

РОБОТИЗАЦИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Леонид Борисович СОБОЛЕВ

доктор технических наук, профессор кафедры экономической теории,
Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (МАИ),
Москва, Российская Федерация
sobolevLB@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6955-1271>
SPIN-код: 7442-7216

История статьи:

Рег. № 559/2020
Получена 05.10.2020
Получена в
доработанном виде
16.10.2020
Одобрена 29.10.2020
Доступна онлайн
28.01.2021

УДК 330.1

JEL: G34, L19, L93,
O33, O57

Ключевые слова:

промышленные роботы,
сервисные роботы,
аэрокосмическая
отрасль, беспилотные
летательные аппараты

Аннотация

Предмет. Рассмотрена одна из проблем национальной технологической безопасности в средне- и долгосрочной перспективе, связанная с катастрофическим отставанием России в области производства и применения роботов в различных видах экономической деятельности. Роботизация является одной из составляющих четвертой промышленной революции, логическим продолжением компьютеризации и автоматизации промышленных и сервисных процессов на предыдущем этапе эволюционного развития мировой экономики.

Цели. Анализ процесса роботизации мировой аэрокосмической отрасли, связь с общемировым процессом роботизации и влияние на рынок труда.

Методология. Использованы общенаучные методы анализа данных, приведенных в открытых источниках информации.

Результаты. Показана экономическая целесообразность и эффективность использования роботов в авиастроении, освоении космоса и смежных отраслях.

Выводы. Выход России на среднемировые показатели роботизации потребует проведения глубоких реформ, начиная с системы инженерного робототехнического образования, ускорения развития микроэлектроники и сенсорного приборостроения, реформирования рынка труда.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

Для цитирования: Соболев Л.Б. Роботизация аэрокосмической промышленности // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 165 – 183.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.1.165>

Введение

Робототехника вместе с компьютеризацией и автоматизацией – неотъемлемая составляющая четвертой промышленной революции, которую переживает мировая экономика. Роботы находят применение повсюду: в промышленных цехах и на сельскохозяйственных угодьях, в больницах и на складах крупных торговых компаний, на земле, в космосе и под водой, в средах, где человек подвергается опасности потерять здоровье или даже жизнь. С точки зрения экономической теории роботы являются частью ресурса под общим названием «капитал» и выполняют функцию дополняющего и/или замещающего ресурса под названием «труд».

Все большее количество стран (как развитых, так и развивающихся) понимают значение роботизации для развития своих экономик и используют роботов в различных отраслях промышленности и сферы услуг. Робототехника стала самостоятельной отраслью, включающей сотни больших, средних и малых предприятий. Возникли национальные робототехнические ассоциации, в том числе российская Национальная ассоциация участников рынка робототехники (НАУРР). Координацию деятельности национальных робототехнических ассоциаций в международном масштабе осуществляет Международная федерация робототехники (International Federation of Robotics, IFR), созданная в 1987 г. в форме некоммерческой организации. Эта организация собирает статистические данные о рынках промышленных и сервисных роботов в мире, содействует проведению международных конференций и симпозиумов по робототехнике. Ученые и организации, занимающиеся анализом робототехнических рынков, широко используют статистические данные IFR в своих статьях и аналитических отчетах¹.

Международная федерация робототехники подразделяет роботов на промышленные и сервисные в соответствии с делением экономики на два сектора: промышленность и сфера услуг. В свою очередь сервисных роботов также принято разделять на два сегмента: профессиональных роботов, участвующих в трудовой деятельности (медицина, торговля, перевозки, охрана и т.д.), и бытовых роботов, помогающих выполнять домашние работы и проводить досуг (пылесосы, газонокосилки, игровые роботы, «умный дом» и т.д.). Кроме того, среди профессиональных сервисных роботов выделяют военных роботов (разведчиков, саперов, санитаров и т.д.), предназначенных для выполнения определенных функций вооруженными силами.

Для сравнительного анализа состояния робототехнической отрасли в странах и отдельных компаниях обычно используют четыре количественных показателя: выручка от продаж, количество установленных роботов (в стране, отрасли или отдельной компании), плотность роботизации (количество роботов, приходящихся на 10 000 работников) и относительный рост того или иного показателя за определенный временной отрезок.

Следует различать автоматизацию и роботизацию. Робот, согласно IFR, должен быть способен выполнять три рода операций: чувствовать (Sense), думать (Think) и действовать (Act), то есть иметь чувствительный элемент (или несколько чувствительных элементов), встроенный компьютер с программным обеспечением и исполнительный механизм в виде технического или интеллектуального устройства. Автоматизация отвечает только одному или двум из перечисленных требований. Очевидно, что с появлением новых сенсорных элементов, развитием

¹ Аналитическое исследование: мировой рынок робототехники.

URL: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rynka-robototekhniki-%28yanvar-2016%29.pdf; Аналитический обзор мирового рынка робототехники.

URL: https://www.tadviser.ru/images/b/bf/Sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf

компьютерной техники, появлением новых материалов и технологий одни роботы устаревают и им на смену приходит новое поколение роботов².

Современную робототехнику смело можно отнести к одной из высокотехнологичных отраслей промышленности. К сожалению, Россия не входит в число стран – лидеров роботизации по всем перечисленным ранее показателям (за исключением, возможно, количества военных роботов) и занимает довольно скромное место, далекое от первого десятка стран-лидеров. Спрос на роботов в стране невелик из-за слабости высокотехнологичных отраслей, отсутствия производства комплектующих и относительной дешевизны рабочей силы. Со стороны предложения в России нет ни одной крупной компании, специализирующейся на производстве тех или иных роботов с расчетом на экспортные поставки. Имеется несколько компаний-интеграторов, собирающих роботов под заказы (из зарубежных комплектующих) и небольшое количество малых и средних предприятий (в основном на уровне стартапов)³.

