

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ

Татьяна Анатольевна КОМКИНА ^{a,*}, Мария Андреевна НИКОНОВА ^b,
Марина Геннадьевна ДУБИНИНА ^c

^a кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
лаборатории моделирования экономической стабильности,
Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН),
Москва, Российская Федерация
tania_kom@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9328-0712>
SPIN-код: 6564-8955

^b кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
лаборатории моделирования экономической стабильности,
Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН),
Москва, Российская Федерация
flowerchek1982@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4365-4066>
SPIN-код: 1883-2141

^c научный сотрудник лаборатории моделирования экономической стабильности,
Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН),
Москва, Российская Федерация
mgdub@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4578-668X>
SPIN-код: 7084-9662

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 518/2020
Получена 10.09.2020
Получена в
доработанном виде
19.09.2020
Одобрена 30.09.2020
Доступна онлайн
29.10.2020

УДК 338.364.4, 330.4
JEL: O14, O33, O35

Аннотация

Предмет. Техничко-экономические показатели развития профессиональных и персональных сервисных роботов на примере гибридных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), бионических протезов и роботов-пылесосов.

Цели. Выявление основных тенденций развития отдельных видов сервисных роботов, разработка моделей динамики их технических показателей, моделей зависимости цены и веса роботов от абсолютных и удельных характеристик.

Методология. В ходе исследования применялись методы корреляционного и множественного регрессионного анализа. Информационную основу работы составили данные IFR, The Remotely Piloted Systems Info Space, сайты компаний – производителей сервисных роботов.

Результаты. В результате моделирования выявлена положительная корреляция между комплексным показателем технического уровня гибридных БПЛА типа конвертопланов и размахом крыла. Проведенный анализ современных бионических протезов показал, что разработчики сфокусированы на оптимизации строения протезов, однако с улучшением функций кисти также возрастает вес бионической руки. Основными факторами, влияющими на изменение цены роботов-пылесосов, являются мощность, вес и время работы.

Выводы. Выявлены основные закономерности развития сервисных

Ключевые слова:

сервисные роботы,
гибридные БПЛА,
биопротезы, роботы-
пылесосы, технико-
экономические
показатели

роботов на примере гибридных БПЛА, бионических протезов и роботов-пылесосов. Цена единицы комплексного показателя технического уровня гибридных БПЛА ниже соответствующего показателя БПЛА с фиксированным крылом, что свидетельствует о большей эффективности гибридных БПЛА. Анализ технических показателей роботизированных протезов и их изменения по поколениям (на примере бионических протезов рук) показал, что улучшение функциональных характеристик приводит к ухудшению одной из основных потребительских характеристик – веса бионического протеза. Анализ технико-экономических показателей роботов-пылесосов выявил, что наблюдается положительная корреляция цены таких роботов с их весом, временем работы и мощностью.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

Для цитирования: Комкина Т.А., Никонова М.А., Дубинина М.Г. Техничко-экономический анализ отдельных видов сервисных роботов // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2020. – Т. 19, № 10. – С. 1965 – 1986.

<https://doi.org/10.24891/ea.19.10.1965>

Согласно определению Международной федерации робототехники (International Federation of Robotics, IFR), сервисный робот – это полу- или полностью автономно управляемый робот, который выполняет полезные для людей и оборудования действия и не используется для производства¹ [1]. Сервисные роботы получили широкое распространение благодаря таким свойствам, как удобство использования, предоставление точных и высококачественных услуг, надежность, сокращение эксплуатационных расходов и снижение риска человеческих ошибок² [2]. По области применения сервисные роботы делятся на профессиональные и персональные. Профессиональные сервисные роботы используются в различных отраслях экономики, включая медицину, оборону, сельское хозяйство, спасательные службы, логистику, инспекцию и техническое обслуживание, строительство, сферу услуг. Особенно возросла роль роботов в период пандемии коронавируса, когда с их помощью осуществлялись бесконтактная доставка грузов, тестирование, оценка, мониторинг и лечение пациентов с безопасного расстояния, обеспечивалась стерилизация и чистота в медицинских учреждениях [3, 4]. Персональные сервисные роботы используются в быту, для развлечений и отдыха.

Общее количество проданных за год профессиональных сервисных роботов выросло за 2010–2018 гг. почти в 20 раз (с 13,741 тыс. ед. в 2010 г. до 271 тыс. ед. в 2018 г.), в стоимостном выражении рост был менее значительным (с 3,3 млрд долл. в 2010 г. до 9,2 млрд долл. в 2018 г.)³. Среди профессиональных сервисных роботов особое место занимали военные роботы, большую долю которых представляли

¹ International Federation of Robotics. Service Robots: Provisional Definition of Service Robots. URL: <https://ifr.org/service-robots>

² Пряжникова О.Н. Технологические изменения: новые возможности и риски // Социальные и гуманитарные науки: Отечественная и зарубежная литература. Сер. 2: Экономика. 2020. № 1. С. 115–118.

³ International Federation of Robotics. Service Robots: Provisional Definition of Service Robots. URL: <https://ifr.org/service-robots>

БПЛА. Однако в последнее время доля военных роботов в ежегодных продажах сервисных роботов сократилась с 30,7% в 2012 г. до 11% в 2017 г. (одновременно доля БПЛА в общих продажах профессиональных сервисных роботов сократилась с 27% в 2012 г. до 9,4% в 2017 г.), а в стоимостном выражении – с 24,3% в 2013 г. до 14,4% в 2017 г. Вместе с тем, по данным за 2018 г., наиболее продаваемыми профессиональными сервисными роботами были логистические системы (около 63% общего количества проданных роботов), которые включают в себя также беспилотные и воздушные средства доставки вне помещений, то есть БПЛА для гражданских и коммерческих целей. Доля медицинских роботов также в количественном выражении сократилась с 6,5% в 2012 г. до 2,7% в 2017 г., однако в стоимостном выражении в 2017 г. их доля составляла более 30%⁴. Тем не менее эти виды профессиональных сервисных роботов широко используются и активно развиваются.

Среди персональных сервисных роботов преобладают бытовые (роботы для уборки пола, стрижки газонов, чистки бассейнов) и развлекательные роботы (игрушки, системы для хобби, для образования и исследований). Общее количество домашних сервисных роботов выросло с 1,96 млн ед. в 2012 г. до 12,2 млн ед. в 2018 г., из них в 2018 г. более 95% составляли роботы-пылесосы и роботы для очистки полов⁵.

Таким образом, все рассматриваемые нами виды сервисных роботов находят широкое применение в повседневной жизни людей⁶ [5, 6]. Многие из них развиваются и в России, при этом, как отмечается в отчете Сбербанка⁷ и в статье [7], рост сервисной робототехники в стране опережает рост промышленной.

