

# Анализ особенностей развития высокотехнологичной медицинской робототехники \*

Старший научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Центрального экономико-математического института (ЦЭМИ) РАН  
кандидат экономических наук Т.А. Комкина

Ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Центрального экономико-математического института (ЦЭМИ) РАН,  
кандидат экономических наук А.П. Яркин

**Аннотация.** В работе проведен анализ особенностей развития высокотехнологичной медицинской робототехники, в том числе с учетом последних разработок на фоне пандемии COVID-19. Повышенный интерес вызывают разработки, связанные с применением медицинских роботов в больницах, при автоматизации тестирования, обеспечения общественной безопасности и др. Также проведен анализ данных для оценки показателей развития медицинских роботов по странам (на примере хирургической системы da Vinci).

Ключевые слова: медицинская робототехника, COVID-19, роботы-дезинфекторы, роботизированная хирургическая система, логистические мобильные роботы, мобильные роботизированные системы.

DOI: 10.34705/KO.2020.39.1.003

\* Статья подготовлена при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-010-00065

## Analysis of the features of the development of high-tech medical robotics

Komkina T.A., Yarkin A.P.

**Abstract.** The paper analyzes the features of the development of high-tech medical robotics, including considering the latest developments against the backdrop of the COVID-19 pandemic. Developments related to the use of medical robots in hospitals in the automation of testing and ensuring public safety are of great interest. A data analysis was also carried out to assess the development indicators of medical robots by country (using the da Vinci surgical system as an example).

Keywords: medical robotics, COVID-19, disinfection robots, robotic surgical system, mobile robotic systems.

### Введение

Сектор здравоохранения активно меняется вследствие появления прорывных изобретений в диагностике и лечении заболеваний. Одновременно с этим приходится решать целый комплекс актуальных проблем, связанных со старением населения, ростом затрат и дефицитом медицинского персонала во всем мире. Также современные технологии могут помочь решить некоторые проблемы вызванные COVID-19, в частности проблемы безопасности и нехватки персонала в учреждениях здравоохранения, способствуют

сдерживанию распространения коронавируса ограничивая контакты потенциальных носителей вируса со здоровыми людьми. Однако в настоящее время сложно строить прогнозы по распространению высокотехнологичной медицинской робототехники в долгосрочной перспективе [1, 2]. В данной статье рассмотрены проблемы развития роботов для дезинфекции, роботопомощников и логистических медицинских роботов, а также разработана модель распространения медицинских роботов.

## Роботы для дезинфекции

Роботы-дезинфекторы начали применяться в больницах для дезинфекции палат и коридоров с помощью ультрафиолета или специальных растворов и до вспышки вирусной инфекции вызванной COVID-19. Однако в 2020 г. этот вид медицинских роботов получил стремительное развитие, роботов-дезинфекторов начали выпускать многие компании, а их сфера применения значительно расширилась. В 2017 г. общий объём рынка роботов-дезинфекторов составлял 67 млн долл. При этом среднегодовой темп роста данного вида роботов для Китая, по некоторым прогнозам, должен был составить около 28% до 2022 г. - 164 млн долл. в течение пяти лет. В свете последних событий, происходящих в мире, размер мирового рынка роботов для дезинфекции может вырасти на 429,25 млн долл. в течение 2020–2024 гг. [3]. Лидерами по новым разработкам роботов-дезинфекторов в настоящее время является Китай и США, однако вспышка новой коронавирусной инфекции способствовала активизации новых разработок в других странах.

Данный вид роботов передвигается самостоятельно или управляется удаленно оператором, оснащён лидарами (технологией дистанционного зондирования), может сканировать и строить карты помещения. Роботы-дезинфекторы выполняют задачи по обеззараживанию помещений в амбулаторных и операционных отделениях больниц с целью минимизации контакта между врачами и пациентами для снижения риска перекрестного заражения. Следует отметить наличие значительной конкурентной среды на рынке дезинфицирующих роботов. Ниже приведены примеры наиболее крупных производителей роботов в данном направлении.

