

ТАРАСЕНКО Е.А.,

к.с.н., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия,
e-mail: etarassenko@hse.ru

ЭЙГЕЛЬ М.Я.,

к.э.н., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия,
e-mail: eygmaxim@gmail.com

ВИРТУАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА: ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

DOI: 1025881/18110193_2021_2_46

Аннотация.

Статья представляет собой анализ основных тенденций, перспектив, ограничений и факторов, влияющих на применение технологий виртуальной и дополненной реальности в здравоохранении. В основу статьи заложено авторское качественное исследование с применением метода глубинного экспертного интервью, респондентами в котором выступили врачи, эксперты сферы здравоохранения и IT-индустрии, а также обзоре зарубежных и российских публикаций.

Ключевые слова: технологии виртуальной и дополненной реальности в медицине, VR и AR технологии в здравоохранении, технологические инновации в медицине, интернет вещей в здравоохранении, геймификация в медицине, индустрия 4.0 в здравоохранении, e-health, телемедицинские технологии.

Для цитирования: Тарасенко Е.А., Эйгель М.Я. Виртуальная медицина: основные тенденции применения технологий дополненной и виртуальной реальности в здравоохранении *Врач и информационные технологии*. 2021; 2: 46-59. doi: 1025881/18110193_2021_2_46.

TARASENKO E.A.,

PhD, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia,
e-mail: etarassenko@hse.ru

EIGEL M.YA.,

PhD, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia,
e-mail: eygmaxim@gmail.com

VIRTUAL MEDICINE: MAIN TRENDS OF AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES USAGE IN HEALTHCARE

DOI: 1025881/18110193_2021_2_46

Abstract.

The purpose of the article is to identify the main trends, prospects, limitations, and factors affecting the usage of virtual and augmented reality technologies in healthcare. The article is based on the author's qualitative sociological study, with the usage of in-depth, expert interview methods, and a review of foreign and Russian publications.

Keywords: *virtual and augmented reality in medicine, VR u AR technologies in healthcare, technological innovations in medicine, Internet of things in healthcare, gamification in medicine, industry 4.0 in healthcare, e-health, telemedicine technologies.*

How to cite: *Tarassenko E.A., Eigel M.Ya. Virtual medicine: main trends of augmented and virtual reality technologies usage in healthcare. Medical doctor and information technology. 2021; 2: 46-59. (In Russ.). doi: 1025881/18110193_2021_2_46.*

ВВЕДЕНИЕ

Технологии дополненной и виртуальной реальности применяются не только при создании видеоигр и в индустрии развлечений, они активно используются в самых разных секторах экономики, включая медицину. Виртуальная медицина является компонентом телемедицины [1–2]. Применение технологий дополненной и виртуальной реальности дает новый импульс развитию медицинской информатики [3], инновационным проектам в сфере цифрового здравоохранения, улучшает взаимодействие врача и пациента [4–5]. Виртуальную и дополненную реальность можно использовать для решения различных задач, таких как геймификация медицинского образования (превращение работы в игру) [6], медицинская реабилитация [7], помощь пациентам в преодолении травм и уменьшение фобий, а также многих других [8].

МЕТОДОЛОГИЯ И ЭМПИРИЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЯ:

Цель данного исследования состояла в анализе основных тенденций применения технологий дополненной и виртуальной реальности в здравоохранении. Авторы статьи свою задачу видели в исследовании особенностей, текущем состоянии, перспектив, ограничений и факторов, влияющих на применение технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине и здравоохранении. Анализ зарубежной и российской практики необходим для и выработки рекомендаций по развитию и масштабированию рыночных продуктов с применением технологий дополненной и виртуальной реальности для повышения эффективности, качества и доступности медицинской помощи. В основу статьи заложено:

- кабинетное исследование, направленное на анализ имеющейся информации о развитии и внедрении инновационных проектов в сфере здравоохранения с применением технологий дополненной и виртуальной реальности в России и зарубежных странах. Выбор инновационных проектов был основан на

доступности информации о проекте в открытых источниках;

- результаты качественного полевого исследования (ноябрь 2019 — апрель 2020 года) на основе проведения 18 экспертных интервью с организаторами здравоохранения, практикующими врачами и IT — специалистами, разрабатывающими рыночные продукты для сферы здравоохранения с применением технологий дополненной и виртуальной реальности¹.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зарубежные исследователи определяют виртуальную реальность (virtual reality, VR) как имитацию с помощью технических средств «реальной среды, в которой пользователь испытывает эффект телеприсутствия» [9]. Эффект телеприсутствия означает, что у пользователя через зрение, слух, осязание и другие органы чувств возникает ощущение полного присутствия в искусственно смоделированном трехмерном цифровом мире. Эффект телеприсутствия — это зонтичный термин, включающий в себя сенсорную живость и интерактивность. Под сенсорной живостью понимается репрезентативное богатство опосредованной среды, сенсорная глубина и широта (восприятие идет сразу через несколько органов чувств). Под интерактивностью понимаются скорость, дальность и диапазон отображения, степень, в которой пользователи могут участвовать в изменении формы и содержания опосредованной среды в режиме реального времени. Это означает, что пользователь мультимедиа может манипулировать контентом по своему усмотрению с точки зрения окружения и действий, предпринимаемых персонажами на носителе. Если такие особенности мультимедиа, как скорость, диапазон и картирование плохо сконструированы, пользователь может чувствовать себя оторванным от виртуального опыта. Другим важным аспектом телеприсутствия является чувство вовлеченности: чем более яркой и более интерактивной является конкретная

¹ Организаторы здравоохранения — 4 эксперта. Практикующие врачи — 10 экспертов, включая 5 недавних выпускников медвузов. IT-специалисты, разрабатывающие рыночные продукты для сферы здравоохранения с применением технологий дополненной и виртуальной реальности — 4 эксперта.

