

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent634166>

Социально-экономическая оценка инвестиций в использование антропоморфного стоматологического робота-пациента для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов

О.А. Царевский¹, Д.И. Грачев², А.А. Южаков³, Н.Б. Асташина⁴, К.Г. Ахмедов², С.А. Арутюнов²¹ Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия;² Российский университет медицины, Москва, Россия;³ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия;⁴ Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время стремительно развивается робототехника, особенно в области медицинского образования, где внедрение роботов способствует улучшению результатов учебных процессов и повышению уровня подготовки специалистов. Антропоморфные стоматологические роботы (АСР) представляют собой эффективные инструменты, которые помогают студентам-стоматологам приобретать практические навыки, углублять теоретические знания и развивать невербальные коммуникативные навыки. В условиях существующих проблем практико-ориентированной подготовки использование таких роботов становится актуальной задачей. Однако высокие затраты на производство и внедрение подобных устройств требуют тщательной экономической оценки целесообразности их использования.

Цель исследования — экономическая оценка инвестиций в использование АСР для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов.

Материалы и методы. Проведена экономическая оценка использования АСР для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов на базе медицинского вуза. Основное внимание уделялось анализу затрат и выгод от внедрения АСР в образовательный процесс. Для оценки экономической эффективности использовали показатели чистой приведённой стоимости (net present value, NPV), индекса рентабельности (profitability index, PI), внутренней нормы доходности (internal rate of return, IRR) и сроков окупаемости. Данные были собраны из программы обучения «Стоматология» в Российском университете медицины и включали стоимость обучения, затраты на робота и его обслуживание, а также организацию учебного процесса.

Результаты. Использование одного робота на 10 студентов обеспечивает положительную NPV в размере 54 279 963 руб., PI при этом равен 5,52, IRR составляет 70,79%, а сроки окупаемости — около одного года и двух лет соответственно. Эти показатели подтверждают экономическую рентабельность проекта. Для сценария с одним студентом на робота показатели отрицательные, что указывает на экономическую нецелесообразность такого подхода.

Заключение. Проведённое исследование показало, что использование АСР для подготовки студентов-стоматологов обеспечивает хорошую экономическую эффективность. Высокие значения NPV, PI и IRR подтверждают рентабельность проекта. Кроме того, робот способствует улучшению практических навыков студентов, включая повышение точности и скорости выполнения стоматологических манипуляций.

Ключевые слова: антропоморфный стоматологический робот; образовательные технологии; практико-ориентированная подготовка; робототехника в медицине; стоматологическое образование; экономическая рентабельность.

Как цитировать:

Царевский О.А., Грачев Д.И., Южаков А.А., Асташина Н.Б., Ахмедов К.Г., Арутюнов С.А. Социально-экономическая оценка инвестиций в использование антропоморфного стоматологического робота-пациента для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов // Российский стоматологический журнал. 2024. Т. 28, № 6. С. 634–641. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent634166>

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent634166>

Socioeconomic assessment of investments in dental anthropomorphic robots for practical training of dentistry students

Oleg A. Tsarevskiy¹, Dmitriy I. Grachev², Alexander A. Uzhakov³, Nataliya B. Astashina⁴, Kamalutdin G. Akhmedov², Sergey A. Arutyunov²

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

² Russian University of Medicine, Moscow, Russia;

³ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia;

⁴ Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University, Perm, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Robotics is a rapidly evolving area, especially in medical education, where robots improve the results of training and professional qualification of physicians. Dental anthropomorphic robot (DARs) are valuable tools that assist dentistry students in acquiring practical skills, expanding theoretical knowledge, and improving nonverbal communication skills. Given the current practical training issues, the use of such robots becomes increasingly relevant. However, high production and implementation costs require a detailed economic evaluation to assess the practicality of such devices.

AIM: To perform a socioeconomic assessment of investments in DARs for practical training of dentistry students.

MATERIALS AND METHODS: A socioeconomic assessment of the use of DARs for practical training of dentistry students at a medical college was performed. The assessment focused on the cost-benefit analysis of implementing DARs for practical training. Cost-effectiveness was assessed using the net present value (NPV), profitability index (PI), internal rate of return (IRR), and payoff period. The data were acquired from the Dentistry training program of the Russian University of Medicine. The data included training costs, robot purchase and maintenance costs, and organization of studies.

