2018 гг. Проанализированы основные задачи промышленных роботов, выполняемые ими в этих отраслях, и направления их использования. Проведен анализ структуры мирового парка роботов по отраслям промышленности, динамики парка роботов по отраслям промышленности в различных странах (Япония, США, Южная Корея, Китай, Германия и др.).

Обзор литературы и исследований. Проблеме распространения и применения ПР в различных отраслях промышленности посвящены многие исследования, результаты которых были опубликованы в последнее время.

В отчете Сбербанка³ проанализирован мировой рынок робототехники, перспективы развития роботов в России, вопросы нормативного и законодательного регулирования робототехники; рассмотрена технология искусственного интеллекта и ее влияние на процесс роботизации. На основе проведенного SWOT-анализа российской отрасли робототехники выделены ее сильные и слабые стороны, имеющиеся возможности для развития и возникающие угрозы.

В отчете Национальной Ассоциации Участников Рынка Робототехники (НАУРР)⁴ представлены показатели рынка промышленной и сервисной робото-

техники в период до 2014 г. включительно; показано, что наибольшие продажи промышленных роботов в 2014 г. наблюдались в автомобилестроении и в производстве электроники; большое внимание уделено сервисным роботам (профессиональным и персональным); представлены наиболее крупные компании, рассматриваются мировые образовательные и научные центры, ключевые технологии робототехники и направления перспективных исследований и разработок; рассмотрены вопросы развития робототехники в России, причем отмечается ориентация российских компаний на нужды военно-промышленного комплекса, а не на гражданский сектор; в качестве главных причин медленного развития робототехники указывается отсутствие квалифицированных специалистов, слабость образовательной инфраструктуры, отсутствие собственных технологических решений, недостаточность финансирования, небольшой объем рынка венчурных инвестиций и т.п.

В работе Комкова Н.И. и Бондаревой Н.Н.⁵ рассмотрены проблемы автоматизации и роботизации, проведен анализ государственных документов в области роботизации в РФ, выделены основные ограничения и вызовы для решения задачи массовой роботизации в РФ с учетом мирового опыта, дан прогноз роста потребности в роботах в РФ и сформулированы основные проблемы развития робототехнической отрасли РФ.

В работе Конюховской А.Е. [4] проанализирован рынок промышленной робототехники в мире и по регионам за период до 2015 г., выделены страны-лидеры по продажам ПР и отрасли-драйверы мировых продаж промышленных роботов (автомобильная промышленность, электротехника и электроника). На основе опроса российских робототехнических компаний были выявлены основные причины, препятствующие развитию робототехники в России.

В работе Акимова А.В. [5] дан анализ распространения промышленных роботов в ведущих странах мира, темпы роста парка роботов, приведены программы развития робототехники в странах (Япония, США, Евросоюз). Показаны проблемы роботизации в России. В качестве главных причин отставания России по уровню роботизации автор назвал слабое развитие российского машиностроения по сравнению с мировым уровнем и введение экономических санкций стран Запада против России.

³ Аналитический обзор мирового рынка робототехники. 2019. Сбербанк. URL: https://www.tadviser.ru/images/b/bf/Sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf.

⁴ Аналитическое исследование: Мировой рынок робототехники. НАУРР. 2016. URL: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rynka-robototehniki-%28yanvar-2016%29.pdf

⁵ Комков Н.И., Бондарева Н.Н. Перспективы и условия развития робототехники в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016; 7(2(26)):8-21. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2016.7.2.8.21>

В статье Бондаревой Н.Н.⁶ рассмотрены вопросы трансформации спроса на роботизированные товары и услуги, выявлено влияние глобальной среды на процессы роботизации на примере ведущих стран, представлена классификация роботов, описаны методологические критерии и требования к конкурентоспособности стран-лидеров, проведен сравнительный анализ зарубежных прогнозов роботизации, в том числе количественный анализ основных проектов по созданию андроидов в мире.

Статья Карабеговича И. [6] посвящена анализу распространения и применения ПР в автомобильной промышленности на примере Китая, мирового лидера по количеству установленных ПР. Показано, что Китай проводит модернизацию и автоматизацию автомобильной промышленности, а также других отраслей, включая электронную промышленность, металлургию, производство пластмассы и резины, что повышает спрос на ПР.

В другой его работе с соавторами [7] проведен анализ применения промышленных и сервисных роботов в производственных процессах, рассмотрена тенденция распространения промышленных роботов и производства транспортных средств в производственных процессах в мире и Азии / Австралии в 2005–2015 гг. Сделан вывод, что с увеличением количества ПР в автомобильной промышленности в мире за десять лет производство автомобилей увеличилось на 40%.

В работе Акимова А.В. [8] выявлены основные направления развития робототехники в мире в целом и в отдельных регионах, большее внимание уделено странам Восточной Азии, указаны экономические преимущества и риски применения роботов.

В представленной статье основное внимание уделено анализу ключевых тенденций и направлений развития промышленных роботов, а также проблем, связанных с их распространением на основе исследования динамики мирового парка промышленных роботов, объемов и структуры мировых продаж роботов по ключевым отраслям промышленности. Особое внимание уделено рассмотрению основных задач промышленных роботов, выполняемых ими в этих отраслях, и направлений их использования. Отмечается, что для расширения использования промышленных роботов в России необходимо ускорение процесса реиндустриализации, восстановление и дальнейшее развитие машиностроения, электронной, электротехнической и других отраслей обрабатывающей

промышленности, для чего должна быть разработана и реализована программа приоритетного развития этих отраслей.

Материалы и методы. В статье проведен сравнительный анализ применения промышленных роботов в разных отраслях промышленности (автомобильная, пищевая, химическая, электронная и др.). Информационной базой послужили данные Международной федерации робототехники (International Federation of Robotics), Европейской экономической комиссии ООН (UNECE), Ассоциации робототехники (Robotic Industries Association), а также отчеты и материалы конкретных ведущих робототехнических компаний (Fanuc, Kuka, ABB, Yaskawa Motoman, Kawasaki и др.), научные публикации российских и зарубежных авторов. В ходе данного исследования применялись методы сравнения, системный подход, табличная и графическая интерпретация информации.

Результаты исследования

Основные тенденции развития робототехники

Промышленная робототехника является неотъемлемой частью обрабатывающей промышленности, она используется во многих задачах, требующих высокой точности, скорости и выносливости.

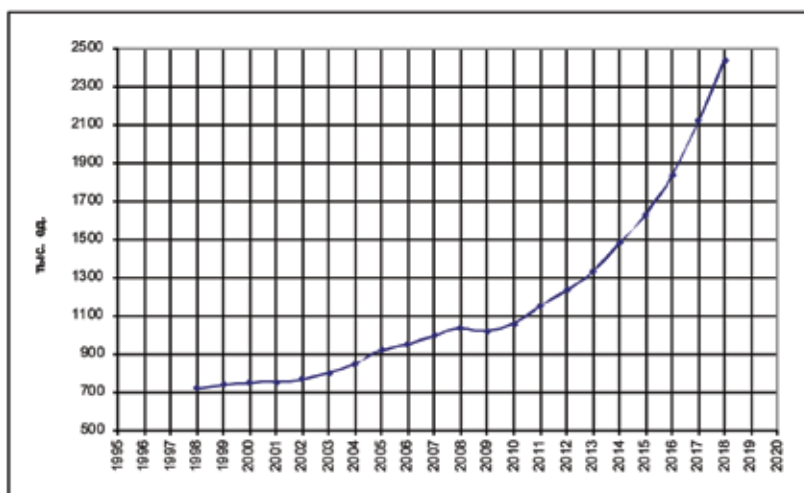
Благодаря ускоряющимся темпам автоматизации, промышленные роботы распространяются не только в развитых странах, но и в странах с развивающейся экономикой. Кроме того, увеличивается ассортимент и типы роботов – от гибких механических конечностей до умных машин, которые могут работать вместе с людьми. Поскольку компоненты становятся меньше и сложнее, роботы могут справляться со сложностями производства лучше, чем люди. С их помощью достигается повышение качества выпускаемой продукции.

При этом наблюдается значительный рост использования шарнирных (сочлененных) роботов с целью обеспечения точности работы на линиях сборки; декартовых (линейных или портальных) роботов для различных промышленных применений, в том числе, в обработке материалов и сборке; параллельных (delta) роботов, используемых в пищевой промышленности для сортировки и упаковки и др.; SCARA роботов (селективная совместимая монтажная роботизированная рука), используемых для высокоскоростных точных операций – уплотнения, распределения, сборки и проч.⁷

⁶ Бондарева Н.Н. Состояние и перспективы развития роботизации: в мире и России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016; 7(3(27)):49–57. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2016.7.3.49.57>

⁷ Варшавский А.Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8. № 4. С. 682–697.

За период 1998–2018 гг. мировой парк роботов увеличился в 3,4 раза, с 720,4 тыс. ед. в 1998 г. до 2,44 млн ед. в 2018 г. (рис. 1). Фактором, способствующим росту парка роботов, является переход в некоторых отраслях промышленности от производства небольшого ассортимента товаров большими партиями к широкому ассортименту товаров небольшими партиями.

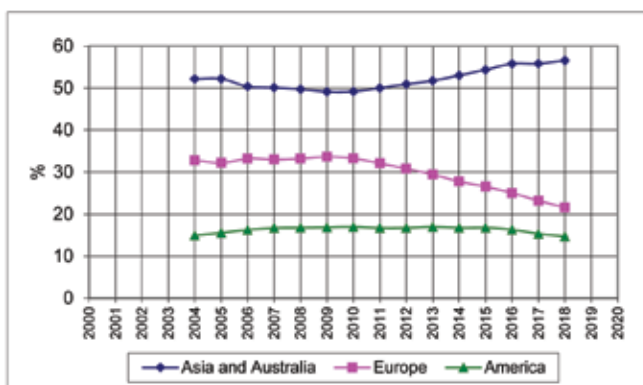


Составлено авторами по материалам: UNECE/IFR. Press releases 1999–2005. URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/press/pr1999/99stat2e.htm>; https://www.unece.org/fileadmin/DAM/press/pr2005/05stat_p03e.pdf (дата обращения 20.01.2020)

Рис. 1. Изменение мирового парка промышленных роботов, 1998–2018 гг., тыс. ед.

Compiled by the author based: UNECE/IFR. Press releases 1999–2005. URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/press/pr1999/99stat2e.htm>; https://www.unece.org/fileadmin/DAM/press/pr2005/05stat_p03e.pdf (accessed 20.01.2020)

Fig. 1. Change of the worldwide stock of operational industrial robots, 1998–2018, thousand units



Составлено авторами по материалам: International Federation of Robotics (IFR). URL: <https://ifr.org/>

Рис. 2. Динамика региональной структуры мирового парка промышленных роботов (Азия и Австралия, Европа, Америка), 2004–2018 гг.

Compiled by the author based: International Federation of Robotics (IFR). URL: <https://ifr.org/>

Fig. 2. Dynamics of the regional structure of the worldwide stock of operational industrial robots (Asia and Australia, Europe, America), 2004–2018

Основной прирост парка промышленных роботов в мире происходит за счет роста парка в странах Азии и Австралии. Доля этого региона в мировом парке роботов выросла с 52,2% (443,2 тыс. ед.) в 2004 г. до 56,6% (1,38 млн ед.) в 2018 г. Продажи промышленных роботов в Азии выросли за счет таких стран, как Китай (ежегодные отгрузки ПР в 2018 г. выросли в 34,5 раза по сравнению с 2005 г.

– с 4461 ед. в 2005 г. до 154 тыс. ед. в 2018 г.), Индия (в 10,7 раза – с 450 ед. до 4800 ед. соответственно) и Южная Корея (в 2,9 раза – с 13 005 ед. до 37800 ед. за указанный период).

В то же время доля европейских стран в мировом парке роботов сократилась с 32,8% (279 тыс. ед.) до 21,6% (527 тыс. ед.), см. рис. 2. Как видно из рис. 2, существенное изменение региональной структуры парка произошло в результате мирового кризиса 2008 г.: если до 2008–2009 гг. доля европейских и американских стран повышалась, а стран Азии и Австралии снижалась, то после кризиса тенденции изменились в противоположном направлении.

В последнее время роботизация стала доступна даже в новых индустриальных странах (Вьетнам, Филиппины, Индонезия, Малайзия, Индия и Таиланд). Так, количество установленных промышленных роботов во Вьетнаме в 2017 г. составило более 8 тыс. ед., в Индии – 3,4 тыс. ед., в Таиланде – 3,3 тыс. ед.⁸

Внедрение роботизации в производственные процессы повышает конкурентоспособность экономики. В условиях ускоренного обновления ассортимента продукции становится очень важным решение проблем, связанных с усилением операционной реструктуризации производства для выпуска новых изделий, улучшением их качества и снижением материальных затрат. Эти проблемы успешно решаются в рамках современных гибких производственных систем, которые позволяют привлекать очень мало людей [9]. Ожидается, что в будущем, по-видимому, по-

⁸ International Federation of Robotics (IFR). URL: <https://ifr.org/>

явятся технологии, не требующие обслуживающего персонала, полностью исключают ручной труд при транспортировке, складировании, на вспомогательных операциях и т.п. [10].