Blue Ocean Robotics (Дания), включена в список 50 самых влиятельных робототехнических компаний мира (RBR50)), выпускает дезинфицирующих роботов серии UVD (производится с 2018 г.), в настоящее время занимает более 75% мирового рынка автономных мобильных роботов для дезинфекции. UVD Robots сочетает в себе технологии автономных роботов и ультрафиолетового излучения, может уничтожить 99,9% всех бактерий в течение 10 мин, имеет покрытие 360°, УФ-длина волны 254 нм (UV-C light), время работы от одной зарядки УФ модуля 2-2,5 часа (9-10 помещений), время работы мобильной платформы до 8 часов, время зарядки аккумулятора 6 часов, вес 140 кг, связь осуществляется на основе Wi-Fi и приложения [4].

Finsen Technologies Ltd. (Великобритания), выпускает высокопроизводительный робот для дезинфекции ультрафиолетом THOR UVC (про-

изводится с 2011 г.), обладает уникальными запатентованными конструктивными особенностями, снижает количества вредных бактерий на 99,9% за несколько минут, легко транспортируется и является полностью мобильным, что делает его оптимальным для дезинфекции машин скорой помощи, комнат пациентов, операционных залов и др. помещений в больнице (включая небольшие помещения), имеет покрытие 360°.

Xenex Disinfection Services LLC (США, 2009 г.), выпускает дезинфицирующих роботов Xenex LightStrike™ Robot и Xenex, LightStrike™ Disinfection Pod™ (портативная модель). Следует отметить, что роботы-дезинфекторы Xenex (производятся с 2012 г.) начали активно использоваться в стационарах в США в 2015 г. для борьбы с вирусом Эбола. Корпорация Xenex во время пандемии помимо американских больниц поставляла дезинфицирующих роботов пятого поколения в более чем 500 больниц Китая, а также в больницы Италии, Испании, Германии и другие страны. По данным [5] в первом квартале 2020 г. по сравнению со всем 2019 г. рост числа заказов на LightStrike составил 400%. В Xenex LightStrike применяется ксеноновая лампа (УФ-излучение без ртути, совмещенное с импульсной технологией, создающей высокоинтенсивные сигналы) с полным бактерицидным спектром (200-315 нм), особая система фокусировки ультрафиолетового света, система записи на устройстве и онлайн-управление для отслеживания и анализа, встроенный таймер, кнопка экстренного выключения, система автоматического выключения при определении движения, скорость уничтожения вируса SARS-CoV-2 на 1 метре для твердых поверхностей составляет 2 мин., для респираторов 5 мин.

Mediland Enterprise Corp. Тайвань), выпускает неавтономный робот для дезинфекции UV Light Disinfection Robot (с 2016 г., перемещение осуществляется человеком), и новую серию роботов Hyper Light R (может перемещаться по заранее установленному маршруту). Эти роботы имеют высокую мощность излучения, длительный срок службы и стабильную мощность, запатентованные вращающиеся защитные отражатели; робот обеспечивает эффективную дезинфекцию участков подверженных коронавирусу, деактивирует ДНК и РНК коронавирусов (включая новый коронавирус) за пять минут в радиусе 5 метров, имеется возможность хранить информацию по работе робота-дезинфектора на удаленных платформах и в облачном хранилище.

Вирусная инфекция, вызванная COVID-19, значительно повлияла на активизацию разработок роботов-дезинфекторов многими компания-

ми. Так, во время пандемии крупнейший производитель сельскохозяйственных дронов компания XAG (Китай) начала переоборудование наземных роботов и воздушных беспилотников сельскохозяйственного назначения в дезинфицирующие опрыскиватели (более 2600 дронов) [6]. Ведущая китайская компания по производству промышленных и складских роботов Casup на фоне борьбы с пандемией разработала и начала массовый выпуск робота дезинфектора ARIS K2, который может применяться для обработки больших площадей; для перемещения робота применена интеллектуальная лазерная SLAM навигация с построением карты помещения для обработки всех его частей со многих точек. ARIS K2 работает как в режиме обеззараживания (мощность УФ-излучения составляет до 270 мкВт / кв.см.), так и в режиме теплового мониторинга (инфракрасный монитор измеряет показатели температуру тела, что позволяет выявлять людей с повышенной температурой) [7].

