

Роботохирургия – цифровая технология, спасающая жизни

Шептунов С. А.¹, Васильев А. О.^{2,3,4}, Колонтарев К. Б.^{2,3}, Нахушев Р. С.¹, Пушкарь Д. Ю.^{2,5}

¹ Институт конструкторско-технологической информатики РАН, 127055, Москва, Вадковский пер., д. 18, стр. 1А

² Кафедра урологии Московского государственного медико-стоматологического университета имени А. И. Евдокимова Министерства здравоохранения Российской Федерации, 127473, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1

³ Городская клиническая больница им. С. И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы, 127206, Москва, ул. Вучетича, д. 21

⁴ ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения Москвы», 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 9

Аннотация

Обоснование. Статья посвящена изучению развития роботохирургии как революционной технологии лечения в мире и в России. В статье раскрывается суть и преимущества хирургического лечения с применением роботов. Фактические данные говорят о недостаточном росте мирового рынка роботохирургии, сегментации по странам (в пользу высокоразвитых стран) и монополизации. **Материалы и методы.** Материалы представлены в тезисном виде с инфографикой, давая полное представление об основных аспектах. **Результаты и обсуждение.** Анализ данных позволил выявить основные тенденции и проблемы рынка робототехнических технологий в хирургии. Ключевой вопрос – различие между количеством операций, возможных к выполнению в роботохирургической технологии, и фактическим их количеством. По результатам анализа сформированы перспективные направления и задачи для развития роботохирургии и возможные подходы к их реализации. Обсуждаются возможности обучения врачей, перспективы разрабатываемого российского робот-ассистирующего комплекса, а также парадоксальная ситуация в мировой роботохирургии. Парадокс в том, что на фоне малой освоенности рынка, растущего количества разработок и исследований в области робот-ассистированной хирургии, ее доказанной лечебной эффективности и потребности в ней со стороны населения и хирургического сообщества есть проблемы, которые не смогут быть решены в ближайшие 5–10 лет. С фокусом на абдоминальную область это: высокая стоимость; ограниченный функционал робота; нехватка квалифицированных врачей; проблемы обучения; невыгодность внедрения роботохирургии для клиник (в бизнес-аспекте). Развитие и внедрение существующих российских разработок может значительно повысить доступность и качество медицинской помощи, сильно продвинуть в реализации некоторые проекты в области здравоохранения. При этом Москва может инициировать развитие роботохирургии в стране и в мире. **Заключение.** Важно, чтобы новые хирургические роботы вписывались в систему здравоохранения, особенно по стоимости, и делали большое количество операций, окупая затраты. В первую очередь для этого необходима разработка и запуск государственной программы «Роботохирургия».

Ключевые слова: ассистирующая хирургия; роботохирургия; хирургия абдоминальной области; мехатроника; цифровая медицина; роботохирургические техники и технологии; роботохирургический инструмент.

Для цитирования: Шептунов С. А., Васильев А. О., Колонтарев К. Б., Нахушев Р. С., Пушкарь Д. Ю. Роботохирургия – цифровая технология, спасающая жизни // Здоровье мегаполиса. 2020; т. 1, № 1:60–71. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2020.v1i1:60-71>

© Автор(ы) сохраняют за собой авторские права на эту статью.

© Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция-СохранениеУсловий») 4.0 Всемирная.

Robotic surgery – digital technology that saves lives

Sheptunov S. A.¹, Vasiliev A. O.^{2,3,4}, Kolontarev K. B.^{2,3}, Nakhushev, R. S.¹, Pushkar D. Yu.^{2,3}

¹ Institute for Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, 18, bild. 1a, Vadkovsky lane, Moscow

² Department of Urology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov of the Ministry of Health of Russian Federation, 127473, 20, bild. 1, Delegatskaya st., 1127473, Moscow

³ S.I. Spasokukotsky City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, 21, Vuchetich st., 27206, Moscow

⁴ State Budgetary Institution "Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department", 9, Sharikopodshipnikovskaya str., 115088, Moscow

Abstract

Background. The article is dedicated to the study of native and international robotic surgery development as a revolutionary treatment technology. The article reveals the essence and advantages of surgical treatment using robots. The data provided indicate insufficient growth of the world market for robotic surgery, segmentation by country (in favor of highly developed countries) and monopolization. **Materials and methods.** The article is structured in theses with infographics, giving a complete picture of the main aspects. **Results and discussion.** The data analysis helped to identify the main trends and problems of robotic technologies market in surgery. The key issue is the difference between the number of operations that can be possibly performed in robotic surgical technologies and their actual number. Based on the results of the analysis, there were formed promising directions and tasks for the development of robotic surgery and possible approaches to their implementation. In this study there were discussed the possibilities of training doctors and the prospects of the Russian robotic-assisting complex, as well as the paradoxical situation in the world of robotic surgery. The paradox is that despite the low level of market development, growing number of research works in the field of robotic-assisted surgery, its proven therapeutic efficacy and the high demand from behalf of the population and the surgical community, still there are problems that cannot be solved for the next 5 - 10 years. With a focus on the abdominal area, these problems are: high expenses; limited functionality of the robot; the lack of qualified doctors, training problems; unprofitable implementation of robotic surgery for clinics (in the business aspect). The development and implementation of robotic surgical techniques and technologies in Russia can significantly increase the availability and quality of medical care, and greatly advance the implementation of some projects in healthcare. At the same time, Moscow can initiate the development of robotic surgery in the country and in the world. **Conclusion.** It is important to fit the new surgical robots into the healthcare system, especially in terms of costs, and perform a large number of surgeries to increase payback. This requires the development and launch of the federal program "Robot surgery".

Keywords: assistant surgery; robotic surgery; abdominal surgery; mechatronics; digital medicine; robotic surgical techniques and technologies; robotic surgical instruments.