среда, тем большее чувство присутствия вызывается этой средой. Манипуляции с контентом мультимедиа являются наиболее успешными с точки зрения создания ощущения телеприсутствия, когда мультимедиа опосредованно связаны с телом пользователя. Это создает эффективную среду для приобретения нового пользовательского опыта, который может быть успешно использован в здравоохранении [10].

Дополненная реальность (augmented reality, AR) — это технология, которая накладывает сенсорную информацию, созданную компьютером в форме текста, аудио или компьютерной графики, на физические объекты, создавая, таким образом, в режиме реального времени моделируемое техническими средствами изображение реальной среды. Данная технология создает среду, в которой виртуальные объекты сочетаются с реальностью, тем самым интегрируя созданные компьютером объекты в реальный мир с использованием настройки изображений на стеклах очков, шлемов виртуальной реальности или специальных тактильных устройств (хап-тик), которыми могут быть перчатки, воротники, костюмы или датчики. Основная задача дополненной реальности — перенесение трехмерных виртуальных объектов в реальное время в трехмерную реальную среду. В качестве примера такого тактильного устройства — «умного» костюма можно привести продукт *Teslasuit* белорусской компании VRTEK, который оснащен системой захвата движений, климат-контролем, биометрическими датчиками. В настоящее время VRTEK ведет разработку платформы для диагностики, реабилитации и мониторинга состояния здоровья пациентов с помощью костюма *Teslasuit*. По мнению экспертов, *«костюм Teslasuit для сектора здравоохранения направлен на восстановление или улучшение функций движения и координации: данное решение должно помочь в комплексном лечении и медицинской реабилитации пациентов с двигательными нарушениями после инсультов и спинномозговых травм, улучшении навыков движения и координации у спортсменов»*.

Когда дополненная реальность сочетается с возможностью взаимодействия с реальным миром через виртуальные объекты, используют термин «смешанная реальность» (mixed reality, MR). Термином «расширенная реальность»

(extended reality, XR) обозначают все вместе VR, AR и MR технологии, связанные со взаимодействием пользователя с прибором, реальным миром и виртуальными средами.

Дополненная реальность предоставляет альтернативу традиционным формам взаимодействия между людьми и машинами, и облегчает доступ к определенным технологиям для групп пациентов с особыми потребностями, такими как люди с инвалидностью, пожилые и дети, повышая их качество жизни. Так, при оказании педиатрической помощи важно помогать детям чувствовать себя комфортно во время проведения медицинских процедур и анализов [11]. Технологии дополненной реальности, используя элемент геймификации, помогают детям включаться в игры, стимулирующие физическую нагрузку или снижающие тревожность. Например, доказали свою успешность такие проекты применения дополненной реальности в педиатрии, как «*Nixi для детей*» [12] или «*Я собираюсь сделать трансплантат*» [13], основная цель которых — информировать и успокаивать маленьких пациентов перед операциями, чтобы уменьшить их уровень тревоги. Цель проекта «*Nixi для детей*» — снизить дооперационную тревогу у детей. Для этого дети используют VR-устройство, с помощью которого они могут просматривать с 360° с эффектом присутствия видеоролики, в которых объясняются все процедуры операции, и как это потом скажется на их здоровье. Приложение «*«Я собираюсь сделать трансплантат»*» объясняют маленьким пациентам, что такое трансплантация костного мозга и из каких шагов она состоит, чтобы им было легче понять процедуру, на которую они пройдут. Это приложение включает в себя сказку, видео и три детские игры.

В последние годы с развитием технологий системы виртуальной и дополненной реальности стали в большей степени персонализированными, портативными, лучше ориентируются в реальное время и дают более реалистичные ощущения пользователям, добавляя оптические, тактильные и сенсорные элементы к спектру ощущений. Помимо этого, подобные устройства становятся все более популярными и доступными для пользователей и медицинских работников. Пользователи могут взаимодействовать с виртуальной действительностью с помощью джойстиков, клавиатуры или даже встроенной в

тело технологии. VR и AR технологии позволяют автоматизировать какой-либо часто повторяющийся процесс. Их успешно можно применять в медицинском образовании или при тренировке реабилитационных больных после инсульта, нуждающихся в улучшении когнитивных способностей, речи и памяти. Плюсом является то, что можно снизить расходы на обучение или медицинскую реабилитацию.