После начала пандемии многие компании, специализирующиеся на выпуске автоматических управляемых тележек (транспортер с электроприводом, предназначенный для перемещения грузов (AGV)) начали переоборудовать их, в том числе в роботов-дезинфекторов, снабжая их датчиками присутствия человека и УФ-лампами. Степень автономности роботов и технические характеристики зависят от вида платформы, на которой они созданы. В Китае в разгар пандемии роботизированные платформы, управляемые операторами, распыляли дезинфицирующие средства в жилых районах в г. Ухань; для дезинфекции больших площадей в г. Ханчжоу приме-

нялись гусеничные роботы под управлением операторов.

В мире многие стартапы анонсировали начало производства роботов-дезинфекторов. Разработчики из МТИ (Массачусетский технологический институт, США) на базе готовой платформы от компании Ava Robotics разработали робота с четырьмя УФ-лампами и покрытием 360°, который работает в автоматическом режиме; его производительность составляет 380 м<sup>2</sup> за 30 мин., скорость передвижения 0,5 км/ч, имеется докстанция для подзарядки. В России лаборатория робототехники Сбербанка на базе робота-курьера разработала прототип робота-дезинфектора, который оборудован УФ-лампами суммарной мощностью 100 Вт, производительностью 20 м<sup>2</sup> за 5 мин, при этом возможно применение как удаленного управления, так и через экран-дисплей и голосовые сообщения. Данный робот-дезинфектор может работать в автоматическом режиме, безопасен. Сейчас данный прототип проходит проверку в офисах банка и в Европейском медицинском центре, по итогам тестирования будет принято решение о масштабировании проекта и его применении за пределами банка. Однако делать прогноз о массовом производстве таких роботов пока не представляется возможным.

Проведенный анализ показывает, что всех роботов-дезинфекторов последнего поколения объединяет наличие мощных УФ-ламп, быстрое время обработки (не более 15 минут), автоматический расчет времени обработки, наличие защитных систем для человека, наличие контроля за результатами обработки (встроенные или внешние сенсоры УФ).

### Мобильные роботы-помощники

Одним из направлений автоматизации медицинских учреждений в условиях пандемии, требующей быстрого решения, оказалось применение роботизированных систем для взаимодействия в реальном времени с пациентами с безопасного расстояния на базе технологии 5G (операторами связи специально для этих целей были развернуты сети пятого поколения в медицинских центрах). Таким образом, они эффективно восполняют дефицит большинства медицинских клиник в персонале, улучшают возможности предварительного обследования в клиниках и снижают риск заражения, в том числе медицинского персонала. Роботизированные автономные системы начали использоваться также в общественном транспорте в Китае, Сингапуре и других городах во время вспышки вирусной инфекции вызванной COVID-19. Эти роботизированные системы используются для измерения

температуры и распознавания лиц (данные передаются в службу мониторинга и отслеживается обращение пассажиров с повышенной температурой в медицинские учреждения).

В условиях вспышки эпидемии коронавируса нового типа активно стали использоваться и модернизироваться роботы-телеоператоры. В Китае техническую поддержку применения данных видов роботов предоставляет созданная Народной больницей провинции Чжэцзян, телекоммуникационным оператором China Telecom и компанией Huawei «Лаборатория интеллектуальных медицинских инноваций 5G». Ультразвуковое исследование сердечной и легочной систем позволяет получать изображения объемом до 2 ГБ с высокой скоростью передачи и низкой задержкой во времени за несколько минут. Так, с помощью созданного на базе технологии 5G робота-телеоператора с роботизированной рукой врачи

во временном госпитале г. Ухань (Китай) в феврале 2020 г. провели первое ультразвуковое сканирование в режиме реального времени для пациента, находясь при этом в больнице на расстоянии более 700 км; врачи управляли роботизированной рукой, проводя дистанционное ультразвуковое сканирование через сеть 5G.

В Китае во время эпидемии в г. Ухань в учебном полевом госпитале было создано полностью роботизированное отделение, в котором пациенты проходили обследование и лечение удаленно, использовалась при этом сеть 5G. Были применены роботы, разработанные и произведенные китайской компанией CloudMinds совместно с крупной телекоммуникационной компанией China Mobile, которые осуществляли дистанционный уход за пациентами, измерение температуры тела, дезинфекцию и очистку, доставляли лекарства, утилизировали медицинские отходы.