В качестве методологической базы исследования используются методы анализа и оценки влияния научно-технического прогресса на развитие различных видов техники на основе генетического анализа, выделения главного и основных параметров, изложенные в книге [8] и примененные в статьях [9, 10]. Информационную основу исследования составили данные IFR, The Remotely Piloted Systems Info Space, сайты компаний – производителей сервисных роботов, а также данные по стоимости роботов из разных источников. На основании собранного материала был проведен анализ развития технических характеристик сервисных роботов от времени их внедрения, построены модели зависимости цены, веса от абсолютных и удельных технических показателей, а также модели цены в расчете на единицу комплексного показателя технического уровня.

⁴ International Federation of Robotics. Service Robots: Provisional Definition of Service Robots.
URL: <https://ifr.org/service-robots>

⁵ Там же.

⁶ Жилина И.Ю. Мировой рынок робототехники: состояние и перспективы // Социальные и гуманитарные науки: Отечественная и зарубежная литература. Сер. 2: Экономика. 2020. № 1. С. 118–126.

⁷ Аналитический обзор мирового рынка робототехники, 2019.
URL: https://www.sberbank.ru/common/img/uploaded/pdf/sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf

Одним из наиболее часто используемых и популярных видов сервисных роботов являются беспилотные летательные аппараты. По типу крыла они делятся на два основных класса: БПЛА с фиксированным и с вращающимся крылом. Каждый класс имеет свои преимущества. Однако довольно часто требуются аппараты, способные выполнять широкий спектр различных дополнительных операций в рамках одной миссии. Эти операции включают взлет и посадку с ограниченного пространства с пересечением района операции с высокой скоростью, кроме того, может потребоваться полет на низких скоростях или зависание для стационарных измерений и мониторинга. Все эти взаимодополняющие, но разные эксплуатационные возможности указывают на концепцию гибридного беспилотного транспортного средства. Рассмотрим гибридные аппараты на основе конструкции с фиксированным крылом.

В общем случае гибридные БПЛА делятся на два основных типа: конвертопланы (convertiplane) и аппараты с вертикальным положением фюзеляжа (tail-sitter) [11]. Конвертопланы – это летательные аппараты с изменяющимся положением крыла, ротора, двигателя для изменения вертикального вектора тяги в момент взлета или посадки на горизонтальный во время полета [12]. Беспилотные летательные аппараты типа tail-sitter взлетают и приземляются вертикально на хвост. Конструкция таких БПЛА не содержит поворотных элементов.

Оба типа в свою очередь подразделяются на несколько подтипов в зависимости от конкретных механизмов перехода и конфигурации планера. Среди конвертопланов выделяют аппараты с поворотными винтами (Tilt-rotor, TR), с поворотным крылом (Tilt-wing, TW), с наклонным корпусом (Tilt-body, TB) и со свободным крылом (Free-wing, FrW)⁸ [13]. Среди гибридных конструкций выделяются БПЛА с наклонным ротором благодаря своей стабильности, энергоэффективности и управляемости [14].

Гибридные беспилотники, которые могут переходить от вертикального взлета и посадки (Vertical Take-Off and Landing, VTOL) к полету с фиксированным крылом, становятся все более популярными. Аппараты нового поколения более маневренны, чем самолеты с фиксированным крылом, требуют меньше места для запуска и приземления, однако эти преимущества компенсируются такими недостатками, как низкие эффективность и выносливость, ограничения полезной нагрузки. Системы VTOL используют роторы для создания подъемной силы и тяги, что требует большей мощности по сравнению с самолетами с неподвижным крылом, которым требуется только силовая установка, поскольку подъемная сила создается крыльями⁹.

⁸ Красноперов Р., Фетисов В., Неугодникова Л., Адамовский В. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.

⁹ Kuhn B. VTOL Takes Off. URL: <https://insideunmannedsystems.com/vtol-takes-off/>

Количество разрабатываемых моделей гибридных БПЛА выросло почти в три раза за 2015–2018 гг. (с 14 моделей в 2015 г. до 38 в 2018 г.¹⁰). Несколько проектов были успешно коммерциализированы (например, FireFLY6 компании BirdsEyeView¹¹, X PlusOne). В настоящее время на рынке доступно все большее количество гибридных систем вертикального взлета и посадки, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны, а также широкий диапазон цен. Среди них преобладают модели гибридных мини-БПЛА, которые стали довольно популярными в мире за счет постоянного снижения затрат на производство миниатюрных аппаратов, моторов и их элементов.

Разработка гибридных БПЛА ведется и в России. Так, компания ZALA AERO, входящая в концерн «Калашников», в 2020 г. представила конвертоплан ZALA 421-16EV HD с вертикальным взлетом и посадкой в полностью автономном режиме. В зависимости от целевой полезной нагрузки (видеокамера, фотоаппарат, тепловизор, газоанализатор, дозиметр) он может найти широкое применение для аэрофотосъемки, мониторинга, в топливно-энергетическом комплексе¹².

На данный момент гибридные БПЛА находятся все еще на начальной стадии разработок, поэтому пока нельзя выделить существенные различия моделей по поколениям. У этих аппаратов есть много направлений для дальнейшего развития, такие как управление, переход из стадии вертикального взлета на горизонтальный полет, навигация и надежность. Тем не менее, учитывая их быстро растущую популярность, считается, что гибридные беспилотники будут быстро развиваться и могут сформировать основную долю рынка БПЛА.

Поскольку гибридный беспилотный летательный аппарат может работать в местах, где нет взлетно-посадочной полосы, его можно применять в широком спектре областей, таких как борьба со стихийными бедствиями, военные операции, наблюдение за автотранспортными средствами, дистанционная диагностика энергетических объектов и крупных сооружений¹³. Мировой рынок гибридных БПЛА в 2019 г. оценивался в 498 млн долл. и планировалось его многократное увеличение к 2030 г. (до 3 583 млн долл.)¹⁴.

Первые гибридные БПЛА имели военное назначение, однако многие теперь используются и для гражданских целей. Например, FE-Panther обнаруживает

¹⁰ The Remotely Piloted Systems Info Space: Global Perspective.

URL: <https://rps-info.com/publications/flipping-books-current-previous-editions/>

¹¹ FireFLY6 PRO. URL: <https://www.birdseyeview.aero/pages/firefly6-pro>

¹² ZALA 421-16EVHD. URL: <https://zala-aero.com/production/bvs/konvertoplan-zala-421-16ev-vtol-hd/>

¹³ Korean Aerospace Research Institute. UAV R&D. URL: https://www.kari.re.kr/eng/sub03_01_01.do

¹⁴ Fixed-wing VTOL UAV Market by Vertical (Military, Government & Law Enforcement, Commercial), Propulsion (Electric, Hybrid, Gasoline), Mode of Operation (VLOS, EVLOS, BVLOS), Endurance, Range, MTOW, and Region – Global Forecast to 2030. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/fixed-wing-vtol-uav-market-173456250.html>

лесные пожары и незаконный лов рыбы, может контролировать дорожное движение, передавая информацию в режиме реального времени [15].