К основным областям использования роботов относятся автомобильная, электронная, пищевая, фармацевтическая, аэрокосмическая, металлургическая, химическая промышленность, производство пластмассы и резины. При этом, если ранее роботы использовались только в процессах массового производства в пищевой и автомобильной промышленности, то, поскольку робототехнические системы стали более доступными с точки зрения стоимости и размера в последние годы, в настоящее время они широко используются в небольших производственных процессах, таких как производство фармацевтических препаратов и лекарств и др. В табл. 1 представлены ежегодные объемы мировых продаж промышленных роботов в следующих отраслях промышленности: автомобильная, металлургическая, химическая, электротехническая/электронная, пищевая.

За период 2010–2018 гг. продажи роботов в автомобильной промышленности выросли в 3 раза, в электронной – в 3,5 раза, в пищевой – в 3 раза, в металлообработке и машиностроении – в 4,8 раза, в производстве химикатов/резины/пластмассы – в 7,5 раза. Следует отметить, однако, значительное изменение структуры продаж ПР в последние годы, начиная с 2015–2016 гг.: темп прироста продаж для автомобильной промышленности в 2015 г. составил всего 5,4% по отношению к 2014 г., и в среднем за последние 4 года ежегодный рост составил всего около 6%, тогда как для электронной и электротехнической промышленности продажи ПР в 2015 г. возросли на 41,3%, для пищевой они составили около 20% с 2016 г., для металлообработки и машиностроения средний темп прироста продаж ПР за 4 года составил около 45%. Такое изменение отраслевой структуры объемов продаж свидетельствует, очевидно, о новых тенденциях развития робототехники.

Структура мирового парка промышленных роботов по отраслям промышленности в 2013–2015 гг.

Таблица 1

Динамика ежегодных мировых продаж промышленных роботов по ключевым отраслям промышленности, 2009–2018 гг.

Table 1

Dynamics of annual world sales of industrial robots by key industries, 2009–2018

Отрасль	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Автомобильная промышленность, тыс. шт.	19,2	39	59,7	63,2	69,4	94	98	103,3	125,7	116
индекс роста, 2010 г. = 100%	49	100	153	162	178	241	251	265	322	297
темпы роста, в % к предыдущему году	...	103,1	53,1	5,9	9,8	35,4	4,3	5,4	21,7	-7,7
Электроника и электротехника, тыс. шт.	10,9	32	37,7	32,7	36,2	46	65	91,3	121,3	113
индекс роста, 2010 г. = 100%	34	100	118	102	113	144	203	285	379	353
темпы роста, в % к предыдущему году	...	193,6	17,8	-13,3	10,7	27,1	41,3	40,5	32,9	-6,8
Металлообработка и машиностроение, тыс. шт.	5,3	9	14,1	14,1	16,5	21	29,5	28,7	44,5	43,5
индекс роста, 2010 г. = 100%	58	100	157	157	183	233	327	319	495	483
темпы роста, в % к предыдущему году	...	69,8	56,7	0,0	17,0	27,3	40,5	-2,7	55,1	-2,2
Химикаты/резины/пластмассы, тыс. шт.	...	11	10,5	11,4	12,2	17	17,3	16	21	83
индекс роста, 2010 г. = 100%	...	100	95	109	107	139	102	92	131	395
темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	-4,5	8,6	7,0	39,3	1,8	-7,5	31,3	295,2
Пищевая промышленность, тыс. шт.	3,3	4	4,65	4,9	6,2	7	7	8,2	10	12
индекс роста, 2010 г. = 100%	83	100	116	123	155	175	175	205	250	300
темпы роста, в % к предыдущему году	...	21,2	16,3	5,4	26,5	12,9	0,0	17,1	22,0	20

Составлено авторами по материалам: IFR. World Robotics 2019; Industrial robotic market outlook. URL: <https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/engineeringtopics/robotics/industrial-robotic-market-outlook-2019.pdf> (дата обращения 07.07.2020).

Compiled by the author based: IFR. World Robotics 2019; Industrial robotic market outlook. URL: <https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/engineeringtopics/robotics/industrial-robotic-market-outlook-2019.pdf> (accessed 07.07.2020).

представлена в табл. 2. Наибольшее число роботов установлено в автомобильной (623,1 тыс. шт.) и электронной промышленности (328,6 тыс. шт.). Далее следуют химическая промышленность и производство пластмасс (150,9 тыс. шт.) и металлургическая

промышленность (160,9 тыс. шт.). В мировом парке роботов существенно выросла доля прочих отраслей промышленности (с 7,6% в 2013 г. до 19,4% в 2015 г.).

Таблица 2

Мировой парк роботов по отраслям промышленности и его структура, 2013–2015 гг.

Table 2

The worldwide stock of operational industrial robots by industry and its structure, 2013–2015

Отрасль промышленности	Мировой парк роботов по отраслям промышленности, тыс. шт.			Структура, %		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Автомобильная промышленность	500	560,8	623,1	44,6	45,5	38,2
темпы роста, в % к предыдущему году	...	12,2	11,1	...	...	...
Электронная и электротехническая промышленность	250	269,5	328,6	22,3	21,9	20,1
темпы роста, в % к предыдущему году	...	7,8	21,9	...	...	...
Металлургическая промышленность	120	135,2	160,9	10,7	11,0	9,9
темпы роста, в % к предыдущему году	...	12,7	19	...	...	...
Химическая промышленность и производство пластмасс	125	134,3	150,9	11,1	10,9	9,2
темпы роста, в % к предыдущему году	...	7,4	12,4	...	...	...
Пищевая промышленность	42	44,5	51,2	3,7	3,6	3,1
темпы роста, в % к предыдущему году	...	6	15,1	...	...	...
Прочие отрасли	85	88	316,9	7,6	7,1	19,4
темпы роста, в % к предыдущему году	...	3,5	260,1	...	...	...
Всего	1122	1278,4	1711,1	100	100	100
темпы роста, в % к предыдущему году	...	9,8	32,4	...	...	...

Составлено авторами по материалам [11].

Compiled by the author based [11].

В качестве примера изменения структуры продаж промышленных роботов в регионах можно рассмотреть Северную Америку, где продажи промышленных роботов в основном приходились на автомобильную промышленность (67% в 2016 г., см. табл. 3), в отличие от мировых тенденций, где

ее доля сокращается и составляет менее 40%. При этом увеличилась доля продаж для производства полупроводников и электроники, с 3% в 2005 г. до 5% в 2016 г., а доля продаж роботов для металлургии сократилась с 10% в 2005 г. до 7% в 2016 г.

Таблица 3

Структура продаж роботов в Северной Америке по отраслям промышленности, %

Table 3

Sales structure of robots in North America by industry, %

Отрасль промышленности	2005	2013	2016
Автомобильная промышленность	69	56	67
Металлургическое производство	10	11	7
Пищевые и потребительские товары	3	7	5
Полупроводники / электроника / фотоника	3	4	5
Науки о жизни / фармацевтика / биомедицина	2	6	4
Производство резиновых и пластмассовых изделий	1	2	2
Прочие	11	14	10
Всего	100	100	100

Составлено авторами по материалам [11].

Compiled by the author based [11].

Далее будут рассмотрены особенности применения роботов в ключевых отраслях обрабатывающей промышленности – автомобильной, электронной и электротехнической, металлургической, медицинской и фармацевтической, пищевой, химической и аэрокосмической промышленности.

Автомобильная промышленность

Автомобильная промышленность является крупнейшим в мире потребителем

роботов: в 2018 г. на ее долю приходилось почти 30% от общего объема соответствующих поставок [5]. Многие задачи в автомобильной промышленности, которые раньше выполнялись людьми, теперь выполняются роботами, что позволило значительно повысить масштабы производства в отрасли. В качестве примера можно привести использование роботов в японской автомобильной промышленности.

Японские автопроизводители начали использовать промышленные роботы в конце 1970 гг., и после 1980 г. их применение возросло благодаря использованию более совершенных робототехнических технологий. Япония занимает одно из лидирующих мест по развитию робототехники, поскольку создается множество промышленных роботов для использования на собственном рынке. Внутри страны роботы обеспечили решение проблемы с нехваткой работников в автомобильной промышленности, включая квалифицированных специалистов по сварке. В 2018 г. на долю японских производителей приходилось 52% мировых поставок роботов⁹.

Инвестиции в производство новых автомобилей и модернизацию привели к росту спроса на роботов. За последние несколько лет автомобильная промышленность значительно увеличила инвестиции в промышленные роботы по всему миру [12]. Если в начале XXI века в автомобилестроении роботы были задействованы в технологическом цикле в 45% всех операций, то, по данным IFR, к началу 2013 г. этот показатель составил более 80%¹⁰ [13]. Наиболее распространенными задачами для роботов в 2015 г. были обработка материалов (33%) и точечная сварка (26%).

В частности, в автомобильной промышленности США за 2010–2015 гг. было установлено более 60 тыс. промышленных роботов, в Китае за тот же период – почти 90 тыс. шт.¹¹ В Японии парк роботов за период 2012–2019 гг. вырос в 1,8 раза – с 9062 шт. до 16471 шт.

В 2015 г. во всем мире было продано 95 тыс. роботов для автомобильной промышленности, в Китае – 24 тыс. шт., в Южной Корее – 12,3 тыс. шт., в США – 12,27 тыс. шт., в Японии – 11,3 тыс. шт., в Германии – 10 тыс. шт. (табл. 4). Объем продаж ПР для автомобильной промышленности в 2015–2018 гг.

наиболее существенно вырос в Германии и Китае (в 1,6 раза), в Японии (1,5 раза), сократился в Южной Корее (на 10,3%). При этом темпы прироста продаж в большинстве стран были нестабильными, что связано с продолжающимся кризисом.

При этом в 2015 г. на автомобильных заводах России было установлено всего 220 роботов, в 2016 г. – 26 шт., что связано с сокращением спроса на автомобили. В 2017 г. на долю автомобильной промышленности России приходилось 37% продаж роботов в стране – 264 шт., в 2018 г. было установлено 378 роботов, в том числе на заводе КАМАЗ было задействовано 297 роботов, а к 2020 г. планируется внедрить более 900 промышленных роботов¹².

Уровень внедрения робототехники является важнейшим экономическим показателем, так как он отражает развитие и прогресс страны. Для его оценки используется показатель «плотность роботизации», который рассчитывается как количество роботов на 10 тыс. занятых в отрасли. Например, в Японии плотность роботизации в автомобильной промышленности в 2017 г. составляла 1158 шт., в США – 1200 шт., в Германии – 1162 шт. (табл. 5).

Особенно быстрый рост плотности роботизации наблюдается в автомобильной промышленности Южной Кореи (с 1239 шт. в 2010 г. до 2435 шт. в 2017 г.), где темпы прироста в последние годы были значительно выше, чем в других странах. По данным IFR, причиной такого стремительного роста могли стать крупные проекты по производству аккумуляторов для электромобилей. Высокая плотность использования роботов в стране объясняется также высоким уровнем развития автомобильной и электронной промышленности. Плотность роботизации в Китае в 2018 г. выросла почти в 4 раза по сравнению с 2011 г. Следует также отметить достаточно высокие темпы прироста плотности роботизации во Франции.

Примеры использования роботов в автомобильной промышленности

Промышленные роботы в автомобильной промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

⁹ IFR. Robot density rises globally. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-rises-globally> (дата обращения 21.04.2020); IFR. Why Japan leads industrial robot production. URL: <https://ifr.org/post/why-japan-leads-industrial-robot-production> (дата обращения 09.07.2020).

¹⁰ Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В. Автоматизация и роботизация в сварочном производстве: состояние и тенденции развития. URL: <http://www.uniprofit.ru/spravka/article/avtomatizaciya-robotizaciya/> (дата обращения 12.11.2019).

¹¹ IFR. US-industry: 135000 new robots bring jobs back home. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/us-industry-135000-new-robots-bring-jobs-back-home> (дата обращения 10.07.2020).

¹² Роботизация в России. URL: <https://politsturm.com/robotizaciya-v-rossii/#2018>; Промышленные роботы. URL: <http://dialog-e.ru/market-news/766/>; Скрынникова А. Больше всего роботов в России покупает автопром. Ведомости. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2019/09/19/811579-bolshe-vsego-robot> (дата обращения 10.07.2020).

Таблица 4

Объем продаж роботов для автомобильной промышленности в ряде стран, шт.

Table 4

Sales of robots for the automotive industry in a number of countries, pcs

Страна	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Япония	9062	7670	10 037	11 300	13 497	13 701	17 346	16 471
темпы роста, в % к предыдущему году	...	-15,4	30,9	12,6	19,4	1,5	26,6	-5,0
Китай	...	...	21 000	24 000	26 000	...	39 351	...
темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	...	14,3	8,3	...	...	...
США	10 591	10 200	13 218	12 270	15 790	14 874	15 246	...
темпы роста, в % к предыдущему году	...	-3,7	29,6	-7,2	28,7	-5,8	2,5	...
Германия	...	...	...	10 000	...	...	15 673	...
Южная Корея	...	...	...	12 300	...	...	11 034	...

Составлено авторами по материалам: JARA. URL: <https://www.jara.jp/e/data/dl/year/January-December-2019.pdf> (дата обращения 08.07.2020); Жилина И.Ю. Мировой рынок робототехники: состояние и перспективы. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-rynok-robototekhniki-sostoyanie-i-perspektivy/viewer> (дата обращения 09.07.2020); Наемный труд и роботизация. URL: <https://politsturm.com/naemnyj-trud-i-robotizaciya/#lwptoc> (дата обращения 09.07.2020); U.S. companies put record number of robots to work in 2018. URL: <https://www.reuters.com/article/us-usa-economy-robots-idUSKCN1QH0K0> (дата обращения 10.07.2020).