Медицинского робота-помощника разработала компания TMiRob, специализирующаяся на создании медицинских роботов различного назначения. (в том числе роботов-дезинфекторов, см. выше). В его функции входит как взаимодействие с пациентами, так и амбулаторными отделениями внутри больницы. Робот с помощью голоса или анимации взаимодействует с пациентом (уточняет методы ухода, процедуры лечения и т. д.), осуществляет бесконтактное измерение температуры лба в режиме самообслуживания, использует несколько режимов идентификации для помощи медперсоналу по сбору и вводу информации о пациенте (автоматическое распознавание лица, ID-карты, медицинской страховки, банковской карты, RFID-браслета и других удостоверений личности), обеспечивает навигацию по территории медицинского учреждения (через распознавание QR-кода), осуществляет печать информации с помощью встроенного термопринтера, проводит дистанционные консультации между пациентами и медицинским персоналом [8]. Следует отметить, что компанией TMiRob для потребностей ядерной медицины была разработана и внедрена в производство медицинская роботизированная система для обнаружения и лечения пациентов с радиационным заражением для бесконтактной работы медицинского персонала при проведении ежедневных осмотров. Данный вид мобильного робота оснащен различным медицинским оборудованием (сфигмоманометром, термометром, счетчиком Гейгера) для динамического контроля за пациентами, ежедневной доставки лекарств и расходных материалов, изме-

рения радиоактивности в помещении и содержания радиоактивных изотопов йода в организме человека, дистанционной консультации между пациентами и медицинским персоналом. Все это помогает оптимизировать эффективность работы медицинского персонала, снизить его радиационное заражение, обеспечить безопасность пациентов и улучшить качество медицинского обслуживания [8].

Интерес представляет медицинский робот-манипулятор, созданный для защиты медицинского персонала во время лечения пациентов с вирусными инфекциями в университете Цинхуа (Китай) на основе технологии внешних манипуляторов, уже применявшихся для работ в открытом космосе. Аппарат представляет собой роботизированную руку на колесах, которая выполняет УЗИ, проводит мониторинг дыхательных путей, берет мазки изо рта, контролирует работу внутренних органов. Данный робот-манипулятор оснащен несколькими видеокамерами с высоким разрешением, является полностью автоматизированным и может дезинфицировать себя после контакта с больным. Стоимость такого робота составляет 72 тыс. долл. (в дальнейшем возможна государственная поддержка при закупке робота медицинскими учреждениями).

Компания TCI Gene (Тайвань) совместно с Министерством здравоохранения и социального обеспечения всего за два месяца благодаря нескольким запатентованным технологиям других тайваньских компаний разработала и приступила к производству робота QVS-96 для проверки на вирусы. Роботизированный антивирусный сканер проверяет на наличие вируса в 7 раз быстрее, чем существующие на данный момент методы с точностью 99,9%, может работать 24 часа в сутки, каждый робот может проводить 900 тестов в день, а это означает, что только четыре таких робота способны удовлетворить общенациональный спрос на тестирование на коронавирус в стране [9].

Проведенный анализ медицинских роботов-помощников показывает, что в условиях борьбы с коронавирусом это направление получило мощный стимул к развитию, в новых роботизированных системах используется технология 5G, системы распознавания лиц, усовершенствованные системы навигации, при этом стоимость таких роботизированных систем очень значительна для массового внедрения медицинского робота-помощника в больницы без субсидий со стороны государства.

## Логистические медицинские роботы

Логистические медицинские роботы относятся к сервисным роботам, позволяют автоматизировать работу персонала больницы, используются для доставки лекарств и других предметов в медицинских учреждениях, могут быть интегрированы в систему распределения и учета лекарств, позволяют путем оптимизации повысить производительность и высвободить рабочую силу. Использование мобильных медицинских роботов может сократить время ожидания, потребность в перемещении персонала. Ниже приведены примеры логистических медицинских роботов, производство которых уже начато.