Аппарат WingtraOne используется норвежской дорожной администрацией при контроле национальной и региональной дорожной сети. Проведенные специалистами расчеты показали, что использование гибридного аппарата оказалось наиболее эффективным решением для построения карты местности и ее мониторинга. Согласно расчетам, стоимость одного обследования строительства дороги длиной 5 км аппаратом WingtraOne оценивается в 270 долл., мультиротором – в 970 долл., наземным лазерным сканером – в 5,2 тыс. долл., вертолетом – более чем в 11 тыс. долл.¹⁵. Есть примеры применения гибридных БПЛА и в России. Так, компания «РН-Пурнефтегаз» внедрила беспилотный комплекс гибридного типа для выполнения аэромониторинга трубопроводов на собственных месторождениях¹⁶.

Сравнение технико-экономических характеристик гибридных БПЛА и БПЛА с фиксированным крылом. В нашем исследовании рассматривались гибридные БПЛА типа конвертопланов с фиксированным крылом, но осуществляющие вертикальный взлет и посадку (VTOL). При этом отбирались аппараты с размахом крыла не более 4 м и максимальной взлетной массой до 50 кг: всего 20 моделей производства компаний Mugin, Sagetown, WelkinUAV (все производства КНР), Vertical Technologies (Нидерланды), FoxTech (Германия) и других, первые полеты которых осуществлялись в 2014–2019 гг. (табл. 1).

Их цена и технические характеристики сравнивались с аналогичными показателями БПЛА с фиксированным крылом той же размерности: всего 32 модели производства AeroVironment, Lockheed Martin (все производства США), Elbit Systems (Израиль), Aeromaо (Канада), Геоскан (Россия) и других, первые полеты которых осуществлялись в 2001–2019 гг.

Для группы гибридных БПЛА длина аппаратов находится в диапазоне от 0,83 до 2,6 м, размах крыла – от 0,83 до 4 м, максимальная взлетная масса – от 1,27 до 50 кг, максимальная скорость горизонтального полета – от 64,8 до 160 км/ч, продолжительность полета – от 0,33 до 8 ч.

Беспилотные летательные аппараты с фиксированным крылом имеют следующие технические характеристики: длина – от 0,72 до 2,55 м, размах крыла – от 1,1 до 4 м, максимальная взлетная масса – от 1,5 до 30 кг, максимальная скорость горизонтального полета – от 40 до 160 км/ч, продолжительность полета – от 0,75 до 20 ч.

¹⁵ Norwegian Government Saves Time and Money on Road Surveys with VTOL Drone Data [ROI Study]. URL: https://wingtra.com/case_studies/road-surveys-with-vtol-drone-data/

¹⁶ «РН-Пурнефтегаз» внедрил беспилотник для мониторинга промысловых трубопроводов. URL: <http://oilgascom.com/rn-purneftegaz-vnedril-bespilotnik-dlya-monitoringa-promyslovyx-truboprovodov/>

Для каждой группы БПЛА был введен комплексный показатель технического уровня CL , км · кг [16]:

$$CL = x_1 x_2 x_3,$$

где x_1 – максимальная скорость, км/ч;

x_2 – продолжительность полета, ч;

x_3 – максимальная взлетная масса, кг.

Этот показатель положительно коррелирован с размахом крыла модели, при этом увеличение размаха крыла для группы гибридных БПЛА ведет к более значительному росту комплексного показателя технического уровня по сравнению с БПЛА с фиксированным крылом (рис. 1). Среднее значение комплексного показателя технического уровня гибридных БПЛА более чем в два раза превышает аналогичный показатель для БПЛА с фиксированным крылом (7 688 и 3 141 соответственно).

Развитие гибридных БПЛА идет в направлении увеличения размаха крыла, его максимальной взлетной массы и продолжительности полета модели.

Для каждой группы БПЛА была построена модель логарифма цены аппарата Y в зависимости от продолжительности его полета x_2 и отношения массы аппарата к размаху крыла x_4 . Так как БПЛА с фиксированным крылом производились в большем временном периоде, для них в модель введен показатель года первого полета T_0 (здесь и далее все t -статистики значимы, p -значения $< 0,05$):

$$\log(Y^{FW}) = 6,83 + 0,08 x_2 - 0,41 x_4 - 0,2 (T_0 - 2000), R^2 = 0,81;$$

$$\log(Y^H) = 1,1 + 0,22 x_2 - 0,16 x_4, R^2 = 0,65.$$

Здесь индекс FW относится к БПЛА с фиксированным крылом, H – к гибридным БПЛА. Для каждой группы выявлена положительная корреляция между логарифмом цены и максимальной продолжительностью полета, для БПЛА с фиксированным крылом происходит снижение цены с течением времени, а отношение массы пустого аппарата к размаху крыла отрицательно коррелировано с логарифмом цены для БПЛА с фиксированным крылом и положительно – для гибридных БПЛА.

Далее была построена модель зависимости логарифма удельной цены БПЛА (отношение цены к показателю технического уровня, Y / CL) от размаха крыла x_2 и от времени $t = T_0 - 2000$:

$$\log(Y_{CL}^{FW}) = 1,6 - 1,05x_2 - 0,18t, R^2 = 0,63;$$

$$\log(Y_{CL}^H) = 1,67 - 0,78x_2 - 0,3t, R^2 = 0,78,$$

где Y_{CL} – удельная цена БПЛА.

Для каждой группы БПЛА получено, что логарифм удельной цены снижается с увеличением размаха крыла и со временем первого полета модели. При этом цена единицы комплексного показателя технического уровня гибридных БПЛА ниже, чем у БПЛА с фиксированным крылом, что свидетельствует об эффективности аппаратов этого типа (рис. 2).

Бионические протезы. Развитию бионических протезов способствовали достижения в области электрофизиологии, микроэлектроники, биомеханики и систем управления с обратными связями [17]. Также следует отметить значительный спрос на протезирование во всем мире, так как ампутации могут приводить к психологическому стрессу, экономическим потерям, трудностям в адаптации в обществе [18]. В США около 2 млн чел. с ампутациями конечностей (185 тыс. ампутаций в год), в ЕС – около 3,18 млн чел. (295 тыс. ампутаций в год)¹⁷, официальных данных по количеству людей с ампутациями в России нет (статистика по данному коду заболевания не ведется).