RESULTS: The use of one robot per 10 students results in a positive NPV of 54,279,963 rubles, with a PI of 5.52, an IRR of 70.79%, and a payoff period of approximately one and two years, respectively. These findings confirm the economic efficiency of the project. When using one robot per one student, the values are negative, indicating the economic inefficiency of this scenario.

CONCLUSION: The study showed that the use of DARs for practical training of dentistry students results in a high economic efficiency. High NPV, PI, and IRR values confirm the profitability of the project. Moreover, the robot improves practical skills by increasing the accuracy and speed of dental procedures.

Keywords: dental anthropomorphic robot; educational technology; practical training; robotics in medicine; dentistry education; economic efficiency.

To cite this article:

Tsarevskiy OA, Grachev DI, Uzhakov AA, Astashina NB, Akhmedov KG, Arutyunov SA. Socioeconomic assessment of investments in dental anthropomorphic robots for practical training of dentistry students. *Russian Journal of Dentistry*. 2024;28(6):634–641. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent634166>

Received: 09.07.2024

Accepted: 23.10.2024

Published online: 28.11.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Индустрия робототехники в последние годы переживает стремительный рост, в том числе в образовательном сегменте медицины, что обусловлено стремлением оптимизировать учебные процессы и обеспечить более высокий уровень подготовки специалистов [1]. Современные технологии, включая искусственный интеллект и высокоточные механизмы, способствуют активному внедрению роботов в обучение будущих профессионалов в области медицины [2]. В частности, в стоматологическом образовании роботы проявляют себя как эффективные инструменты, которые не только помогают студентам отрабатывать практические навыки в различных клинических ситуациях, но и углубляют их теоретические знания, а также способствуют развитию невербальных коммуникативных навыков, важных для успешной врачебной практики [3, 4].

С помощью современных технологических решений создаются обучающие системы, обеспечивающие всестороннее развитие навыков и умений студентов, что имеет особую значимость в свете существующих проблем практико-ориентированной подготовки в высших и средних медицинских учебных заведениях [5]. Работа с обычными стоматологическими фантомами, которые являются лишь статичными манекенами, не позволяет создать атмосферу реальной клинической среды и не способствует полноценному погружению студентов в условия приёма пациентов [6, 7], следствием чего является увеличение разрыва между теоретическими знаниями и практическими навыками. Таким образом, внедрение образовательных роботов, способных не только имитировать поведение пациентов, но и обеспечивать интерактивное взаимодействие, способствует более глубокому усвоению учебного материала [8, 9] (рис. 1).



Рис. 1. Антропоморфный стоматологический робот-пациент.
Fig. 1. Anthropomorphic dental robot patient.

С учётом высоких затрат на производство и внедрение подобных высокотехнологичных устройств представляется интересной их оценка с экономической точки зрения, что позволит определить целесообразность их использования и потенциальные выгоды для образовательных учреждений, а также возможное влияние на качество подготовки специалистов. Представленная статья направлена на изучение реализации практико-ориентированного обучения, основанного на концепции применения высокотехнологичных образовательных роботов, на примере частного случая интеграции отечественных полнофункциональных антропоморфных стоматологических роботов (АСР) [10–14].

Цель исследования — экономическая оценка инвестиций в использование АСР для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Модель частного образовательного случая

В данном исследовании оценивается экономическая целесообразность использования АСР для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов на базе медицинского вуза. Основное внимание уделяется анализу затрат и выгод от внедрения АСР в образовательный процесс с целью улучшения мотивации студентов, качества обучения и уровня стоматологической помощи.

Параметры учебного процесса и расходы

Для оценки экономической целесообразности использования АСР нами был выбран параметр стоимости обучения, который необходим для определения экономической эффективности внедрения робота. Значения были определены исходя из данных программы обучения по направлению «Стоматология» в Российском университете медицины, включающей пятилетний курс, по которому стоимость обучения составляет 500 000 руб. в год, что обеспечивает возможность расчёта затрат на образование. Исходя из объёма образовательной программы (1100 часов в год) также определено, что стоимость очного обучения эквивалентна 455 руб. за час.

Для анализа затрат на внедрение робота нами был выбран параметр стоимости самого робота и расходов на его обслуживание. Стоимость робота, предназначенного для значительного улучшения практических навыков студентов, — 12 000 000 руб. Затраты на техническое обслуживание были приняты как 10% от стоимости робота в год (1 200 000 руб.), исходя из данных о расходах на техническое обслуживание высокотехнологичного оборудования [15].