Compiled by the author based: JARA. URL: <https://www.jara.jp/e/data/dl/year/January-December-2019.pdf> (accessed 08.07.2020); Zhilina I.Y. World market of robotics: status and prospects. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-rynok-robototekhniki-sostoyanie-i-perspektivy/viewer> (accessed 09.07.2020); Wage labor and robotics. URL: <https://politsturm.com/naemnyj-trud-i-robotizaciya/#lwptoc> (accessed 09.07.2020); U.S. companies put record number of robots to work in 2018. URL: <https://www.reuters.com/article/us-usa-economy-robots-idUSKCN1QH0K0> (accessed 10.07.2020).

- сварка (дуговая, точечная) – одна из главных операций, в которых используются ПР в автомобильной промышленности (например, на заводе Mercedes роботы Kuka сваривают держатель приборной панели);
- покраска – для этой операции ПР в автомобильной промышленности относительно мало используются, однако в настоящее время происходит быстрый рост их применения в этих целях;
- сборка (сборка дверей, трансмиссий, дверных панелей, подшипников в коробке передач мотоцикла, автомобильных аккумуляторов и др.);
- литье под давлением;
- паллетирование;
- транспортировка, перемещение деталей, в том числе подъем и перемещение кузова автомобилей (например, робот Fanuc M-2000iA/2300 может поднимать/опускать предметы в вертикальном и горизонтальном направлениях, переворачивать их и т.п.);
- установка деталей (установка двигателей и подвески, тормозных шлангов, проводки, деталей кузовов, установка дверей, тяжелых амортизаторов и др.);
- контроль качества и тестирование (например, проверка корпусов коленчатых валов, тестирование автомобильных сидений, подушек безопасности);
- нанесение клея/герметика;
- очистка форм для литья (например, роботы Kuka на заводе BMW);
- снятие заусенцев;
- погрузочно-разгрузочные работы (например, робот Fanuc M-900iA/350 на заводе Audi).

В автомобильной промышленности используются роботы компаний Kuka, Fanuc, ABB, Kawasaki, Comau и др. Например, роботы Fanuc используются на автомобильных заводах Saab, Land Rover, Rolls-Royce, Chrysler, Mitsubishi, Volkswagen, Ford (робот R-2000iA/165F). В России роботы Fanuc используются на заводах КАМАЗ, НЕФАЗ, ГАЗ, УАЗ, VW Калуга, Sollers Auto. Для сборки на заводах Tesla и Porsche используются роботы Kuka, на заводах General Motors, Nissan и Audi – роботы Fanuc, у Ford – роботы Kawasaki, у Maserati – роботы Comau. Для покраски в компаниях Fiat, BMW, Volvo, Honda, Great Wall Automobile применяются роботы ABB, в Porsche и Mercedes Benz – роботы Kuka, в Toyota – роботы Kawasaki. Для сварки на заводах Hyundai и Nissan используются роботы Fanuc, на заводах Ford, Porsche, Mercedes Benz, Skoda, Volkswagen – роботы Kuka, на заводах Maserati – роботы Comau. Для сварки, погрузочно-разгрузочных работ, обработки и паллетирования применяются роботы Kuka на заводах Volkswagen, Mercedes-Benz, Ford, Audi, Porsche, Chrysler, Ferrari, Harley-Davidson (производство

Таблица 5

Плотность роботизации (ед. на 10 тыс. занятых) и индекс роста (%) в автомобильной промышленности по странам

Table 5

Robot density (units per 10000 employees) and growth rate (%) in the automotive industry by countries

Страна	1993	2000	2006	2010	2011	2015	2016	2017	2018
Южная Корея	...	...	...	1239	1100	1218	2145	2435	...
индекс роста, 2011 г. = 100%	...	...	...	112,6	100	110,7	195,0	221,4	...
темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	...	...	-11,2	10,7	76,1	13,5	...
США	393	587	830	1112	1104	1218	1261	1200	...
индекс роста, 2011 г. = 100%	35,6	53,2	75,2	100,7	100	110,3	114,2	108,7	...
темпы роста, в % к предыдущему году	...	49,4	41,4	34,0	-0,7	10,3	3,5	-4,8	...
Германия	313	820	1220	1130	1176	1147	1131	1162	1270
индекс роста, 2011 г. = 100%	26,6	69,7	103,7	96,1	100	97,5	96,2	98,8	108,0
темпы роста, в % к предыдущему году	...	162,0	48,8	-7,4	4,1	-2,5	-1,4	2,7	9,3
Япония	1481	1686	1820	1436	1584	1276	1240	1158	...
индекс роста, 2011 г. = 100%	93,5	106,4	114,9	90,7	100	80,6	78,3	73,1	...
темпы роста, в % к предыдущему году	...	13,8	7,9	-21,1	10,3	-19,4	-2,8	-6,6	...
Франция	...	520	1160	...	590	940	1150	1156	...
индекс роста, 2011 г. = 100%	...	88,1	196,6	...	100	159,3	194,9	195,9	...
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	123,1	...	...	59,3	22,3	0,5	...
Испания	...	520	970	...	900	883	1051	990,0	...
индекс роста, 2011 г.=100%	...	57,8	107,8	...	100	98,1	116,8	110,0	...
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	86,5	...	...	-1,9	19,0	-5,8	...
Китай	...	...	36	105	141	392	...	505	539
индекс роста, 2011 г.=100%	...	...	25,5	74,5	100	278,0	...	358,2	382,3
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	...	191,7	34,3	178,0	...	...	6,7
Италия	458	850	1630	1229	1215	877	...	...	...
индекс роста, 2011 г.=100%	37,7	70,0	134,2	101,2	100	72,2	...	...	...
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	85,6	91,8	-24,6	-1,1	-27,8	...	...	...
Швеция	317	540	590	...	425	734	...	...	...
индекс роста, 2011 г.=100%	74,6	127,1	138,8	...	100	172,7	...	...	...
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	70,3	9,3	...	...	72,7	...	...	...
Великобритания	175	430	600	600	620	606	700	...	...
индекс роста, 2011 г.=100%	28,2	69,4	96,8	96,8	100	97,7	112,9	...	...
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	145,7	39,5	0,0	3,3	-2,3	15,5	...	...
Бразилия	...	...	...	56	70	125	...	...	...
индекс роста, 2011 г.=100%	...	...	...	80,0	100	178,6	...	...	...
Темпы роста, в % к предыдущему году	...	...	...	...	25,0	78,6	...	...	...

Составлено авторами по материалам: IFR; BARA (British Automation & Robot Association); UNECE. Press releases 2000. URL: <https://www.unecese.org/fileadmin/DAM/press/pr2000/00stat10e.htm> (дата обращения 05.04.2020).

Compiled by the author based: IFR; BARA (British Automation & Robot Association); UNECE. Press releases 2000. URL: <https://www.unecese.org/fileadmin/DAM/press/pr2000/00stat10e.htm> (accessed 05.04.2020).

мотоциклов), BMW, Tesla, Ferrari, General Motors, ГАЗ, КАМАЗ, АвтоВаз, Renault, Peugeot, KIA, Skoda, Volvo, Seat, Hyundai. Около 160-ти промышленных роботов участвуют в производстве электромобилей Tesla¹³.

Электротехническая и электронная промышленность

В течение многих лет автомобильная промышленность была лидером по внедрению роботов на производствах. Однако по прогнозам ожидается, что основной объем продаж промышленных роботов придется на электротехническую и электронную промышленность, что объясняется ростом производства в этой отрасли, а также расширением круга задач, которые могут выполнять роботы, особенно при сборке электронных компонентов и оборудования. Роботы в электротехнической и электронной промышленности используются на протяжении всего производственного цикла – от резки металлических корпусов до сборки миниатюрных компонентов, нанесения герметика и клея, полировки поверхностей, проведения проверок качества, упаковки и укладки на поддоны готовых изделий. Сборка электроники требует очень быстрого и точного размещения миниатюрных и хрупких объектов. Кроме того, роботы должны быть способны выполнять последовательно несколько задач [14, 15].

Возрастающий мировой спрос на электронику, новую продукцию и технологии стимулирует инвестиции в развитие технологических процессов и увеличение производственных мощностей в отрасли, особенно в странах Азии.

Так, в Китае в 2019 г. инвестиции в электронное оборудование и оборудование связи выросли на 14,5% относительно 2018 г.¹⁴ Прямые инвестиции в электрическое и электронное оборудование в Южной Корее в 2019 г. выросли на 42,8% по отношению к 2018 г., в Индонезии – на 48,3%, в Индии – на 22,3%, в Сингапуре – на 6%¹⁵.

Достижения в области захватов, технологий визуализации и датчиков силы означают, что роботы могут выполнять все более широкий спектр задач по про-

изводству, сборке и отделке. Например, роботы уже могут выбирать неотсортированные компоненты из корзин и монтировать компоненты под разными углами. Разработки в области датчиков и технологических ограничения мощности (которые обеспечивают замедление или остановку робота при контакте с работником) позволяют роботам совместно использовать рабочие пространства с сотрудниками. Эта гибкость особенно важна в электротехнической и электронной промышленности, где производственные циклы выпуска отдельных видов продукции часто длятся всего несколько месяцев¹⁶.

В 2017 г. электротехническая и электронная промышленность должна была, согласно прогнозам, опередить автомобильную отрасль по количеству потребляемых промышленных роботов. Однако в 2018 г. мировой спрос на электронные устройства и компоненты существенно снизился, отрасль пострадала от торгового кризиса между США и Китаем.

Азиатские страны являются лидерами в производстве электронных продуктов и компонентов и, соответственно, предъявляют большой спрос на промышленных роботов. Так, в 2018 г. на долю Китая приходилось 43% от общего числа промышленных роботов в электронной/электротехнической промышленности, Южной Кореи – 19%, Японии – 17%¹⁷. В 2017 г. во Вьетнаме наблюдалось разовое увеличение количества установленных роботов, обусловленное несколькими крупными проектами (7080 шт.), однако в 2018 г. оно сократилось до 689 шт. (табл. 6). Наибольший рост продаж ПР в 2015–2018 гг. отмечается в Китае и Южной Корее.

В течение последних лет в электротехнической/электронной промышленности Южной Кореи наблюдался значительный рост использования роботов. Рост интереса к промышленным роботам связан с увеличением производства потребительских электронных устройств (мобильных телефонов и планшетов). Плотность роботизации в электротехнической/электронной промышленности страны наиболее велика – она выросла с 365 шт. в 2015 г. до 533 шт. в 2017 г. (табл. 7). Можно сказать, что плотность роботизации менялась неравномерно. Например, в Германии в

¹³ Бизнес-журнал. 2015. №8(232), URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

¹⁴ В январе-августе в Китае выросли инвестиции в высокотехнологичное производство. URL: http://russian.china.org.cn/china/txt/2019-09/29/content_75259269.htm (дата обращения 01.09.2020).

¹⁵ Bank of Japan. Direct Investment by Region and Industry. URL: https://www.boj.or.jp/en/statistics/br/bop_06/index.htm/ (дата обращения 01.09.2020).

¹⁶ Automation boom in electrical & electronics industry drives the sales of industrial robots. URL: <https://www.hafactory.it/2018/12/31/automation-boom-in-electrical-electronics-industry-drives-the-sales-of-industrial-robots/> (дата обращения 11.07.2020).

¹⁷ Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В. Автоматизация и роботизация в сварочном производстве: состояние и тенденции развития. URL: <http://www.uniprofit.ru/spravka/article/avtomatizaciya-robotizaciya/> (дата обращения 12.11.2019).

Таблица 6

Продажи роботов в электронной/электротехнической промышленности по странам за 2014–2018 гг. (шт.)
и индекс роста продаж (%)

Table 6

Sales of robots in the electronic/electrical industry by countries for 2014–2018 (units) and growth rate of sales (%)

Страна	2014	2015	2016	2017	2018
Китай	...	15545	...	...	48590
индекс роста, 2015 г.=100%	...	100	...	...	312,6
Япония	...	11700	10881	...	19210
индекс роста, 2015 г.=100%	...	100	93,0	...	164,2
Южная Корея	...	11145	...	...	21470
индекс роста, 2015 г.=100%	...	100	...	...	192,6
США	3327	5639	...	...	7894
индекс роста, 2015 г.=100%	59,0	100	...	...	140,0
темпы роста, в % к предыдущему году	...	69,5	...	...	...
Тайвань	...	3988	...	...	...
Вьетнам	7080	689

Составлено авторами по материалам: Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В. Автоматизация и роботизация в сварочном производстве: состояние и тенденции развития. URL: <http://www.uniprofit.ru/spravka/article/avtomatizaciya-robotizaciya/> (дата обращения 12.11.2019); Robots: Japan delivers 52 percent of global supply. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robots-japan-delivers-52-percent-of-global-supply> (дата обращения 09.07.2020); Robot investment reaches record 16.5 billion USD. URL: https://ifr.org/downloads/press2018/2019-09-18_Press_Release_IFR_World_Robotics_2019_Industrial_Robots_English.pdf (дата обращения 09.07.2020).

