

Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты

Ф. Ф. Дудырев, О. В. Максименкова

Дудырев Федор Феликсович кандидат исторических наук, директор Центра развития навыков и профессионального образования Института образования Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

E-mail: fdudyrev@hse.ru

Максименкова Ольга Вениаминовна

кандидат технических наук, младший научный сотрудник Международной научно-учебной лаборатории интеллектуальных систем и структурного анализа факультета компьютерных наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

E-mail: omaksimenkova@hse.ru

Адрес: 101000, Москва, ул. Мясницкая, 20.

Аннотация. В статье представлен обзор практик использования симуляторов и тренажеров для целей профессионального образования и профессионального обучения; про-

анализированы сложившиеся в профессиональной педагогике точки зрения и подходы к описанию симуляторов и тренажеров как инструмента формирования профессиональных навыков. Описаны симуляторы, применяемые в медицинском, техническом и педагогическом образовании; представлена общая типология моделей практико-ориентированной подготовки, охарактеризовано место симуляторов как особой обучающей среды. Данный обзор будет полезен при разработке и реализации мероприятий по направлению «Кадры и образование» программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (в части внедрения симуляторов в среднем профессиональном и высшем образовании).

Ключевые слова: профессиональное образование, профессиональное обучение, симуляторы, тренажеры, виртуальные симуляторы, обучающая среда.

DOI: 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276

Статья поступила в редакцию в январе 2020 г.

Статья подготовлена в ходе проведения работы в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) и с использованием средств субсидии в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Начиная с 50-х годов XX в. тренажеры и симуляторы являются важнейшим элементом профессиональной подготовки в таких областях, как транспорт, энергетика, военное дело. Эти устройства позволяют искусственно смоделировать, воссо-

здать ту жизненную и профессиональную реальность, в которой в дальнейшем предстоит действовать работнику. Симуляторы обеспечивают формирование профессиональных навыков в искусственно моделируемой среде. Заменяя собой реальный технологический процесс, производственную или жизненную ситуацию, они могут в существенной мере формировать и дополнять опыт обучающегося в его взаимодействии с внешним миром [Cannon-Bowers, Bowers, 2008].

Цель данной статьи — представить обзор сложившихся в российской и англоязычной литературе подходов и точек зрения по проблеме внедрения симуляторов и тренажеров в системе профессионального образования. Работы российских и зарубежных авторов, посвященные симуляционной подготовке, будут рассматриваться в контексте следующих исследовательских вопросов:

- каковы функциональные характеристики профессиональных симуляторов (*on-hands, job-place simulations*), какое место они занимают в ряду форм профессиональной подготовки, в чем их отличия как особой образовательной среды (*learning environments*);
- каков педагогический потенциал профессиональных симуляторов; насколько эффективно они обеспечивают формирование общих и профессиональных компетенций студентов;
- на каком технологическом фундаменте базируются современные профессиональные симуляторы; какие технологические решения, повышающие реалистичность моделируемых процессов, способствуют достижению образовательных целей?

Материалы и методы

При анализе русскоязычной литературы по проблематике тренажеров и симуляторов в профессиональном образовании использовались ресурсы научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU. Основу для анализа публикаций на английском языке составили базы данных *Science Direct*, *JSTORE* и *OECD iLibrary*. Хронологические рамки для поиска были ограничены периодом с 2000 г. по настоящее время.

Система поисковых запросов определялась ключевыми терминами и их комбинациями, характеризующими исследуемую область. Применительно к англоязычному ареалу был проведен поиск по словам *simulation-based learning, simulation-based training, hands-on simulations, virtual simulations, simulation — vocational education*. Для отбора публикаций на русском языке использовались термины «симуляторы», «тренажеры», «обучающие тренажеры», «профессиональные симуляторы», «тренажерно-обучающие системы», «компьютерные тренажеры»,

«интеллектуальные тренажеры», «симуляторы и тренажеры». Результатом проведенного поиска стали 453 публикации, в том числе 28 монографий, 74 главы в книгах, 12 библиографических обзоров, 10 технических стандартов и 329 рецензируемых научных статей.

Предметом последующего анализа становились лишь те исследования, в которых за понятием «симулятор» стояли следующие ключевые признаки: во-первых, на основе симулятора правдоподобно моделируется фрагмент жизненной (производственной) реальности; во-вторых, эта искусственная среда обеспечивает достижение образовательных целей, служит формированию у обучаемых интеллектуальных умений, профессиональных навыков и компетенций (в отличие от симуляционных систем, создаваемых для задач исследования и проектирования); в-третьих, такая система включает особые инструменты, за счет которых учащийся взаимодействует с этой реальностью и со своим преподавателем.