Бионические протезы можно классифицировать в соответствии с анатомической структурой: протезы верхних конечностей (плечо, кисть, предплечье с кистью); протезы нижних конечностей (бедро, стопа, голень со стопой). Также бионические протезы можно классифицировать в зависимости от типа сопряжения: взаимодействие с мышцами с переносом нервов (targeted muscular reinnervation), прямое взаимодействие с мышцами и прямое взаимодействие с нервом, прямое соединение остаточных нервов с помощью имплантируемых электродов, которые позволяют принимать электрические сигналы от датчиков протеза [19].

Для анализа взаимосвязи основных характеристик бионических протезов в работе были выделены модели, схожие по принципу работы и предназначенные для выполнения одинаковых задач – протезы рук (протезирование верхних конечностей является наиболее сложной задачей, поскольку рука осуществляет контроль над большим числом мускулов, а также вовлечена большая поверхность коры головного мозга).

Рассмотрим технические характеристики наиболее успешных разработок бионических протезов рук.

Бионический протез i-Limb выпускается компанией Ossur (Исландия), до 2016 г. – Touch Bionics (Великобритания). В настоящее время можно выделить пять

¹⁷ The Amputee Coalition Is a National Nonprofit Organization. URL: <http://www.amputee-coalition.org>

поколений бионического протеза i-Limb. Первые миоэлектрические протезы Hand и Pulse (2007 и 2010 гг.) позволяли с помощью датчиков, сопряженных с двумя мышцами, работать с различными хватами. В модели Revolution (2014 г.) автоматическая ротация большого пальца кисти обеспечивала точный хват, имелось два размера кисти (средняя и малая) и несколько вариантов соединения запястья. Технические характеристики Revolution: емкость источника питания 1 300/2 400 мАч (перезаряжаемый литий-полимерный аккумулятор), максимальная предельная нагрузка на кисть 90 кг, нагрузка на палец 32 кг, время перехода из открытого положения в положение полного хвата 1,2 секунды. Модель Quantum (2016 г.) имела возможность управления жестами (технология i-mo), увеличились скорость перемещения пальцев, мощность (на 30%), время работы от аккумулятора (на 50%). У биопротеза Ultra (обновлен в 2018 г.) появилась возможность индивидуальной настройки характеристик захвата (изменение скорости и силы), а также сократилось время от открытия до полного силового схвата на 0,4 сек, увеличилось число предопределенных видов схвата при увеличении среднего веса протеза¹⁸.

Бионический протез Bebionic выпускается компанией Otto Bock (Германия), до 2017 г. – RSL Steeper (Великобритания). В настоящее время можно выделить четыре поколения бионической кисти. Первый бионический протез Bebionic1 был представлен RSL Steeper в 2010 г., обладал четырьмя функциональными схватами (переключение осуществлялось с помощью большого пальца). Кисть второго поколения Bebionic2 (2011 г.) характеризовалась более высокой скоростью и аккуратностью захвата, прочностью, имела два размера, позволяла поднимать вес до 45 кг; устройство было укомплектовано новым внутренним аккумулятором для более продолжительного использования (2 200 mAh); с помощью сенсоров протез подстраивался под габариты пользователя. Следующая версия Bebionic3 (2012 г.) управляется посредством остаточных электрических сигналов от мышц. Модель Bebionic small (2015 г.) на 30% меньше по размеру, чем предыдущая модель Bebionic3 (подходит для женщин и подростков), кончики пальцев оснащены специальными воздушными подушечками для аккуратного захвата мелких предметов, способен работать с весом до 45 кг, оснащен 14 сенсорами захвата для получения максимально естественных движений. В дальнейшем был улучшен внешний вид руки, внедрена инновационная конструкция ладони (защита кисти от ударов и повреждений), увеличена мощность микропроцессора.

Бионический протез Michelangelo выпускается компанией Otto Bock (Германия). Протез с кистью Michelangelo обладает расширенной функциональностью благодаря интеграции с цифровой системой Axon-Bus, движения максимально естественны, имеется семь возможных вариантов захвата с максимальной силой в 7 кг и возможностью ее контролировать. Michelangelo имеет естественный внешний вид (благодаря материалам, имитирующим кости, суставы, мышцы и сухожилия),

¹⁸ Össur Company. URL: <https://www.ossur.com/en-gb>

овальный лучезапястный сустав максимально приближен к биологическому образцу.

Бионические протезы предплечья INDY Hand, MANIFESTO Hand, бионический протез пальцев и кисти MANIFESTO Fingers выпускаются компанией «Моторика» (Россия), являющейся наиболее успешным разработчиком и производителем роботизированных протезов в России. Первый отечественный высокофункциональный миоэлектрический протез предплечья Stradivary был рассчитан на взрослого пользователя (было создано несколько тестовых прототипов). В настоящее время «Моторика» выпускает три разновидности бионических протезов: протез предплечья INDY Hand, в котором скоростью и силой схвата можно управлять пропорционально силе напряжения мышц (можно брать хрупкие предметы), зарядка аккумулятора около трех часов, есть возможность встроить бесконтактную оплату покупок, экран, GSM-модуль и многое другое; протез MANIFESTO Hand (в 2019 г. начаты пилотные испытания) предполагает использование до 14 жестов, можно задать до 30 различных видов схвата, есть возможность настройки дополнительных функций; протез пальцев и кисти MANIFESTO Fingers предназначен для врожденных и ампутированных травм кисти или 3–5 пальцев, проектируется индивидуально по размерам руки и изготавливается по современным технологиям 3D-печати, переключение жестов от миосигналов на 30 различных видов схвата, (задаются через мобильное приложение), 5 преднастроенных жестов¹⁹.

Анализ взаимосвязи основных характеристик бионических протезов рук (на примере протезов i-Limb). Анализ взаимосвязи основных характеристик бионических протезов проводился на основе данных компании Touch Bionics (до 2016 г.) и Ossur (2017–2020 гг.). Этот выбор был обусловлен наличием данных по техническим характеристикам моделей бионических протезов, схожих по принципу работы и предназначенных для выполнения одинаковых задач, возможность проследить эволюцию показателей модели на протяжении нескольких поколений. Рассматривались такие показатели, как емкость аккумулятора, мАч; число типоразмеров; максимальный предел нагрузки на кисть (статический), кг; предел несущей нагрузки на пальцы (статический); время от открытия полного силового схвата, сек.; число предопределенных видов схвата; сила схвата (встречный захват); сила схвата (боковой захват); скорость хвата, мм/сек; сила схвата (нейтральный захват); ширина раскрытия, мм; вес минимальный, г; вес максимальный, г; вес средний, г; стоимость, долл.