For citation: Sheptunov S. A., Vasiliev A. O., Kolontarev K. B., Nakhushev, R. S., Pushkar D. Yu. Robotic surgery – digital technology that saves lives // City HealthCare Journal. 2020; v. 1, No. 1:60-71. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2020.v1i1;60-71>

Введение

Запросы современного общества и угрозы пандемии требуют принципиально новых технологий лечения. Использование роботов в медицине – роботхирургия – направление, предоставляющее такие технологии. Роботхирургия как новое направление в хирургии, доказавшее высокую медицинскую эффективность, активно развивается и внедряется в клиниках мира. Многие страны имеют государственные программы, стимулирующие внедрение роботхирургии, создаются специальные институты и центры развития, формируется международная кооперация. В то же время роботхирургия смогла освоить только малую часть рынка. Это связано со значительными проблемами. Российские разработчики достигли успехов в комплексном решении этих проблем и имеют международные приоритеты. Москва может стать городом, который инициирует развитие роботхирургии в стране, а в последующем и в мире [1, 2].

Состояние и основные итоги развития роботхирургии на современном этапе в России и в мире

Наиболее значимые вызовы для российского здравоохранения сформулированы поручениями Президента РФ:

- Повышение продолжительности и качества жизни населения РФ;
- Повышение доступности и качества медицинской помощи.

В рамках реализации поставленных целей инициированы такие проекты, как: «Цифровая экономика», «Здравоохранение», «Борьба с онкологическими заболеваниями».

Роботхирургия – уже доказавшая свою эффективность технология оперативного лечения, которая может решить большой объем задач и помочь реализовать вышеуказанные проекты, особенно на фоне борьбы с пандемией.

Роботхирургия: суть, основные достижения и преимущества [3–6]

Роботхирургия – переход на следующий уровень развития лапароскопии на основе новых принципов дистанционного взаимодействия хирурга с пациентом и новых роботхирургических технологий. Роботхирургия фактически совершила технологическую революцию – наиболее **важными достижениями/победами** которой являются [7]:

- выполнение операции происходит на удалении от хирургического стола хирургом, сидящим в удобной позе, позволяющей ему меньше утомляться и, как следствие, быть более сосредоточенным и внимательным;
- преодоление барьера, вызванного физиологическими возможностями рук хирурга: роботхирургия позволяет убрать тремор и повысить точность рук;
- бранши инструмента во время операции имеют 6 степеней свободы и интуитивно повторяют движения кисти руки. Имеется как минимум еще степень свободы для управления (открытия/закрытия) браншей (рис. 1);
- 3D-камера позволяет хирургу выделить и рассмотреть сколь угодно малое операционное поле, открывая тем самым возможность эффективной работы с мелкими органами, сосудами, нервными окончаниями и др. [1].



Рисунок 1.

Инструмент повторяет движение кисти хирурга.

Figure 1. The device follows the movement of the surgeon's hand.

Роботохирургия принята мировым хирургическим сообществом и активно развивается. Кроме указанных достижений, внедрение робото-

хирургии позволяет получить значительные преимущества [1, 2] на всех уровнях организации хирургической помощи (табл. 1).

Таблица 1. Преимущества внедрения роботохирургии на всех уровнях организации хирургической помощи
Table 1. Advantages of implementing robot-assisted surgery at all levels of surgical care

Для пациента	• Минимальная травма органов и кожного покрова во время операции; • Невысокая вероятность осложнений после операции; • Минимальная потеря крови; • Сохранение нервных пучков, крупных сосудов, отдельных органов; • Сохранение жизненно важных функций, что ранее было невозможно; • Минимальное время пребывания в клинике и быстрое выздоровление
Для хирурга	• Точность управления хирургическим инструментом – ранее недоступная, вплоть до размера клеток; • Использование микроинструментов; • Удобный доступ к операционному полю
Для клиники	• Сокращение послеоперационных осложнений; • Сокращение срока пребывания пациента в клинике, повышение оборачиваемости койко-места; • Внедрение цифровых технологий, повышение престижа и привлекательности клиники, увеличение притока пациентов
Для государства	• Развитие новых цифровых технологий в здравоохранении, в том числе искусственного интеллекта; • Значительная экономия и оптимизация использования коечного фонда; • Внедрение самых передовых и эффективных технологий лечения пациентов

Рынок роботохирургии: участники, показатели, тенденции и перспективы развития

Общие показатели развития роботохирургии

Развитие роботохирургии на сегодня подтверждается следующими фактами и цифрами:

- Рынок роботохирургии характеризуется как длительно динамично развивающийся, последние 8–10 лет он растет в среднем на 15–18 % в год;
- В 2017 г. мировой рынок составлял ~ 6 млрд \$;
- Объем операций, выполняемых с использованием хирургического робота, увеличивается в год ~ на 18–21 %. В 2019 г. было выполнено около 1,2 млн роботохирургических операций во всем мире;
- Самым большим рынком роботохирургических услуг являются США;
- На российском рынке внедрено менее 50 роботов для различных областей хирургии;
- Объем операций за всю историю роботохирургии (с 2007 г.) в России составил ~ 17 000;

- По мнению экспертов, в ближайшее 3–5 лет роботохирургию ожидает стремительный рост;
- К 2021 г. роботохирургия станет стандартом медицинской помощи.

Фактическим монополистом на рынке роботохирургии является компания Intuitive, США. Официальные источники компании (www.intuitive.com) позволяют получить следующую статистическую информацию (рис. 2–6):

В 2019 г. были достигнуты следующие показатели:

- 1 200 000 операций выполнено с использованием хирургического робота;
- 1100 роботов da Vinci продано.

За весь период внедрения роботохирургии показатели составили:

- 7 200 000 операций выполнено с использованием хирургического робота;
- 5500 роботов da Vinci продано.

На рис. 5 показано соотношение внедрения роботов da Vinci по континентам.