Для долгосрочного анализа, оценки затрат и выгод применения АСР необходимо было установить средний срок эксплуатации, для которого нами было принято значение 12 лет.

Организация учебного процесса

При проведении экономической оценки мы исходили из того, что студенты будут проводить занятия с роботом с понедельника по пятницу с 9:00 до 21:00, что составляет 12 ч в день или 2880 ч в год, а также учитывали два варианта организации образовательного процесса: 1) занятия с роботом проводятся группой из 10 человек под руководством преподавателя; 2) занятие проводится для одного студента (рис. 2).

Экономические показатели

Для оценки экономической эффективности использования робота применяли следующие показатели.

Показатель NPV (чистая приведённая стоимость, net present value) показывает разницу между приведённой стоимостью денежных потоков, которые инвестиционный проект приносит в будущем, и затратами на его реализацию. Если NPV положительная, то проект считается выгодным, так как он приносит больше денег, чем стоит. Если NPV отрицательная, то проект считается убыточным. Показатель NPV рассчитывали по следующей формуле:

$$NPV = \sum_1^n \frac{P}{(1+R)^n} - I - \sum_1^n \frac{C}{(1+R)^n},$$

где P — денежный поток, R — ставка дисконтирования, n — временной отрезок, I — инвестиции, C — расходы на обслуживание.

Индекс рентабельности (profitability index, PI), также называемый индексом доходности, используется как индикатор метода NPV. Этот индекс помогает оценить прибыльность инвестиционного проекта и его результативность. PI представлен в виде коэффициента и позволяет

предсказать приведённую стоимость, которая будет получена на каждую единицу первоначальных вложений.

В зависимости от значения PI можно сделать следующие выводы о целесообразности проекта:

- если PI больше 1, проект считается прибыльным и может быть рассмотрен для дальнейшей реализации;
- если PI равен 1, проект требует дальнейшего анализа по другим критериям эффективности для принятия решения о его принятии или отклонении;
- если PI меньше 1, проект убыточен и не подлежит дальнейшему рассмотрению.

Для определения PI использовали следующую формулу:

$$PI = 1 + \frac{NPV}{IC},$$

где NPV — это чистая приведённая стоимость денежных потоков, а IC — исходные инвестиции.

Ставке дисконтирования (R) соответствовала безрисковая ставка на государственные облигации, в России на 2023 год она составляла 15,09%.

Величина внутренней нормы доходности (internal rate of return, IRR) определена как ставка, при которой NPV всех денежных поступлений становится равной затратам, таким образом достигается баланс без остаточной стоимости.

Для подсчёта IRR применяли следующую формулу:

$$\sum_1^n \frac{P}{(1+IRR)^n} - I = 0, \text{ или } \sum_1^n \frac{P}{(1+IRR)^n} = I,$$

где P — денежный поток, n — временной отрезок, I — инвестиции.



Рис. 2. Процесс использования антропоморфного стоматологического робота-пациента.
Fig. 2. The process of using an anthropomorphic dental patient robot.

Срок окупаемости инвестиции (payback period, PP) рассчитывали по следующей формуле:

$$PP = \frac{IC}{P},$$

где: IC — первоначальные инвестиции, P — денежный поток за рассматриваемый промежуток времени.

Дисконтированный срок окупаемости (discounted payback period, DPP) рассчитывали по следующей формуле:

$$DPP = \min(n), \text{ при котором } \sum_{t=1}^n \frac{P}{(1+R)^t} \geq I,$$

где P — денежный поток, R — ставка дисконтирования, I — инвестиции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты экономической оценки инвестиций в использование АСР для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов представлены в табл. 1.