Изученность вопроса применения технологий дополненной и виртуальной реальности в области здравоохранения в России и за рубежом находится на различном уровне: зарубежный опыт изучен более подробно [14–17]. Технологий дополненной и виртуальной реальности появляются и реализуются чаще в экономически развитых странах. Российский опыт изучен менее детально, поскольку рынок находится в стадии формирования [18]. Россия пока занимает 11-е место в мире по патентной активности в области дополненной и виртуальной реальности в здравоохранении [19].

Инновационные проекты с применением технологий дополненной и виртуальной реальности различны как по масштабу, так и по сфере применения.

Основные тренды применения технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине и здравоохранении:

- *Менеджмент острой боли у пациентов при преодолении последствий травм.* Так, в ожоговой терапии впервые в 1996 году исследователь из Вашингтонского университета Хантер Хоффман и профессор психологии Дэвид Паттерсон использовали иммерсионные технологии виртуальной и дополненной реальности с помощью игры SnowWorld для менеджмента боли у ожоговых пациентов всех возрастов. Игра виртуальной реальности SnowWorld проводит людей через симулированный ледяной каньон, где участники бросают снежки друг в друга, отвлекая их от боли. Этот проект, разработанный в Вашингтонском университете HITLab в сотрудничестве с Harborview Burn Center, который стал первым виртуальным миром с захватывающим эффектом, созданным для уменьшения острой боли [20]. Дополнительный бонус — технологии виртуальной и дополненной реальности помогают пациентами снизить

опиоидную терапию при менеджменте боли, забыть о боли и лучше сосредоточиться на медицинской реабилитации.

- *Менеджмент хронической боли:* технологии виртуальной и дополненной реальности отвлекают от болевой симптоматики и способны снизить болевые синдромы, например, при фибромиалгии (хронической диффузной мышечно-скелетной боли), во время климакса у женщин уменьшить приливы и ночную потливость (в качестве примера можно привести успешно прошедшие клинические испытания разработки израильской компании XRHealth). Шлемы виртуальной реальности планируется активно применять в стоматологических клиниках для снижения страха и отвлечения от возможной боли [21].
- *Медико-социальное сопровождение* больных со старческой деменцией. Так, продукты компании Rendever, созданной выпускниками Массачусетского университета, активно применяются в 30 медико-социальных реабилитационных пансионатах для пожилых и престарелых в штате Массачусетс США, позволяя пациентам, страдающим от одиночества и изоляции, обрести групповой позитивный опыт, обеспечить виртуальное окно для действий и впечатлений, которые были бы недостижимы в реальной жизни и реконструировать события профессионального прошлого — от простых туристических путешествий до виртуальной симуляции боевого самолета в полете [20]. Камеры, установленные в больничной палате или пансионате, могут в любое время разрешать виртуальные визиты друзей или членов семьи, что уменьшает тревогу, депрессию и другие симптомы социальной изоляции у больных с деменцией. В результате пациенты становятся спокойнее, лучше спят, у них улучшается настроение (например — программа Aloha VR One Caring Team в Сан-Франциско, США) [23].
- *Психиатрия и неврология:* высок потенциал применения технологий виртуальной и дополненной реальности в психиатрии и неврологии, поскольку виртуальная медицина существенно расширяет возможности психиатров и неврологов по лечению пациентов. Технологии виртуальной и дополненной реальности способны облегчить широкий

спектр нейро-когнитивной и эмоциональной симптоматики — уменьшить стресс и беспокойство при посттравматическом стрессовом расстройстве, шизофренические слуховые галлюцинации у пациентов, помогают в изменении паттернов поведения и уменьшении фобий, например, уменьшении акрофобии (боязни высоты), фобий укусов змей, пауков, полетов на самолетах, борются с снижением памяти при черепно-мозговых травмах и медицинской реабилитации после перенесенного инсульта [24].

- *Организация виртуального дистанционного мониторинга и дистанционных консультаций пациентов с помощью интернета вещей и киберфизических систем (CPS)* пока находится в зачаточном состоянии, так как существует множество технических проблем, которые необходимо решить. Например, в медицине боль — это повсеместный опыт, но в то же время типично субъективный, с множеством атрибутов, на которые влияет большое количество контекстных факторов: социальных, культурных, когнитивных, эмоциональных и т.п. Природу боли очень сложно выразить количественно выразить с помощью чисел, и требуется вмешательство врача, чтобы обеспечить контекстное значение таких атрибутов [25]. Будущее виртуальной медицинской помощи, основанной на CPS, потребует наличия экосистемы, которая будет использовать целый ряд технологий, позволяющих при необходимости уходить от традиционных клинических условий.
- *Медицинское образование:* VR и AR технологии все активнее применяются в образовании медицинских работников. VR и AR технологии, с одной стороны, позволяют педагогам усилить персонализацию в обучении, использовать интерактивные методы в обучении, тренировать групповую работу студентов, уменьшить разрыв между теорией и практикой, а с другой стороны, облегчая с помощью дистанционных технологий возможности онлайн-образования и удешевляя его. Так, изучение анатомических структур с помощью VR и AR технологии помогает студентам быстрее освоить анатомию и осознать структурную сложность некоторых органов (например, внутреннего уха). Моделирование