Общее отставание России от лидеров в области робототехники связано с общим технологическим отставанием страны и стратегией доминирования сырьевых отраслей. Это отставание в роботизации оценивается специалистами в 7–10 лет и то при условии, что страна возьмет курс на развитие высокотехнологичных отраслей, обеспечивающих высокий спрос на робототехнику. Считается, что Россия занимает третье место (после США и КНР) в области военной робототехники и имеет несомненные заслуги в области создания роботов для космической отрасли. Однако эти направления являются «нишевыми» и занимают небольшое место на рынке робототехники. Доля российской гражданской робототехники в мировом масштабе невелика (менее 1%) как по количественному, так и стоимостному показателям. В ведущих инженерных вузах нашей страны созданы факультеты робототехники, но ощущается недостаток научно-исследовательских лабораторий робототехники и опытных преподавателей. Эти вузы выпускают в год порядка тысячи инженеров-робототехников, но даже им трудно найти работу по специальности [1].

Роботы представляют собой совокупность перспективных устройств и сервисов, способных помочь решить насущные проблемы отечественной экономики, такие как низкая производительность труда, претензии к качеству продукции, нехватка квалифицированных кадров, миграция неквалифицированной рабочей силы. Наряду с альтернативной энергетикой и электроникой робототехника является одним из драйверов роста мировой экономики и потенциальным направлением для диверсификации авиационных, космических и оборонных корпораций России. Следует отчетливо понимать, что развитие робототехники для России – это вопрос соответствия вызовам четвертой промышленной революции. Традиционные методы

² Küpper D., Lorenz M. et al. *Advanced Robotics in the Factory of the Future*. 2019.
URL: <https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future>

³ Перспективные направления применения робототехники в бизнесе.
URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/presentations/doklad.pdf>

повышения производительности труда за счет использования ИТ-технологий при проектировании, производстве и техническом обслуживании сложных технических изделий себя в основном исчерпали. Следующим шагом должна стать роботизация, при которой человек уступит роботам выполнение многих монотонных и опасных для здоровья и жизни работ, оставив за собой программирование, управление и обслуживание роботов. Страны с высоким уровнем роботизации имеют низкую безработицу, а снижение количества низкоквалифицированных работников компенсируется увеличением рабочих мест в других сферах экономики. Тот факт, что Сингапур, Республика Корея и Япония всего за три десятка лет вышли на первые места в мире по производству и использованию роботов, обогнав США и Германию, показывает, что решить задачу роботизации можно в относительно короткий исторический срок и при низких стартовых позициях. Важно понять, что роботизация в той или иной степени коснется всех отраслей экономики и лучше быть в авангарде перемен, чем догонять, повторяя ошибки прошлого.

Целью нашего исследования является анализ использования роботов в мировой аэрокосмической индустрии и влияния роботизации на рынок труда.

Промышленные роботы в авиастроении.

До конца XX в. роботы были относительно дороги, а труд во многих странах – дешев. Поэтому роботы имели ограниченное применение даже в развитых странах, которые предпочитали переносить вредные и не требующие высокой квалификации производства в страны с дешевой рабочей силой, а не роботизировать свои производства. Однако, согласно исследованиям международной консалтинговой компании McKinsey&Co, специализирующейся на задачах стратегического планирования, в мире наблюдаются постоянные разнонаправленные тренды на снижение цены роботов и увеличение стоимости рабочей силы⁴.

По данным IFR, мировые продажи промышленных роботов в 2018 г. составили 16,5 млрд долл., с учетом периферийного оборудования, программного обеспечения и затрат на установку – порядка 44,6 млрд долл. В количественном выражении было продано 422 000 ед., рост составил 6% по сравнению с 2017 г. Плотность роботизации в среднем по миру достигла 99 ед. на 10 000 работников (в России – 5 ед.), рост составил 16% по сравнению с предыдущим годом⁵.

В 2019 г. рост продаж промышленных роботов замедлился из-за падения спроса в автомобильной промышленности – главном потребителе промышленных роботов. Ожидается, что после 2020 г. объем мирового рынка промышленной робототехники возрастет до 73 млрд долл. к 2025 г. При этом в прогнозируемом периоде ежегодный

⁴ Tilley J. Automation, Robotics and the Factory of the Future. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future>

⁵ World Robotics Report: Global Sales of Robots Hit \$16.5B in 2018. URL: <https://www.roboticsbusinessreview.com/research/world-robotics-report-global-sales-of-robots-hit-16-5b-in-2018/>

рост продаж составит 10,4%, то есть на 2–3% ниже по сравнению с оценкой до появления COVID-19⁶.

Несмотря на некоторое падение спроса, автомобилестроение в 2018 г. занимало порядка 30% от рынка промышленных роботов. В своем отчете IFR отметила, что после сильного роста на 21% в 2017 г., в 2018 г. рост составил только 2%. Более 80% установленных промышленных роботов (порядка 100 000 ед.) пришлось на автомобильную промышленность пяти стран: Китая, Японии, Германии, США и Южной Кореи. Согласно данным IFR второе место по отраслевой роботизации занимает электронная и электротехническая отрасли, в которых в 2018 г. было установлено 105 000 роботов (на 14% меньше, чем в рекордном 2017 г.). Это падение спроса явилось следствием определенного насыщения рынка бытовой электроники и торговой войны между КНР и США. Около 80% всех установленных в этой отрасли роботов пришлось на три азиатские страны: КНР, Японию, Южную Корею. На третье место по применению промышленных роботов в 2018 г. IFR поставила металлообрабатывающую и машиностроительную отрасли, на предприятиях которых были установлены 43 000 роботов (10% от общего количества). В этом сегменте основными потребителями являются европейские и североамериканские страны: США, Германия, Финляндия, Швеция и др. К этой группе отраслей можно отнести аэрокосмическую отрасль, которая начала роботизацию с опозданием, вызванным относительно небольшими объемами поставок и значительным количеством ручных операций при сборке самолетов, с трудом поддающихся роботизации.