На основе предоставленных экономических показателей можно сделать следующий анализ экономической рентабельности инвестиций в использование АСР-пациента для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов:

- 1) NPV составляет 54 279 963 руб.;
- 2) PI равен 5,52;
- 3) IRR составляет 70,79%;
- 4) PP составляет один год, а DPP равен двум годам.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами результаты показывают, что инвестиции в использование АСР-пациента для практико-ориентированной подготовки студентов-стоматологов являются высокорентабельными. Проект приносит значительный чистый дисконтированный доход, обеспечивает

Таблица 1. Результаты экономической оценки инвестиций в антропоморфного стоматологического робота

Table 1. The results of the economic investments assessment in anthropomorphic dental robot

Наименование показателя	1 робот на 10 студентов	1 робот на 1 студента
Чистый дисконтированный доход, руб.	54 279 963	59 403 855
Индекс рентабельности	5,52	0,22
Внутренняя норма доходности, %	70,79	-4,24
Срок окупаемости инвестиций, годы	1	9
Дисконтированный срок окупаемости инвестиций, годы	2	12

высокий индекс рентабельности, внутреннюю норму доходности, превышающую ожидания, и имеет короткий срок окупаемости. Эти показатели подтверждают экономическую целесообразность и привлекательность данного инвестиционного проекта.

Чистая приведённая стоимость для сценария с использованием одного робота на 10 студентов составила 54 279 963 руб. Положительное значение NPV демонстрирует, что проект приносит доход, превышающий первоначальные инвестиции и текущие расходы, и это подтверждает его высокую экономическую рентабельность. Такой результат объясняется эффективным использованием времени, поскольку робот оптимизирует процесс обучения студентов, обеспечивая непрерывное обучение и доступ к практическим навыкам.

Индекс рентабельности равен 5,52 — это означает, что на каждый вложенный рубль проект приносит 5,52 руб. дисконтированного дохода. Значение PI выше 1 подтверждает экономическую выгоду и целесообразность инвестиций, что обусловлено высокой доходностью инвестиций, привлекательностью для инвесторов, устойчивостью к экономическим рискам, а также эффективностью распределения ресурсов за счёт оптимизации распределения образовательных ресурсов.

Внутренняя норма доходности составила 70,79%, что значительно превышает типичные ставки дисконтирования. Высокая IRR также свидетельствует об устойчивости проекта к возможным рискам и изменениям экономической ситуации за счёт обеспечения стабильного денежного потока, быстрой окупаемости инвестиций (PP около одного года и DPP два года).

Хотя на данный момент отсутствуют конкретные данные о прямой экономической эффективности применения антропоморфных роботов в медицинском образовании, текущие тенденции развития роботизированной экономики, описанные в ряде исследований, указывают на значительный экономический потенциал автоматизации. В частности, M. Arduengo и соавт. отмечают [14], что внедрение роботизированных технологий способствует росту производительности и снижению затрат на выполнение рутинных задач, которые ранее осуществлялись человеком. Подобные изменения уже имеют место в различных секторах экономики, где автоматизация позволила значительно снизить трудовые издержки и перераспределить человеческие ресурсы на более квалифицированные виды деятельности.

Эти подходы могут быть экстраполированы на образовательные процессы, где использование антропоморфных роботов не только снижает нагрузку на преподавателей, но и способствует оптимизации учебного процесса, делая его более экономически эффективным.

Систематический обзор, проведённый G. Turchetti и соавт., демонстрирует, что применение роботизированных систем, таких как хирургическая система da Vinci, сопряжено с высокими затратами на приобретение

и обслуживание оборудования, и это делает роботизированные процедуры заметно дороже традиционных методов. Однако с накоплением опыта использования таких систем затраты на проведение операций могут снижаться за счёт сокращения времени их выполнения [15]. Таким образом, несмотря на значительные первоначальные инвестиции, долгосрочные выгоды от автоматизации, особенно в условиях, требующих высокой точности и воспроизводимости действий, могут компенсировать эти затраты, что актуально и для медицинского образования.

Q.S. Mahdi и соавт. обсуждают разнообразные аспекты применения роботов в образовании, акцентируя внимание как на преимуществах, так и на ограничениях данной технологии. Авторы отмечают, что, несмотря на потенциал роботизированных систем для оптимизации образовательного процесса, существуют определённые ограничения, связанные с недостаточной способностью роботов к социальной интеракции и адаптации к индивидуальным потребностям студентов. Это подчёркивает важность осторожного подхода к внедрению робототехники в образовательные процессы, особенно в тех областях, где требуется высокий уровень межличностного взаимодействия [16].

Таким образом, экономический потенциал использования роботов в образовательных процессах следует оценивать с учётом как их возможных преимуществ, так и существующих ограничений, особенно в контексте медицинского образования.

Ограничения исследования. Настоящая работа основана на данных, полученных из одного образовательного учреждения — Российского университета медицины, что может ограничивать обобщаемость результатов на другие медицинские вузы с различными условиями обучения и ресурсной базой. В будущем необходимо провести аналогичные исследования в других учебных заведениях для подтверждения наших выводов.