виртуального места бедствия может помочь медикам испытать те сложности и трудности, с которыми можно столкнуться во время стихийного бедствия, и лучше подготовиться к ним [26]. Ценностью является то, что в аутентичных виртуальных клинических симуляциях без вреда для реальных пациентов студентам — медикам можно в процессе обучения совершать «безопасные ошибки», которые являются необходимой ступенью в становлении профессионала. Например, в рамках проекта CILVRS (Fieldsapes TM) студент в виртуальном кабинете может примерить на себя роль акушерки и вступить в коммуникацию с аватаром пациентки и начать ее обследование, при этом студенты могут полностью погрузиться в виртуальную реальность с помощью ноутбука, гарнитуры 3D VR и тактильных (сенсорных) устройств [27].

- *Фармацевтический бизнес.* AR технологии начинают использоваться в фармации: их используют фармацевты при приготовлении рецептурных лекарств, для доступа к информации о лекарствах, а также при проверке или проверке рецепта. Например, во Франции, есть опыт использования в больничной аптеке AR-очков для приготовления инъекционных препаратов, а также для отображения инструкций по приготовлению лекарств с целью уменьшения количества ошибок при приеме лекарств, связанных с отсутствием доступа к инструкциям [28].

По результатам глубинных интервью большинство экспертов отметили потенциал VR и AR технологий в повышении доступности оказания и экономической эффективности медицинской помощи. VR и AR технологии позволяют привлекать новых и удерживать старых пациентов, предлагая современное, комфортное и приятное медицинское обслуживание: не выходя из дома пациенты могут быть полностью погружены в имитируемую цифровую среду с помощью гарнитуры виртуальной реальности. Применение VR и AR технологий в здравоохранении может быть экономически выгодно, поскольку сократится необходимость у пациентов в личных визитах врачей благодаря виртуальным консультациям — интерактивному двустороннему взаимодействию с помощью мобильных устройств между пациентами и медицинскими работниками. Это

сократит расходы на здравоохранение и улучшат качество обслуживания. Более половины респондентов также отметили, что применение технологий виртуальной реальности в здравоохранении является безопасным для пациентов, и способствует высокой степени удовлетворенности пользователей. Можно предположить, что в следующем десятилетии VR и AR технологии станут все более доступными, гибкими и портативными, что позволяет использовать их в терапевтических целях как в условиях стационара, так и при амбулаторном лечении, или в консультации. По мнению экспертов, наиболее известные западные компании-производители, внесшие существенный вклад в развитие AR и VR технологий на рынке здравоохранения, — это Fundamental VR, Alphabet Inc., XR Health, Karuna Labs, Oxford VR, Atheer, Augmedics, Surgical Theater, CAE Healthcare, Medivis, DAQRI LLC, EchoPixel, Health Scholars, Firsthand Technology,

Vicarious Surgical, Touch Surgery, Proprio Vision, Koninklijke Philips NV, Immersive Touch, Medical Realities, Microsoft Corporation, Mindmaze, Orca Health, SentiAR, OssoVR, Medical Augmented Intelligence, Psious, HoloAnatomy, SyncThink.

Многие компании специализируются исключительно на каком-либо одном секторе медицины. В таблице №1 приведены топ-10 мировых компаний-производителей AR и VR технологий в хирургии.

В России также начали применять AR и VR технологии в медицине. Например, на базе ДВФУ в партнерстве с МГУ создан Центр Компетенций в рамках Национальной технологической инициативы по направлению «Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности» [30]. А в 2019 году на базе Института медицинских образовательных технологий им. И. И. Мечникова ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова началось создание виртуальной клиники с

Таблица 1 — Топ-10 мировых компаний — производителей AR и VR технологий в хирургии [29]

№	Название компании — производителя	Предлагаемые продукты с использованием AR и VR технологий	Влияние на отрасль
1.	Proprio (Сиэтл, Вашингтон, США)	сочетает машинное обучение и AR для создания сверхточных трехмерных медицинских изображений возможных «препятствий», хранит данные и может обмениваться ими, помогая хирургам при составлении планов операций хирургам	Proprio запускает пилотные программы нейро — и ортопедических операций в Детской больнице Сиэтла, больнице Университета Вашингтона
2.	ImmersiveTouch (Чикаго, Иллинойс, США)	Создание трехмерных копий сканированных изображений пациентов с использованием для хирургического обучения и планирования операций. С помощью гарнитуры Oculus Rift хирурги могут имитировать реальную операцию	Больницы Джонса Хопкинса, Чикагского и Техасского университетов используют платформу ImmersiveTouch для помощи своим хирургам в обучении и планировании операций
3.	FundamentalVR (Лондон, Великобритания)	Создание имитаторов тактильных ощущений, которые позволяют хирургам практиковаться и оттачивать свои хирургические навыки (тактильная технология дает врачам ощущение, что они держат в руках настоящие инструменты), в сочетании с виртуальной реальностью экосистема FundamentalVR предоставляет врачам реалистичную платформу для изучения операций и их выполнения	FundamentalVR сотрудничает с мировыми лидерами в сфере медицинских технологий, включая Amazon, Oculus, Bayer и больницу Лондонского университетского колледжа