Рисунок 2. Доход компании Intuitive за последние годы (млн \$).
Figure 2. Revenue of Intuitive over the past years (\$ million).

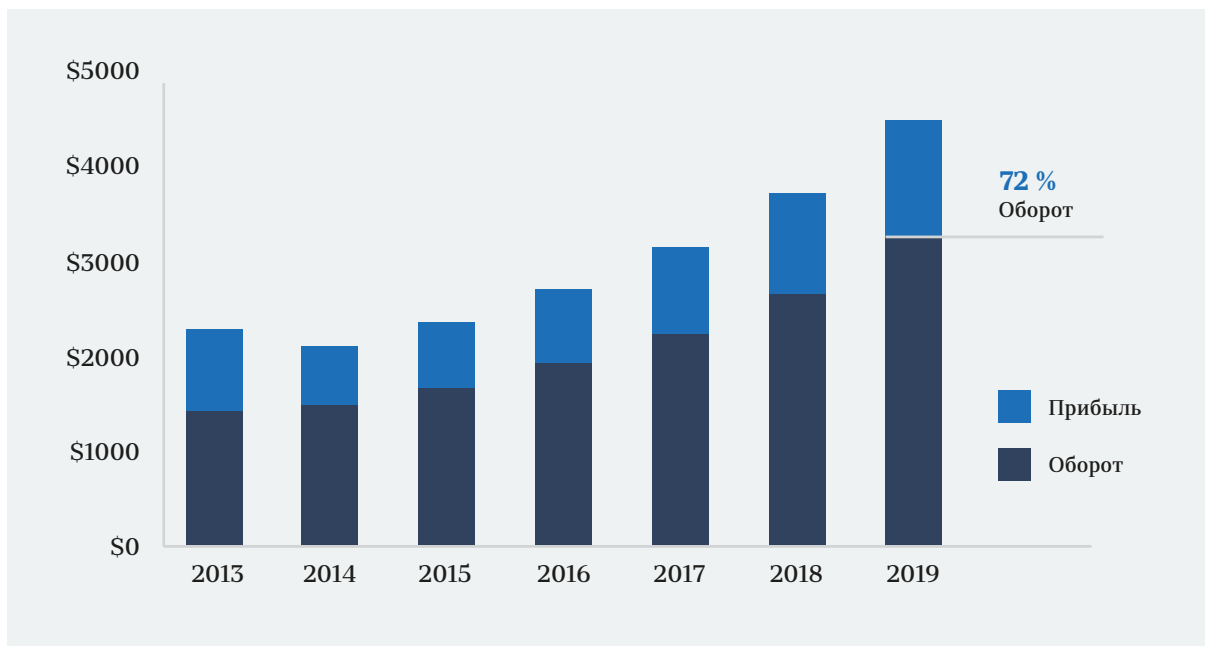


Рисунок 3. Рынок продукции фирмы Intuitive в Японии.
Figure 3. Market of Intuitive in Japan.

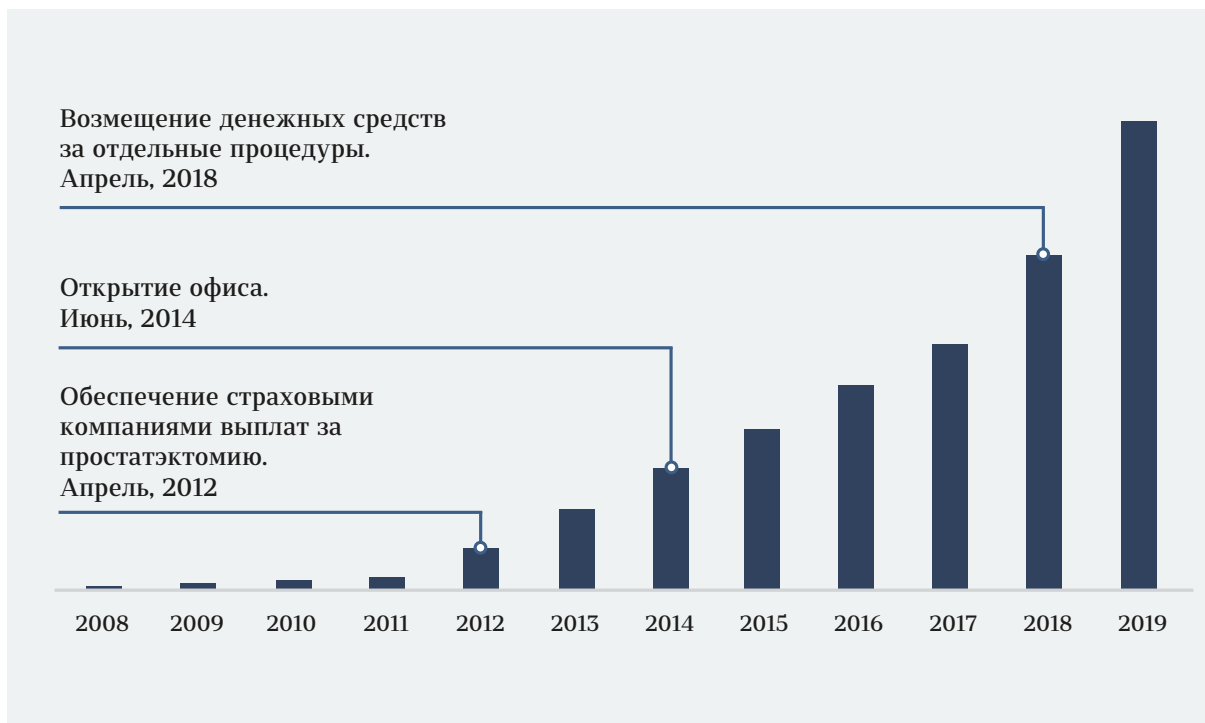


Рисунок 4. Рынок продукции фирмы Intuitive в Германии.
Figure 4. Market of Intuitive in Germany.