Робот-доставщик HOSPI выпускается компанией Panasonic (Япония) и был изначально разработан в 2004 г. для использования в здравоохранении в условиях быстрого старения населения Японии [10]. В 2013 г. была выпущена новая версия робота, успешно прошедшая испытания и компанией был начат массовый выпуск роботов данного вида для больниц и гостиниц. Робот обладает автономными навигационными системами, оснащен встроенным датчиком и усовершенствованной системой предотвращения столкновений [11]. HOSPI предназначен для доставки хрупких и громоздких лекарств, медицинских анализов и образцов, историй болезни пациентов в формате 24/7; оснащен системой безопасности для предотвращения взлома, кражи и повреждения во время доставки (доступ с ID-картой). Навигационная система позволяет роботу самостоятельно передвигаться благодаря загруженным картам, камере и встроенным датчикам; скорость (max) 1.0 м/сек; вес (с батареей) около 170 кг; время зарядки 4,5 часа; длительность работы 9 часов; загрузка (max) 20 кг (6 медицинских поддонов размера A3).

Логистические роботы TransCar и Relay® производятся концерном Swisslog (Швейцария, входит в KUKA Group), используются в медицинских учреждениях многих стран (Норвегии, Китая, Австрии, Великобритании, Германии, России). Робот-доставщик TransCar создан на базе автоматизированных управляемых транспортных средств (AGV), оборудован датчиками распознавания препятствия, системой Wi-Fi, может пользоваться лифтами. Relay® — автономный робот, предназначенный для работы в общественных местах, доступных для посетителей больницы, имеет блокируемый отсек для грузов, динамичную и безопасную навигацию (плавно перемещается по неструктурированным участкам при по-

мощи лазерной навигации, машинного зрения, беспроводной связи и оптимизированной маршрутизации), время зарядки 2 часа; длительность работы 4 часа [12]. Может доставлять лекарства, лабораторные образцы, расходные материалы и оборудование в больничной среде.

Автономный мобильный робот TUG производится компанией Aethon (США), может использоваться в любых отделениях больницы в режиме многозадачности. На платформу робота из нержавеющей стали можно погружать различные предметы, можно транспортировать материалы в специальных ячейках, доступ к которым открывается только после биометрического сканирования или введения кода безопасности; для управления используется облачный центр контроля, автономная технология смарт-навигации (совмещенный лазер, звуковой локатор и инфракрасные датчики), длительность работы 10 часов; тяговое усилие (max) - 453 кг; радиус поворота - 80,5 см [13]. TUG может использоваться в фармацевтическом отделе (доставлять лекарства в защищенном режиме), лабораториях (доставлять образцы крови или тканей в закрытых ячейках из разных точек в главную лабораторию), столовой, прачечной и др.

Мобильный коллаборативный робот YuMi, производится в Медицинском исследовательском центре ABB Group на базе Института инноваций Техасского медицинского центра (ТМС) в Хьюстоне. Робот предназначен для выполнения разнообразных повторяющихся длительных операций, например подготовки лекарств, загрузки и разгрузки центрифуг, дозирования по каплям, обработки жидкостей, сбора и сортировки пробирок и т.п. Помимо этого, мобильный робот YuMi может быть задействован в логистике больниц (выдавать лекарства, доставлять их в нужное место, подвозить медикаменты или постельное белье).

Проведенный анализ логистических медицинских роботов показал, что наиболее важными их характеристиками является длительность времени работы (без подзарядки), время зарядки, скорость, современная система безопасности (для предотвращения несанкционированного доступа к содержимому робота) и система навигации. Проведенный компанией ABB анализ показывает, что средства автоматизации могут ускорить выполнение повторяющихся задач на 50% по сравнению с ручным трудом в больницах.

## Анализ и моделирование показателей распространения медицинских роботов

Значительный интерес представляет анализ данных для оценки показателей развития медицинских роботов на примере получивших наибольшее распространение в настоящее время роботизированных хирургических систем. Многие технологии, полученные в процессе разработки и активного использования в роботизированных системах находят свое применение в других, только недавно получивших распространение видов медицинских роботов (например, мобильных роботизированных системах).