Таблица 1 — Топ-10 мировых компаний — производителей AR и VR технологий в хирургии [29]. (Продолжение)

№	Название компании — производителя	Предлагаемые продукты с использованием AR и VR технологий	Влияние на отрасль
4.	Surgical Theater (Лос-Анжелес, Калифорния, США)	Создание платформы для хирургических репетиций на основе виртуальной реальности для нейрохирургического предоперационного планирования и репетиций. Платформа компании сканирует 2D — изображения мозга, а специалисты по виртуальной реальности создают индивидуальные 3D — модели. Затем модели мозга используются для в качестве инструмента планирования для хирургической бригады	Нью — Йоркский университет, клиника Мэйо и Калифорнийский университет в Лос — Анжелесе использовали моделирование мозга VR в Хирургическом театре для планирования операций и подробного объяснения процедур пациентам
5.	Proximie	Набор инструментов Proximie для AR технологий помогает врачам находить недуги у пациентов и описывать операции с помощью 3D — моделей. Можно сканировать тело пациента, увидеть на ме-дицинские проблемы (например, опухоли или переломы) и использовать изображения, чтобы показать пациентам пошаговый процесс их потенциальной операции	Proximie была названа одной из 40 ведущих цифровых компаний — новаторов на World Summit Awards 2018 за прорыв в области использования AR технологий в медицине
6.	Augmented Intelligence (Вирджиния, США)	Создание образовательных инструментов с использованием AR и VR (карты тела пациента) для врачей и студентов — медиков, что помогает им исследовать сложную анатомически правильную модель человеческого тела	Врачи Центра протонной терапии Чанг Гунг в Тайване использовали AR и VR инструменты, чтобы составить карту оптимального лежачего положения пациента для проведения протонной терапии
7.	SentiAR (Сент-Луис, Миссури, США)	Создание голографической AR платформы для внутривидеоскопического клинического использования. Во время процедуры хирурги могут просматривать трехмерное изображение определенной анатомии (оно парит над пациентом на операционном столе) в режиме реального времени. Визуализация осуществляется без помощи рук и дает хирургам подробную информацию о состоянии здоровья пациента на протяжении всей операции	Платформа SentiAR оказалась успешной в лечении и анализе сердечных аритмий В лабораторных условиях. Microsoft предложила SentiAR сотрудничество на платформе смешанной реальности
8.	EchoPixel (Лос-Альто-Хиллз, Калифорния, США)	Хирургическая 3 D платформа с VR помогает врачам определить анатомию органа и получить правильные трехмерные изображения для конкретного пациента в режиме реального времени о	EchoPixel стала широко известна в научном медицинском сообществе своими 3D — изображениями толстой кишки, которые помогают хирургам планировать операции и производить аналитику в реальном времени

Таблица 1 — Топ-10 мировых компаний — производителей AR и VR технологий в хирургии [29]. (Продолжение)

№	Название компании — производителя	Предлагаемые продукты с использованием AR и VR технологий	Влияние на отрасль
9.	TrueVision	Разрабатывает программное обеспечение для цифровой 3D — визуализации и инструменты дополненной реальности, которые поддерживают хирургов в офтальмологии, нейрохирургии и микрохирургии. Основной продукт TrueVision — платформа цифровых микроскопов для цифровой хирургии, преобразует существующие микроскопы в цифровые хирургические системы, которые могут создавать изображения AR и 3D	Международная компанией OCULUS Pentacam AXL использует программное обеспечение TrueVision для 3D компьютерной визуализации, демонстрации операций удаления катаракты глаз в реальном времени при онлайн — обучении врачей со всего мира
10.	Osso VR (Бостон, Массачусетс, США)	Разработка платформы с использованием виртуальных хирургических инструментов для тренировки совместной работы нескольких хирургов	Сотрудничество с мировым производителем медицинской техники — компанией Johnson & Johnson, и образовательным институтом Johnson & Johnson для обучения врачей — офтальмологов

тестовыми заданиями по диагностике для врачей в VR и, так же был создан лапароскопический симулятор для обучения хирургов [31].

Ограничения и барьеры, влияющие на применение технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине и здравоохранении. IT — специалисты указали в качестве ограничивающего барьера, влияющего на применение технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине и здравоохранении, недостаточный образовательный уровень в области технологических инноваций части IT — менеджмента и врачебного персонала, работающих в ряде медицинских организаций, особенно в регионах: им будет не хватать цифровых знаний и навыков для правильного внедрения и использования этих технологий. Существуют также технические барьеры, ограничивающие внедрение технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине, — это технические риски, связанные с несовместимостью и конфликтом возможностей в различных операционных системах и аппаратных платформах, препятствующие своевременному обновлению медицинских

записей, быстрому поиску медицинской информации и подключению к устройствам удаленного мониторинга, что будет порождать возможную фрагментацию использования технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине. Имеющиеся прототипы — аппаратные решения, для удаленного мониторинга с использованием технологий дополненной и виртуальной реальности, предлагаемые пациентам, пока часто громоздки, не точны и не комфортны в использовании (достаточно слабый уровень юзабилити), что также может служить барьером к использованию. Дополнительным ограничением на пути технологических инноваций может стать достаточно высокая стоимость внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности для сетевого медицинского бизнеса.