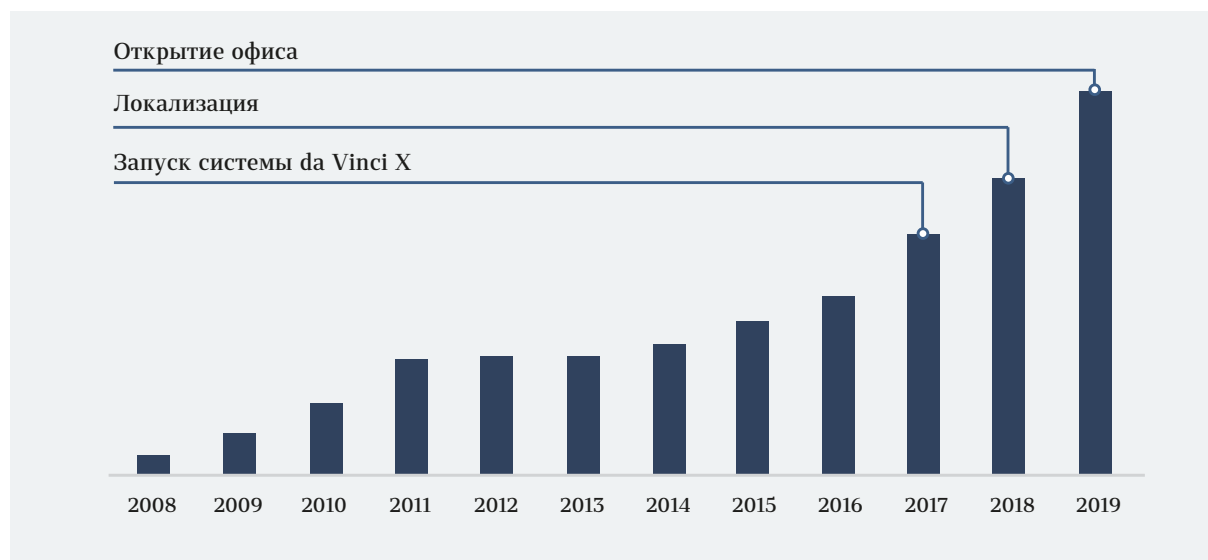
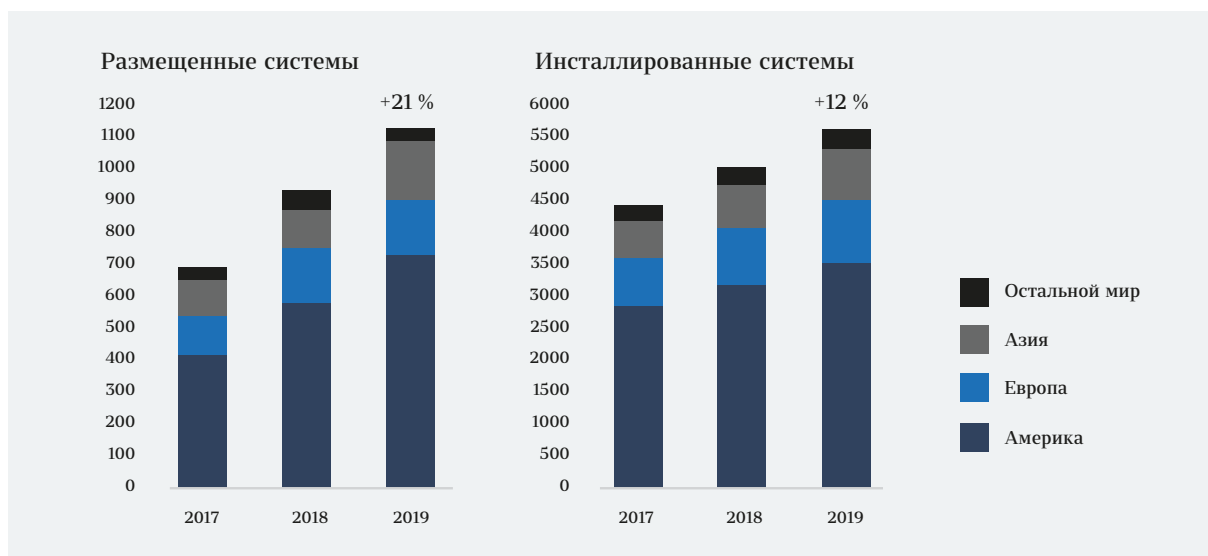


Рисунок 5. Показатели внедрения роботов da Vinci по континентам и годам.
Figure 5. Implementation of da Vinci surgical system by continent and year.



Тенденции в развитии рынка обучения и симуляторов хирургических роботов [9]

Основные результаты программы обучения работе на роботе da Vinci:

- 3400 симуляторов используется для обучения;
- 17 000 часов обучения для хирургов в 2019 г.;
- 200 000 упражнений при обучении выполнено в 2019 г.;
- 32 800 врачей всего обучено на территории США;
- 19 800 врачей всего обучено вне территории США.

Расходы на ключевые элементы робота и сервисное обслуживание

По данным фирмы Intuitive, в 2019 г. были следующие цены на ключевые элементы робота da Vinci (рис. 6).

Основные характеристики российского рынка роботехирургии

- Выполнено ~16 500 операций за весь период внедрения роботехирургии (с 2007 г.);
- В 2019 г. выполнено 3769 роботехирургических операций;
- На 2020 г. в клиниках установлено 33 хирургических робота da Vinci;
- Операции выполняют 85 оперирующих хирургов.

Мнение пациентов

По проводимым международным исследованиям, имея выбор, предпочтение роботехирургии отдают 85 % пациентов. Российские ученые-медики подтверждают данные предпочтения и для российских пациентов.

Прогнозы развития роботехирургии

Прогнозы развития роботехирургии представлены на рис. 7.