Дополнительно в процессе отбора публикаций использовались следующие критерии:

- наибольшее внимание уделялось комплексным материалам, в которых постановка теоретических вопросов дополнена характеристикой использования тренажеров и симуляторов в практике профессионального образования и обучения. Предметом особого интереса являлись примеры массового распространения симуляторов, случаи, когда симуляционная подготовка выступает неотъемлемой частью образовательных программ и рассматривается в качестве обязательного условия получения квалификации и доступа к рабочему месту (транспорт, медицина и др.);
- учитывая разнообразие симуляторов и их существенные различия, обусловленные особенностями сферы их применения, мы ограничились в данной статье анализом симуляторов, предназначенных для подготовки персонала в промышленности, на транспорте, а также в медицине и в системе образования. Работы, посвященные бизнес-симуляторам, а также симуляторам для подготовки финансистов и специалистов в области государственного управления, находятся вне рамок данного обзора;
- в случае, если автору или авторскому коллективу принадлежит несколько публикаций по теме, в рамках данной статьи делалась ссылка на наиболее поздние их публикации.

В русскоязычной литературе понятия «тренажер» и «симулятор» используются как синонимы. Производители технических систем для подготовки персонала не делают различий между

**Дискуссии
о тренажерах
и симуляторах:
многозначность
терминологии**

этим термином и употребляют их как равнозначные¹. Здесь сказывается влияние англоязычной традиции: тренажерные комплексы в авиации, инженерии, военном деле и других областях в англоязычной литературе именуются симуляторами (*simulator*), а соответствующая форма профессиональной подготовки определяется как «профессиональное обучение на основе симуляторов» (*simulation-based training*) [Bell, Kanar, Kozlowski, 2008].

Термин «тренажер» трактуется в русскоязычной литературе чрезвычайно широко и служит для описания разных по своему назначению обучающих систем. Под тренажерами понимаются не только средства формирования и закрепления профессиональных навыков, но и любые методики и средства обучения, тем или иным образом способствующие приобретению знаний и формированию когнитивных навыков. Тренажеры по обучению школьной математике², русскому и английскому языку³, тренажеры для подготовки к ЕГЭ⁴, тренажеры для студентов университетов, осваивающих высшую математику [Клыкков, Ельцов, Шатлов, 2006], сопротивление материалов [Соловов, Мишук, 2007] и спектральный анализ [Маврицина, 2000] — эти и им подобные обучающие системы используются для формирования у школьников и студентов устойчивых навыков при решении различных учебных задач. Таким образом, под наименованием тренажеров распространяются компьютерные задачки или практикумы, предназначенные для выработки умений и навыков решения типовых практических задач в данной предметной области, а также развития связанных с ними способностей [Башмаков, Башмаков, 2003].

Компьютерные тренажеры рассматриваются в качестве особой разновидности технических средств обучения — «специализированных технических средств, предназначенных для использования в образовательном процессе в целях повышения

¹ Тренажеры-симуляторы // Официальный сайт Корпорации «РосПолиТехСофт». <http://www.rpts.ru/ru/products/develop-ts.html>; Учебные тренажеры и симуляторы // Образовательный сайт для судостроителей DeckOfficer.ru. <https://deckofficer.ru/seasoft/category/trainers>

² Василяк И.Р. (2016) Правильно решаем, считаем, запоминаем: тесты, тренажеры, игры, веселые задания: рабочая тетрадь по математике. М.: Питер.

³ Голубь В.Т. (2015) Текстовые тренажеры. 3-й класс: практическое пособие для начальной школы. Воронеж: Метода; Прохорова Н.А., Глебова Е.В. (2017) ОГЭ. Английский язык. Устная часть. Письмо. 7–9-е классы. Тематические тренажеры с примерами ответов и аудио-приложением. М.: Планета.

⁴ Лаппо Л.Д., Попов М.А. (2018) ЕГЭ 2018. Экзаменационный тренажер, 20 экзаменационных вариантов. Математика, базовый и профильный уровни. М.: Учпедгиз. <https://nashol.com/2017111597469/ege-2018-ekzamenacionnii-trenajer-20-ekzamenacionnih-variantov-matematika-bazovii-i-profilnii-urovni-lappo-l-d-popov-m-a.html>

качества и эффективности обучения». Предназначенные для формирования учебных и практических навыков учащихся тренажеры занимают свое место в ряду технических средств обучения наряду с техническими средствами передачи информации, техническими средствами контроля знаний, техническими средствами обучения и самообучения, а также вспомогательными и комбинированными техническими средствами обучения. Их функциональное назначение, основные характеристики и правила подтверждения соответствия установлены в соответствующем национальном стандарте⁵.

Представленному выше подходу противостоит более узкое понимание тренажеров как устройств, связанных исключительно с задачами профессионального обучения персонала. Тренажер рассматривается в данном контексте как «техническое средство профессиональной подготовки человека-оператора для формирования и совершенствования профессиональных навыков и умений управления материальными объектами путем многократного выполнения обучаемым действий, свойственных управлению реальным объектом» [Дозорцев, 2009]. С помощью этого технического средства реализуются физическая и функциональная модель системы «человек — машина» и ее взаимодействие с предметом труда и внешней средой, обеспечивается постоянный контроль деятельности обучаемого для формирования и совершенствования у него профессиональных навыков и умений, необходимых для управления системой «человек — машина»⁶. В рамках данного подхода тренажер — это «автоматизированный аппаратно-программный функционально ориентированный комплекс для обучения человека и отработки определенных навыков и умений» [Трухин, 2008].