Значения параметров, таких как стоимость затрат на обслуживание АСР и эксплуатационный срок, были определены условно, что может влиять на экономическую целесообразность проекта в долгосрочной перспективе. Будущие исследования должны учитывать возможные колебания стоимости и разработать сценарии для различных экономических условий.

Несмотря на то, что использованные в исследовании стандартные экономические показатели (NPV, PI, IRR, PP и DPP) широко распространены и применимы для оценки инвестиционных проектов, они могут не учитывать все аспекты образовательного процесса и долгосрочные выгоды от использования робота, такие как повышение качества образования и улучшение профессиональных навыков студентов.

В рамках данного исследования рассмотрена экономическая целесообразность проекта на основе среднесрочных показателей (до 12 лет). Однако интересным также представляются долгосрочные эффекты использования роботов, подобные влиянию на профессиональное развитие студентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование подтвердило высокую экономическую и образовательную эффективность применения АСР для подготовки студентов-стоматологов. Использование робота обеспечивает хорошие экономические показатели, такие как положительное значение NPV, высокие PI и IRR, что указывает на рентабельность проекта. Внедрение робота также улучшает практические навыки студентов, включая точность и скорость выполнения манипуляций, что подтверждается результатами тестирований и оценками преподавателей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование» (проект «Новые материалы и технологии для медицины», 2024 год).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: О.А. Царевский — экономическая оценка проекта, сбор и анализ данных, написание текста статьи; С.А. Арутюнов — анализ экономических показателей, редактирование статьи; Д.И. Грачев — обзор литературы, участие в разработке концепции исследования, подготовка текста статьи; Н.Б. Асташина — сбор и анализ литературных источников, участие в написании текста статьи; К.Г. Ахмедов — участие в анализе данных, подготовка текста статьи; А.А. Южаков — техническая оценка робототехнических систем, участие в написании и редактировании статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This work was supported by the Perm Scientific and Educational Center "Rational Subsoil Use" (Project "New Materials and Technologies for Medicine", 2024).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The largest contribution is distributed as follows: O.A. Tsarevskiy — economic evaluation of the project, data collection and analysis, writing the article; S.A. Arutyunov — analysis of economic indicators, editing the article; D.I. Grachev — literature review, contribution to the development of the research concept, writing the article; N.B. Astashina — collection and analysis of literature sources, contribution to the writing of the article; K.G. Akhmedov — contribution to data analysis, participation in the preparation of the article; A.A. Yuzhakov — technical evaluation of robotic systems, contribution to writing and editing the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bano S., Atif K., Mehdi S.A. Systematic review: Potential effectiveness of educational robotics for 21st century skills development in young learners // *Education and Information Technologies*. 2024. Vol. 29. P. 11135–11153. doi: 10.1007/s10639-023-12233-2
- Stasevych M., Zvarych V. Innovative robotic technologies and artificial intelligence in pharmacy and medicine: paving the way for the future of health care — a review // *Big Data and Cognitive Computing*. 2023. Vol. 7, N. 3. P. 147. doi: 10.3390/bdcc7030147
- Ahmad P., Alam M.K., Aldajani A., et al. Dental robotics: a disruptive technology // *Sensors (Basel)*. 2021. Vol. 21, N. 10. P. 3308. doi: 10.3390/s21103308
- Bernauer S.A., Zitzmann N.U., Joda T. The use and performance of artificial intelligence in prosthodontics: a systematic review // *Sensors (Basel)*. 2021. Vol. 21, N. 19. P. 6628. doi: 10.3390/s21196628
- Battista A. An activity theory perspective of how scenario-based simulations support learning: a descriptive analysis // *Adv Simul (Lond)*. 2017. Vol. 2. P. 23. doi: 10.1186/s41077-017-0055-0
- Isaksson J., Krabbe J., Ramklint M. Medical students' experiences of working with simulated patients in challenging communication training // *Adv Simul (Lond)*. 2022. Vol. 7, N. 1. P. 32. doi: 10.1186/s41077-022-00230-3
- Koolivand H., Shooreshi M.M., Safari-Faramani R., et al. Comparison of the effectiveness of virtual reality-based education and conventional teaching methods in dental education: a systematic review // *BMC Med Educ*. 2024. Vol. 24, N. 1. P. 8. doi: 10.1186/s12909-023-04954-2
- Thurzo A., Strunga M., Urban R., et al. Impact of artificial intelligence on dental education: a review and guide for curriculum update // *Educ Sci*. 2023. Vol. 13, N. 2. P. 150. doi: 10.3390/educsci13020150
- Wang K., Sang G.Y., Huang L.Z., et al. The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: a meta-analysis // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, N. 5. P. 4637. doi: 10.3390/su15054637
- Асташина Н.Б., Байдаров А.А., Арутюнов С.Д., и др. Разработка комплекса «Антропоморфный стоматологический робот» с элементами искусственного интеллекта для имитации врачебных манипуляций и коммуникации «врач – пациент» // *Пермский медицинский журнал*. 2022. Т. 39, № 6. С. 62–70. EDN: CNJATY doi: 10.17816/pmj39662-70
- Арутюнов С.Д., Южаков А.А., Харах Я.Н., и др. Интерактивная цифровая платформа и киберфизические системы медицинского образования // *Пародонтология*. 2022. Т. 27, № 4. С. 318–326. EDN: VTOFWY doi: 10.33925/1683-3759-2022-27-4-318-326
- Арутюнов С.Д., Южаков А.А., Харах Я.Н., и др. Стоматологический симулятор на базе робототехнического комплекса с интегрированной смарт-челюстью // *Российский стоматологический журнал*. 2023. Т. 27, № 1. С. 63–70. EDN: LMGDRW doi: 10.17816/dent115139
- Южаков А.А., Арутюнов С.Д., Асташина Н.Б., и др. Разработка антропоморфного стоматологического симулятора на базе робота Robo-C // *Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова*. 2023. Т. 26, № 4. С. 13–22. EDN: TGHLCJ doi: 10.22213/2413-1172-2023-4-13-22
- Arduengo M., Sentis L. The robot economy: here it comes // *International Journal of Social Robotics*. 2021. Vol. 13, N. 5. P. 937–994. EDN: YNKDDZ doi: 10.1007/s12369-020-00686-1
- Turchetti G., Palla I., Pierotti F., Cuschieri A. Economic evaluation of da Vinci-assisted robotic surgery: a systematic review // *Surg Endosc*. 2012. Vol. 26, N. 3. P. 598–606. doi: 10.1007/s00464-011-1936-2
- Mahdi Q.S., Saleh I.H., Hashim G., Loganathan G.B. Evaluation of robot professor technology in teaching and business // *Information Technology in Industry*. 2021. Vol. 9, N. 1. P. 1182–1194. doi: 10.17762/itii.v9i1.255