Прогнозируются следующие ожидания:

- Глобальная база установленных хирургических роботов в 2030 г. увеличится более чем в 4,5 раза по сравнению с 2017 г.;
- Рост объема операций будет зависеть как от увеличения установленной базы, так и от увеличения использования – с 200 операций в год на 1 робота до 309 операций в 2030 г.;
- Ожидается, что региональная структура резко изменится, поскольку США потеряют свою долю рынка в общей установленной базе с 65 % в 2017 г. до 43 % в 2030 г.;
- Азиатский рынок займет 2-е место по установленной базе (28 %), поддерживаемый растущим объемом операций и появлением недорогих моделей хирургических роботов.

Перспективы развития роботехирургии в мире

Во всех экономически развитых странах проявляется заинтересованность и рост внедрения роботехирургических технологий. Более 80 фирм в мире работают в области роботехирургии. Хирургические роботы разрабатываются для операций на абдоминальной зоне (в том числе урология, гинекология), суставах и костях скелета, легких, зрительном аппарате, сердце и сосудах, головном мозге и нервных пучках [11, 12].

Соотношение между различными видами операций, выполняемых с использованием робота, приведено на рис. 8.

Рисунок 6. Основные статьи и величина расходов при использовании роботов da Vinci.

Figure 6. Main items and amount of expenses for da Vinci surgical system.

Модель оборотных средств		2019 г. 72 % оборотных средств, включая лизинг (\$107 млн)	
	da Vinci Surgical system \$0,5–2,5 млн 2019 г. (в среднем): \$1,346 млн		Инструменты и расходные материалы \$700–3500 за процедуру 2019 г. (в среднем): \$2,408 млн
			Сервис \$80–190 тыс./год 2019 г. (в среднем): \$724 млн

По направлению «роботохирургия» получено более 10 тыс. патентов.

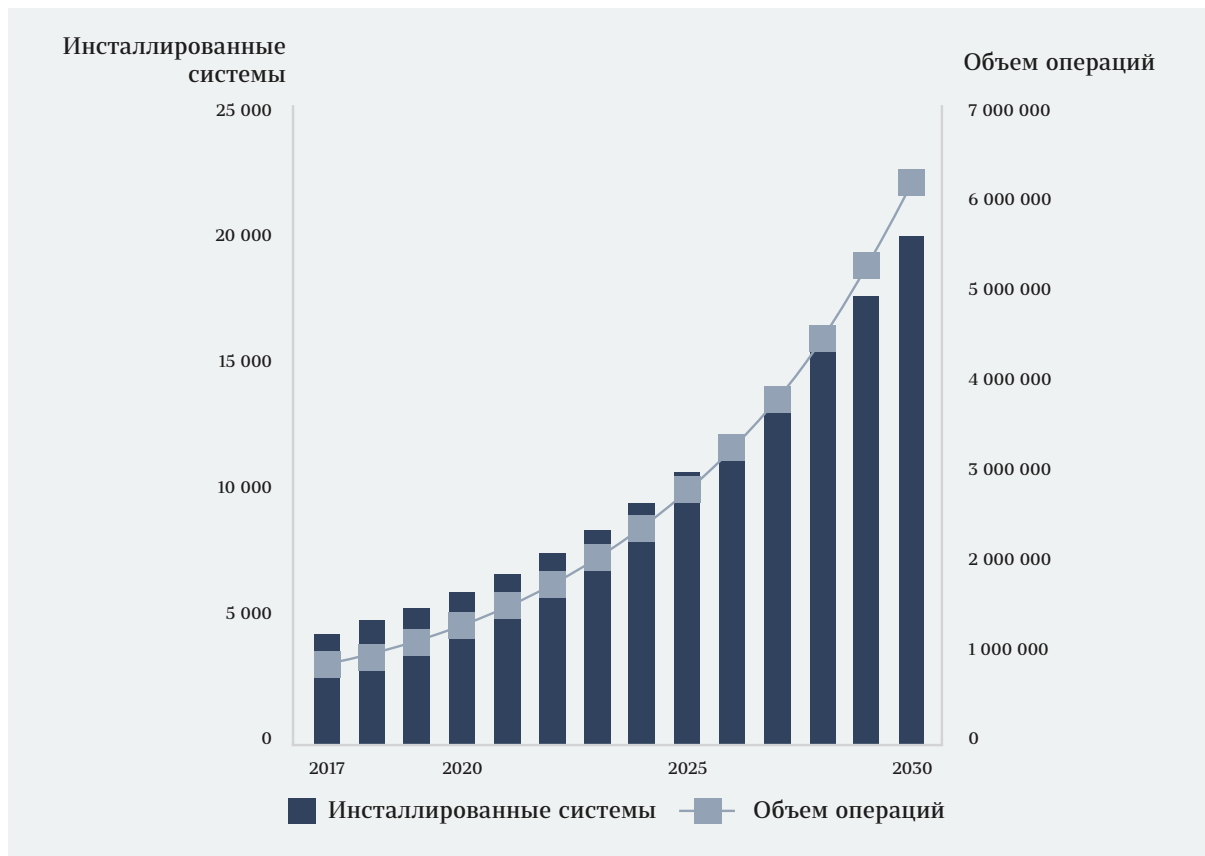
Только в 2019 г. было опубликовано 2400 рецензируемых статей. За весь период внедрения роботохирургии опубликовано свыше 21 000 рецензируемых статей.

Компании затрачивают на разработку новых хирургических роботов сотни тысяч долларов.

Российская Федерация не имеет программы развития роботохирургии и на государственном уровне не поддерживает разработку новых хирургических роботов.

Рисунок 7. Ожидания развития рынка [10].

Figure 7. Expectations of market growth [10].



Анализ состояния и перспектив развития роботохирургии

При внешнем положительном впечатлении от развития роботохирургии в мире, детальный анализ¹ позволит выявить и обратить внимание на следующие факты и обстоятельства.