Барьеры в использовании технологий виртуальной реальности в здравоохранении можно разделить на шесть основных типов:

- стоимостные: цена может подниматься до десятков тыс. долларов;
- барьеры, связанные с техническими возможностями;

- барьеры, связанные с технологической доступностью и юзабилити при взаимодействии пользователей и VR и AR технологий;
- барьеры, связанные с возможным психологическим сопротивлением;
- барьеры, связанные с доказательством клинической эффективности VR и AR технологий
- барьеры, связанные с возможными рисками побочного негативного влияния на здоровья пользователей (см. Таблицу № 2²)

Таблица 2 — Барьеры в использовании технологий виртуальной реальности в здравоохранении

Стоимостные барьеры	Барьеры, связанные с техническими возможностями	Барьеры, связанные с технологической доступностью и юзабилити при взаимодействии пользователей и VR и AR технологий	Барьеры, связанные с возможным психологическим сопротивлением/ дистанцированием со стороны пользователей	Барьеры, связанные с доказательством клинической эффективности	Барьеры, связанные с возможными рисками побочного негативного влияния на здоровья пользователей
Высокая стоимость оборудования для виртуальной реальности.	Технические риски, связанные с несовместимостью и конфликтом возможностей в различных операционных системах и аппаратных платформах	Недостаточная компьютерная и видеоигровая грамотность пользователей и необходимость в дополнительном обучении	Барьеры, связанные со сложностями восприятия неясных преимуществ для улучшения здоровья технологий виртуальной реальности	Барьеры, связанные с документальным подтверждением клинической эффективности (небольшие размеры выборки, отсутствие контрольной выборки и т.п.)	Усиления рисков падений у пациентов с аппаратурой с VR и AR технологиями
Высокие расходы на разработку программного обеспечения для виртуальной реальности	Потенциальная неэффективность менее продвинутого и дешевого оборудования	Потенциальные технические сбои и неисправности такого оборудования	Сопротивление со стороны пожилых пациентов инновационной технологии	Отсутствие данных о долгосрочной клинической эффективности	Возможное появление головокружением у некоторых пользователей
Недостаточный фокус на будущую экономическую эффективность VR и AR технологий в здравоохранении	Сложности с вводом данных с помощью голоса ввиду большой вариативности оборудования	Сложности с починкой такого оборудования	Предпочтение традиционным образовательным подходам в медицинском обучении	Отсутствие данных о сравнительной количественной оценке клинической эффективности традиционного лечения и лечения с применением технологий виртуальной реальности	Возможное появление головных болей у некоторых пользователей

² Таблица составлена авторами на основе мнений респондентов и анализа источников.

Таблица 2 — Барьеры в использовании технологий виртуальной реальности в здравоохранении. (Продолжение)

Не разработан механизм: каким образом возмещать расходы пациентов на приобретение VR и AR технологий	Сложность подключения данных с носимых устройств, порталов пациентов или биосенсоров и т.п.	Проблемы с юзабилити: нереалистичные персонажи и сюжеты мешают подключению пациентов в виртуальную и дополненную реальность	Барьеры, связанные с сопротивлением консервативно настроенного медицинского персонала активному применению VR и AR технологий в клинической практике	Недостаточность данных о неблагоприятных и побочных последствиях лечения с применением VR и AR технологий	Возможное усиление напряжения и боли в глаз у некоторых пользователей
	Быстрое технологическое устаревание оборудования	Вес и громоздкость VR и AR технологий	Быстрая утомляемость пациентов при использовании VR и AR технологий	Небольшие размеры выборки и отсутствие контрольных групп при проведении клинических исследований, что делает доказательную базу не слишком убедительной	Возможное появление тошноты у некоторых пользователей

Факторы, положительно влияющие на применение технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине и здравоохранении. Организаторы здравоохранения и практикующие врачи в целом положительно оценивают технологии дополненной и виртуальной реальности в здравоохранении как новую платформу оказания медицинских услуг и весьма перспективное направление, однако пока далекое от массового появления рыночных продуктов и их масштабирования в ближайшие 5 лет. IT — специалисты, занятые выводом на рынок продуктов для сферы здравоохранения с применением технологий дополненной и виртуальной реальности, более позитивно оценивают возможности масштабирования и верят в появление новых массовых рыночных продуктов в ближайшие 2–3 года. Новые продукты позволят улучшить физическое и психологическое состояние пациентов, усилить их удовлетворенность и приверженность лечению.

Также в качестве положительного фактора стоит упомянуть тот факт, что технологий дополненной и виртуальной реальности обеспечивают большую прозрачность и скорость медицинской диагностики и медицинских консультаций, поскольку позволяют подключаться к устройствам удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов, а также повысить безопасность оказания медицинских услуг.