Расчеты проводились для максимального, среднего и минимального (зависит от комплектации) весов для данного класса бионических протезов (выборка из 12 бионических рук). Были получены следующие зависимости среднего веса

¹⁹ Моторика. URL: <https://motorica.org>

бионической руки без учета веса аккумулятора Y от времени от открытия до полного силового схвата x_1 , сек., числа предопределенных видов схвата x_2 :

$$Y^{ST} = 542,5 - 23,97 x_1 + 1,49 x_2, R^2 = 0,85;$$

$$Y^S = 511 - 62,6 x_1 + 2,39 x_2, R^2 = 0,76,$$

где ST – индекс, относящийся к биопротезам стандартного размера;

S – индекс, относящийся к биопротезам размера extra small.

Основной результат проведенного анализа состоит в том, что современные бионические протезы имеют достаточные для различных бытовых действий функциональные возможности, однако с увеличением количества предопределенных видов схватов и снижении времени от открытия до полного силового схвата растет вес бионической руки. Результаты проведенного моделирования показали, что выявленные зависимости характерны как для рассматриваемых поколений биопротезов в целом, так и для вариантов биопротезов внутри одного поколения.

Сервисные роботы для домашнего использования. Личные сервисные роботы (для домашнего использования) первоначально были предназначены для оказания помощи в ежедневной жизни людям с физическими или психическими сложностями. К таким роботам относятся роботы-пылесосы, роботы для мытья окон, чистки бассейнов, стрижки газонов и др. Самая большая группа сервисных роботов для домашнего использования – роботы-пылесосы. Они предназначены для сухой и влажной уборки помещений с различными видами напольных покрытий (некоторые модели роботов-пылесосов могут проводить уборку ковровых покрытий с длинным ворсом).

В 1997 г. был представлен первый прототип робота-пылесоса компании Electrolux, в 2002 г. – роботы первого поколения (робот-пылесос Roomba компании iRobot и Electrolux Trilobite компании Electrolux). Роботы первого поколения работали до полного заполнения резервуара для мусора, после чего для продолжения уборки помещения было необходимо очистить его вручную. В 2004 г. Electrolux выпустила робот-пылесос второго поколения – Trilobite 2.0. При заполнении своего резервуара для мусора пылесос опорожнял его в резервуар базовой станции, который больше по объему, и одновременно заряжался. Робот прекращал уборку в случае полного выполнения работы или полного заполнения всех резервуаров, что значительно повышало время работы робота. Кроме этого, пылесос с помощью инфракрасного сенсора мог сам определять дорогу к базовой станции.

Роботам первого и второго поколений указывался вручную размер комнаты, для чего были специальные кнопки на работе. Выпуск роботов третьего поколения решил эту проблему: с помощью датчиков (ультразвуковых, контактных, которые

регистрируют удары о мебель, стены, бесконтактных или инфракрасных) роботы сами могут ориентироваться в пространстве.

У роботов-пылесосов четвертого поколения увеличен срок работы (до двух часов), они могут самостоятельно выбирать режим и скорость уборки в зависимости от степени загрязнения помещения, уровень шума снижен до 50 дБ; кроме того, функция «виртуальной стены» позволяет ограничить территорию уборки.

В 2011 г. компания LG представила в России пятое поколение роботов-пылесосов (LG Hom-Bot). Робот оборудован датчиком (триангуляционным вращающимся дальномером), расположенным на верхней части корпуса, который сканирует потолок и получает информацию о собственном местонахождении; датчик, расположенный на нижней части корпуса, считывает информацию о покрытии пола, о возможных препятствиях или лестнице, не позволяя роботу упасть со ступенек или помогая правильно выбрать режим уборки.

Основными характеристиками роботов-пылесосов являются мощность, емкость аккумулятора, время работы, время зарядки, емкость пылесборника, вес. С развитием роботов-пылесосов происходит снижение веса робота (с 3,5 до 2 кг), времени зарядки (с 6 до 4 ч.), потребляемой мощности (с 25 до 20 Вт), уровня шума (с 90 до 50 дБ), при этом увеличиваются емкость аккумулятора (с 2 000 до 2 600 мА · ч), емкость пылесборника (с 300 до 450 мл) и время работы (с 90 до 150 мин.). Кроме того, в более поздних моделях роботов-пылесосов есть функция обеззараживания воздуха ультрафиолетом, возможность речевого воспроизведения действий и принудительного возврата пылесоса на базу (команда дается с пульта), функция влажной уборки, наличие турбощетки, возможность программировать уборку по графику.

Нами проведен анализ технико-экономических показателей роботов-пылесосов, производимых фирмой «Китфорт» (единственная российская фирма – производитель роботов-пылесосов²⁰). Анализ показал, что по мере развития роботов-пылесосов происходило снижение цены роботов и их веса, повышение емкости аккумулятора и, соответственно, времени зарядки батареи. Увеличение мощности роботов приводит к увеличению их веса. При этом роботы, имеющие больший вес (и, соответственно, большую мощность), стоят дороже. Развитие рынка аккумуляторов (и их техническое развитие) привело к тому, что роботы, имеющие больший вес (несмотря на мощность самого робота), могут работать меньше времени без подзарядки, чем более легкие роботы. В то же время из-за того, что аккумуляторы становятся более легкими и меньшего размера, отмечается обратная зависимость веса робота и емкости его аккумулятора.

²⁰ Китфорт. URL: <http://kitfort.ru/>

Для выбранной группы роботов-пылесосов были построены модели взаимозависимости технических показателей и зависимости цены от технических показателей. Для этого использовалась линейная регрессионная модель вида

$$Y_i = b_i + a_i x_i,$$

где Y_i – эндогенный показатель (цена робота, руб.);

x_j – технические (экзогенные) показатели (x_1 – мощность, Вт; x_2 – время работы, мин.; x_3 – вес нетто, кг).

В результате была построена следующая двухфакторная модель:

$$Y_1 = -19\,476,7 + 136,73x_2 + 6\,224,08x_3, R^2 = 0,95.$$

Как видно из модели, более дорогие роботы-пылесосы являются более тяжелыми. В то же время с увеличением времени работы происходит повышение цены робота:

$$Y_1 = -38\,433,3 + 1\,646,67x_1 + 133,33x_2, R^2 = 0,98.$$

Увеличение мощности роботов-пылесосов и времени их работы также приводит к росту цены на них.

Таким образом, анализ факторов, влияющих на изменение цены роботов-пылесосов для домашнего использования, показал, что по мере повышения мощности роботов, времени их работы и веса происходит повышение их цены.

Результаты проведенного исследования выявили общие тенденции развития сервисных роботов – снижение их цены в расчете на единицу технической характеристики, увеличение продолжительности работы. У ряда сервисных роботов улучшение технических характеристик происходит за счет увеличения массы изделия.

По итогам исследования можно сделать следующие выводы.