Анализ данных по странам

- Европа, США и Япония имеют 93 % установленных роботических систем;

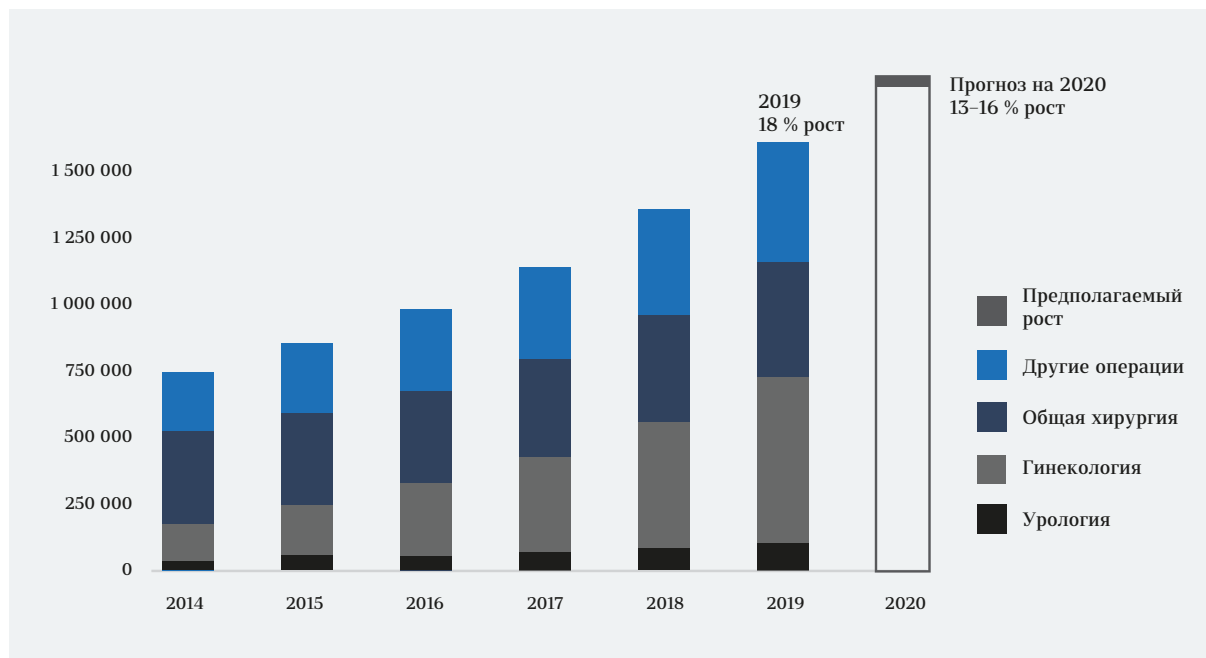
- На остальное мировое население в размере 6 млрд человек остается всего 7 % ~ 400 установленных роботических систем;
- Индия и Китай с населением в 2,7 млрд человек – всего 3 % ~ 170 установленных роботических систем.

Анализ данных по миру

296 млн операций проведено в мире в 2018 г., ежегодный прирост составил 5 %;

22–35 % из всего объема операций [13] могут быть выполнены малоинвазивной техникой, предпочтительно с использованием хирургического робота – итого минимум 65 млн операций потен-

¹ Анализ выполнен компанией AST «Ассистирующие хирургические технологии».

Рисунок 8. Соотношение различных видов роботехирургических операций.**Figure 8.** The ratio of different types of robot-assisted surgery.

циально могут быть выполнены с использованием хирургического робота;

982 000 роботических операций проведено в мире в 2018 г., что составляет 1,5 % от потенциально возможного количества роботехирургических операций (65 млн);

- ~ 4400 хирургических роботов в год в 2018 г. выполнили 982 000 операций, что позволяет определить, что робот, в среднем, в день выполняет 0,8 операций;
- В 2019 г. было выполнено ~ 1 200 000 операций при количестве подготовленных врачей ~ 52 600, эта статистика позволяет заключить, что один доктор в год делает ~ 23 операции, или 0,1 операцию в день.

Анализ данных по России

- 15 миллионов всех видов операций проведено в России в 2018 г., ежегодный прирост составил 3 %;
- 22-35 % из всего объема операций могут быть выполнены малоинвазивной техникой, предпочтительно с использованием хирургического робота – итого минимум 3,5 млн операций потенциально могут быть выполнены с использованием хирургического робота;

- 3769 роботических операций проведено в России в 2019 г., что составляет 0,1 % от потенциально возможного количества (3,5 млн);
- 33 хирургических робота в 2019 г. выполнили 3769 операций, что позволяет определить, что робот в среднем в день выполняет 0,45 операции;
- В 2019 г. было выполнено 3769 операций при количестве подготовленных врачей 85, эта статистика позволяет заключить, что один доктор в год делает ~ 44 операции, или 0,2 операции в день;
- Среднее количество (экспертно) операций, которые необходимо выполнить для получения квалифицированного опыта и сноровки при работе на хирургическом роботе, ~ 200 операций. При нерегулярных и от случая к случаю выполняемых операциях таких операций должно быть еще больше. При существующей статистике российский хирург только через 5 лет может «набить руку» и иметь должную квалификацию, при которой сокращается до допустимого риск травм для пациентов, время продолжительности операции; появляются навыки и моральный ценз для обучения молодых хирургов.

Анализ данных по США

- 35 млн всех видов операций проведено в США в 2018 г., ежегодный прирост составил 3–5 %;
- 22–35 % из всего объема операций могут быть выполнены малоинвазивной техникой, предпочтительно с использованием хирургического робота – минимум 7,7 млн операций потенциально могут быть выполнены с использованием хирургического робота;
- ~ 0,9 млн роботических операций проведено в США в 2019 г., что составляет 12 % от потенциально возможного количества (7,7 млн);
- 3581 хирургический робот в 2019 г. выполнил ~ 0,9 млн операций, что позволяет определить, что робот в среднем в день выполняет 1 операцию.