В частности, система da Vinci (Intuitive Surgical, США), выбор которой для проведения анализа обусловлен широким распространением по странам (используется в 67 странах) и значительным временным периодом наблюдения (2001-2019 гг.). В частности, в России за период 2007 г.-2019 гг. было выполнено 15025 операций, работает 33 робота в 27 клиниках страны [14]. На рис 1 представлена статистика по количеству выполненных операций с использованием da Vinci в РФ 2007-2019 гг.

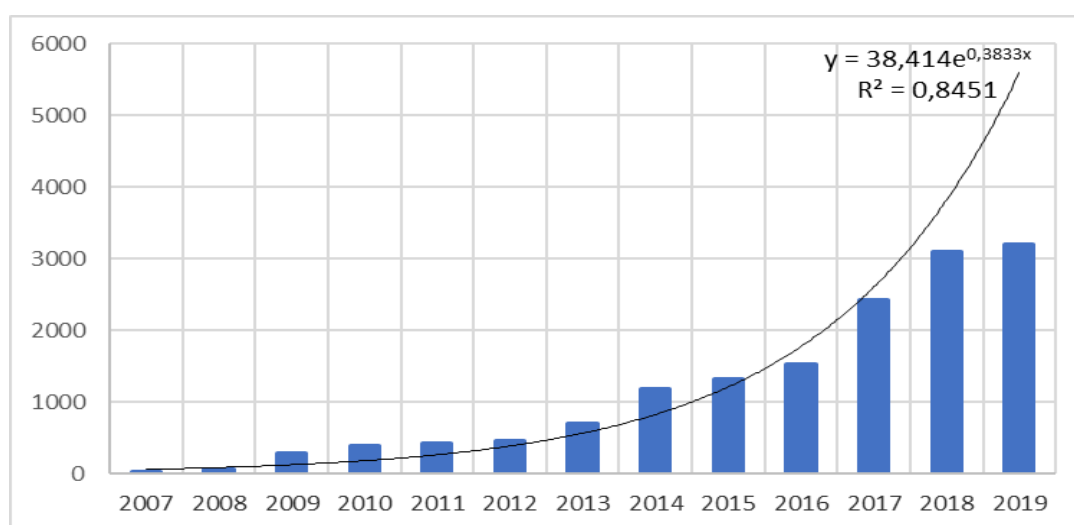


Рис. 1 Количество выполненных операций с использованием хирургической системы da Vinci в РФ в 2007-2019 гг. Расчет по данным [14]

Данная роботизированная хирургическая система позволила расширить и усовершенствовать новый хирургический подход МИХ (минимально инвазивная хирургия). В настоящее время можно выделить 7 поколений хирургической системы da Vinci за период 2001-2019 гг., отличающиеся по системе обзора InSite, комплектацией запатентованных инструментов EndoWrist, эргономикой и виду консолей: da Vinci Surgical System Population (1999-2005 гг.), da Vinci S Systems (2005-2015 гг.), da Vinci Si Systems (2009- 2015 гг.), da Vinci Xi Systems (2014-2015 гг.), da Vinci X Systems (2017-2019 гг.), da Vinci SP Systems (2017-2018 гг.). В последних моделях рассматриваемых хирургических систем реализованы следующие функции: установлены камера и экран с 3HD разрешением и возможностью увеличения в 15 раз; камеры, эндоскопы и кабель интегрированы в одном портативном устройстве; имеется два вида консоли (одинарная и двойная консоли); новый принцип присоединения инструментов к «рукам» робота (необ-

ходимо его просто положить на руку); эндоскоп крепится к любой «руке» (повышенная гибкость для осмотра участка операции); внутренний и внешний диапазон движения составляет 360°.