Среди экспертов есть предположение о том, что технологии дополненной и виртуальной реальности будут также достаточно активно использоваться фармацевтическими компаниями — производителями лекарственных средств для обучающих образовательных программ для пациентов, поскольку с помощью геймификации эти технологии позволяют в игровой форме наглядно показать, каким образом лекарство лечит пациента, что повысит приверженность пациентов фармацевтическим брендам и увеличить продажи. В качестве дополнительных

важных факторов, положительно влияющих на решение организаторов здравоохранения о применении технологий дополненной и виртуальной реальности при оказании медицинских услуг и ускоряющих создание прототипов для масштабирования новых продуктов, респонденты указывали на экономическую эффективность новых продуктов, которые будут способствовать изменению текущих медицинских бизнесов и появлению новых более эффективных бизнес-моделей, «уберизации» медицинского бизнеса, позволят избежать чрезмерных финансовых и временных затрат. Большинство экспертов отметили, что текущая ситуация в связи с пандемией Ковид-19 будет фактором, способствующим дальнейшему развитию VR и AR технологий в здравоохранении.

Таким образом, можно заключить, что, несмотря на барьеры, большинство экспертов сошлись во мнении, что VR и AR технологии будут обеспечивать в медицинском образовании, диагностике и терапии весьма существенные преимущества организациям на рынке медицинских услуг, и это всего лишь вопрос времени, когда виртуальная и дополненная реальность

будет доработана и широко использоваться в медицине и здравоохранении.

Вопросы для дальнейших исследований применения технологий дополненной и виртуальной реальности в здравоохранении:

- Какие направления применения технологий дополненной и виртуальной реальности в медицине необходимо развивать в первую очередь и в среднесрочной перспективе?
- Необходима ли государственная поддержка для развития VR и AR технологий в здравоохранении? Какая именно?
- Нужны ли изменения законодательной базы для развития VR и AR технологий в здравоохранении?
- Какая модель сопровождения медицинского персонала, применяющего VR и AR технологии, будет наиболее оптимальна в текущих условиях для России?
- Каким образом VR и AR технологии будут способствовать сохранению жизни хронически больных, инвалидов и людей старшего возраста, перенесших COVID -19 и страдающих от его последствий?

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Столбов А.П. Об определении и классификации телемедицинских услуг // Врач и информационные технологии. — 2015. — №2. — С. 12-28. [Stolbov A.P. About the definition and classification of telemedicine services. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*. 2015; 2: 12-28. (In Russ).]
2. Кобякова О.С., Стародубов В.И., Кадыров Ф.Н., Куракова Н.Г., Чилилов А.М. Телемедицинские технологии: перспективы и ограничения // Врач и информационные технологии. — 2020. — №2. — С. 76-85. [Kobyakova O.S., Starodubov V.I., Kadyrov F. N., Kurakova N.G., Chililov A. M. Telemedicine technologies: prospects and limitations. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*. 2020; 2: 76-85. (In Russ).]
3. Зарубина Т.В., Кобринский Б.А., Кудрина В.Г. Медицинская информатика в здравоохранении России // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. — 2018. — Т.26. — №6. — С. 447-451. [Zarubina T.V., Kobrinsky B.A., Kudrina V.G. The medical informatics in health care of Russia. *Problems of social hygiene, public health and history of medicine*. 2018; 6: 447-451. (In Russ).]
4. Гусев А.В., Плисс М.А., Левин М.Б., Новицкий Р.Э. Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России // Врач и информационные технологии. — 2019. — № 2. — С. 38-49. [Gusev A.V., Pliss M.A., Levin M.B., Novitsky R.E. Trends and forecasts for the development of medical information systems in Russia. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*. 2019; 2: 38-49. (In Russ).]
5. Garrett B, Taverner T, Gromala D, et al. Virtual reality clinical research: promises and challenges. *JMIR Serious Games*. 2018; 6(4): e10839. doi: 10.2196/10839.
6. Minhua Mf, Lakhmi J, Anderson P. Virtual, Augmented Reality and Serious Games for Healthcare. Series: Intelligent Systems Reference Library (Book 68). Publisher: Springer; 2014 edition, 568 p.
7. Beck JG, Palyo SA, Winer EH, et al. Virtual reality exposure therapy for PTSD symptoms after a road accident: an uncontrolled case series. *Behav Ther* 2007; 38(1): 39-48. doi: 10.1016/j.beth.2006.04.001.