Compiled by the author based: Mazur A.A., Makovetskaya O.K., Pustovoyt S.V. Automation and robotization in welding production: state and development trends. URL: <http://www.uniprofit.ru/spravka/article/avtomatizaciya-robotizaciya/> (accessed 12.11.2019); Robots: Japan delivers 52 percent of global supply. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robots-japan-delivers-52-percent-of-global-supply> (accessed 09.07.2020); Robot investment reaches record 16.5 billion USD. URL: https://ifr.org/downloads/press2018/2019-09-18_Press_Release_IFR_World_Robotics_2019_Industrial_Robots_English.pdf (accessed 09.07.2020).

Таблица 7

Плотность роботизации в электронной/электротехнической промышленности по странам, шт.

Table 7

Robot density in the electronic/electrical industry by country, pcs

Страна	2002	2008	2011	2015	2017
Южная Корея	...	...	...	365	533
Япония	527	...	...	211	225
Германия	68	240	255	161	191
США	...	200	280	...	117
Франция	20	...	...	...	...
Великобритания	10	...	...	...	...
Италия	52	...	...	...	160
Швеция	51	...	...	142	180
Китай	...	5	11	...	30

Составлено авторами по материалам: Positive impact of industrial robots on employment. URL: https://robohub.org/wp-content/uploads/2013/04/Metra_Martech_Study_on_robots_2011.pdf (дата обращения 18.03.2020); Robot density unveils high potential in many countries – says IFR report for 2018. URL: <http://4smt.eu/automationrobotics/robot-density-unveils-high-potential-in-many-countries-says-ifr-report-for-2018/> (дата обращения 10.04.2020); НАУРР. Аналитическое исследование: мировой рынок робототехники. URL: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototekhniki-%28yanvar-2016%29.pdf (дата обращения 15.04.2020).

Compiled by the author based: Positive impact of industrial robots on employment. URL: https://robohub.org/wp-content/uploads/2013/04/Metra_Martech_Study_on_robots_2011.pdf (accessed 18.03.2020); Robot density unveils high potential in many countries – says IFR report for 2018. URL: <http://4smt.eu/automationrobotics/robot-density-unveils-high-potential-in-many-countries-says-ifr-report-for-2018/> (accessed 10.04.2020); NAURR. Analytical research: the global robotics market. URL: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototekhniki-%28yanvar-2016%29.pdf (accessed 15.04.2020).

2017 г. она выросла в 2,8 раза по сравнению с 2002 г., в Швеции – в 3,5 раза, в Италии – в 3 раза за тот же период времени, а в Китае плотность роботизации в этой отрасли выросла в 2017 г. в 6 раз по сравнению с 2008 г.

Электроника и технологии стремительно развиваются, поэтому требуются роботы, которые можно быстро и легко интегрировать в производстве различных видов электронной техники, включая мобильные телефоны, компьютеры, устройства ввода, аудио/видео аппаратуру и многое другое. Например, в компании Philips, где производятся электробритвы, задействовано больше роботов, чем людей (на 1 работника приходится примерно 14 роботов)¹⁸.

Тестирование продукции в электронной промышленности является основной задачей, на которую ежегодно компании тратят миллиарды долларов с целью проверки качества продукции (по данным отчетов компаний, почти 35% общего бюджета в электронной промышленности отводится на тестирование пользовательских интерфейсов, сенсорных экранов, встроенных в устройства и т.п.). Роботы также очень быстро комплектуют и упаковывают собранный продукт. Их использование позволяет резко повысить производительность труда (например, для установки металлических зажимов на пластиковые детали в компании First Engineering используются роботы ABB IRB 1410, что позволило на 75% увеличить производство продукции¹⁹). Кроме того, в производстве электроники часто используются сборочные роботы. Например, робот Fanuc M-1iA может собирать детали весом менее 0,5 кг²⁰. Также для сборки применяются роботы Fanuc M-1iA/0.5A, SR-3iA, SR-6iA.

Примеры использования роботов в электротехнической и электронной промышленности

Промышленные роботы в электротехнической и электронной промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

- проверка и тестирование продукции (одна из главных операций, в которых используются ПР

в электротехнической/электронной промышленности; роботы тестируют сенсорные экраны, кнопки и другие устройства управления);

- сборка (роботы комплектуют и упаковывают собранный продукт на высокой скорости);
- обработка печатных плат (заполнение и покрытие плат);
- сварка;
- полировка и шлифовка;
- покраска;
- упаковка устройств и их паллетирование (роботы комплектуют и упаковывают собранный продукт на высокой скорости, упаковывают обернутые термоусадочной пленкой компоненты; отдельные упаковки автоматически упаковываются в коробки, которые укладываются на поддоны);
- селективная и высокоточная пайка (определение положения дорожек на плате, их позиционирование и пайка²¹);
- погрузочно-разгрузочные работы (например, роботы упаковывают обернутые термоусадочной пленкой компоненты);
- штамповка;
- нанесение герметика.

В электронной/электротехнической промышленности используются роботы компаний Fanuc, Kuka, ABB и др. Для сборки в компании Apple применяются роботы Fanuc M-1iA и LR Mate 200iC, в компаниях Rapoo Technology и Elektro-Praga – роботы ABB²². Для селективной и высокоточной пайки в компании Alnea используются роботы Kuka, они удерживают плату и управляют движением паяльника²³. Для установки металлических зажимов на пластиковые детали в компании First Engineering используются роботы ABB IRB 1410, что, как уже было сказано выше, позволило на 75% увеличить производство продукции. Для полировки и упаковки устройств в компании Fastlog AG применяются роботы Fanuc M-20iA/10L и M-10iA. Для сварки, шлифовки, полировки и покраски в компаниях

¹⁸ Robotics in manufacturing: how robots play a role in the assembly line? URL: <https://robots.net/robotics/robotics-in-manufacturing/> (дата обращения 04.04.2020).

¹⁹ Forbes. Роботы вместо людей. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/71560-roboty-vmesto-lyudei?photo=4> (дата обращения 10.07.2020).

²⁰ Assembling Technology – Assembly robots in Electronics Manufacturing. URL: <https://www.robots.com/articles/assembling-technology-assembly-robots-in-electronics-manufacturing> (дата обращения 01.10.2019).

²¹ ПТК по сборке и пайке для электронной промышленности. URL: <https://ds-robotics.ru/our-projects/rtk-po-sborke-i-pajke-dlya-elektronnoj-promyshlennosti> (дата обращения 18.07.2020).

²² ABB. Small robots are the new big change. The Rapoo Case with IRB 120. URL: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106103A3555&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (дата обращения 19.09.2019).

²³ Селективная пайка деталей с использованием робота Kuka KR agilus. URL: <https://www.kuka.com/ru-ru/отрасли/база-данных-решений/2016/07/solution-robotics-alnea> (дата обращения 18.07.2020).

Apple, Dell, Foxconn, Hewlett Packard, Motorola и Nokia используются роботы ABB и Fanuc.

Металлургическая промышленность

Металлургическая промышленность является одной из самых универсальных отраслей промышленности и обладает потенциалом для автоматизации на основе роботов. Обработка металлов является основной операцией для внедрения промышленных роботов. Автоматизация металлургического производства, включая загрузку и разгрузку, сводит к минимуму риск человеческой ошибки, позволяет повысить производительность и безопасность [16].

В 2018 г. на долю этой отрасли приходилось 10% от общего числа установленных роботов. При этом в Финляндии на долю металлургической промышленности приходилось 44% от количества установленных роботов в 2018 г., в Швеции – 42%, в Швейцарии – 40%, в Бельгии – 30%, в Австрии – 27%, в Италии – 26%, в Дании – 21%²⁴. В 2015 г. парк роботов в металлургической промышленности во всем мире составил 34614 ед., в Китае – 10321 ед., в Южной Корее – 6823 ед., в Японии – 5000 ед., в Германии – 2415 ед., в США – 2204 ед. (по данным IFR, 2016). Количество установленных роботов достигло 44 тыс. ед. в 2017 г., а затем несколько снизилось до 43,5 тыс. ед. в 2018 г. В металлургической промышленности в России в 2017 г. было установлено 157 роботов²⁵.

Примеры использования роботов в металлургической промышленности

Промышленные роботы в металлургической промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

- манипулирование;
- сварка;
- обработка деталей (например, корпусов турбин для турбокомпрессоров) и металлоизделий (зачистка и снятие заусенцев; роботы устраняют острые кромки, обрабатывают контуры, закругляют кромки);
- подбор и размещение предметов (например, загрузка лазера для обработки труб и др.²⁶);

- выполнение трехмерных распилов (роботы заостряют медные штанги, управляя пилой);
- загрузка станка;
- гравировка и маркировка;
- полировка;
- шлифовка;
- отливка расплавленного металла (роботы заполняют песчаные формы жидким металлом, извлекают литые детали, удаляют использованный желоб и устанавливают на его место новый²⁷);
- очистка инструментов и деталей;
- резка (например, резка листовых плоских заготовок, труб и других заготовок с разной формой поверхности).

В металлургической промышленности используются роботы компаний Kuka, Kawasaki, Fanuc и др. [17]. Например, для манипулирования в компаниях Maba Track Solutions и KSM Castings применяются роботы Kuka KR500-3 и KR QUANTEC nano F exclusive. В России в компании Brassco используются роботы Fanuc. Для загрузки станка и автоматического позиционирования изделий в компании Белфин Роботикс используются роботы Fanuc. Для отливки расплавленного железа в компании Georg Fischer используются роботы Kuka KR1000 titan F. Для зачистки и снятия заусенцев, обработки металла, полировки и шлифовки изделий в компаниях Grind Master, Heidenreich & Harbeck и IDS Casting Service GmbH используются роботы Fanuc и Kuka. Для сварки в компаниях Fronius и Meiller Aufzugtüren используются роботы Kuka и Kawasaki F-серии. Для выполнения трехмерных распилов в компании Wieland Anlagentechnik используются роботы Kuka KR FORTEC 360 и т.д.

Фармацевтическая и медицинская промышленность

Целью робототехники в этих отраслях промышленности является замена людей при выполнении повторяющихся или опасных задач. Внедрение робототехники нацелено на создание безопасной асептической среды, практически без вмешательства человека. Роботы помогают заменить работников в опасных средах, сократить расходы на обучение, устранить человеческие ошибки²⁸.

²⁴ Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В. Автоматизация и роботизация в сварочном производстве: состояние и тенденции развития. URL: <http://www.uniprofit.ru/spravka/article/avtomatizaciya-robotizaciya/> (дата обращения 12.11.2019).

²⁵ Жилина И.Ю. Мировой рынок робототехники: состояние и перспективы. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-rynok-robototekhniki-sostoyanie-i-perspektivy/viewer> (дата обращения 09.07.2020).

²⁶ Система Pick-and-place: робот Kuka должным образом позиционирует трубы. URL: <https://www.kuka.com/ru-ru/отрасли/база-данных-решений/2019/09/trafoe> (дата обращения 18.07.2020).

²⁷ Kuka KR 1000 titan F выполняет отливку расплавленного металла в Georg Fischer. URL: <https://www.kuka.com/ru-ru/отрасли/база-данных-решений/2016/07/solution-robotics-georg-fischer> (дата обращения 18.07.2020).

²⁸ Markarian J. Using robotics in pharmaceutical manufacturing. PharmTech. 2014. URL: <http://www.pharmtech.com/using-robotics-pharmaceutical-manufacturing> (дата обращения: 08.10.2019).

Фармацевтическая и медицинская промышленность уделяет все больше внимания безопасности продукции и защите ее от подделок. Контроль производства по всей цепочке поставок до точки продажи способствует более широкому использованию робототехники в отрасли.

В медицинской промышленности роботы используются для наполнения флаконов, упаковки и укладки на поддоны фармацевтических препаратов, они загружают и выгружают литьевые машины, собирают медицинские устройства и полируют имплантаты. В фармацевтическом производстве роботы обрабатывают бутылки в процессе культивирования клеток, загружают и выгружают автоклавы и упаковочные машины, а также дезинфицируют шприцы. Из-за потенциальных опасностей и больших объемов некоторые больницы и крупные медицинские учреждения используют робототехнику для распределения лекарств, а также для смешивания потенциально опасных лекарств от рака. В исследовательских лабораториях роботы проводят анализ проб, автоматизируют движение пробирок, тестируют образцы крови. Роботы также выдают лекарства в аптеках. Производители стоматологических приборов используют роботов в основном для сортировки и упаковки в конце производственной линии. Компании, производящие персональные медицинские приборы и очки, используют роботы для ухода за машинами, загрузки сырья в машины и выгрузки готовой продукции²⁹ [18].

Примеры использования роботов в фармацевтической и медицинской промышленности

Промышленные роботы в фармацевтической и медицинской промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

- проведение лучевой терапии для лечения опухолей;
- проведение рентгеновских исследований;
- обработка материалов;
- сбор и приготовление (лекарств, вакцин, таблеток);
- паллетирование;
- тестирование и регистрация результатов;
- упаковка вакцин и лекарств;
- очистка оборудования;
- шлифовка и полировка протезов.