В ходе работы была построена многофакторная эконометрическая модель с учетом социально-экономических факторов, влияющих на скорость распространения и масштабы применения медицинских хирургических роботизированных систем. Для этого проведен анализ зависимости продаж робота da Vinci по странам от ряда показателей: ВВП на душу населения (GDP per capita, PPP (current international \$)), коэффициент Джини (GINI index), индекс человеческого развития (Human Development Index), расходы на здравоохранение на душу населения (current health expenditure per capita), число хирургических операций в расчете на 100 тыс человек (Number of surgical procedures (per 100,000 population)), число хирургов на 100 тыс. человек населения (Specialist surgical workforce (per 100,000 population)), число медицинских работников на

100 тыс. человек населения (number of health workers (per 100,000 population)) и др. В выборку вошли 26 стран, по которым есть данные по статистике продаж da Vinci. Модель, описывающая распространения хирургической системы da Vinci по странам от основных социально-экономических показателей имеет вид:  $Y_p = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2$ , где  $Y_p$  – число продаж по странам робота-хирурга da Vinci в расчете на 10 млн человек населения (шт.),  $x_1$  – число хирургов на 100 тыс. человек населения,  $x_2$  – расходы на

здравоохранение на душу населения (долл.). Для всей выборки (26 стран, включая США), были получены следующие оценки параметров модели:  $a_0=1.01$  (0.27),  $a_1=-0.09$  (-1.78),  $a_2=0.01$  (7.2),  $R^2=0.71$ .

Основной результат проведенного моделирования состоит в том, что продажи по странам робота-хирурга растут с ростом затрат на здравоохранение и снижением численности хирургов в стране.

## Выводы

В сложившей ситуации на фоне пандемии COVID-19, возможно, поставщики медицинских услуг, потребители и компании проявят больший интерес к дальнейшему использованию медицинских роботов. Их применение в медицинских учреждениях решает такие важные задачи как уменьшение риска распространения вирусов, снижение нагрузки на медицинский персонал, сокращение времени обработки помещений и улучшение качества дезинфекции помещений. Роботизированные системы облегчают выполнение рутинных процедур в медицинских учреждениях, могут работать непрерывно, обеспечивая при этом высокую производительность, что в свою очередь, позволяет увеличить их пропускную способность, повысить качество и минимизировать затраты на лечения.

Следует отметить, что у российских производителей также есть примеры разработок беспилотных дезинфекторов, курьеров, бесконтактных измерителей температуры, роботов - помощников врачей. Однако практически все эти разработки еще проходят стадию тестирования.

Проведенный в работе анализ особенностей распространения хирургической системы da Vinci по странам от основных социально-экономических показателей влияющих на скорость распространения и масштабы применения медицинских хирургических роботизированных систем показал, что число продаж робота-хирурга растут с ростом затрат на здравоохранение и снижением численности хирургов в стране.

## Литература

---

1. Варшавский А.Е., Дымова И.А. Проблемы развития рынка роботизированных технологий // Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 17, Том 2 / Под. ред. Г. Ю. Ризниченко. — М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2010. - С. 43-49.
2. Комкина Т.А. Особенности и перспективы развития медицинской робототехники / Научно-практический журнал «Концепции» (РИНЦ). Москва. Изд-во «ПИК ВИНТИ – Наука». — 2015, № 1 (33) — С. 25 — 33.
- 3 Environmental Disinfection Robot Market by Technology and Geography - Forecast and Analysis 2020-2024, Apr 2020. URL: <https://www.technavio.com/report/environmental-disinfection-robot-market-industry-analysis>
- 4 UVD Robots ApS. URL: <https://www.uvd-robots.com>
- 5 XENEX Disinfection Systems. URL: <https://www.xenex.com>
- 6 XENEX Disinfection Systems. URL: <https://www.xenex.com> <https://www.xa.com/en/news>
- 7 NISSA Engineering. URL: <https://nissa-eng.ru/>
- 8 TMI Robotics. URL: <http://tmirob.com/solutions>
- 9 Taiwan News. URL: <https://www.taiwannews.com.tw/en/news/3928285> (2020/05/05/)
- 10 Falconer, Jason (October 29, 2013). "HOSPI-R drug delivery robot frees nurses to do more important work". newatlas.com. Retrieved 2018-11-2
- 11 Szondy, David (January 16, 2017). "Panasonic robots take temp jobs at airport and hotel". newatlas.com. Retrieved 2018-11-26
- 12 Swisslog. Системы автоматизации для медицинских учреждений, складов и распределительных центров. URL: <https://vk.com/swisslog>
- 13 ST Engineering Aethon, Inc. URL: <https://aethon.com/products>
- 14 Роботическая хирургия в России. URL: <https://robot-davinci.ru>