Несмотря на то что общее число установленных в мире роботов уже превышает 2 млн ед., их количество в различных отраслях продолжает быстро расти. Всемирный экономический форум (WEF) в своем ежегодном докладе *The Future of the Jobs – 2018* оценил в 29% долю мирового производства, которое уже частично роботизировано.

Как уже отмечалось, рост спроса на роботов сопровождается снижением их стоимости и расширением областей применения. Больше всех стран промышленные роботы закупает Китай, который имеет развитые автомобилестроительную и электронную отрасли. В стране наблюдается рост инвестиций и количество патентов на робототехнические разработки. По данным компании IFI Claims, занимающейся мониторингом и исследованиями в области патентования, за последнее десятилетие количество заявок, связанных с роботами, утроилось. Китай лидирует в количестве полученных патентов и поданных заявок (35% общего количества), что в два раза больше занимающей второе место Японии [2]. Рост

⁶ COVID-19 Impact on the Global Industrial Robotics Market – Expected to Grow at a CAGR of 10,4% during 2020–2025; Down by ~3% on the Pre-COVID-19. URL: <https://finance.yahoo.com/news/covid-19-impact-global-industrial-152400580.html>

рынка промышленной робототехники продолжится и далее. Согласно прогнозу IFR, к 2021 г. будет продано еще почти 1,7 млн устройств⁷.

Авиастроение начало внедрять робототехнику лишь в последние десятилетия. Производство и эксплуатация авиационной техники до последнего времени с трудом поддавались автоматизации и роботизации. Как в автомобилестроении и электронике, в изготовлении самолетов необходима очень высокая точность при проведении различных работ, однако объемы выпуска в сотни раз меньше, а количество сборочных операций значительно больше. Тем не менее производители авиационной техники все больше инвестируют в роботизацию для повышения гибкости производства и производительности труда. В первую очередь за роботизацию взялись лидеры авиастроения – Boeing, Airbus, Lockheed Martin и Bombardier, достигшие достаточно высоких объемов выпуска. Все эти компании создали робототехнические отделы, которые тесно сотрудничают как с ведущими японскими и европейскими производителями промышленных роботов, так и с небольшими фирмами, способными выполнить специализированный заказ⁸.

Так, Boeing внедрил на своих заводах несколько роботов крупных производителей – Fanuc и KUKA. Роботов компании Fanuc используют для сверления, клепки, нанесения покрытий, окраски, сварки алюминиевых конструкций и полировки. Роботы KUKA установлены на линии сборки фюзеляжей B777 в г. Эверетт, где секции фюзеляжа собирают с помощью заклепок (порядка 50 000 ед.). Два манипулятора KUKA работают синхронно: один устанавливает и расклепывает крепеж, а другой внутри фюзеляжа выполняет функцию наковальни. Сверление отверстий в фюзеляже выполняет робот еще одной известной компании Electroimpact Inc., который сверлит отверстия и устанавливает крепеж. Клиентами Electroimpact Inc. помимо Boeing являются Northrop Grumman, Bombardier и Embraer. На предприятии Boeing работают также автоматические платформы KUKA omniMove для перемещения крупных деталей. Компания создала свое робототехническое научно-исследовательское подразделение (Boeing Research & Technology, BR&T), которое запатентовало полностью роботизированную линию по сборке фюзеляжей⁹. Известно, что Lockheed Martin также использует роботов при сборке фюзеляжа F-35 и покраски с привлечением компаний Fanuc, KUKA и Comau.

С KUKA сотрудничает и Airbus: в 2016 г. компания поставила Airbus платформы omniMove для перемещения частей фюзеляжа, которые из-за веса и габаритов сложно перемещать кранами. Платформы могут собираться в «составы», поэтому их легко адаптировать под детали разной длины. С 2015 г. Airbus внедряются коллаборативные роботы (коботы), которые являются помощниками работникам.

⁷ IER-World Robotics 2019 Preview – Industrial Robots.

URL: https://ifr.org/downloads/press2018/IFR_World_Robotics_Outlook_2019_-_Chicago.pdf

⁸ Применение роботов в аэрокосмической промышленности. URL: <http://mirprom.ru/public/primenenie-robotov-v-aerokosmicheskoy-promyshlennosti.html>

⁹ Boeing продолжает роботизировать производство. URL: <http://robotrends.ru/pub/1712/boeing-prodolzhaet-robotizirovat-proizvodstvo>

В основном это небольшие роботы на колесах, которые могут передвигаться внутри фюзеляжа строящегося самолета безопасно для работающих там людей. Как показывает опыт роботизации сборки самолетов, небольшие роботы могут оказаться для авиастроения выгоднее, чем большие манипуляторы за счет меньшей цены и большей универсальности. В этом плане на предприятии Airbus в Гамбурге на линии сборки A320 успешно работают два робота на подвижном шасси Luise и Renate, их функция – сверление отверстий в отсеках фюзеляжа для его дальнейшей сборки. Перед сверлением части фюзеляжа совмещаются и идеально выравниваются с помощью лазера. Испанский концерн MTorres (подразделение Airbus) разработал небольшого робота FDH (Flexible Drilling Head), который перемещается по фюзеляжу и осуществляет сверление и клепку. С 2016 г. Airbus сотрудничает с небольшой японской компанией Joint Robotics Laboratory по разработке антропоморфных роботов¹⁰.