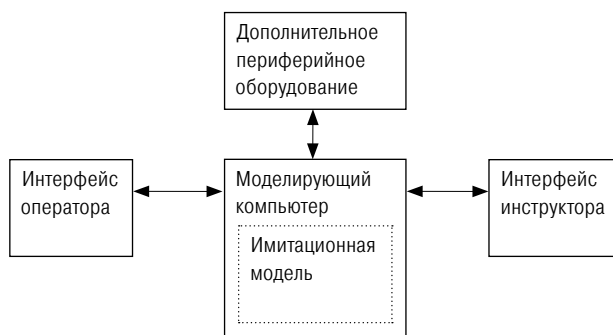
Тренажеры широко используются для формирования моторных навыков (вождение транспортных средств, медицинские манипуляции, стрельба и т. д.), применяются при обучении распознаванию образов (техническая и медицинская диагностика). Кроме того, эти обучающие системы эффективны в тех случаях, когда от исполнителя требуется выполнение безошибочных действий по алгоритму (например, действия авиационных диспетчеров или операторов электростанций). Значение симуляторов возрастает в тех случаях, когда требуется подготовить персонал к нештатным и аварийным ситуациям при управлении сложными техническими объектами и системами (пилоты самолетов,

Тренажеры для операторов сложных технических систем

⁵ ГОСТ Р 53626–2009. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Технические средства обучения. М.: Стандартинформ, 2010. <http://docs.cntd.ru/document/1200080386>

⁶ ГОСТ 26387–84. Система «человек — машина». Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2005. <http://docs.cntd.ru/document/1200009516>

Рис. 1. Структура тренажера



судоводители, операторы атомных станций, бурильных установок, паровых турбин, химических производств и т. п.).

Когда выполнение профессиональных задач связано с повседневным риском для жизни исполнителей (например, военнослужащие), тренажерная практика становится ключевой составляющей обучения, и от ее эффективности напрямую зависит выживаемость личного состава в условиях боевых действий. Именно поэтому боевая подготовка всех родов войск в современной армии предполагает использование огромного количества специализированных военных симуляторов и тренажерных комплексов (самолетных, вертолетных, инженерных, космических тренажеров, тренажеров глубоководных аппаратов, тренажеров стрелкового вооружения, бронетанкового вооружения и техники, противотанкового вооружения и артиллерии, тренажеров средств радиоэлектронной борьбы и т. д.) [Сердюков, 2009].

Любой тренажер, независимо от его сложности и особенностей имитируемой системы деятельности, рассматривается как двухконтурная система переработки информации. Внутренний контур обеспечивает моделирование и воспроизведение условий и факторов, аналогичных тем, которые имеют место в процессе работы оператора при управлении реальным объектом. Внешний контур образует система контроля и управления как тренировкой, так и всем процессом подготовки оператора [Шукшунов, 2005]. Все современные тренажерные комплексы для подготовки персонала в тех или иных областях деятельности разрабатываются и используются именно в этой парадигме.

Общее устройство профессионального тренажера представлено на рис. 1.

Основными структурными элементами тренажера являются:

- *моделирующий компьютер*, связанный с интерфейсом оператора через систему ввода-вывода, а также *имитацион-*

ная модель, описывающая реальные объекты и системы деятельности, которые имитируются в процессе обучения на тренажере. Эта модель обеспечивает искусственное воспроизведение условий и факторов, аналогичных тем, которые имеют место в процессе работы оператора по управлению реальным объектом [Болелов, Прохоров, Прокофьев, 2018]. Тренажер при этом имитирует не только деятельность технических объектов и систем, но и внешнюю среду их функционирования. Кроме того, он воспроизводит все то, что оператор при этом видит и ощущает;

- *интерфейс оператора*, позволяющий обучающемуся манипулировать органами управления технической системой так, как это происходит в реальном производственном процессе. Деятельность оператора, включая его действия в нештатных и аварийных ситуациях, детально регламентирована. Качество этой деятельности определяется в терминах работоспособности, надежности, напряженности, ошибочности⁷;
- *интерфейс инструктора*, с помощью которого инструктор выбирает сценарий тренинга и начальное состояние моделируемого процесса, изменяет его параметры либо варьирует условия внешней среды, задает критические и аварийные ситуации и т. д. На основе данных о действиях обучаемых наставник анализирует результаты прошедшей тренировки, разбирает совершенные курсантами ошибки, варьирует темп выполнения заданий и уровень их сложности;
- *дополнительное периферийное оборудование*, в частности приборные панели и другие устройства, необходимые для повышения реалистичности моделируемого рабочего места.