В фармацевтической и медицинской промышленности используются роботы компаний Stäubli, ABB, Kuka, Wittmann, Denso, Epson и др. Например, для выполнения сбора, упаковки и укладки на паллеты таблеток и других лекарств в компаниях Astra Zeneca, Glaxo Smith Kline, Johnson & Johnson и Schering-Plough применяются роботы ABB, а в компании Bayer – роботы Stäubli моделей RX160, TX200 и RX170. Для проведения лучевой терапии для лечения опухолей в компании Accuray применяются роботы Kuka. Для паллетирования и упаковки вакцин и лекарств в компании Novartis применяются роботы ABB. Для шлифовки и полировки протезов в компаниях Aescular и BSN medical используются роботы Kuka. Для обработки материалов, тестирования, регистрации результатов и очистки оборудования в компании Novi Systems Ltd. применяются роботы Epson. Для проведения рентгеновских исследований в компании Siemens используются роботы Kuka KR QUANTEC. Для сбора таблеток и размещения их в блистерной полости в компании Janssen-Ortho LLC используется робот Epson EL650³⁰. Для приготовления лекарств используется робот Denso Wave VS-S2. Роботы Kuka применяются в роботизированной радиохирургической системе Cyberknife, которая позволяет лечить неоперабельные, сложные для хирургии опухоли. Для изготовления ингаляторов в компании Forteq Healthcare используются роботы Wittmann³¹ и т.д.

Пищевая промышленность

На протяжении многих лет пищевая промышленность рассматривается как значительный потенциальный потребитель роботов, в основном из-за большого количества операций, выполняемых вручную в этом секторе. Однако количество используемых там роботов еще не столь велико, так как затраты на труд здесь ниже, чем в других отраслях (таких как автомобилестроение и др.), что затрудняет обоснование необходимости внедрения автоматизации. Несмотря на то, что рыночная стоимость робототехники в пищевой промышленности, как ожидается, вырастет к 2022 г. с 1,3 млрд до 2,5 млрд долл., это по-прежнему составляет лишь менее 2% от общих мировых расходов на робототехнику³².

Первый промышленный робот для упаковки продуктов появился в 1950 г. и использовался в компании TetraPak (Швеция) для перемещения корзин с пакетами-пирамидками. В 1970 г. началось соз-

²⁹ Brumson B. Robotics in the pharmaceutical and life sciences industry. 2011. URL: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robotics-in-the-Pharmaceutical-and-Life-Sciences-Industry/content_id/2867 (дата обращения 04.04.2020).

³⁰ RIA. Robotics Case studies. URL: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/content_id/296 (дата обращения 20.07.2020).

³¹ Robot investment reaches record 16.5 billion USD. URL: https://ifr.org/downloads/press2018/2019-09-18_Press_Release_IFR_World-Robotics_2019_Industrial_Robots_English.pdf (дата обращения 09.07.2020).

³² Chrisandina N.J. Robotics in food manufacturing: benefits and challenges. URL: <https://www.prescouter.com/2018/08/robotics-food-manufacturing-benefits-challenges/> (дата обращения 10.07.2020).

дание первых роботизированных участков группового упаковывания продуктов, а в 1986 г. был применен первый роботизированный комплекс в пищевой промышленности России. Роботизированная машина Lokompack использовалась для упаковки шоколадных конфет. Первый отечественный роботизированный технический комплекс (РТК) упаковывал эклеры в коробки.

В 1989 г. компания Otto Hansell на своей роботизированной машине для упаковки шоколадных конфет впервые применила систему технического зрения (СТЗ), что позволило укладывать предварительно неориентированные кондитерские изделия. В 2007 г. был разработан робот Smart Packer для упаковки куриных яиц по 24 или 30 шт. в специальные контейнеры, которые затем группировались по 15 шт. и укладывались в коробки; также робот наполнял коробки специальным пенопластом для обеспечения защиты содержимого при транспортировке³³.

Промышленные и коллаборативные роботы в пищевой промышленности все чаще используются для первичной и вторичной обработки [19].

Наиболее важным достижением роботизированных технологий для обработки пищевых продуктов стало внедрение более совершенных захватов. Сейчас существуют мягкие захваты, которые могут быстро и осторожно обращаться с пищевыми продуктами – такими, как фрукты и овощи. Захваты других типов, например, вакуумные, также эффективны при работе с деликатными предметами или предметами неправильной формы; многие захваты также сочетаются с надежной технологией роботизированного зрения для управления роботизированной рукой, что позволяет компенсировать изменения формы изделия³⁴ [20].

Использование роботов в пищевой промышленности происходит, в основном, для обработки пищевых продуктов. Прогнозируется, что мировой рынок автоматизации и робототехники в секторе обработки пищевых продуктов и напитков будет устойчиво расти в будущем. Для выполнения операций по упаковке и паллетизации продукции применяется примерно 50% роботов пищевой промыш-

ленности. Роботы занимаются погрузкой/разгрузкой пакетов, коробок и поддонов. Современная робототехника позволяет значительно повысить эффективность сбора заказов и упаковки. Например, сразу после того, как заказ размещен в Интернете, робот может определять местоположение конкретного продукта, правильно упаковывать его и предоставлять клиенту информацию о доставляемом продукте. Роботы для упаковки пищевых продуктов освобождают работников от повторяющихся и утомительных задач, вместо этого люди могут выполнять другие, более важные функции [21, 22].

По данным IFR, в Европе используется больше всего роботов в пищевой промышленности (20 тыс. ед. в 2012 г.). Остальные страны также начинают использовать роботов в этой отрасли. Так, в 2012 г. США, Италия, Германия, Япония и Китай приобрели наибольшее количество роботов для обработки пищевых продуктов и напитков (США – 672 ед., Италия – 614 ед., Германия – 588 ед., Япония – 584 ед., Китай – 482 ед.³⁵). При этом наблюдается рост продаж: в странах Европы они выросли с 2480 ед. в 2013 г. до 3766 ед. в 2017 г., в США – с 769 ед. в 2010 г. до 2438 ед. в 2018 г., в Японии – с 584 ед. в 2012 г. до 944 ед. в 2019 г. (табл. 8). В 2018 г. наиболее существенно выросли продажи ПР для пищевой промышленности в США (в 2,3 раза по сравнению с 2013 г.) и Японии (в 1,5 раза за тот же период). Следует отметить, что, начиная с 2016 г., темпы прироста продаж ПР для пищевой промышленности во многих странах заметно возросли.

По данным Reuters, поставки роботов компаниям, производящим продукты питания и товары потребления, в 2018 г. выросли на 60% по сравнению с 2017 г.³⁶ По данным Ассоциации технологий упаковки и обработки (Association for Packaging and Processing Technologies), 94% операторов по упаковке пищевых продуктов уже используют робототехнику³⁷.

Плотность роботизации в среднем в европейских странах увеличилась с 62 ед. в 2013 г. до 84 ед. в 2017 г. (рост на 35%)³⁸. Самая высокая плотность роботизации наблюдалась в 2017 г. в Швеции и Дании – примерно 147 ед. (табл. 9), затем идут

³³ Продукты питания в стальных руках: к пятидесятилетию появления первых промышленных роботов. URL: <https://article.unipack.ru/38575> (дата обращения 01.11.2019).

³⁴ Robotics in Food Manufacturing and Food Processing. URL: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Robotics-in-Food-Manufacturing-and-Food-Processing/154> (дата обращения 15.10.2019).

³⁵ Food and beverage processing sector. URL: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/026.nsf/eng/00121.html> (дата обращения 07.07.2020).

³⁶ Food companies using more robots in manufacturing. URL: <https://www.specialtyfood.com/news/article/food-companies-using-more-robots-manufacturing/> (дата обращения 10.07.2020).

³⁷ Robotics and automation in the food industry and its future. URL: <https://www.lacconveyors.co.uk/robotics-and-automation-in-the-food-industry/> (дата обращения 10.07.2020).

³⁸ Data & Trends. EU food&drink industry. 2019. URL: https://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/FoodDrinkEurope_-_Data__Trends_2019.pdf (дата обращения 16.07.2020).

Таблица 8

Объем продаж роботов в пищевой промышленности (ед.) и индекс роста продаж (%)

Table 8

Sales of robots in the food industry (units) and growth rate of sales (%)

Страна/регион	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Япония	584	735	679	516	683	778	1068	944
индекс роста, 2013 г.=100%	79,5	100	92,4	70,2	92,9	105,9	145,3	128,4
темпы роста, в % к предыдущему году	25,9	-7,6	-24,0	32,4	13,9	37,3	-11,6
США	769	800	672	1080	972	1025	1114	1523	2438	...
индекс роста, 2013 г.=100%	71,2	74,1	62,2	100	90,0	94,9	103,1	141,0	225,7	...
темпы роста, в % к предыдущему году	...	4,0	-16,0	60,7	-10,0	5,5	8,7	36,7	60,1	...
Европа	2480	3192	2772	3412	3766	...	...
индекс роста, 2013 г.=100%	100	128,7	111,8	137,6	151,9	...	...
темпы роста, в % к предыдущему году	28,7	-13,2	23,1	10,4	...	...
Всего в мире	6200	7056	6853	8194	9724	...	...
индекс роста, 2013 г.=100%	100	113,8	110,5	132,2	156,8	...	...
темпы роста, в % к предыдущему году	13,8	-2,9	19,6	18,7	...	...

Составлено авторами по материалам: Бизнес-журнал. 2015. №8(232). URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false; Food tech: technology in the food industry. ING Economics Department. April 2019. URL: https://think.ing.com/uploads/reports/ING_-_Food_tech_-_April_2019.pdf (дата обращения 16.07.2020).

Compiled by the author based: Business magazine. 2015. №8(232). URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false; Food tech: technology in the food industry. ING Economics Department. April 2019. URL: https://think.ing.com/uploads/reports/ING_-_Food_tech_-_April_2019.pdf (accessed 16.07.2020).

Нидерланды и Италия. Это страны с относительно высокими затратами на рабочую силу. В Великобритании и Германии затраты на рабочую силу в пищевой промышленности ниже.

По данным IFR, рост использования роботов в пищевой промышленности ожидается в следующих областях:

- производство замороженных и охлажденных продуктов (объем замороженных и охлажденных продуктов составлял более 16 млрд евро в 2011 г. в Европе – около 40% мирового рынка);
- производство готовых блюд (готовые блюда составляют почти 43% продаж замороженных и охлажденных продуктов; ожидается, что только европейский рынок будет расти на 2,5–3% в год);
- производство кондитерских изделий (считается, что Китай является потенциальным важным рынком³⁹).

Примеры использования роботов в пищевой промышленности

Промышленные роботы в пищевой промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

- поднятие предметов и размещение их на линии упаковывания;

- обработка продукции (например, теста в пекарне; в индустрии напитков роботы очищают бутылки, подсчитывают их, заполняют и укладывают на конвейерную ленту);
- паллетирование (укладка на поддоны печенья, напитков, макаронных изделий, сладостей и других предметов);
- разгрузка поддонов;
- нарезка продукции (например, нарезка сырной продукции, тортов, сырых продуктов и т.д.; роботы способны нарезать продукты одинаковой формы);
- разделка мяса;
- укладка и перемещение готовой продукции (например, кондитерских изделий; пиццы и др.);
- сортировка и отбраковка продукции (роботы сортируют различные фрукты и овощи, дифференцируя их в соответствии с размером, цветом, формой и типом);
- упаковка продукции (например, рулетов из слоеного теста с шоколадом и сливками, буханок хлеба в коробки, круассанов и сыров в пластиковые лотки, сэндвичей, эклеров, конфет и шоколада);
- проверка и контроль качества (овощей и фруктов, хлебобулочных изделий; роботы использу-

³⁹ Appendix III – trends in automation and robotics. Automation and robotics in food and beverage. URL: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/026.nsf/eng/00131.html> (дата обращения: 06.04.2020).

Таблица 9

Плотность роботизации в пищевой промышленности по странам, ед.

Table 9

Robot density in the food industry by country, units

Страна	2008	2011	2017
Германия	55	57	80
США	40	50	...
Япония	25	23	...
Южная Корея	13	21	...
Китай	3	7	...
Швеция	...	...	174
Дания	...	...	174
Бельгия	...	...	82
Италия	...	...	145
Франция	...	...	55
Велико-британия	...	...	40

Составлено авторами по материалам: Бизнес-журнал. 2015. №8(232). URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false; Markarian J. Using robotics in pharmaceutical manufacturing. PharmTech. 2014. URL: <http://www.pharmtech.com/using-robotics-pharmaceutical-manufacturing> (дата обращения 08.10.2019).

Compiled by the author based: Business magazine. 2015. №8(232). URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false; Markarian J. Using robotics in pharmaceutical manufacturing. PharmTech. 2014. URL: <http://www.pharmtech.com/using-robotics-pharmaceutical-manufacturing> (accessed 08.10.2019).

ются для контроля качества путем отбора гнилых или неоптимальных продуктов перед упаковкой);

- работа в морозильных и холодильных камерах;
- украшение продуктов (роботы могут украсить несколько продуктов одинаково или разрезать продукты на сложные формы).