Помимо сверления и клепки роботы широко используются при сварке, фасонном фрезеровании, окраске, нанесении покрытий и неразрушающем контроле. Сварка в общей трудоемкости изготовления авиационной техники составляет 40–50%. Крылья современных самолетов имеют сложную конструкцию, включающую топливные баки, гидравлику, закрылки, элероны и т.п. Для выполнения работ внутри крыла разрабатываются роботы, имеющие змеевидную форму.

В 2014–2018 гг. ЕС профинансировал 17 робототехнических проектов под общим названием Horizon 2020, каждый из которых направлен на развитие промышленной и сервисной робототехники. Три из них непосредственно связаны с аэрокосмической промышленностью: AEROARMS – роботизированные системы с несколькими манипуляторами, AEROWORKS – летающие роботы для осмотра и технического обслуживания городской инфраструктуры, COMANOID – роботизированные решения для трудоемких или утомительных для человека операций по сборке самолетов Airbus¹¹.

В настоящее время лидирующие позиции в производстве промышленных роботов для различных отраслей промышленности занимают крупные японские компании (FANUC, Yaskawa, Kawasaki, Nachi, Denso, Mitsubishi, Epson) и несколько европейских компаний (ABB, KUKA, Staubli, Universal Robots)¹². При этом четыре компании (FANUC, ABB, KUKA и Yaskawa) занимают более 50% рынка. С этими компаниями в основном и сотрудничают лидеры авиастроения.

В общей сложности на мировом рынке работает порядка 400 компаний, занимающихся производством промышленной робототехники. Много небольших

¹⁰ Airbus's Automated Future Features Robotics.

URL: <http://aviationweek.com/awin/airbus-s-automated-future-features-robotics>

¹¹ Европа выделяет \$87 млн на проекты по роботам.

URL: <https://robonews.su/17940-Evropa-vydelyaet-87-mln-na-proekty-po-robotam.html>

¹² Top 21 Industrial Robotics Companies in the World 2019.

URL: <https://blog.technavio.com/blog/top-21-companies-in-the-industrial-robotics-market>

компаний производят комплектующие роботов или программное обеспечение. Компании-интеграторы собирают из готовых комплектующих роботов под требования заказчика. Такие индивидуальные роботы обходятся заказчику дороже, чем готовые. В робототехнической отрасли много стартапов, созданных при государственной поддержке, которые создают прототип и ищут инвестора или крупную компанию для организации массового производства.

Сервисные роботы и беспилотные летательные аппараты

К сервисным роботам относят все типы роботов, которые не относятся к производству и входят в сферу услуг. Основным спросом в этом сегменте пользуются логистические роботы, военные роботы, медицинские роботы, роботы для охраны и контроля. В 2018 г., согласно отчету IFR, объем продаж профессиональных сервисных роботов без учета беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) составил 9,2 млрд долл. Объем продаж бытовых сервисных роботов, таких как пылесосы, газонокосилки и игровые роботы, составил 3,7 млрд долл. (рост 15%). Основными производителями сервисных роботов являются американские компании iRobot, Intuitive Surgical (производитель хирургических роботов da Vinci), китайская компания DJI (любительские квадрокоптеры) и японская компания Nachi-Fujikoshi. Производством отдельных типов роботов занимаются также упомянутые ранее производители промышленных роботов KUKA, Omron и Yaskawa.

В отрасли авиаперевозок в ближайшее время можно ожидать появления сервисных роботов в аэропортах. Это:

- роботизированные стойки регистрации пассажиров и выдачи посадочных талонов;
- роботы-полицейские, снабженные телекамерами, сканирующими лица людей в аэропорту для обнаружения разыскиваемых преступников;
- роботизированные логистические системы для приема и транспортировки багажа;
- роботы-информаторы;
- роботы для уборки помещений аэропорта.

Отдельный класс сервисных роботов представляют беспилотные летательные аппараты или дроны, рынок которых делится на два сегмента: военные и гражданские БПЛА. Согласно прогнозу International Data Corporation (IDC), мировой рынок БПЛА в ближайшие годы будет расти устойчивыми темпами. В 2018 г. объем рынка БПЛА составил 12,3 млрд долл., из которых на военные БПЛА приходилось 7,2 млрд долл., остальные 5,1 млрд – на гражданские аппараты. Дальнейший ежегодный рост ожидается в размере порядка 20%, причем в основном за счет гражданского сегмента. Крупнейшими производителями в военном сегменте

являются американские, британские и израильские компании – Boeing, BAE Systems, General Atomics, Israel Aerospace Industries и Elbit Systems¹³.

В коммерческом сегменте производителей БПЛА доминирует китайская компания DJI, которой одной из первых удалось снизить издержки и предложить аппараты по цене меньше 1 000 долл. для индивидуального применения. Таким образом, рынок гражданских БПЛА разделился на две части: коммерческие (профессиональные) дроны и бытовые (потребительские). Коммерческие дроны все больше применяются в полиции, кинематографе, сельском хозяйстве, картографии. С мультикоптерами китайских производителей успешно конкурируют дроны американской компании iRobotics и дроны французской компании Parrot, которая предлагает потребительские модели, например, складной квадрокоптер или гоночный Parrot Mambo FPV¹⁴.

В России отставание на рынке БПЛА стало заметным даже в военном сегменте во время российско-грузинского конфликта 2008 г. Срочно были закуплены израильские военные БПЛА и налажена их лицензионная сборка. Под БПЛА было выделено отдельное финансирование в государственной программе НТИ, его поддерживают грантами и госзаказами. И уже в военном сегменте есть неплохие решения. Однако коммерческие отечественные проекты представляют собой в основном штучную сборку из зарубежных комплектующих с минимальными доработками. Поэтому эти разработки пока не представлены на рынке в достаточном объеме, да и сам рынок России – это лишь около 2% от общемирового рынка БПЛА. Идей использования дронов для различных сервисов достаточно много, однако до промышленного производства пока далеко. Грузоподъемность дронов, дальность полета и надежность все еще оставляют желать лучшего. Примеры успешных решений: дроны-спасатели американской компании Zipline, которые доставляют кровь и медикаменты в Руанде, но больше 2 кг они не поднимают, попытка компании Amazon применить БПЛА для логистических целей¹⁵.