Названные выше формы тренажерной подготовки в России и в мире сложились в 50–90-х годах XX в. как часть системы непрерывного образования. Они обеспечивали в первую очередь формирование и развитие навыков взрослых работников и не были рассчитаны на студентов колледжей и университетов. Симуляторы и тренажеры гораздо чаще размещались в корпоративных центрах подготовки, чем в образовательных организациях. Использование тренажеров прежде всего для переподготовки и совершенствования навыков квалифицированных специалистов было обусловлено следующими свойствами тренажерной подготовки:

- *ориентация на формирование навыков высокого порядка*: производственные ситуации, которые имитируются в про-

⁷ ГОСТ 26387–84. Система «человек — машина». Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2005. <http://docs.cntd.ru/document/1200009516>

цессе подготовки на тренажере, как правило, носят сложный, комплексный характер, поэтому наличие у работника предшествующего профессионального опыта и квалификации может выступать условием его допуска к занятиям на тренажере (например, тренажеры для подготовки космонавтов). Студенты колледжей и вузов, даже имеющие опыт производственной практики, не соответствуют этим входным требованиям;

- *узкая направленность профессионального тренинга*: тренажеры обычно обеспечивают подготовку для занятия определенного рабочего места, поэтому они не соответствуют задаче профессиональных образовательных организаций — осуществить первоначальное введение в профессиональную деятельность;
- *затратность*: разработка симуляторов, особенно комплексных, имитирующих деятельность сложных человеко-машинных систем, требует значительных инвестиций. Их ориентация на узкий круг пользователей повышает стоимость тренажерной подготовки. Для колледжей и университетов такие обучающие системы чаще всего недоступны.

**«Нашествие симуляторов»:
кейс
медицинского образования**

Одной из первых областей профессиональной деятельности, в которых было обеспечено массовое применение симуляторов в образовательных организациях, стала медицина. Симуляция в медицинском образовании рассматривается как «технология обучения и оценки практических навыков, умений и знаний, основанная на реалистичном моделировании, имитации клинической ситуации или отдельно взятой физиологической системы, для чего могут использоваться биологические, механические, электронные и виртуальные (компьютерные) модели» [Свистунов, 2013]. Использование симуляторов во врачебном деле не является чем-то новым: истоки этой традиции восходят к середине XVIII в. Но лавинообразное их распространение происходит именно на последние десятилетия.

Сегодня в клиниках университетов и медицинских учебных центрах по всему миру используются сотни различных симуляторов, их функциональные возможности постоянно расширяются. Одновременно предпринимаются попытки типологизации этих обучающих систем [Alinier, 2007; Qayumi et al., 2014; Silva et al., 2017]. При всем разнообразии подходов к упорядочению этого множества в основе всех предлагаемых типологий лежат, во-первых, педагогические возможности симуляторов (те знания, навыки и практический опыт, которые приобретают стажеры в результате обучения); во-вторых, те объекты (физиологические системы и системы профессиональной деятельности), которые моделируются с помощью медицинских симуляторов; в-третьих, технологические решения, на основе которых реаль-

ная медицинская практика замещается и воссоздается в симуляторах в виде ее материальных и цифровых «двойников».

Наиболее многочисленную группу медицинских симуляторов составляют механические тренажеры (*part-task simulator*) — трехмерные модели (муляжи) и манипуляционные тренажеры. Выполненные из пластика, металла, силикона и других современных материалов, они обеспечивают отработку моторных навыков при выполнении разнообразных медицинских манипуляций (инъекции, пункции, катетеризации и т. д.). Симуляторы этого класса достоверно воспроизводят анатомические структуры, а также тактильные характеристики отдельных органов. Выполняя манипуляцию на таком тренажере, будущий врач чувствует сопротивление тканей в ответ на приложенное усилие. Эти устройства широко используются как при подготовке медицинских сестер [Палевская, Тактаров, 2015], так и для отработки мануальных навыков у врачей (например, выполнение узлов хирургами) [Абзалиев и др., 2018; Мартынова и др., 2018].

Еще одно семейство медицинских симуляторов составляют *механические манекены и фантомы* — полноростовые модели человека или модели отдельных органов, с помощью которых отрабатываются навыки ухода за больными, отдельные врачебные манипуляции, алгоритмы транспортировки, оказания неотложной помощи и т. д. Эти средства обучения обладают характеристиками реактивности: электронные контроллеры, установленные внутри, обеспечивают обратную связь и оценивают точность действий обучаемых. С помощью фантомов и манекенов формируются сложные, комплексные практические навыки и умения. За счет встроенной функции оценки постоянное присутствие инструктора в ходе учебного процесса не требуется [Пыщева и др., 2016].