В пищевой промышленности используются роботы компаний Yaskawa Motoman, ABB, Fanuc, Kuka, Comau, Stäubli, Epson и др. Например, для сбора, упаковки и укладки на паллеты продуктов питания и напитков в компаниях Nestlé, Unilever, Cadbury, Coca-Cola, Budweiser используются роботы ABB, Kuka и Fanuc, а в компаниях Bavaria Brauerei и Kiviks Musteri Stenhamra – роботы Yaskawa Motoman. Для нарезки продукции в компании A-ware применяются роботы Fanuc. Для подбора и размещения

предметов в компании Biscuiterie Thijs используются роботы Fanuc. Для обработки продукции в компании Freixenet применяются роботы Fanuc. Для упаковки и паллетирования готовой продукции в компании Русагро используются роботы Kuka. Для обработки и упаковки готового печенья применяются роботы Epson. Для перемещения и укладки готовой продукции на заводе Charnwood Foods применяются роботы Yaskawa Motoman. Для декорирования движущихся по конвейеру тортов в компании Unifiller используется робот Deco-Bot. Для украшения пирожных, пирогов и тортов используются роботы Epson. Для разделки мяса применяются роботы Fanuc M-710iB и Kuka KR 125. Для разгрузки поддонов в компании Craft Brew Alliance применяется робот Kuka KR 270 R2700 ultra. Для паллетирования в компаниях Sunoko и Arla Foods AB используются роботы Kuka, в компании Chelsea Milling – роботы Fanuc M-710iC, M-2iAs и M-410, в компаниях Bremnes Seashore, Westheimer и Dugnaden – роботы Kawasaki, в компании KSGPM – роботы Comau, в компаниях Unilever, «МолПродукт» и «Хладокомбинат Западный» (Россия) – роботы ABB⁴⁰ [23]. Для упаковки продукции в компаниях Coca-Cola и KН deJong используются роботы Fanuc⁴¹, в компаниях Maryland и Piper-Heidsieck und Charles Heidsieck – роботы Kuka, на заводе Danone – роботы Stäubli.

Химическая промышленность

Промышленные роботы с успехом применяются в химическом производстве, выполняя свои задачи в условиях повышенной опасности, чему способствует высокая надежность механизмов и систем управления. Использование полностью автоматизированных роботизированных производственных линий позволяет повысить уровень контроля производства и исключить возникновение аварийных или опасных ситуаций. Применение роботов позволяет снизить затраты предприятия на оплату труда, повысить производительность линий, повысить качество выпускаемой продукции.

В химической промышленности роботы используются, например, в рабочих камерах, удаленных или закрытых от доступа человека, при обращении с радиоактивными или опасными материалами. Роботы SCARA используются для борьбы с биологическими опасностями, такими как вирусы или другие патогенные микроорганизмы. Роботы также используются при работе с неопасными материалами, которые могут производить потенциаль-

⁴⁰ Цифровые роботизированные решения ABB на заводе Unilever в России. URL: <http://www.robogeek.ru/robo-keisy/tsfrovye-robotizirovannye-resheniya-abb-na-zavode-unilever-v-rossii> (дата обращения 20.09.2019).

⁴¹ Self-Catering: Robotics in the Food-Processing Industry. URL: <https://www.foodprocessing-technology.com/features/feature91016/> (дата обращения 27.09.2019).

но взрывоопасную пыль; проверяют конструкции или здания, которые содержат опасные или радиоактивные материалы, структурную целостность реактора или здания, в котором хранится радиоактивный материал. Также роботы применяются для сбора образцов для анализа почв, загрязненных опасными химическими или радиоактивными веществами. Взрывозащищенные роботы применяются для работы в опасных зонах, где пары могут легко воспламениться при воздействии тепла или искр. Например, покрасочный робот Motoman (рассчитанный на опасные среды) с грузоподъемностью 10 кг используется для обработки деталей рулевого колеса автомобиля в зоне, где присутствуют легковоспламеняющиеся/взрывоопасные пары⁴² [24].

Плотность роботизации в химической промышленности наиболее высока в Японии и Германии (см. табл. 10). Следует обратить внимание, что в Китае за три года плотность роботизации в химической промышленности увеличилась в два раза.

Таблица 10

Плотность роботизации в химической промышленности по странам, ед.

Table 10

Robot density in the chemical industry by country, units.

Страна	2008	2011	2011/2008
Южная Корея	20	25	1,25
Япония	165	150	0,91
Германия	100	105	1,05
США	50	65	1,30
Китай	10	20	2,0

Составлено авторами по материалам: Бизнес-журнал. 2015. №8(232). URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

Compiled by the author based: Business magazine. 2015. №8(232). URL: https://books.google.ru/books?id=wKhJCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Примеры использования роботов в химической промышленности

Промышленные роботы в химической промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

- гидроабразивная резка пластиковых деталей;
- загрузка/разгрузка машин для литья под давлением;

- литье пластмасс под давлением;
- паллетирование продукции (позиционирование коробки, ее наполнение и герметизация, укладка коробок на поддоны);
- погрузка/разгрузка;
- подбор и перемещение деталей;
- производство углепластика;
- резка и обработка (например, пластмассовых топливных баков);
- сборка;
- упаковка;
- сортировка/отбраковка (сырья, полуфабрикатов, готовой продукции);
- маркировка/нанесение этикеток;
- загрузка производственных линий;
- фрезеровка;
- сварка (трением, лазерная).

В химической промышленности используются роботы компаний ABB, Kuka, Yaskawa Motoman и др. Например, для гидроабразивной резки пластиковых деталей в компании Volar Plastics используются роботы ABB. Для загрузки и разгрузки машин для литья под давлением в компании Krumpolz применяются роботы Kuka. Для литья пластмасс под давлением в компании Gebrüder Schwarz используются роботы Kuka, в компании Axjo – роботы ABB⁴³. Для производства углепластика в компании Compositence используются роботы Kuka. Для резки и обработки деталей в компании TI Automotive применяются роботы ABB. Для упаковки в компаниях Power Plastics и Berry Plastics Corp применяются роботы ABB и Yaskawa Motoman. Для фрезеровки в компании Studio Babelsberg используются роботы Kuka. Для сборки в компаниях George Utz и Kabeldon используются роботы ABB. Для подбора и перемещения деталей в компании Fiskars применяются роботы ABB.

Аэрокосмическая промышленность

В аэрокосмической отрасли роботы используются в производстве самолетов и авиационных двигателей. Производство в аэрокосмической отрасли предъявляет очень высокие требования к точности при жестких допусках и высокой повторяемости процессов. При этом большой размер некоторых компонентов представляет собой проблему для стандартного промышленного робота, поэтому для создания крупных самолетов используется одновременно несколько роботов.

⁴² Chemical and Hazardous Material Handling Robotics. URL: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Chemical-and-Hazardous-Material-Handling-Robotics/content_id/614 (дата обращения 01.10.2019).

⁴³ Axjo. Case study: injection moulding. URL: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PL0041&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (дата обращения 19.09.2019).

Промышленные роботы используются также для осмотра самолетов с целью их обслуживания. Роботизированные проверки самолетов помогают сократить время, затрачиваемое на это, в десятки раз – до нескольких минут. Роботы с дистанционным управлением отправляют изображения с высоким разрешением после осмотра поверхности самолета наземным службам для оценки необходимости проведения ремонта. Предполагается, что такие роботы могут быть в будущем модернизированы для проведения ультразвуковых и термографических проверок⁴⁴.

Примеры использования роботов в аэрокосмической промышленности

Промышленные роботы в аэрокосмической промышленности используются для автоматизации следующих процессов:

- сверление отверстий в компонентах (одна из главных операций, в которых используются ПР в аэрокосмической промышленности; роботы, оснащенные системами видения, определяют, где нужно выполнять сверление на планере, и могут многократно повторять процесс сверления с одинаковой точностью);
- нанесение герметика;
- поиск изъянов в сварных швах;
- подбор и размещение деталей (определение положения детали, ее захват и размещение);
- полировка;
- сварка;
- сборка фюзеляжа;
- покраска (крыльев, фюзеляжа, хвостовых секций, носовой части, дверей; в том числе против коррозии);
- распыление растворителя;
- тестирование материалов и деталей;
- предполетные проверки (приборных панелей в кабине, переключателей и других элементов сенсорной панели; роботы ищут трещины или расслоение композитов и обеспечивают целостность заклепок);
- контроль качества;
- изготовление и крепление деталей;
- обработка материалов;
- резка;
- чистка поверхности;
- погрузочно-разгрузочные работы.

В аэрокосмической промышленности используются роботы компаний Kawasaki, Fanuc, Kuka, Denso,

ABB, Yaskawa Motoman и др. Например, для нанесения герметика и поиска изъянов в сварных швах в компаниях Boeing и Airbus задействованы роботы Fanuc и Kawasaki. Для полировки, сварки и сборки фюзеляжа в компании Boeing применяются роботы Kuka. Для покраски и распыления растворителя в компаниях Airbus и Boeing применяются роботы Fanuc. Для сверления отверстий в компонентах на заводах Lockheed Martin применяются роботы Kuka. Для определения положения детали, ее захвата, сверления отверстий и манипулирования в компании Airbus используется робот Kawasaki RS080N. Для тестирования материалов и деталей в компаниях Airbus и Solvay применяются роботы Denso и ABB. Роботы Yaskawa Motoman просверливают отверстия в титановых и алюминиевых конструкциях, которые поддерживают композитные кожухи для носовой части лайнера Boeing 787. Для обшивки фюзеляжа Airbus A30X и частей фюзеляжа самолетов CSeries Bombardier в компании Coriolis Composites применяются роботы Kuka [25]. Для очистки заклепок от материала уплотнений на заводе Airbus Broughton используются роботы Yaskawa Motoman. Для погрузочно-разгрузочных работ, покраски, нанесения тефлонового покрытия (и грунтовочного покрытия) на конструкции, чтобы защитить их в течение срока службы самолета, применяется робот Kawasaki KJ314. Для нанесения износостойких покрытий на конструктивные элементы самолета, которые окружают или поддерживают двигательные установки, такие как gondoly и пилоны двигателя, в компании Spirit Aero Systems используются роботы Fanuc. Для сверления, нанесения покрытий и удаления краски, сварки алюминиевых конструкций и полировки, а также для герметизации аэроструктур, таких как лонжероны, основные несущие опоры для крыльев самолетов, используются роботы Fanuc. Например, для герметизации используются роботы серии M-710iC. Роботы могут использоваться для автоматизированного размещения волокон композитных фюзеляжей; помогают устранить ошибки, возникающие при разрезании и размещении волокна.

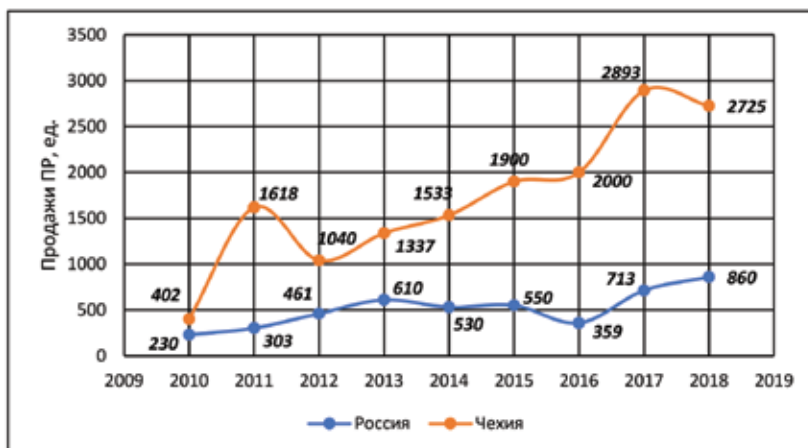
Проблемы развития робототехники в России

В России, в отличие от развитых и ряда развивающихся стран, производство промышленных роботов отсутствует в масштабах, необходимых для реиндустриализации экономики. По данным НАУРР, производство промышленных роботов российских компаний – это, в основном, изготовление штучных экземпляров под заказ.

Объем продаж ПР в России также значительно меньше, чем во многих странах, как развитых, так

⁴⁴ Impact of Robotics in the Aviation Industry. URL: <https://sastrarobotics.com/impact-of-robotics-in-the-aviation-industry/> (дата обращения 01.10.2019).

и развивающихся. Так, в 2018 г. в России было продано 860 промышленных роботов (на 147 больше, чем в 2017 г.), что примерно в 3 раза меньше, чем в Чехии; из них только 5% отечественного производства (рис. 3). Снижение количества проданных роботов в 2016 г. в России связано с падением спроса на продукцию автопрома, который является основным потребителем промышленных роботов в России (около 40% всех продаж ПР).



Составлено авторами по материалам: [4]; ТАСС. Почему в России мало роботов на заводах. И где они все-таки уже заменяют людей. URL: <https://tass.ru/ekonomika/5821888> (дата обращения 17.08.2020).

Рис. 3. Динамика продаж промышленных роботов в России и Чехии, ед.

Compiled by the author based: [4]; TASS. Why there are few robots in factories in Russia. And where they are already replacing people. URL: <https://tass.ru/ekonomika/5821888> (accessed 17.08.2020).

Fig. 3. Dynamics of industrial robots' sales in Russia and the Czech Republic, units

Отраслевая структура закупок промышленных роботов была следующей: автомобильная промышленность – 39%, машиностроение – 16%, пищевая промышленность – 4%, НИОКР и образование – 2%, химическая и нефтехимическая промышленность – 1%, прочее – 37%. По числу продаваемых роботов в год Россия находится на 27 месте в мире. Объем российского рынка промышленных роботов составлял 3 млрд руб., рынка робототехнических систем 9,1 млрд руб. (в том числе инжиниринг, оснастка, программное обеспечение и пусконаладка).