Для гибридных БПЛА типа конвертоплана и БПЛА с фиксированным крылом установлено, что логарифм их удельной цены снижается с увеличением размаха крыла и со временем первого полета модели, но при этом цена единицы комплексного показателя технического уровня гибридных БПЛА ниже, чем у БПЛА с фиксированным крылом, что свидетельствует об эффективности аппаратов этого типа.

Проведенный анализ основных характеристик бионических протезов, схожих по принципу работы и предназначенных для выполнения одинаковых задач (на примере бионических протезов рук i-Limb), показал, что улучшение таких важнейших функциональных характеристик, как увеличение числа предопределенных видов схвата, снижение времени от открытия до полного

силового схвата, приводит к ухудшению одной из основных потребительских характеристик – веса бионической руки. Решение этой проблемы в будущем многие разработчики связывают с применением инновационных сверхлегких материалов, что, возможно, повлечет увеличение стоимости биопротезов.

Как показало исследование, на рост цены роботов-пылесосов влияют вес, время работы и мощность робота.

Таблица 1

Технико-экономические показатели моделей гибридных БПЛА

Table 1

Technical and economic indicators of hybrid UAV models

Модель	Страна	Год	Размах крыла, м	Масса пустого аппарата, кг	Скорость полета max, км/ч	Взлетная масса max, кг	Время полета, ч	Цена, тыс. долл.
X PlusOne	США	2014	0,8	1,3	100	1,3	0,3	1,5
EWG-E2V VTOL Fixed-wing	Китай	2015	2,9	10	75	12,8	1,5	18
FireFLY6 PRO	США	2015	1,5	3,8	64,8	4,5	1	7,5
Nimbus	Германия	2016	1,8	3,4	126	6	1,3	5,3
DeltaQuad Pro	Нидерланды	2017	2,4	3,3	100	6,2	3	9
WELKIN-F4	Китай	2017	3,5	30	108	35	8	60
Kwt-Gx350	Китай	2018	3,5	8,1	110	14,4	4	10
WELKIN-F6	Китай	2018	2,2	4,5	90	5	1,5	5
CL-10	Китай	2019	2,3	10,8	80	12	1,7	8,9
CL-11	Китай	2019	3,6	20	120	25	2	25,8
CL-12	Китай	2019	2,2	7	80	8	1,3	3
CL-8	Китай	2019	3,2	5	90	25	3	21,5
CL-850	Китай	2019	3,8	40	140	50	5	40
Great Shark 330	Китай	2019	3,3	6,4	93,6	20	2,5	9
MUGIN 4000 VTOL	Китай	2019	4	8,3	112	30	4	6,5
MUGIN EV350 VTOL	Китай	2019	3,5	6,2	108	22	3	6,5
Mugin-2 PRO 2930	Китай	2019	2,9	7,1	120	25	1,5	6
Mugin-3 PRO 3000	Китай	2019	3	8,1	120	25	2	6,5
Mugin-3 Pro 3600mm	Китай	2019	3,6	12	160	40	3	7
Mugin-4 Pro	Китай	2019	4	8,3	112	30	2	6,5