Более широкие возможности для обучения медицинских работников предоставляют *компьютеризированные манекены*, которые воспроизводят физиологические процессы в основных системах человеческого организма. Так, манекен недоношенного ребенка имеет реалистичные дыхательные пути, сердце, легкие и костно-мышечную систему. У него меняется цвет кожных покровов в зависимости от предварительно выбранного состояния⁸. Проводя тренинг с манекеном, студенты-медики собирают информацию (сенсорные умения), проводят ее анализ и ставят диагноз (когнитивные навыки). Затем выполняются лечебные мероприятия, соответствующие данному диагнозу (моторика), собирается вторичная информация и анализируется

⁸ Манекен недоношенного новорожденного с компьютеризированным неонатальным монитором для оказания неотложной медицинской помощи // Официальный сайт компании Maximed. <https://maximed.su/catalog/?product=10443>

эффективность проведенного лечения, при необходимости выбранная тактика лечения корректируется. Таким образом, решаемые на компьютеризированном симуляторе учебные задачи приобретают комплексный характер, они требуют взаимосвязанного использования сенсорных и моторных навыков, формируют сложные технические и интеллектуальные навыки и умения, востребуют навыки коммуникации и командной работы.

Отдельное направление симуляционной подготовки в медицине связано с использованием так называемых *виртуальных симуляторов*. Они адресованы специалистам различных медицинских направлений и используются для отработки хирургических вмешательств, для тренинга бригад скорой помощи, для формирования профессиональных навыков в гинекологии, стоматологии и т. д. Виртуальный симулятор имитирует физические и функциональные характеристики человеческого организма в обычной и экстремальной обстановке. При этом изображения отдельных органов и систем организма выводятся на экран монитора. В распоряжении обучаемого имеется все необходимое, например эндоскоп, катетеры, хирургические инструменты. Действия, которые стажер совершает скальпелем, проецируются на органы виртуального больного, и компьютерная программа в режиме реального времени воссоздает ход операции и реакцию органов и тканей на проводимые манипуляции. В результате неправильных движений обучаемого в ходе выполнения упражнения имитируются их негативные последствия (кровотечение, разрыв и т. п.). Одним из широко известных примеров такого рода является симулятор для эндохирургии *SEP SimSurgery* [Buzink et al., 2010].

Таким образом, виртуальный симулятор дает возможность провести репетицию готовящейся операции и отработать оптимальный алгоритм действий каждого участника. Он позволяет увидеть и проанализировать допущенные ошибки, варьировать степень сложности выполняемых операций. Активная реакция обучающей системы подразумевает не только отклик виртуальных тканей на действия обучаемого, но и объективную оценку этих действий, что позволяет использовать виртуальные симуляторы для аттестации медицинского персонала [Ключко и др., 2016].

Поколение медицинских симуляторов высокого уровня реалистичности представлено *роботами* — *симуляторами пациента* (*hi-fidelity manikin/patient simulator*). Такие симуляторы правдоподобно передают анатомическое строение человеческого тела, их поверхность по своему внешнему виду и фактуре напоминает кожу. Эти системы реалистично имитируют физиологические реакции пациента в ответ на проводимое лечение (манипуляции и введение медикаментов). Используемые при их создании математические модели описывают не только стати-

ческие состояния, но и многофакторные изменения, происходящие в организме по мере развития патологии, в ходе проведения реанимационных мероприятий, при коррекции состояния больного фармакологическими препаратами. За счет этого реакция робота на врачебные действия и введенные лекарственные вещества в точности повторяет человеческую. Так, манекен-тренажер *SimMan 3G* компании *Laerdal* имитирует реакции и поведение человека при несчастных случаях, травмах и катастрофах, он может распознать более 100 лекарственных препаратов и воссоздать реакции на них организма⁹.

Для диагностики и лечения робота-симулятора используется стандартная медицинская аппаратура. Изменения его физиологического статуса рассчитываются программой автоматически и не требуют контроля со стороны инструктора. Учебный процесс с использованием роботов-симуляторов предполагает отработку действий медицинской бригады в определенной клинической ситуации. Моделируемый сценарий включает описание места действия и состояния пациента, необходимое оборудование и медикаменты. При этом обучаемые должны отработать комплексные действия, сочетающие клиническое мышление с разнообразными практическими навыками (искусственное дыхание, аускультация, инъекции, дефибрилляция, измерение артериального давления и т. п.).

Интеграция взаимодействующих друг с другом симуляторов и медицинских аппаратов происходит на основе *интегрированной симуляционной платформы (гибридной операционной)*. Данный комплекс обеспечивает взаимодействие нескольких виртуальных моделей с медицинской аппаратурой и внешней средой. На симуляторе отрабатываются технические навыки и командное взаимодействие с другими членами медицинской бригады, происходящее в сложной реалистичной обстановке — в шоковой комнате приемного покоя, санитарном вертолете и проч. [Кубышкин и др., 2016].

Какие факторы способствовали быстрому распространению медицинских симуляторов?