Анализ данных по миру в прогнозе развития

- По прогнозам ожидается в 2030 г. 5 млн операций на 20 000 установленных роботах, что будет соответствовать нагрузке ~ 1 операция в день на одном роботе;
- При темпе роста +5 % в год количество операций в мире в 2030 г. составит ~ 530 млн, из которых по лапароскопическому типу может быть выполнено минимум 120 млн. При этом 5,5 млн прогнозируемых операций составят ~5 % от возможного количества операций;
- При минимальном темпе роста + 3 % в год количество операций в США в 2030 г. составит ~ 48 млн, из которых по лапароскопическому типу может быть выполнено минимум 10 млн. При этом в прогнозируемых 5,5 млн операций в мире на долю США приходится ~50 % от возможного количества операций. Освоение роботохирургией рынка США составит в 2030 г. 26 %.

Выводы по результатам анализа

По данным 10th annual meeting Society of Robotic Surgery June 20–23, 2019 [13]

- Глобальное видение: болезнь не различает страну проживания, расу, возраст и состоятельность пациента. Если инновации и технологии не имеют доступного ценообразования, они не смогут помочь большинству пациентов. Современные технологии и техники должны быть доступны по всему миру, а не только в богатых странах;
- Необходимо создать новую, технологически совершенную систему, которая позволит совершить прорыв на фоне существующих роботических хирургических систем, оставаясь при этом недорогой, чтобы решить задачи

гораздо большего числа пациентов по всему миру;

- Роботохирургия сегодня, с одной стороны, является более совершенным инструментом медицинской помощи населению, но, с другой стороны, в бизнес-аспекте и в аспекте ее внедрения в клиники – остается проблемной, плохо интегрируемой в системы здравоохранения многих стран технологий.

Выводы на основании анализа рынка

- Ключевой проблемой сегодня и в прогнозируемом экспертами будущем является различие между количеством операций, возможных к выполнению в роботохирургической технологии, и фактическим количеством выполняемых роботохирургических операций;
- Низкая загрузка хирургических роботов и низкая загрузка хирургов;
- Развитие роботохирургических технологий только в отдельных странах;
- Монополия на мировом рынке.

Выводы для развития российской Программы «Роботохирургия»

- Роботохирургия как новая технология активно внедряется в мире, эффективна и развивает хирургию, одобрена и принята хирургами, оценена и ожидаема пациентами;
- Роботохирургия реализует новые, ранее недоступные врачам хирургические приемы и техники, значительно обогащая хирургию, делая ее более комфортной, безопасной и эффективной для пациентов;
- Рынок мира и России для внедрения роботохирургических технологий практически не занят – свободен в объеме более 90 %;
- Прогнозы развития рынка на ближайшие 10 лет показывают, что на этом горизонте рынок практически остается вакантным;
- Существующие тренды и подходы к формированию и охвату мирового рынка недостаточно эффективны;
- Развитие программ внедрения роботохирургии на основе использования существующего оборудования (хирургических комплексов) и подходов, используемых современными участниками рынка и прежде всего монополиста – Intuitive, в нынешней их реализации – нецелесообразно.

Проблемы развития роботохирургии

Сложившаяся в роботохирургии во многом парадоксальная ситуация связана со многими проблемами, наиболее значимыми из которых являются [13]:

- Высокая стоимость операции;
- Ограниченный функционал хирургического робота;
- Нехватка квалифицированных (роботохирургическая компетенция) врачей, проблемы обучения [14];
- Клиникам не выгодно внедрять роботохирургию.

Исследования существующих на рынке и разрабатываемых хирургических роботов и анализ прогнозов развития роботохирургии до 2030 г., с фокусом на абдоминальную область, позволяют заключить, что проблемы не будут решены.

Заключения и результаты

Проведенный анализ позволяет отметить и заключить:

- Роботохирургия – революционная технология в медицине, способная обеспечить значительный рост качества медицинской помощи, внедрение которой позволит исполнить распоряжения Президента РФ и эффективно выполнить государственные программы «Здравоохранение», «Борьба с онкологическими заболеваниями», «Цифровая экономика» и др.;
- Необходима государственная Программа «Роботохирургия» для ликвидации отставания от развития мировой системы здравоохранения и стимулирующая внедрение роботохирургии в клиники России;
- Для реализации программы необходимы хирургические роботы, способные соответствовать российской системе здравоохранения, и прежде всего – по стоимости операций;
- Российские разработчики достигли успехов в комплексном решении проблем роботохирургии и имеют международные приоритеты. Москва может стать инициатором развития роботохирургии в городе, стране, а в последующем и в мире. Высокая готовность российской разработки позволяет сделать это уже сегодня.