Источник: авторская разработка

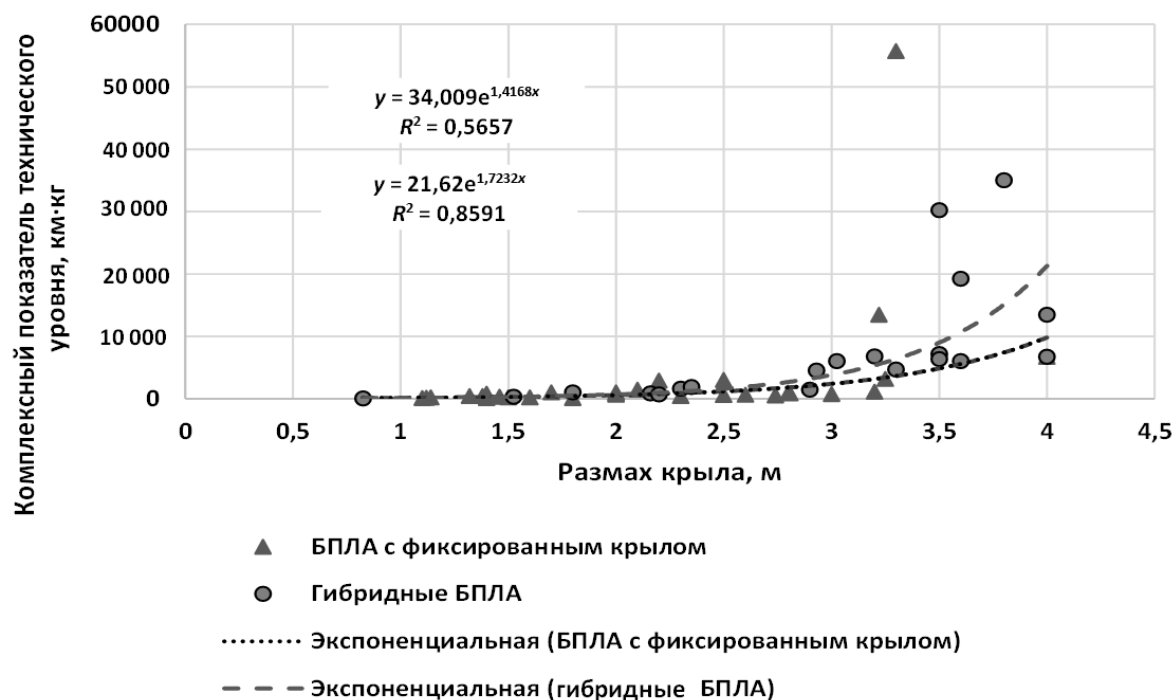
Source: Authoring

Рисунок 1

Зависимость показателя технического уровня от размаха крыла для двух групп БПЛА

Figure 1

Dependence of the technical level indicator on the wingspan of two groups of UAV



Источник: авторская разработка

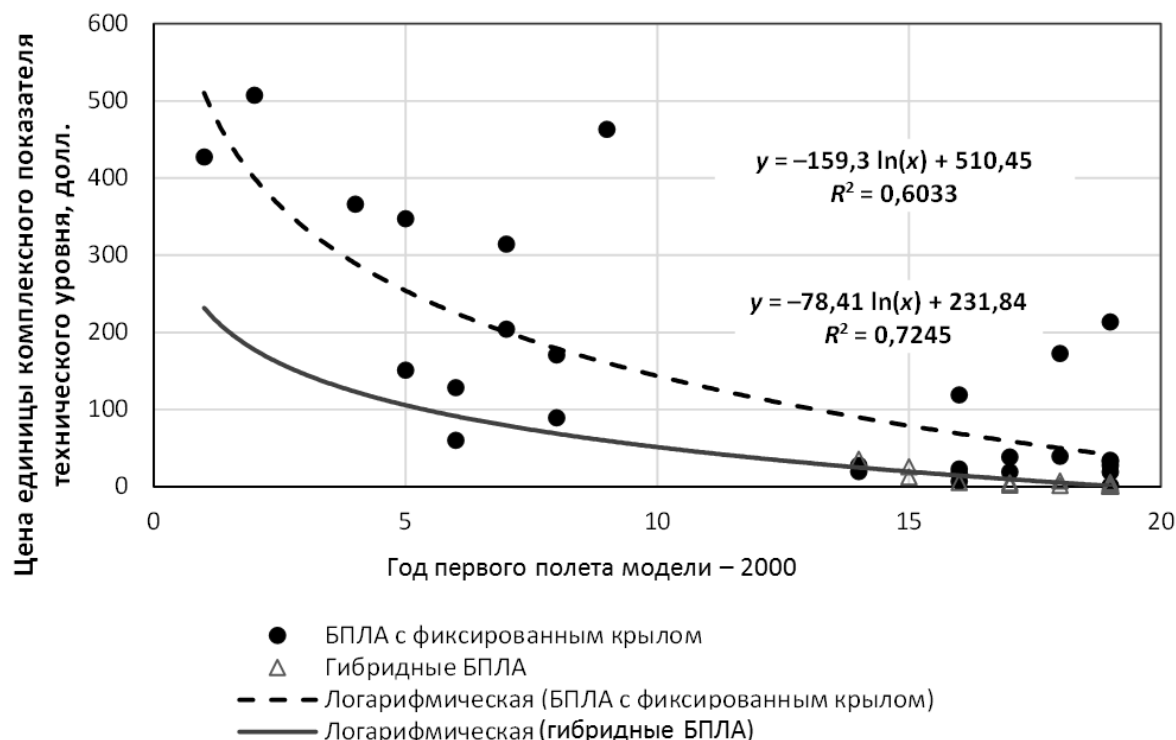
Source: Authoring

Рисунок 2

Динамика цены единицы комплексного показателя технического уровня гибридных БПЛА и БПЛА с фиксированным крылом

Figure 2

Trends in the unit price of the integrated indicator of the technical level of hybrid and fixed-wing UAVs



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Гасумова С.Е., Портер Л. Роботизация социальной сферы // Социология науки и технологий. 2019. Т. 10. № 1. С. 79–94.
 URL: <https://doi.org/10.24411/2079-0910-2019-10006>
2. Дорофеева А.А. Перспективы использования сервисных роботов в курортно-рекреационной сфере Крымского региона // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление. 2018. № 3. С. 52–58.
 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-servisnyh-robotov-v-kurortno-rekreatsionnoy-sfere-krymskogo-regiona>
3. Ai-Hsuan Chiang, Trimi S. Impacts of Service Robots on Service Quality. *Service Business*, 2020, vol. 14, pp. 439–459.
 URL: <https://doi.org/10.1007/s11628-020-00423-8>

4. Zeashan Hameed Khan, Afifa Siddique, Chang Won Lee. Robotics Utilization for Healthcare Digitization in Global COVID-19 Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, iss. 11.
URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113819>
5. Веляда М.И., Федорова В.И., Бондаренко И.С. Анализ международного рынка робототехники: состояние и влияние на трудовые ресурсы // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Сер. 1: Экономика и управление. 2018. № 4. С. 91–98.
URL: <https://doi.org/10.21777/2587-554X-2018-4-91-98>
6. Шушунова Т.Н. Перспективы развития отечественного рынка робототехники в условиях цифровой трансформации экономики // Россия: тенденции и перспективы развития. 2019. № 14. Ч. 1. С. 567–569.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-otechestvennogo-rynka-robototekhniki-v-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii-ekonomiki>
7. Варшавский А.Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8. № 4. С. 682–697.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-razvitiya-progressivnyh-tehnologiy-robototekhnika/viewer>
8. Варшавский А.Е. Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. М.: Финансы и статистика, 1984. 208 с.
9. Варшавский А.Е., Дубинина В.В. Основные тенденции изменения технико-экономических показателей промышленных роботов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. Вып. 10. С. 1916–1935.
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.10.1916>
10. Дубинина М.Г., Макарова Ю.А. Анализ технико-экономических показателей беспилотных транспортных средств // Концепции. 2018. № 1. С. 28–44.
URL: http://concept.cemi.rssi.ru/concept_1_37_2018.pdf
11. Adnan S. Saeed, Ahmad Bani Younes, Chenxiao Cai, Guowei Cai. A Survey of Hybrid Unmanned Aerial Vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 2018, vol. 98, pp. 91–105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.007>
12. Абдуллаев А.А. Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов конвертопланового типа // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 7. С. 84–90. URL: <https://doi.org/10.18411/lj-07-2020-21>

13. *Hassanalian M., Abdelkefi A.* Classifications, Applications, and Design Challenges of Drones: A Review. *Progress in Aerospace Sciences*, 2027, vol. 91, pp. 99–131.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.04.003>
14. *Cetinsoy E. et al.* Design and Construction of a Novel Quad Tilt-Wing UAV. *Mechatronics*, 2012, vol. 22, iss. 6, pp. 723–745.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.03.003>
15. *Seunghye Yu, Jinyeong Heo, Sekyung Jeong, Yongjin Kwon.* Technical Analysis of VTOL UAV. *Journal of Computer and Communications*, 2016, vol. 4, no. 15, pp. 92–97. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2016.415008>
16. *Дубинина М.Г.* Анализ технико-экономических показателей профессиональных квадрокоптеров // Концепции. 2019. № 1. С. 27–35.
URL: <https://doi.org/10.34705/KO.2019.14.39.003>
17. *Aman M., Festin C., Sporer M.E. et al.* Bionic Reconstruction: Restoration of Extremity Function with Osseointegrated and Mind-Controlled Prostheses. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 2019, vol. 131, pp. 599–607.
URL: <https://doi.org/10.1007/s00508-019-1518-1>
18. *Armstrong T.W. et al.* Psychological Distress among Persons with Upper Extremity Limb Loss. *British Journal of Health Psychology*, 2019, vol. 24, iss. 4, pp. 746–763.
URL: <https://doi.org/10.1111/bjhp.12360>
19. *Bumbaširević M. et al.* The Current State of Bionic Limbs from the Surgeon's Viewpoint. *EFORT Open Reviews*, 2020, vol. 5, iss. 2, pp. 65–72.
URL: <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.180038>

Информация о конфликте интересов

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

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Mathematical Methods and Models

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF CERTAIN TYPES OF SERVICE ROBOTS

Tat'yana A. KOMKINA ^{a,*}, Mariya A. NIKONOVA ^b, Marina G. DUBININA ^c

^a Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
tania_kom@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9328-0712>

^b Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
flowerchek1982@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4365-4066>

^c Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
mgdub@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4578-668X>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 518/2020
Received 10 Sept 2020
Received in revised form
19 September 2020
Accepted 30 Sept 2020
Available online
29 October 2020

JEL classification: O14,
O33, O35

Keywords: service robot,
unmanned aerial vehicle,
hybrid UAV, drone,
bioprosthesis, robotic
vacuum cleaner, t
echnical and economic
performance

Abstract

Subject. The article analyzes development trends in certain types of service robots, namely, hybrid UAVs, bionic prosthetic hands, robotic vacuum cleaners.