Современные стандарты оказания медицинской помощи затруднили доступ к реальным пациентам для не имеющих практического опыта студентов медицинских вузов и колледжей. Соответственно вырос спрос на «синтетические» учебные среды, в которых молодые медики могут компенсировать недостаток практических навыков. Медицинское сообщество с энтузиазмом восприняло идею симуляторов и обеспечило широкое их использование в повседневной практике подготовки врачей, фармакологов и сестринского персонала. Сегодня многочис-

⁹ Stevens S. Smart Hospital announces its newest patient: SimMan 3G. <https://www.uta.edu/news/releases/2009/07/new-mannequin-arrives.php>

ленные организации (*Society in Europe for Simulation Applied to Medicine, Society for Simulation in Healthcare* и др.) активно продвигают лучшие практики использования симуляторов для медицинского образования.

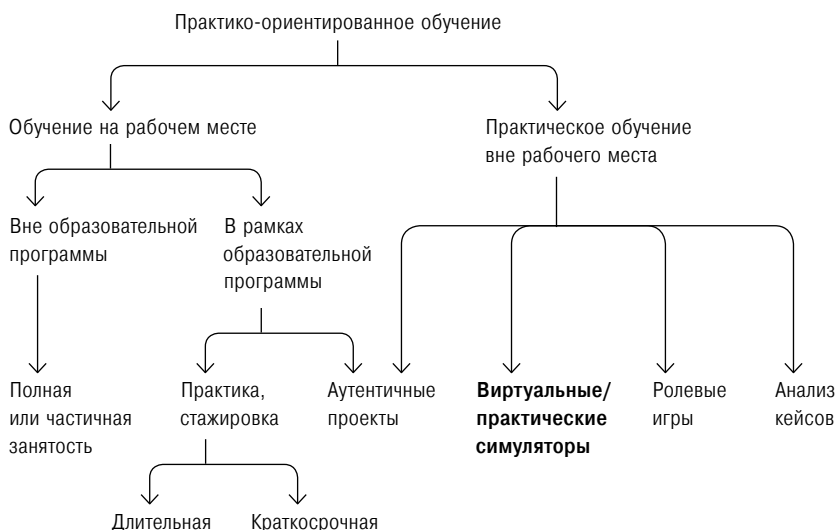
**Профессиональ-
ные симуляторы:
новые педагоги-
ческие
возможности**

Как показывает практика медицинского образования, в начале XXI в. возникли предпосылки для более широкого применения симуляторов и тренажеров в профессиональном обучении. Одним из важных факторов, определяющих распространенность этих систем, стало широкое использование мультимедийных технологий, которые сделали тренажерные комплексы более доступными. Еще одной предпосылкой массового распространения данных систем стало переосмысление тех педагогических возможностей, которые предоставляют симуляторы, в сравнении с более традиционными формами профессионального обучения.

В предшествующий период симуляторы использовались лишь в узком, элитарном сегменте профессиональной подготовки — для обучения специалистов, чья работа связана с риском для жизни и с обеспечением безопасности сложных технических систем. В основной массе профессий и специальностей молодой работник, придя на свое рабочее место, не проходил сложно организованного тренинга, осуществляемого в «искусственной реальности». Ученик приступал к работе, действуя под началом опытного наставника. Рабочее место часто оказывается наилучшей средой для формирования профессиональных навыков. Обучение на рабочем месте (*work-based learning*) предполагает полное погружение в производственный процесс или сопровождается одновременным изучением теоретических дисциплин в колледже [Kis, 2016]. В основе этих программ могут лежать разные модели практического обучения: дуальное обучение, ученичество и т. д. [Mühlemann, 2016]. Они обеспечивают быстрое освоение новичком профессиональных навыков и при условии рациональной организации не ведут к существенно увеличению расходов на организацию практики со стороны предприятий [Kis, 2017; Kuczera, 2017a; 2017b].

Непосредственное включение студентов в производственный процесс — не единственная форма организации практического обучения. Для формирования профессиональных навыков могут создаваться различные обучающие среды. Понятие обучающей среды (*learning environment*) включает характеристику средств обучения, которые используются в учебном процессе: учебники, пособия, макеты, реальные или виртуальные приборы, стенды, станки, оборудование и т. д. Важными составляющими данного понятия являются характер взаимодействия мастера и ученика, а также стилистика учения-обучения (*learning styles*) [Boström, 2013; Toth, 2012]. Кроме того, обучающую сре-

Рис. 2. **Формы практико-ориентированного обучения**



ду определяет тот производственный и социальный контекст, в котором происходит обучение: рабочее место на предприятии, учебный центр, образовательная организация и т. д. [Goodyear, 2001; CEDEFOP, 2015]. Два практиканта-операциониста, выполняющие кассовые операции, могут решать одни и те же профессиональные задачи. Но если один из них делает свою работу, взаимодействуя с реальными клиентами, а другой — обслуживая посетителей учебного виртуального банка, их обучающие среды будут различаться по уровню реалистичности решаемых практикантами задач и по характеру производственного окружения, в котором они находятся.