Всего в 2018 г. в эксплуатации находились 5000 роботов, плотность роботизации составляет только 5 роботов на 10 тыс. рабочих мест (примерно в 20 раз меньше среднемирового показателя), значительна зависимость от импортного оборудования и компонентов. Для сравнения, по данным IFR, объем мирового рынка промышленных роботов в 2018 г. составил 16,5 млрд долл., по прогнозам в 2020–2022 гг. во всем мире планируется установить почти 2 млн новых промышленных роботов; в Германии в 2016 г. было установлено более 130 тыс. роботов, при этом Германия закупила около 20 тыс., а Россия – 359 роботов⁴⁵; в этом же году в Чехии было установлено 2000 роботов, в Венгрии – 710 ед., в Словакии – 1732 ед., в Польше – 1632 ед., в Румынии – 742 ед.⁴⁶ [26].

Ситуация с применением ПР в России объясняется, очевидно, деиндустриализацией экономики: доля промышленности в целом в ВВП снизилась с 35,4% в 1990 г. до 23,6% в 2016 г., а в выпуске – с 48,6% до 37,7% соответственно; доля обрабатывающей промышленности (ОП) в ВДС (%) в 2016 г. составляла 13,7% (в Южной Корее – 29,3%, Китае – 27,5%, Чехии – 27,1%), и Россия находилась по этому показателю на 29-м месте

среди 40-ка стран. Если отечественной станкостроительной отраслью в 1990 г. выпускалось 74,2 тыс. металлорежущих станков (МРС), то в 2017 г. – 4,4 тыс., соответственно, сократился станочный парк. По производству электронной техники Россия среди 53-х стран в 2012 г. занимала 30-е место, и т.д. Очевидно, в этих условиях для роста парка ПР предварительно требуется восстановление и дальнейшее развитие обрабатывающей промышленности – основного потребителя ПР⁴⁷.

Наиболее роботизированными отраслями в России являются автомобильная промышленность

и машиностроение.

⁴⁵ Варшавский А.Е. Проблемы многоплановости задачи ускорения научно-технологического и инновационного развития России // Вестник ЦЭМИ РАН. 2018. Выпуск 1. URL: <https://cemi.jes.su/s111111110000122-7-1/>. DOI: 10.33276/S0000122-7-1

⁴⁶ Raport IFR. URL: rekordowaspredazrobotowwPolsce. <https://zrobotyzowany.pl/informacje/publikacje/3564/raport-ifr-rekordowaspredaz-robotow-w-polsce> (дата обращения 20.07.2020); 6% wzrost sprzedazy robotow na swiecie i 40% w Polsce. URL: <https://wertiq.pl/news/24531> (дата обращения 20.07.2020).

⁴⁷ Варшавский А.Е. Основные проблемы реализации четвертой промышленной революции в России. Производство, наука и образование России: технологические революции и социально-экономические трансформации / Сборник материалов V международного конгресса (ПНО-V) / под общ. ред. С.Д. Бодрунова. М.: ИНИР им. С.Ю. Витте, 2019. С. 95–105.

(так, на заводе «КАМАЗ» роботизация началась ещё в 1980 г.), химические и нефтехимические производства⁴⁸. Примером предприятия, использующего промышленных роботов в России, является также Тихвинский вагоностроительный завод, где роботы применяются для выполнения сварочных работ, покраски, чистки кузовов перед покраской вагонов (на заводе установлено более 80-ти промышленных роботов)⁴⁹.

Далее рассмотрим некоторых производителей ПР в России (на основе информации, представленной в открытых источниках⁵⁰), поскольку эти данные в определенной степени дают представление о состоянии дел в стране.

Компания «Аркодим» (Казань), которая поставляет роботов-манипуляторов на производства в Москве, Ростове-на-Дону, Рязани, Новосибирске (робот-сварщик, упаковщик, работник конвейера). Первый экспериментальный образец робота-манипулятора выпущен в 2015 г., а с 2016 г. компания поставляет промышленных роботов заказчикам. Роботов производят в Казани и Новосибирске, стоимость базовой комплектации – от 900 тыс. руб. В 2018 г., совместно с университетом «Иннополис», компания создала первый в России коллаборативный робот.

Компания «АвангардПЛАСТ» (Новосибирск), партнер компании «АРКОДИМ» и производитель роботов-манипуляторов под собственным брендом GRINIK. Осуществляет разработку, производство и внедрение промышленных роботов, производит роботы-манипуляторы для обслуживания термопластавтоматов.

EidosRobotics («Эйдос-Робототехника», Казань) – резидент Инновационного центра «Сколково» и участник Камского инновационного территориально-производственного кластера Республики Татарстан. Компания основана в 2012 г. и ориентирована на разработки в области компьютерного зрения, адаптивного управления роботами и коллаборативной робототехники. Выпускает манипуляторы серии Hexarod, имеющие шесть степеней свободы (они могут применяться для решения широкого класса задач). В 2018 г., совместно

с «Газпром нефть», компания представила роботизированную руку-манипулятор для автоматизированной заправки транспортных средств, в том числе самолетов и бензовозов.

Компания «Битроботикс» (Москва) в 2014 г. создала первого российского дельта-робота для использования в производстве товаров повседневного спроса. В 2019 г. четыре таких робота использовались на хлебозаводах «Простор» и «Черёмушки» в Москве, серийное производство на территории технопарка планировалось запустить в марте 2020 г. Компания разрабатывает проекты роботов для кондитерской, молочной и мясоперерабатывающей промышленности, бытовой химии, парфюмерии и косметики; разрабатывает программное обеспечение, проектирует и производит роботов, конвейерные системы, рамы (при этом закупаются общепромышленная автоматика: тачпады, пневматика, двигатели и периферия). В июле 2019 г. «Битроботикс» стала резидентом особой экономической зоны «Технополис Москва», а весной 2020 г. планировала запустить там серийное производство промышленных роботов.

Компания AripixRobotics с 2017 г. выпускает шестиосевой робот-манипулятор Aripix A1 (стоимость – 2 млн руб.). В ноябре 2018 г. привлекла 500 тыс. долл. инвестиций и стала резидентом технопарка «Мосгормаш»; получила более 40 предзаказов от заводов AhmadTea, «Москабель», «Иннотех», Волжского шинного завода В 2019 г. компания производила три робота в месяц, а к началу 2020 г. планировала увеличить производство до 15-ти роботов в месяц. Робот Aripix A1 устанавливается на производствах компаний «Москабельмет» и ГК «ПИК», его грузоподъемность – 10 кг, он оснащен компьютерным зрением и может работать на конвейере, упаковывать и маркировать товар, выполнять сварочные операции.

Компания «Рекорд-Инжиниринг» – основана в 2005 г., производит роботы-манипуляторы для тяжелых изделий (грузоподъемность роботов – до 250 кг в зависимости от типа). За 14 лет компания разработала и выпустила более 200 промышленных роботов, и в последние три года установила роботов на заводах компаний «Сургутнефтепромхим», «Мехатроника», «Кировская керамика», «Мультифлекс».

⁴⁸ «Люди на заводах все еще боятся роботов». Что происходит на рынке промышленной роботизации в России. URL: <https://academy.sk.ru/news/b/press/archive/2020/03/24/lyudi-na-zavodah-vse-esche-boyatsya-robotov-chto-proishodit-na-rynke-promyshlennoy-robotizacii-v-rossii.aspx> (дата обращения 22.07.2020).

⁴⁹ Роботы Kuka в России: от автоматизации советского автопрома до гаражных манипуляторов. URL: <https://devsday.ru/news/details/22659> (дата обращения 21.07.2020).

⁵⁰ Цыплёнова М. Каких роботов производят в России для медицины, промышленности, грузоперевозок и образования. URL: <https://vc.ru/tech/80998-kakih-robotov-proizvodyat-v-rossii-dlya-mediciny-promyshlennosti-gruzoperevozok-i-obrazovaniya> (дата обращения 30.08.2019); Чистов Н. Производство промышленных роботов в России. URL: <https://robo-hunter.com/news/robototekhnika-v-rossii-eto-segodnya-proizvodit-promishlennih-robotov> (дата обращения 06.03.2020); Обзор: Российский рынок промышленной робототехники 2019. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения 26.02.2020).

Компания «НПО «Андроидная техника», основанная в 2009 г., за 10 лет разработала более 50-ти робототехнических систем (например, известный робот Федор). В 2019 г. начала серийный выпуск коботов CR, которые могут перемещать грузы от 3-х до 10-ти кг в рабочей зоне 1,8 кв. м.

Робототехническая лаборатория Сбербанка – разработала робот-манипулятор (который был представлен на международной выставке «Сколково Роботикс» в апреле 2019 г.) для сортировки предметов в магазинах, на почте и в банках. «Сбербанк» предполагает использовать робот для пересчета и сортировки монет, купюр и т.п.

Ростех и компания RozumRobotics (Беларусь), представившие на международной промышленной выставке «Иннопром-2019» совместную разработку – высокоточный манипулятор кобот-«рука» Pulse (две модели, грузоподъемностью 6 и 4 кг) для работ, предъявляющих высокие требования к точности и качеству (сварка, резка, пайка, сборка, проведение лабораторных анализов, испытаний, использование в ритейле и т.п.).

Разработка и производство роботов в России, по мнению экспертов, осложнены длительными сроками проведения НИОКР и испытаний, отсутствием элементной базы (сервомоторы, редукторы, системы линейного перемещения, контроллеры и др., которые импортируются), потребностью в соответствующей инфраструктуре для интеграции робота в производственный цикл (быстронастраиваемое ПО, шаблоны, машинное зрение и т.д.), короткими горизонтами планирования и высокой стоимостью проектов роботизации при низкой стоимости ручного труда, что приводит к большим срокам окупаемости.

Однако основная причина – значительная деиндустриализация, сокращение и разрушение обрабатывающих производств. Так, производство машин и оборудования в 2016 г. составило только 54,1%, а в целом объем продукции обрабатывающей промышленности составляет всего 104,9% относительно 1992 г.; особенно серьезно положение в станкостроении – если в 1990 г. в России, по данным Росстата, выпускалось 74,2 тыс. металлорежущих станков, в том числе 16,7 тыс. с ЧПУ, то в 2011 г. – 3,2 и 0,2 тыс. соответственно, а в 2017 г. было выпущено только 4368 металлорежущих станков⁵¹.

В то же время, страны, где высока доля обрабатывающей промышленности в ВВП и растет производство машин и оборудования, отличаются высокой скоро-

стью роботизации. Так, например, в Южной Корее в 2016 г. доля обрабатывающей промышленности в ВВП составляла 26,8%, в Китае – почти 29%, в Чехии – 24,1%; доля производства машин и оборудования в обрабатывающей промышленности в период 1992–2016 гг. наиболее существенно выросла в Венгрии (с 11,8% до 43,7%) и в Южной Корее (с 29% до 48,7%). За этот же период времени плотность роботизации в обрабатывающей промышленности Венгрии выросла с 2 ед. до 57 ед., в Южной Корее – с 15 ед. до 631 ед. Доля производства машин и оборудования в обрабатывающей промышленности Сингапура в 2016 г. составляла более 50%, и по плотности роботизации эта страна в 2018 г. вышла на первое место (831 робот на 10 тыс. занятых). Таким образом, для повышения плотности роботизации в России основное внимание необходимо уделить развитию обрабатывающей промышленности в целом.

Выводы

Проведенный анализ показывает, что применение промышленных роботов, которые обеспечивают снижение требований к интенсивному человеческому труду, травматизма на рабочем месте, времени безотказной работы, производственных затрат и одновременно повышение качества конечного продукта, производительности, гибкости и безопасности, скорости и точности выполнения заказов, значительно расширяется во многих странах, как развитых, так и развивающихся.

Основными тенденциями развития промышленных роботов являются внедрение машинного зрения, искусственного интеллекта, создание коллаборативных роботов (которые могут работать совместно с человеком), повышение простоты их использования, развертывания и обслуживания. Роботы становятся более универсальными, гибкими, точными. При их разработке используется открытый программный код, цифровые технологии управления.

Применение промышленных роботов постоянно расширяется: если ранее основным потребителем промышленных роботов было автомобилестроение, то в настоящее время происходит рост их применения в пищевой, фармацевтической, электротехнической/электронной и других отраслях обрабатывающей промышленности, что свидетельствует о новых тенденциях развития и применения робототехники.

При этом происходит снижение их стоимости (если в 2009 г. средняя цена робота составляла 63 тыс. долл., то в 2018 г. она снизилась до 45 тыс. долл.⁵²), расширение возможностей и областей применения.

⁵¹ Варшавский А.Е. Проблемы многоплановости задачи ускорения научно-технологического и инновационного развития России. Вестник ЦЭМИ РАН. 2018. Выпуск 1. URL: <https://cemi.jes.su/s11111110000122-7-1/>. DOI: 10.33276/S0000122-7-1

⁵² Industrial robotic market outlook. URL: <https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/engineeringtopics/robotics/industrial-robotic-market-outlook-2019.pdf> (дата обращения 07.07.2020).

Кроме того, растет спрос на простых в использовании роботов с ограниченным применением, коротким жизненным циклом и низкой ценой.

В этой связи для России особенно актуально ускорение процесса реиндустриализации, в первую очередь, восстановление и дальнейшее развитие машиностроения, электронной, электротехнической и других отраслей обрабатывающей промышленности, определяющих основной спрос на ПР. Должна быть разработана и реализована соответствующая программа приоритетного развития именно этих отраслей. Необходимо понимать, что только на этой базе в нашей стране возможно широкое применение промышленных роботов, развитие промышленного интернета вещей (IIoT) и, в целом, осуществление цифровизации.