8. Spiegel BM. Virtual medicine: how virtual reality is easing pain, calming nerves and improving health. *The Medical Journal of Australia*. 2018; 209(6): 245-247. doi: 10.5694/mja17.00540.
9. Steuer J. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*. 1992. 42(4): 73-93. doi: 10.1111 / j.1460-2466.1992.tb00812.x.
10. Vigliani RM, Condino S, Turini G, et al. Augmented reality, mixed reality, and hybrid approach in healthcare simulation: A systematic review. *Applied Sciences*. 2021; 11(5): 2338. doi: 10.3390/app11052338.
11. Vidal-Balea A., Blanco-Novoa O., Fraga-Lamas P. Developing the Next Generation of Augmented Reality Games for Pediatric Healthcare: An Open-Source Collaborative Framework Based on ARCore for Implementing Teaching, Training and Monitoring Applications. *Sensors (Basel)*. 2021; 21(5): 1865. doi: 10.3390/s21051865.
12. Nixi for Children. Available at: <https://nixiforchildren.com>. Accessed 06.01.2021.
13. Guía animada. Me van hacer un trasplante. Available at: https://fundacion.atresmedia.com/nuestros-proyectos/humanizacion-hospitales-infantiles/informar/canal-fan-3/guia-animada-van-hacer-trasplante_2014071059d621d90cf210d9a8bd4e31.html. Accessed 06.01.2021.
14. Cipresso P, Giglioli I, Raya M, Riva G. The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Frontiers in Psychology*. 2018; 6(9): 2086. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02086.
15. Beck J, Palyo S, Winer E, et al. Virtual reality exposure therapy for PTSD symptoms after a road accident: an uncontrolled case series. *Behavior Therapy*. 2007; 38(1): 39-48. doi: 10.1016/j.beth.2006.04.001.
16. Correa A, Ficheman I, Nascimento M, et al. Computer Assisted Music Therapy: A Case Study of an Augmented Reality Musical System for Children with Cerebral Palsy Rehabilitation. In *Proceedings of the 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, Riga, Latvia, 15-17 July 2009; pp. 218-220.
17. Wood D, Webb-Murphy J, Center K, et al. Combat-Related Post-Traumatic Stress Disorder: A Case Report Using Virtual Reality Graded Exposure Therapy With Physiological Monitoring With a Female Seabee. *Military Medicine*. 2009; 174(11): 1215-1222. doi: 10.7205/milmed-d-03-4408.
18. Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В., Мухаметова Д.А., Слепнева Н.И. Технология виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова*. — 2020. — Т.15. — №1. — С. 89-98. [Karpov O.E., Daminov V.D., Novak E.V., Mukhametova D.A., Slepneva N.I. Virtual reality technologies in medical rehabilitation as an example of modern health informatization. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N. I. Pirogova*. 2020; 15(1): 89-98. (In Russ).]
19. Черченко О.В. Технологии дополненной и виртуальной реальности в медицине: анализ конкурентного ландшафта // *Экономика науки*. — Т.4. — №1. — С.69-80. [Cherchenko O.V. Augmented and virtual reality in medicine: the analysis of competitive landscape. *Ekonomika nauki*. 2018; 4 (1): 69-80. (In Russ).]
20. Wolf Williams R. How Virtual Reality Helps Older Adults. March 14, 2017. Available at: <https://www.forbes.com/sites/nextavenue/2017/03/14/how-virtual-reality-helps-older-adults/#6c9ff6d544e2>. Accessed 04.02.2021.
21. XRHealth Virtual Clinic: At-Home Virtual Reality Therapy. Available at: <https://www.xr.health>. Accessed 04.02.2021.
22. Dudley D. Virtual Reality Used to Combat Isolation and Improve Health. *AART The Magazine*. 2018; 4. Available at: <https://www.aarp.org/home-family/personal-technology/info-2018/vr-explained.html>. Accessed 04.02.2021.

23. Tsukayama H. This physician is using virtual reality to treat patients with dementia. Available at: <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2016/11/17/this-physician-is-using-virtual-reality-to-treat-patients-with-dementia>. Accessed 04.02.2021.
24. Seiz C, Flickinger T, Harrison M, Poyrazli S, Turkson M. Virtual Reality Exposure Therapy for Military Veterans with Posttraumatic Stress Disorder: A Systematic Review. *The New School Psychology Bulletin*. 2014; 11(1): 14-29.
25. Fiaidhi J, Mohammed S. Virtual care for cyber-physical systems (VH_CPS): NODE-RED, community of practice and thick data analytics ecosystem. *Computer Communications*. 2021; 170: 84-94.
26. Saxena N. Virtual reality environments for healthcare professional education. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*. 2015; 51(1): 1-2.
27. King D, Tee S, Falconer L, et al. Virtual health education: Scaling practice to transform student learning: Using virtual reality learning environments in healthcare education to bridge the theory/practice gap and improve patient safety. *Nurse Education Today*. 2018; 71: 7-9.
28. Ventola L. Virtual Reality in Pharmacy: Opportunities for Clinical, Research, and Educational Applications. *P& T Community*. 2019; 44 (5): 267-276.
29. Top 10 companies using VR and augmented reality to improve surgery Available at: <https://builtin.com/healthcare-technology/augmented-virtual-reality-surgery>. Accessed 05.03.2021.
30. Центр Компетенций Национальной технологической инициативы на базе ДВФУ по направлению «Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности». Доступно по: <https://www.dvfu.ru/nti/>. Ссылка активна на 03.12.2020. [Tsentr Kompetentsii Natsional'noi tekhnologicheskoi initsiativy na baze DVFU po napravleniyu «Neurotechnologies, technologies of virtual and augmented reality». Available at: <https://www.dvfu.ru/nti/>. Accessed 03.12.2020. (In Russ).]
31. International forum with full immersion in interactive technologies AR, VR, AL, 5 G. Available from: <https://avradays.com>. Accessed 05.03.2021.