Objectives. We focus on identifying the main trends in the development of certain types of service robots, building dynamic models of their technical indicators and models of dependence of their price and weight on absolute characteristics and technical parameters.

Methods. The study employs methods of correlation and multiple regression analysis. The data of the IFR, the Remotely Piloted Aircraft System, and websites of robot manufacturers serve as the informational basis of the paper.

Results. The modeling unveils positive correlation between the integrated indicator of the technical level of hybrid UAVs of convertiplane type and the wingspan. The analysis of modern bionic prosthetic hands shows that the developers focus on optimizing the structure of the prosthetic, however, as the functions of the hand improve, the weight of bionic hand increases. The main factors influencing the price of robot vacuum cleaners are their power, weight, and operating hours.

Conclusions. The unit price of a complex indicator of the technical level of hybrid UAVs is lower than the corresponding indicator of fixed-wing UAVs, reflecting a greater efficiency of hybrid UAVs. The analysis of technical indicators of robotic prosthetics (using the case of bionic hands) shows that any improvement of functional characteristics leads to deterioration of weight. The analysis of technical and economic indicators of robotic vacuum cleaners reveals a positive correlation between the price and weight, operating hours and power.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Komkina T.A., Nikonova M.A., Dubinina M.G. Technical and Economic Analysis of Certain Types of Service Robots. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 10, pp. 1965–1986.

<https://doi.org/10.24891/ea.19.10.1965>

References

1. Gasumova S.E., Porter L. [Robotization of the Social Sphere]. *Sotsiologiya nauki i tekhnologii = Sociology of Science and Technology*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 79–94. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24411/2079-0910-2019-10006>
2. Dorofeeva A.A. [The prospects of use of service robots in resort and recreational spheres of the Crimean region]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie = Scientists Notes the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Economics and Management*, 2018, no. 3, pp. 52–58. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-servisnyh-robotov-v-kurortno-rekreatsionnoy-sfere-krymskogo-regiona> (In Russ.)
3. Ai-Hsuan Chiang, Trimi S. Impacts of Service Robots on Service Quality. *Service Business*, 2020, vol. 14, pp. 439–459. URL: <https://doi.org/10.1007/s11628-020-00423-8>
4. Zeashan Hameed Khan, Afifa Siddique, Chang Won Lee. Robotics Utilization for Healthcare Digitization in Global COVID-19 Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, iss. 11. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113819>
5. Velyada M.I., Fedorova V.I., Bondarenko I.S. [International Robotics Market Analysis: Status and Impact on Workforce]. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S.Yu. Vitte. Ser. 1: Ekonomika i upravlenie*, 2018, no. 4, pp. 91–98. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.21777/2587-554X-2018-4-91-98>
6. Shushunova T.N. [Prospects for the development of the domestic robotics market in the context of digital transformation of the economy]. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya = Russia: Trends and Prospects for Development*, 2019, no. 14, part 1, pp. 567–569. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-otechestvennogo-rynka-robototekhniki-v-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii-ekonomiki> (In Russ.)
7. Varshavskii A.E. [Problems of the Development of Advanced Technologies: Robotics]. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovation. Research)*, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 682–697. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-razvitiya-progressivnyh-tehnologiy-robototekhnika/viewer> (In Russ.)
8. Varshavskii A.E. *Nauchno-tekhnicheskii progress v modelyakh ekonomicheskogo razvitiya* [Scientific and technological progress in models of economic development]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1984, 208 p.
9. Varshavskii A.E., Dubinina V.V. [Principal trends in feasibility indicators of industrial robots]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests:*

- Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 10, pp. 1916–1935. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.10.1916>
10. Dubinina M.G., Makarova Yu.A. [Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej bespilotnykh transportnykh sredstv]. *Concepcii*, 2018, no. 1, pp. 28–44. URL: http://concept.cemi.rssi.ru/concept_1_37_2018.pdf (In Russ.)
11. Adnan S. Saeed, Ahmad Bani Younes, Chenxiao Cai, Guowei Cai. A Survey of Hybrid Unmanned Aerial Vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 2018, vol. 98, pp. 91–105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.007>
12. Abdullaev A.A. [Trends in convertiplane unmanned aerial vehicle development]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in Science and Education*, 2020, no. 7, pp. 84–90. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18411/lj-07-2020-21>
13. Hassanalian M., Abdelkefi A. Classifications, Applications, and Design Challenges of Drones: A Review. *Progress in Aerospace Sciences*, 2027, vol. 91, pp. 99–131. URL: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.04.003>
14. Cetinsoy E. et al. Design and Construction of a Novel Quad Tilt-Wing UAV. *Mechatronics*, 2012, vol. 22, iss. 6, pp. 723–745. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.03.003>
15. Seunghye Yu, Jinyeong Heo, Sekyung Jeong, Yongjin Kwon. Technical Analysis of VTOL UAV. *Journal of Computer and Communications*, 2016, vol. 4, no. 15, pp. 92–97. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2016.415008>
16. Dubinina M.G. [Analysis of technical and economic indicators of professional quadcopters]. *Concepcii*, 2019, no. 1, pp. 27–35. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.34705/KO.2019.14.39.003>
17. Aman M., Festin C., Sporer M.E. et al. Bionic Reconstruction: Restoration of Extremity Function with Osseointegrated and Mind-Controlled Prostheses. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 2019, vol. 131, pp. 599–607. URL: <https://doi.org/10.1007/s00508-019-1518-1>
18. Armstrong T.W. et al. Psychological Distress among Persons with Upper Extremity Limb Loss. *British Journal of Health Psychology*, 2019, vol. 24, iss. 4, pp. 746–763. URL: <https://doi.org/10.1111/bjhp.12360>
19. Bumbaširević M. et al. The Current State of Bionic Limbs from the Surgeon's Viewpoint. *EFORT Open Reviews*, 2020, vol. 5, iss. 2, pp. 65–72. URL: <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.180038>

Conflict-of-interest notification

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