Сервисные роботы для космоса

Мировая ракетно-космическая отрасль состоит из производственного сектора и сектора услуг, включающих множество конкурентных рынков, которые удовлетворяют общественные потребности оборонного и гражданского характера, научные потребности в познании околоземного пространства и Вселенной и досуговые потребности индивидуального характера в космической связи, телевидении, точном определении местоположения, предсказаниях погоды и даже в

¹³ Gertler J. U.S. Unmanned Aerial Systems, January 3, 2012, Congressional Research Service. URL: <https://fas.org/sgp/crs/natsec/R42136.pdf>

¹⁴ Рынок дронов в России и в мире, 2017 г. (беспилотные летательные аппараты, БЛА, БПЛА). URL: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-dronov-v-rossii-i-v-mire-2017-g-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bla-bpla-20180427124557

¹⁵ Мировая экспансия. Тенденции рынка БПЛА. URL: <https://smartdrones.ua/blog/tendentsii-rynka-bpla>

экзотическом космическом туризме. Производственный сектор включает разработку и производство ракет-носителей, космических аппаратов (КА) различной величины и назначения и наземной инфраструктуры (космодромы, пункты слежения и связи с космическими объектами и т.д.). Сектор услуг включает пусковые, телекоммуникационные услуги, данные о состоянии земной поверхности и др.

Мировой космический рынок в 2018 г., по данным американской аналитической компании Брусе, составлял 360 млрд долл. Основной доход (более 80% от мировой экономической деятельности в космосе) был получен от продаж коммерческих продуктов и услуг, которые включают телекоммуникацию, радиовещание, навигацию и наблюдение Земли. Остальные 20% приходились на государственные программы стран, участвующих в космической деятельности. Основную долю расходов (порядка 50 млрд долл.) несли США¹⁶.

Космическая отрасль является одной из самых высокотехнологичных и высокочрезвычайных отраслей как денежного, так и интеллектуального характера. Основными игроками на этом рынке являются США, ЕС, Китай, Россия, Япония, Канада, Израиль и Индия, которые располагают космическими аппаратами собственного производства и средствами выведения на околоземные орбиты и межпланетные траектории (ракетами-носителями). Ввиду потребности в больших инвестициях, которые далеко не всегда окупаются, широко распространено международное сотрудничество в проведении научных исследований и строительстве больших космических объектов. Пока на околоземной орбите находится один такой пилотируемый космический аппарат модульного типа, носящий название Международная космическая станция (МКС).

В последние годы происходят значительные изменения на космических рынках. Доля России в сегменте коммерческого производства крайне мала, так как она не владеет технологиями создания необходимой электронной компонентной базы. Россия, имевшая значительную долю рынка пусковых услуг, теряет свои позиции из-за усиления конкуренции со стороны США, Китая и ЕС и запаздывания вывода на рынок новых конкурентоспособных ракет-носителей. Благодаря приходу в отрасль новых игроков (в первую очередь компании SpaceX) и усилению конкуренции снижается стоимость космических пусков. Производство КА смещается в сторону увеличения количества малых спутников для получения данных о состоянии земной поверхности и целей телекоммуникации. Космическая отрасль становится все более доступной и привлекательной для других отраслей, общественных организаций и простых граждан. Космические продукты и услуги в сочетании с традиционными системами телекоммуникаций и мониторинга земной поверхности обеспечивают повышение качества и доступности этих услуг [3].

Вся пилотируемая космическая деятельность в сфере услуг связана с рисками для жизни космонавтов, которые начинаются со старта ракеты и заканчиваются только

¹⁶ 2018. «Космический бюджет» Земли. URL: <https://habr.com/ru/post/508332/>

после благополучного приземления. Поэтому использование роботов в космической отрасли является не только полезным с точки зрения снижения затрат, но и необходимым с точки зрения опасности нахождения в открытом космосе без специального защитного скафандра из-за жесткого космического излучения. Основные средства космических программ направляются на масштабное изучение Луны, Марса и других планет Солнечной системы.

Для решения этих задач требуется множество различных робототехнических систем, которые можно разделить на три типа:

- орбитальные роботы-манипуляторы для проведения различных работ на орбите, которые в свою очередь делятся на три типа: большие манипуляторы для сборки сложных конструкций на орбите или планетах, небольшие многофункциональные манипуляторы и летающие манипуляторы (Free-Flyers);
- коллаборативные роботы – помощники космонавта в пилотируемых КА;
- напланетные стационарные и подвижные роботы (роверы), снабженные манипуляторами.

В зависимости от расстояния до Земли (и соответствующей задержки сигнала при обмене информацией между роботом и оператором), а также от характера выполняемой работы, роботы могут иметь три уровня автономности (режима управления):

- режим телеуправления (оператор может постоянно контролировать работу робота);
- полуавтоматический (супервизорный) режим, когда оператор только по запросу робота выдает команды на изменение программы работ;
- автоматический режим, когда оператор не имеет возможности управлять роботом и только получает от него информацию (обычно при работе в дальнем космосе).

Космические роботы важны благодаря своей способности выполнять работы в космосе, которые для космонавта сложны или связаны с риском для жизни. Фактически каждый полет в космос за пределы земной орбиты заканчивается гибелью робота, поскольку возвращение на Землю обходится дороже создания нового робота. Доставка роботов в космос – дорогое удовольствие (доставка на низкую орбиту стоит порядка 10 тыс. долл. за килограмм), однако дешевле, чем человека, что делает ее привлекательной для многих космических программ.