Использование в профессиональном обучении современных образовательных технологий способствовало более широкому распространению моделей практического обучения, искусственно воспроизводящих, имитирующих условия будущей профессиональной деятельности и предполагающих выполнение студентами упражнений в «околопроизводственной» (*near-work*) реальности [Hertel, Millis, 2002]. Важное место в ряду форм практико-ориентированного обучения (типология представлена в: [Khaled et al., 2014]) занимают симуляторы (рис. 2).

Профессиональные симуляторы — яркий пример «гибридной» обучающей среды в профессиональном образовании [Zitter et al., 2011]. Характер процесса обучения на симуляторе близок к обучению на рабочем месте, в то же время обучающая среда является искусственно сконструированной [Zitter, Hovee, 2012]. Так, прежде чем приступить к проведению занятий в шко-

ле, студенты-педагоги в США сначала разбирают типичные педагогические ситуации (кейсы), затем разыгрывают фрагменты уроков, попеременно выступая в роли учителя и учеников. Кроме того, они проходят тренинг на симуляторе *TeachLivE*, который моделирует проведение школьного занятия. Находясь перед монитором, практикант взаимодействует с виртуальным классом: объясняет новый материал, задает вопросы, выставляет оценки. Перенос студента в виртуальный класс, симулятор дает возможность увидеть и оценить, как тот распределяет свое внимание, насколько учитывает индивидуальные особенности виртуальных студентов, как контролирует время и т. д. [Chini, Straub, Thomas, 2016].

Использование симуляторов открывает ряд дополнительных возможностей, которые недоступны в условиях традиционной производственной практики на рабочем месте. Инструктор может замедлить темп решения производственной задачи на симуляторе либо даже остановить ее выполнение, организовав обсуждение хода ее решения и возможных сценариев действий участников. Обучение на симуляторе позволяет изменять параметры учебных ситуаций, обеспечивая целенаправленную отработку отдельных навыков с учетом особенностей обучающихся. Обучающая система фиксирует все происходящее во время занятия и накапливает данные о действиях обучаемых, предоставляет богатый материал для последующего анализа и оценки образовательных результатов [Mislevy, 2011].

Заключение Проведенный анализ показывает, что симуляторы находят все более широкое применение в профессиональном образовании. Представители разных отраслей экономики сходятся во мнении, что системы, в которых искусственно моделируется профессиональная деятельность, могут быть чрезвычайно эффективны для обучения студентов старших курсов и молодых сотрудников, только начинающих свою карьеру. Еще не имея доступа к реальному производственному процессу, они приобретают бесценный опыт, взаимодействуя с макетами и «цифровыми двойниками» сложных агрегатов, машин и систем управления. Использование симуляторов рассматривается в ряду других форм активного и интерактивного обучения как инструмент, способствующий повышению качества профессионального образования и профессионального обучения.

Современные ИТ-решения повышают образовательный потенциал симуляторов, позволяя все более точно воспроизводить те условия, в которых впоследствии предстоит действовать обучающимся. Однако расширение технологических возможностей само по себе не гарантирует массового внедрения данных систем в образовательных организациях. В чем состоят функции

симуляторов для массового профессионального образования, в каких случаях их использование эффективно с педагогической точки зрения и одновременно оправдано экономически — эти вопросы по-прежнему остаются открытыми и снова и снова встают на повестку дня, когда симуляторы проникают в новые профессиональные области. Эффективность их применения поначалу не выглядит очевидной и всякий раз требует специального обоснования. Так случилось, например, со сварочными симуляторами. Обучающие системы, разработанные *Lincoln Electric* и другими мировыми производителями сварочного оборудования, до сих пор скептически воспринимаются экспертами в области подготовки сварщиков. Результативность использования симуляторов в этом сегменте профессионального обучения требует дополнительных исследований [Stone, Watts, Zhong, 2011].

Широкое внедрение симуляторов невозможно без уточнения тех оснований, на которых строится дидактика профессионального образования. Как подчеркивают А. Халед и ее коллеги, «те задачи, для решения которых симуляторы используются в профессиональном образовании, не до конца прояснены. Педагогические подходы к использованию симуляторов плохо концептуализированы с точки зрения теории обучения. Все это не позволяет определить те эффекты, которые может дать использование симуляторов в рамках современного учебного плана» [Khaled et al., 2014. P. 2].

При обсуждении дальнейших перспектив образовательных симуляторов необходимо более точно определить те контексты, в которых их проектирование и использование осмысленно с образовательной точки зрения. Вопросы о задачах, решаемых на основе симуляторов, о результатах и эффектах, порождаемых симуляционной подготовкой, предполагают более широкий горизонт рассмотрения. Поиск ответа на эти вопросы требует анализа тех педагогических концепций, в рамках которых симуляторы выполняют свои функции.