REFERENCES

- Bano S, Atif K, Mehdi SA. Systematic review: Potential effectiveness of educational robotics for 21st century skills development in young learners. *Education and Information Technologies*. 2024;29:11135–11153. doi: 10.1007/s10639-023-12233-2
- Stasevych M, Zvarych V. Innovative robotic technologies and artificial intelligence in pharmacy and medicine: paving the way for the future of health care — a review. *Big Data and Cognitive Computing*. 2023;7(3):147. doi: 10.3390/bdcc7030147
- Ahmad P, Alam MK, Aldajani A, et al. Dental robotics: a disruptive technology. *Sensors (Basel)*. 2021;21(10):3308. doi: 10.3390/s21103308
- Bernauer SA, Zitzmann NU, Joda T. The use and performance of artificial intelligence in prosthodontics: a systematic review. *Sensors (Basel)*. 2021;21(19):6628. doi: 10.3390/s21196628
- Battista A. An activity theory perspective of how scenario-based simulations support learning: a descriptive analysis. *Adv Simul (Lond)*. 2017;2:23. doi: 10.1186/s41077-017-0055-0
- Isaksson J, Krabbe J, Ramklint M. Medical students' experiences of working with simulated patients in challenging communication training. *Adv Simul (Lond)*. 2022;7(1):32. doi: 10.1186/s41077-022-00230-3
- Koolivand H, Shooreshi MM, Safari-Faramani R, et al. Comparison of the effectiveness of virtual reality-based education and conventional teaching methods in dental education: a systematic review. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):8. doi: 10.1186/s12909-023-04954-2
- Thurzo A, Strunga M, Urban R, et al. Impact of artificial intelligence on dental education: a review and guide for curriculum update. *Educ Sci*. 2023;13(2):150. doi: 10.3390/educsci13020150
- Wang K, Sang GY, Huang LZ, et al. The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: a meta-analysis. *Sustainability*. 2023;15(5):4637. doi: 10.3390/su15054637
- Astashina NB, Baidarov AA, Arutyunov SD, et al. Development of the “Anthropomorphic dental robot” complex with elements of artificial intelligence to simulate medical manipulations and doctor-patient communication. *Perm Medical Journal*. 2022;39(6):62–70. EDN: CNJATY doi: 10.17816/pmj39662-70
- Arutyunov SD, Yuzhakov AA, Kharakh YaN, et al. Interactive digital platform and cyberphysical systems of medical education. *Parodontologiya*. 2022;27(4):318–326. EDN: VTOFWY doi: 10.33925/1683-3759-2022-27-4-318-326
- Arutyunov SD, Yuzhakov AA, Kharakh YaN, et al. Dental simulator based on a robotic complex with an integrated smart jaw. *Russian Journal of Dentistry*. 2023;27(1):63–70. EDN: LMGDRW doi: 10.17816/dent115139