Рассмотрим некоторые примеры успешно реализованных и только проектируемых космических роботов, которые будем относить либо к манипуляторам, либо к роверам, снабженным манипуляторами¹⁷ [4].

¹⁷ Wilcox B., Ambrose R., Kumar V. Space Robotics. URL: <https://www.wtec.org/robotics/report/03-Space.pdf>

Манипуляторы. В 1980-х гг. СССР был единственной страной, сумевшей создать пилотируемую модульную станцию «Мир» на околоземной орбите, которая просуществовала на орбите 14 лет. Работы по сборке станции выполнялись либо на Земле, либо космонавтами, одетыми в специальные скафандры, в открытом космосе. В те годы США отказались от строительства пилотируемой станции из-за дороговизны и отсутствия гражданской программы, но первыми освоили технологию создания космических кораблей многоразового использования (Shuttle), которые применялись для полетов в космос и на Луну. В настоящее время многие работы в космосе можно передать роботам-манипуляторам.

После распада СССР Россия в сотрудничестве с США и другими странами стала участником создания МКС, построенной по модульному принципу с использованием стыковочных устройств корпорации «Энергия». Уже при сборке МКС были задействованы американские дистанционно управляемые манипуляторы SRMS (Shuttle Remote Manipulator System), которые доставлялись в грузовых отсеках Shuttle. Затем на МКС был смонтирован дистанционно управляемый манипулятор (Space Station Remote Manipulator – SSRMS "Canadarm 2"), позже к нему был присоединен гибкий манипулятор Dextre (Special Purpose Dexterous Manipulator, SPDM), существенно расширивший функциональные возможности SSRMS. Оба манипулятора разработаны и произведены канадской компанией MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates).

Манипулятор Restore-L, созданный по заказу NASA компанией Space Systems/Loral (SSL), является примером «летающего» манипулятора для отработки технологий обслуживания спутников на низкой околоземной орбите. Первым этапом проекта является запуск роботизированного КА для дозаправки действующего спутника Landsat 7. После того как Restore-L осуществит сближение, захват, заправку и коррекцию орбиты спутника, NASA приступит к проверке ряда других ключевых технологий, которые необходимы для исследования Марса. Технологии Restore-L включают систему автономной относительной навигации с поддерживающей бортовой радиоэлектроникой и небольшие запрограммированные роботы-манипуляторы, спускаемые с борта КА для заправки спутника топливом.

Более сложная программа DARPA обслуживания спутников на геостационарной орбите (RSGS) построена по такому же принципу и позволяет проводить следующие работы с использованием многофункциональных манипуляторов:

- проверку и устранение механических неисправностей, таких как сбои в развертывании солнечных батарей и антенн;
- помощь в осуществлении орбитальных маневров;
- установку стыкуемых модулей, позволяющих модернизировать КА.

Хотя обе программы нацелены на демонстрацию технологий обслуживания КА в орбитальном полете, между ними есть различие в управлении. Ровер Restore-L ориентирован на телеуправление с Земли, в то время как RSGS будет выполнять задачи в автономном режиме из-за задержки связи, обусловленной большим расстоянием до центра управления полетами.

В настоящее время вывод на орбиту крупногабаритных конструкций не представляется возможным в связи с недостаточной грузоподъемностью имеющихся ракетносителей и большими размерами требуемых головных обтекателей. К одному из проектов построения на околоземной орбите масштабных конструкций с помощью 3D принтеров можно отнести проект SpiderFab компании Tethers Unlimited Inc.

Роботы – помощники космонавта. В зависимости от места проведения вспомогательных работ коллаборативные роботы обязаны функционировать либо в обитаемом отсеке МКС и быть безопасными при взаимодействии с космонавтом, либо находиться и проводить работы снаружи МКС. В 2011 г. на МКС был доставлен антропоморфный робот Robonaut-2 (R2), разработанный NASA и General Motors. Робот R2 способен выполнять несложные операции с набором инструментов и предназначен в основном для проведения ремонтных работ в разгерметизированных отсеках и за пределами МКС. В 2014 г. была сделана попытка на борту МКС провести «модернизацию» R2, снабдив его дополнительными двумя захватами («ногами»). Попытка не удалась и робота вернули на Землю. В настоящее время все неполадки на R2 устранены и планируется в ближайшее время вернуть его на МКС для проведения дальнейших испытаний.

В 2019 г. на МКС был доставлен российский антропоморфный робот FEDOR (Final Experimental Demonstration Object Research) для проведения испытаний в рабочей среде. Испытания показали, что робот может выполнять несколько простых операций и нуждается в доработке. После серии испытаний его вернули на Землю.

В институте робототехники и мехатроники Германского центра авиации и космонавтики для работы в космосе спроектирован антропоморфный робот Justin, главным плюсом которого является возможность исполнения непростых операций с помощью двух взаимодействующих «рук» (захватов).

Роверы. К настоящему времени с помощью роверов начаты глубокие исследования ближайших планет – Луны и Марса. Роверами-луноходами можно управлять с Земли в режиме телеуправления. На Луне до настоящего времени работали три управляемых ровера: советские «Луноход-1» (1970–1971 гг.), «Луноход-2» (1973 г.) и китайский луноход «Юйту» (2013–2014 гг.).