Список литературы

1. Пушкарь Д. Ю., Говоров А. В., Колонтарев К. Б. Робот-ассистированная хирургия // Вестник Российской академии наук. 2019;89(5):466-69. [Pushkar D.Yu., Govorov A.V., Kolontarev K.B. Robot-assisted surgery. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019; 89 (5): 466-69. (In Russ.)]
2. Васильев А. О., Говоров А. В., Колонтарев К. Б., Сухих С. О., Окишев А. В., Ким Ю. А., Ширяев А. А., Вишневская Ю. Г., Пушкарь Д. Ю. Современные роботические технологии в лечении урологических заболеваний // Медицинский алфавит. 2017;33 (330):25-8. [Vasiliev A.O., Govorov A.V., Kolontarev K.B., Sukhikh S.O., Okishev A.V., Kim Yu.A., Shiryayev A.A., Vishnevskaya Yu.G., Pushkar D.Yu. Modern robotic technologies in the treatment of urological diseases // Medical alphabet. 2017; 33 (330): 25-8. (In Russ.)]
3. Глазунов В. А., Духов А. В., Шептунов С. А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине / Глазунов В. А., Духов А. В., Шептунов С. А., Скворцов С. А., Алешин А. К., Рашоян Г. В., Шалюхин К. А., Левин С. В. // Качество. Инновации. Образование. 2016;2:84-8. [Glazunov V.A., Dukhov A.V., Sheptunov S.A. and others. Manipulation mechanisms of parallel structure and some of their applications in medicine./ Glazunov V.A., Dukhov A.V., Sheptunov S.A., Skvortsov S.A., Aleshin A.K., Rashoyan G.V., Shalyukhin K.A., Levin S.V. // Quality. Innovation. Education. 2016; 2: 84-8. (In Russ.)]
4. Яхутлов У. М., Шептунов С. А. Система автоматического формирования управляющих сигналов для робот-ассистированного хирургического комплекса // Качество. Инновации. Образование. 2018;7:126-30. [Yakhutlov U.M., Sheptunov S.A. System for automatic generation of control signals for a robotic-assisted surgical complex // Quality. Innovation. Education. 2018; 7: 126-30. (In Russ.)]
5. Нахушев Р. С., Нахушева А. С., Атабаева Д. М. Разработка механизма линейного перемещения для задач робототехнической хирургии // Качество. Инновации. Образование. 2018;7:131-37. [Nakhushev R.S., Nakhusheva A.S., Atabaeva D.M. Development of a linear movement mechanism for the tasks of robotic surgery // Quality. Innovation. Education. 2018; 7: 131-37. (In Russ.)]
6. Борисовский С. А., Томакова Р. А. Системный анализ и управление в био-медицинских системах. 2010;9(1):72-7. [Borisovskiy S.A., Tomakova R.A. System analysis and management in biomedical systems. 2010; 9 (1): 72-7. (In Russ.)]
7. Савальджи Р, Эллис Г. Клиническая анатомия для хирургов, выполняющих лапароскопические и торакоскопические операции. Москва: Медицина; 2016. [Savalgi R, Ellis G. Clinical anatomy for surgeons performing laparoscopic and thoracoscopic operations // Moscow: Medicine; 2016. (In Russ.)]
8. 11th annual meeting Society of Robotic Surgery. Available from: <https://www.intuitive.com/en-us> [Accessed 23th August 2020].

9. Колонтарев К. Б., Шептунов С. А., Прилепская Е. А., Мальцев Е. Г., Пушкарь Д. Ю. Симуляторы в обучении робот-ассистированной хирургии (обзор литературы) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2016;2(38):116-31. [Kolontarev K. B., Sheptunov S. A., Prilepskaya E. A., Maltsev E. G., Pushkar D. Yu. Simulators in teaching robot-assisted surgery (literature review) // Proceedings of higher educational institutions. Volga region. Medical sciences. 2016; 2 (38): 116-31. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21685/2072-3032-2016-2-12>
10. Frost & Sullivan Available from: <https://ww2.frost.com> [Accessed 23th August 2020].
11. Sheptunov, S. A., Nakhushhev, R. S., Yakhutlov, U. M., Glashev R. M., Pushkar, D. Y. Evaluation of the state and prospects of the development of next generation robotic surgery complexes. 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS. 2017; 395-98. <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2017.8085842>
12. Sheptunov S.A., Nakhuchev R.S., Pushkar D.Y., Kolontarev K.B. Import outstripping of surgical technologies based on assisted mechatronic. 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS 2016. 2016; 198-206. <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2016.7751957>
13. 10th annual meeting Society of Robotic Surgery. Available from: <https://www.srobotics.org/2019-annual-meeting/> [Accessed 23th August 2020].
14. Пушкарь Д. Ю., Говоров А. В., Раснер П. И., Колонтарев К. Б. Роль симуляторов в обучении робот-ассистированной хирургии // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. 2018;3:82-8. [Pushkar D. Yu., Govorov A. V., Rasner P. I., Kolontarev K. B. The role of simulators in teaching for robot-assisted surgery. Surgery. Journal them. N.I. Pirogov. 2018; 3: 82-8. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018382-88>

Информация об авторах

Шептунов Сергей Александрович, директор Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, доктор технических наук, <https://orcid.org/0000-0001-7947-9525>

Васильев Александр Олегович, ассистент кафедры урологии Московского государственного медико-стоматологического университета имени А. И. Евдокимова Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат медицинских наук, <https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>

Колонтарев Константин Борисович, профессор кафедры урологии Московского государственного

медико-стоматологического университета имени А. И. Евдокимова Министерства здравоохранения Российской Федерации, доктор медицинских наук, <https://orcid.org/0000-0003-4511-5998>

Нахушев Рахим Суфьянович, научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, <https://orcid.org/0000-0002-9456-1305>

Пушкарь Дмитрий Юрьевич, заведующий кафедрой урологии Московского государственного медико-стоматологического университета имени А. И. Евдокимова Министерства здравоохранения Российской Федерации, академик РАН, профессор, доктор медицинских наук, <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>

Information about authors

Sergey A. Sheptunov, Doctor of technical science, Director of the Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, <https://orcid.org/0000-0001-7947-9525>

Alexander O. Vasiliev, PhD, Assistant at the Department of Urology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimova of the Ministry of Health of the Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>

Konstantin B. Kolontarev, MD, Professor of the Department of Urology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimova of the Ministry of Health of the Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4511-5998>

Rahim S. Nakhushhev, Researcher at the Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-9456-1305>

Dmirty Yu. Pushkar, MD, Head of the Department of Urology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimova of the Ministry of Health of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>

Для корреспонденции:

Шептунов Сергей Александрович
тел. 8 (903) 726-84-72
e-mail: ship@ikti.ru

Correspondence to:

Sergey A. Sheptunov
tel.: 8 (903) 726-84-72
e-mail: ship@ikti.ru