Список литературы

1. *Carbonero F., Ernst E., Weber E.* Robots worldwide: The impact of automation on employment and trade. ILO Research Department Working Paper № 36. October 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.10507.13603. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/222392/1/1692599488.pdf> (дата обращения: 11.05.2020)
2. *Ciszak O.* Industry 4.0 – industrial robots. In: MMS 2018: 3rd EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems. 2018. P. 1–9. DOI: 10.4108/eai.6-11-2018.2279577. URL: <https://eudl.eu/pdf/10.4108/eai.6-11-2018.2279577> (дата обращения: 03.08.2020)
3. *Karabegović I., Husak E.* The Fourth Industrial Revolution and the Role of Industrial Robots: A with Focus on China // *Journal of Engineering and Architecture*. 2018. Vol. 6. № 1. P. 67–75. DOI: <http://dx.doi.org/10.15640/jea.v6n1a7>. URL: http://jea-net.com/journals/jea/Vol_6_No_1_June_2018/7.pdf
4. *Конюховская А.Е.* Рынок промышленной робототехники в России и мире // *Вестник Института проблем естественных монополий: техника железных дорог*. 2016. № 3(35). С. 5–11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26452801> (дата обращения: 12.02.2020)
5. *Акимов А.В.* Робототехника: состояние и перспективы развития в мире и России // *Поиск. Альтернативы. Выбор*. 2016. Т. 2. № 2. С. 114–125. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28173300>
6. *Karabegović I.* The Role of Industrial Robots in the Development of Automotive Industry in China // *International Journal of Engineering Works*. 2016. № 3(12). P. 92–97. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01430840> (дата обращения: 15.04.2020)
7. *Karabegović I., Karabegović E., Husak E.* Industrial robot applications in manufacturing processes in Asia and Australia // *Tehnicki Vjesnik*. 2013. № 20(2). P. 365–370. URL: https://www.researchgate.net/publication/296755085_Industrial_robot_applications_in_manufacturing_processes_in_Asia_and_Australia
8. *Акимов А.В.* Промышленная робототехника: мировые экономические тенденции развития // *Станкоинструмент*. 2020. №. 1(18). С. 74–81. DOI: 10.22184/2499-9407.2020.18.1.74.80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42599835>
9. *Graetz G., Michaels G.* Robots at Work // *The Review of Economics and Statistics*. 2018. Volume 100. Issue 5. P. 753–768. DOI: https://doi.org/10.1162/rest_a_00754
10. *Sulavik C., Portnoy M., Waller T.* How a new generation of robots is transforming manufacturing. Manufacturing Institute USA, 2014. P. 1–13.
11. *Bottone G.* A tax on robots? Some food for thought. DF Working Papers, 2018. №. 3. URL: http://www.finanze.it/export/sites/finanze/it/.content/Documenti/Varie/dfwp3_2018.pdf (дата обращения: 12.05.2020)
12. *Kulkarni A.A., Dhanush P., Chetan B.S., Gowda T., Shrivastava P.K.* Recent Development of Automation in Vehicle Manufacturing Industries // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Volume 8. Issue 6S4. P. 410–413. DOI: 10.35940/ijitee.F1083.0486S419. URL: <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i6s4/F10830486S419.pdf> (дата обращения: 01.07.2020)
13. *Дубинина М.Г.* Анализ показателей развития роботов для дуговой сварки (по поколениям) // *Анализ и моделирование экономических и социальных процессов: Математика. Компьютер. Образование*. 2018. Т. 25. № 6. С. 88–96. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36542410>
14. *Mathia K.* Robotics for electronics manufacturing. Cambridge University Press, 2010. 238 p.
15. *Wilson M.* Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. Butterworth-Heinemann, 2014. 242 p.
16. *Karabegović E., Karabegović I., Hadzalic E.* Industrial Robot Application Trend in World's Metal Industry // *Engineering Economics*. 2012. Vol. 23. №. 4. P. 368–378. DOI: 10.5755/j01.ee.23.4.2567
17. *Ben-Ari M., Mondada F.* Elements of robotics. Springer Nature, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-62533-1. URL: <https://www.springer.com/gp/book/9783319625324>
18. *Комкина Т.А.* Особенности и перспективы развития медицинской робототехники // *Концепции*. 2015. № 1(33). С. 26–33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34922926>
19. *Bader F., Rahimifard S.* A methodology for the selection of industrial robots in food handling // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Volume 64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102379>
20. *Nayik G.A., Muzaffar K, Gull A.* Robotics and food technology: a mini review // *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2015. Vol. 5. №. 4.

- DOI: 10.4172/2155-9600.1000384. URL: https://www.researchgate.net/publication/280831297_Robotics_and_Food_Technology_A_Mini_Review
21. Caldwell D.G. (ed.). Robotics and automation in the food industry: Current and future technologies. Elsevier, 2012. 528 p. URL: <https://www.elsevier.com/books/robotics-and-automation-in-the-food-industry/caldwell/978-1-84569-801-0>
 22. Khan Z.H., Khalid A., Iqbal J. Towards realizing robotic potential in future intelligent food manufacturing systems // Innovative food science & emerging technologies. 2018. Vol. 48. P. 11–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.011>
 23. Connolly C. ABB high-speed picking robots establish themselves in food packaging // Industrial Robot: An International Journal. 2007. Vol. 34. № 4. P. 281–284. DOI: <https://doi.org/10.1108/01439910710749591>
 24. Sadiku M.N.O., Musa S.M., Musa O.M. Robots in the Chemical Industry // Invention Journal of Research Technology in Engineering & Management. 2018. Volume 2. Issue 1. P. 21–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3267294>
 25. Bogue R. The growing use of robots by the aerospace industry // Industrial Robot: An International Journal. 2018. Vol. 45. № 6, P. 705–709. DOI: <https://doi.org/10.1108/IR-08-2018-0160>
 26. Cséfalvay Z. Robotization in Central and Eastern Europe: catching up or dependence? // European Planning Studies. 2019. Volume 28. P. 1534–1553. DOI: 10.1080/09654313.2019.1694647

Поступила в редакцию: 02.09.2020; одобрена: 15.09.2020; опубликована онлайн: 30.09.2020

Об авторах:

Варшавский Александр Евгеньевич, заведующий лабораторией «Моделирование экономической стабильности», Центральный экономико-математический институт Российской академии наук (ЦЭМИ РАН) (117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47), Москва, Российская Федерация, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, ORCID: 0000-0001-8229-3692, varshav@cemi.rssi.ru

Дубинина Виктория Васильевна, младший научный сотрудник, лаборатория «Моделирование экономической стабильности», Центральный экономико-математический институт Российской академии наук (ЦЭМИ РАН) (117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47), Москва, Российская Федерация, Viktoria@li.ru

Вклад соавторов:

Варшавский А. Е. – научное руководство, развитие методологии, проведение критического анализа материала, формирование выводов. Дубинина В. В. – сбор данных, формализованный анализ данных, подготовка текста статьи, редактирование элементов статьи на английском языке.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

1. Carbonero F., Ernst E., Weber E. Robots worldwide: The impact of automation on employment and trade. *ILO Research Department Working Paper* №36. October 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10507.13603>. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/222392/1/1692599488.pdf> (accessed: 11.05.2020) (In Eng.)
2. Ciszak O. Industry 4.0 – industrial robots. In: MMS 2018: 3rd EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems. 2018. P. 1–9. <https://doi.org/10.4108/eai.6-11-2018.2279577>. URL: <https://eudl.eu/pdf/10.4108/eai.6-11-2018.2279577> (accessed: 03.08.2020) (In Eng.)
3. Karabegović I., Husak E. The Fourth Industrial Revolution and the Role of Industrial Robots: A with Focus on China. *Journal of Engineering and Architecture*. 2018; 6(1):67–75. <http://dx.doi.org/10.15640/jea.v6n1a7>. URL: http://jea-net.com/journals/jea/Vol_6_No_1_June_2018/7.pdf (In Eng.)
4. Koniukhovskaia A.E. Industrial robots market in Russia and the world. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: tekhnika zheleznykh dorog = Bulletin of the Institute for the Problems of Natural Monopolies: Railway Engineering*. 2016; 3(35):5–11 (In Russ.)
5. Akimov A.V. Robotics: state and development prospects in the world and in Russia. *Poisk. Alternativy. Vychor = Poisk. Alternatives. Choice*. 2016; 2(2):114–125 (In Russ.)
6. Karabegović I. The Role of Industrial Robots in the Development of Automotive Industry in China. *International Journal of Engineering Works*. 2016; 3(12):92–97. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01430840> (accessed: 15.04.2020) (In Eng.)
7. Karabegović I., Karabegović E., Husak E. Industrial robot applications in manufacturing processes in Asia and Australia. *Tehnicki Vjesnik*. 2013; 20(2):365–370. URL: https://www.researchgate.net/publication/296755085_Industrial_robot_applications_in_manufacturing_processes_in_Asia_and_Australia (In Eng.)

8. Akimov A.V. Industrial robotics: world economic development trends. *Stankoinstrument*. 2020; 1(18):74–81. <https://doi.org/10.22184/2499-9407.2020.18.1.74.80> (In Russ.)
9. Graetz G., Michaels G. Robots at Work. *The Review of Economics and Statistics*. 2018; 100(5):753–768. https://doi.org/10.1162/rest_a_00754 (In Eng.)
10. Sulavik C., Portnoy M., Waller T. How a new generation of robots is transforming manufacturing. Manufacturing Institute USA, 2014. P. 1–13 (In Eng.)
11. Bottone G. A tax on robots? Some food for thought. DF Working Papers, 2018; (3). URL: http://www.finanze.it/export/sites/finanze/it/.content/Documenti/Varie/dfwp3_2018.pdf (accessed: 12.05.2020) (In Eng.)
12. Kulkarni A.A., Dhanush P., Chetan B.S., Gowda T., Shrivastava P.K. Recent Development of Automation in Vehicle Manufacturing Industries. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 8(6S4):410–413. <https://doi.org/10.35940/ijitee.F1083.0486S419>. URL: <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i6s4/F10830486S419.pdf> (accessed: 01.07.2020) (In Eng.)
13. Dubinina M.G. Analysis of indicators of development of robots for arc welding (by generations). *Analiz I modelirovanie ekonomicheskikh I sotsial'nykh protsessov = Analysis and modeling of economic and social processes*. 2018; 25(6):88–96 (In Russ.)
14. Mathia K. Robotics for electronics manufacturing. Cambridge University Press, 2010. 238 p. (In Eng.)
15. Wilson M. Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. Butterworth-Heinemann, 2014. 242 p. (In Eng.)
16. Karabegovic E., Karabegovic I., Hadzalic E. Industrial Robot Application Trend in World's Metal Industry. *Engineering Economics*. 2012; 23(4):368–378. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.23.4.2567> (In Eng.)
17. Ben-Ari M., Mondada F. Elements of robotics. Springer Nature, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1>. URL: <https://www.springer.com/gp/book/9783319625324> (In Eng.)
18. Komkina T.A. Features and prospects of the development of medical robotics. *Conceptii = Concepts*. 2015; 1(33):26–33 (In Russ.)
19. Bader F., Rahimifard S. A methodology for the selection of industrial robots in food handling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020; (64). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102379> (In Eng.)
20. Nayik G. A., Muzaffar K, Gull A. Robotics and food technology: a mini review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2015; 5(4). DOI:10.4172/2155-9600.1000384. URL: https://www.researchgate.net/publication/280831297_Robotics_and_Food_Technology_A_Mini_Review (In Eng.)
21. Caldwell D.G. (ed.). Robotics and automation in the food industry: Current and future technologies. Elsevier, 2012. 528 p. URL: <https://www.elsevier.com/books/robotics-and-automation-in-the-food-industry/caldwell/978-1-84569-801-0> (In Eng.)
22. Khan Z.H., Khalid A., Iqbal J. Towards realizing robotic potential in future intelligent food manufacturing systems. *Innovative food science & emerging technologies*. 2018; (48):11–24. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.011> (In Eng.)
23. Connolly C. ABB high-speed picking robots establish themselves in food packaging. *Industrial Robot: An International Journal*. 2007; 34(4):281–284. <https://doi.org/10.1108/01439910710749591> (In Eng.)
24. Sadiku M.N.O., Musa S.M., Musa O.M. Robots in the Chemical Industry. *Invention Journal of Research Technology in Engineering & Management*. 2018; 2(1):21–23. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3267294> (In Eng.)
25. Bogue R. The growing use of robots by the aerospace industry. *Industrial Robot: An International Journal*. 2018; 45(6):705–709. <https://doi.org/10.1108/IR-08-2018-0160> (In Eng.)
26. Cséfalvay Z. Robotization in Central and Eastern Europe: catching up or dependence? *European Planning Studies*. 2019; (28):1534–1553. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1694647> (In Eng.)

Submitted 02.09.2020; revised 15.09.2020; published online 30.09.2020

About the authors:

Alexander E. Varshavsky, Head of Laboratory, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS) (47, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117418), Moscow, Russian Federation, Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor, ORCID: 0000-0001-8229-3692, varshav@cemi.rssi.ru

Victoria V. Dubinina, Junior Researcher of Laboratory, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS) (47, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117418), Moscow, Russian Federation, Viktoria@li.ru

Contribution of co-authors:

Varshavsky A. E. – scientific leadership, development of the methodology, conducting critical analysis of materials and drawing conclusions.

Dubinina V. V. – data collection, formalized data analysis, preparation of the text of the article, editing the elements of the article in English.

All authors have read and approved the final manuscript.