С 1970-х гг. начались попытки исследования Марса с помощью спускаемых аппаратов. Первым это сделал СССР, но все три попытки (Марс-2, Марс-3 и Марс-6) закончились неудачами. В 2016 г. Роскосмос совместно с ЕКА отправил на Марс спускаемый аппарат Schiaparelli, но и эта попытка окончилась неудачей. С конца 1990-х гг. на Марсе успешно работали четыре американских ровера – Sojourner, Spirit, Opportunity и Curiosity, на которых были установлены манипуляторы для забора образцов грунта, приборы для исследования поверхности и климатических условий и приборы для передачи полученной информации на Землю. Последний ровер InSight стартовал 5 мая 2018 г. и займется изучением внутреннего строения планеты – ее коры, мантии и ядра для получения информации об истории образования планеты. Ровер снабжен манипулятором InSight IDA (Instrument Deployment Arm), способным пробурить скважину глубиной 5 м и осуществить измерение тепловых потоков и физических свойств марсианского грунта.

Японский ровер Hayabusa-1 в 2005 г. осуществил удачную посадку и забор образцов грунта с околоземного астероида Итокава, которые были доставлены на Землю в 2010 г. В 2018 г. другой японский посадочный модуль Hayabusa-2 совершил посадку на поверхность астероида Рюгу и с помощью трех подвижных минироботов, снабженных различными приборами, провел серию исследований, включающих съемку поверхности, замер температуры и минерального состава окружающих пород.

Роботы и рынок труда

В крупнейших авиастроительных компаниях мира (Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Dassault Aviation), имеющих военный и гражданский сегменты, рост производительности труда является результатом как роста продаж авиационной продукции, так и комплекса мероприятий по повышению эффективности производства, в том числе автоматизации и роботизации [5]. Однако роботизация рождает опасения, в том числе в авиационной отрасли, что роботы оставят людей без работы. Насколько эти опасения оправданы? Растет ли безработица в странах – лидерах по внедрению промышленных роботов?

Для ответа на эти вопросы возьмем такой параметр, как плотность роботизации (количество роботов на 10 000 работников). Согласно статистическим данным IFR за 2018 г., мировыми лидерами роботизации являются Сингапур, Южная Корея, Германия и Япония. В этих странах плотность роботизации составляет более 327 роботов, развиты электронная промышленность, автомобилестроение и успешно развивается аэрокосмическая отрасль. Страны с развитой аэрокосмической отраслью входят в топ-20 по показателю «плотность роботизации». Это США, Канада, Италия, Франция, Китай (135–247) при средней величине по миру – 99 роботов. Китай является абсолютным лидером по количеству закупаемых роботов и старается сохранить положение «мастерской мира». Исключение составляют Бразилия, Россия и Индия, где плотность роботизации очень низка (менее 10

роботов), не развиты автомобилестроение и электронная промышленность. Исследования показали, что безработица на данном этапе роботизации не увеличивается в странах с высоким уровнем роботизации, а заменяемые роботами рабочие места компенсируются появлением новых рабочих мест в растущей робототехнической отрасли [5].

Следующий положительный эффект от роботизации получил название «решоринг» – возврат выведенных ранее в развивающиеся страны производств назад в развитые страны с хорошим инвестиционным климатом. Решоринг начался в США, чему способствовали низкие затраты на энергоресурсы и экономическая эффективность от применения роботов. Основные причины решоринга – рост заработной платы в развивающихся странах и снижение цен на роботов. Среди других причин решоринга представители бизнеса отмечают низкое качество конечного продукта и кражу интеллектуальной собственности.

Преимущество решоринга состоит также в том, что возврат производства позволяет компаниям создать новые рабочие места на родине, упростить цепочки поставок, снизить логистические издержки. За счет этого производители могут сократить время выполнения заказа и быстро адаптировать продукцию для местных потребителей [6].

Удешевление производства в США и других развитых странах, благоприятный инвестиционный климат создали условия для офшоринга производств из развивающихся стран и России, и даже развитых стран в США. Например, компания Adidas открыла автоматизированный завод в Атланте (США), где производит кроссовки. На производстве работает всего 160 чел., в то время как на производстве в Юго-Восточной Азии было занято более 1 000 рабочих. Другой пример: в 2008 г. Airbus разместил сборку A-320 в Китае (20 машин в год только для китайского рынка), однако сборка новой машины A-220 производится уже в США. В ЕС также ряд крупных производителей включились в решоринг. Известно много случаев размещения германских, британских, французских и итальянских производств в странах Восточной Европы, входящих в ЕС, а не в странах Юго-Восточной Азии.

Можно привести другие положительные эффекты от роботизации. Например, замена роботами человека на опасных для жизни и здоровья рабочих местах, таких как космическое пространство, покраска автомобилей и самолетов, подземные работы, обслуживание больных в условиях пандемии. Роботы уже успешно применяются в Японии для обслуживания пожилых людей в домах престарелых, решая общемировую проблему старения населения.

Так кто же проигрывает от роботизации? Проигрывают страны с низкой производительностью труда и неквалифицированные работники, которых легко заменить роботами с более высокой производительностью. Дешевая рабочая сила

была преимуществом в то время, когда роботы стоили достаточно дорого и не могли конкурировать в цене с работниками в странах третьего мира. Но научно-технический прогресс изменил сложившееся положение вещей. Роботы подешевели, а рабочая сила, наоборот, подорожала. С учетом транспортных расходов на перевозку сырья и готовой продукции, роботизированное производство в развитых странах становится конкурентоспособным по отношению к самому дешевому труду, не требующему знаний и профессиональных навыков.

Заключение

Проведенный анализ построен на изучении состояния мировой аэрокосмической отрасли в 2018 г. и оптимистических прогнозах на будущее. Однако в 2019 и 2020 гг. произошли два события, оказавшие большое влияние на производство гражданских самолетов. Первое событие связано с двумя катастрофами новейшего узкофюзеляжного самолета B-737MAX, вызвавшими приостановку поставок этой популярной модели. Второе событие связано с пандемией COVID-19, вызвавшей кризис туристической отрасли, а следовательно, падение спроса на гражданские самолеты. Дальнейшее развитие отрасли в ближайшей перспективе, в том числе в отношении разработки новых промышленных роботов, будет зависеть от быстроты решения названных проблем.