13. Yuzhakov AA, Arutyunov SD, Astashina NB, et al. Development of an anthropomorphic dental simulator based on the Robo-C robot. *Vestnik IZHGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 2023;26(4):13–22. EDN: TGHJJC doi: 10.22213/2413-1172-2023-4-13-22

14. Arduengo M, Sentis L. The robot economy: here it comes. *International Journal of Social Robotics*. 2021;13(5):937–994. EDN: YNKDDZ doi: 10.1007/s12369-020-00686-1

15. Turchetti G, Palla I, Pierotti F, Cuschieri A. Economic evaluation of da Vinci-assisted robotic surgery: a systematic review. *Surg Endosc*. 2012;26(3):598–606. doi: 10.1007/s00464-011-1936-2

16. Mahdi QS, Saleh IH, Hashim G, Loganathan GB. Evaluation of robot professor technology in teaching and business. *Information Technology in Industry*. 2021;9(1):1182–1194. doi: 10.17762/itii.v9i1.255

ОБ АВТОРАХ

* Царевский Олег Александрович;

адрес: Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5;

ORCID: 0009-0000-8602-6305;

eLibrary SPIN: 7244-1376;

e-mail: t1sarevskiy@yandex.ru

Арутюнов Сергей Анатольевич;

ORCID: 0009-0005-7605-5715;

eLibrary SPIN: 4682-1730;

e-mail: sa.arutyunov@mail.ru

Грачев Дмитрий Игоревич, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-5758-7485;

eLibrary SPIN: 2307-4380;

e-mail: dr.grachev@mail.ru

Асташина Наталия Борисовна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0003-1135-7833;

eLibrary SPIN: 6119-8171;

e-mail: astashina.nb@mail.ru

Южаков Александр Анатольевич, д-р техн. наук, профессор;

ORCID: 0000-0003-1865-2448;

eLibrary SPIN: 4820-8360;

e-mail: uz@at.pstu.ru

Ахмедов Камалутдин Гаджиевич;

ORCID: 0009-0000-5195-3942;

eLibrary SPIN: 8229-7763;

e-mail: kama05doc@gmail.com

AUTHORS' INFO

* Oleg A. Tsarevskiy;

address: 5 2nd Baumanskaya street, 105005 Moscow, Russia;

ORCID: 0009-0000-8602-6305;

eLibrary SPIN: 7244-1376;

e-mail: t1sarevskiy@yandex.ru

Sergey A. Arutyunov;

ORCID: 0009-0005-7605-5715;

eLibrary SPIN: 4682-1730;

e-mail: sa.arutyunov@mail.ru

Dmitriy I. Grachev, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-5758-7485;

eLibrary SPIN: 2307-4380;

e-mail: dr.grachev@mail.ru

Nataliya B. Astashina, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0003-1135-7833;

eLibrary SPIN: 6119-8171;

e-mail: astashina.nb@mail.ru

Alexander A. Yuzhakov, Dr. Sci. (Engineering), Professor;

ORCID: 0000-0003-1865-2448;

eLibrary SPIN: 4820-8360;

e-mail: uz@at.pstu.ru

Kamalutdin G. Akhmedov;

ORCID: 0009-0000-5195-3942;

eLibrary SPIN: 8229-7763;

e-mail: kama05doc@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author