Разработку и производство сервисных роботов как профессиональных, так и бытовых COVID-19 может даже ускорить. Ощущается потребность в медицинских роботах различного типа, роботах наблюдения и контроля, роботах аэродромного обслуживания. Несомненно, продолжится развитие рынка БПЛА.

Анализ космической робототехники показал, что она развивается в трех направлениях: сложные манипуляторы (в том числе «летающие») для выполнения различных работ в открытом космосе, роботы – помощники космонавтов в пилотируемых полетах и роверы для посадки на близлежащие планеты Солнечной системы для их более детального изучения. Наибольших успехов в создании космических роботов добились США, Япония, ЕС и Канада.

Роботизация уже сейчас оказывает влияние на рынок труда, и это влияние будет только возрастать. Роботы дешевеют, и их применение становится экономически более выгодным, чем наем неквалифицированных работников. От роботизации выигрывают пока развитые страны и Китай, имеющие высокую плотность роботизации, что позволяет им снижать издержки и удерживать производство в границах своих стран.

Список литературы

1. Комков Н.И., Бондарева Н.Н. Перспективы и условия развития робототехники в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7. № 2. С. 8–21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-usloviya-razvitiya-robototekhniki-v-rossii>
2. Keisner A., Raffo J., Wunsch-Vincent S. Robotics: Breakthrough Technologies, Innovation, Intellectual Property. *Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no. 2, pp. 7–27. URL: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.2.7.27>
3. Николаев А.Б. Мировой космический рынок и космическая робототехника: современное состояние и перспективы // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 2. С. 12–24. URL: <https://rusrobotics.ru/index.php/nomer-2-15-2017/148-obshchie-voprosy/434-mirovoj-kosmicheskij-rynok-i-kosmicheskaya-robototekhnika-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy>
4. Соболев Л.Б. Производительность и оплата труда в мировом авиастроении // Экономический анализ: теория и практика. 2019. Т. 18. Вып. 10. С. 1881–1893. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.10.1881>
5. Еремин В.В. Роботизация и занятость: отложенная угроза // Мир новой экономики. 2019. Т. 13. № 1. С. 25–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robotizatsiya-i-zanyatost-otlozhennaya-ugroza>
6. Господарик Ю.П., Алпатов С.Б. Решоринг в США, Европе и глобальная экономика // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2019. № 1. С. 18–26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshoring-v-ssha-evrope-i-globalnaya-ekonomika>

Информация о конфликте интересов

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

AEROSPACE ROBOTICS

Leonid B. SOBOLEV

Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI),
Moscow, Russian Federation
sobolevLB@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6955-1271>

Article history:

Article No. 559/2020
Received 5 October 2020
Received in revised form
16 October 2020
Accepted 29 October 2020
Available online
28 January 2021

JEL classification: G34,
L19, L93, O33, O57

Keywords: robotics,
industrial robot, service
robot, aerospace,
unmanned aerial vehicle

Abstract

Subject. The article considers problems related to the national technological security in the medium- and long-term, which involve the catastrophic lag of Russia in the production and use of robots in various economic activities. Robotics is one of the components of the fourth industrial revolution, a logical continuation of computerization and automation of industrial and service processes of the previous stage of the world economy evolution.

Objectives. I focus on analyzing the robotics process of the global aerospace industry, the link with the global robotics process, and the impact on the labor market.

Methods. The study employs general scientific methods to analyze the open-source data.

Results. I demonstrate the economic feasibility and efficiency of using robots in the aviation industry, space exploration, and related industries.

Conclusions. Russia's achievement of worldwide average indicators will require dramatic overhaul, starting with the system of engineering robotic education, acceleration of the development of microelectronics and sensory professional equipment, and the labor market reform.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Sobolev L.B. Aerospace Robotics. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2021, vol. 20, iss. 1, pp. 165–183.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.1.165>

References

1. Komkov N.I., Bondareva N.N. [The Perspectives and the Conditions of the Robotics Development in Russia]. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovation. Research)*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 8–21.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-usloviya-razvitiya-robototekhniki-v-rossii> (In Russ.)
2. Keisner A., Raffo J., Wunsch-Vincent S. Robotics: Breakthrough Technologies, Innovation, Intellectual Property. *Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no. 2, pp. 7–27. URL: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.2.7.27>
3. Nikolaev A.B. [World Space Market and Space Robotics: Current State and Prospects]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika = Robotics and Technical*

- Cybernetics*, 2017, no. 2, pp. 12–24. URL: <https://rusrobotics.ru/index.php/nomer-2-15-2017/148-obshchie-voprosy/434-mirovoj-kosmicheskij-rynok-i-kosmicheskaya-robototekhnika-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy> (In Russ.)
4. Sobolev L.B. [Labor productivity and remuneration in aircraft industry]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* = *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2019, vol. 18, iss. 10, pp. 1881–1893. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.10.1881>
5. Eremin V.V. [Robotization and Employment: The Deferred Threat]. *Mir novoi ekonomiki* = *The World of New Economy*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 25–35.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robotizatsiya-i-zanyatost-otlozhennaya-ugroza> (In Russ.)
6. Gospodarik Yu.P., Alpatov S.B. [Reshoring in the USA, Europe and the Global Economy]. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii* = *Property Relations in the Russian Federation*, 2019, no. 1, pp. 18–26.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshoring-v-ssha-evrope-i-globalnaya-ekonomika> (In Russ.)

Conflict-of-interest notification

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