Традиционная модель подготовки с использованием симуляторов сформировалась в русле концепции Д. Дьюи. Она обеспечивала формирование у обучаемых профессиональных навыков, необходимых для занятия определенного рабочего места. Ведущими методическими принципами при организации профессионального обучения на основе симуляторов выступали обучение в процессе деятельности (*learning by doing*), а также получение обратной связи от инструктора (*learning from feedback*). Действия обучаемого детально регламентировались; задача «вхождения в деятельность» трактовалась как освоение набора трудовых действий и алгоритмов принятия решений, обеспечивающих работу машины или функционирование сложной технической системы. Роль инструктора в процессе тренинга была доминирующей. Данный подход к проектированию и использо-

ванию симуляторов как инструмента практической подготовки сохраняет свою актуальность и остается господствующим в отношении тех видов профессиональной деятельности, которые связаны с повышенной опасностью для персонала и необходимостью обеспечения технологической безопасности.

В последнее десятилетие развитие систем подготовки, построенных на симуляторах, получило совершенно другое направление. Функциональные возможности симуляторов оцениваются исследователями США, Западной Европы и Китая в понятиях конструктивистской педагогики. В рамках данной концепции знание не столько передается студенту преподавателем, сколько создается, конструируется им самим в процессе обучения. Важнейшим условием эффективности такого обучения является самостоятельность студента и его активность, способность организовать собственную деятельность (*self-directed learning*), навыки осознанного и ответственного решения профессиональных задач.

Со сменой концептуальной рамки, в которой рассматривается процесс профессионального образования и обучения, изменяются и функциональные требования к обучающим симуляторам. Профессиональный симулятор рассматривается теперь как инструмент, предоставляющий ученику высокую степень свободы, допускающий совершение проб и ошибок и создающий на этой основе возможности для профессиональной идентификации. Одновременно меняются и представления об аутентичности, подлинности симуляторов: главным становится не реалистичность воспроизведения той материальной среды, в которой предстоит действовать ученику, а структура профессиональной деятельности и те производственные задачи, которые ему предстоит решать на протяжении профессиональной карьеры.

Как показывает сделанный обзор, чтобы по-настоящему широко интегрировать симуляторы в практику профессионального образования и сделать их использование действительно эффективным, потребуется решение целого комплекса сопутствующих психолого-педагогических, дидактических и организационно-технологических проблем. Постановка и решение этих проблем находятся на фронтире современной цифровой педагогики.

Литература

1. Абзалиев К. Б., Данияров Н. Б., Сайдалинов Д. М. и др. (2018) Сроки формирования навыков у хирургов по вязанию узлов // Виртуальные технологии в медицине. № 2 (20). С. 21–22.
2. Башмаков А. И., Башмаков И. А. (2003) Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Филинь.
3. Болелов Э. А., Прохоров А. В., Прокофьев И. О. (2018) Авиационные тренажеры: учеб. пособие. М.: Изд. дом Академии Жуковского.
4. Дозорцев В. М. (2009) Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: СИНТЕГ.

5. Клыков В. В., Ельцов А. А., Шатлов К. Г. (2006) Интерактивные компьютерные тренажеры по интегральному исчислению и дифференциальным уравнениям // Известия Томского политехнического университета. Технический инжиниринг. Т. 309. № 2. С. 255–260.
6. Ключко В. И., Кушнир Н. В., Матяж А. С., Жуков В. А. (2016) Технологии виртуальной реальности: современные симуляторы и их применение в медицине // Научные труды КубГТУ. № 15. С. 94–104.
7. Кубышкин В. А., Свистунов А. А., Горшков М. Д., Балкизов З. З. (2016) Специалист медицинского симуляционного обучения. М.: РОСОМЕД. <https://rosomed.ru/documents/spetsialist-meditsinskogo-simulyatsionnogo-obucheniya-uchebnoe-posobie>
8. Маврицина Т. П. (2000) Обучающие тренажеры. М.: МЭИ.
9. Мартынова Н. А., Кузьмин А. Г., Аликберова М. Н., Лозовицкий Д. В. (2018) Медицинские тренажеры как базис для отработки хирургических навыков // Здоровье и образование в XXI веке. № 1. С. 108–113.
10. Палевская С. А., Тактаров В. Г. (2015) Современные симуляторы и тренажеры для подготовки медицинской сестры // Материалы IV съезда РОСОМЕД (Москва, 1–2 октября 2015 г.). <https://rosomed.ru/theses/158>
11. Пыщева Л. В., Угнич К. А., Щукин Ю. В., Соловьев В. Ю. (2016) Анализ симуляционного обучения студентов навыкам сердечно-легочной реанимации на манекене — имитаторе пациента // V съезд РОСОМЕД (Москва, 29–30 сентября 2016 г.). <https://rosomed.ru/theses/359>
12. Свистунов А. А. (ред.) (2013) Симуляционное обучение в медицине. М.: МГМУ имени И. М. Сеченова.
13. Соловов А. В., Мищук В. Т. (2007) Интеллектуальные тренажеры и виртуальные лаборатории: учеб. пособие. Самара: СГАУ.
14. Сердюков А. (ред.) (2009) Тренажеры и технические средства обучения. М.: Оружие и технологии.
15. Трухин А. В. (2008) Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем // Открытое и дистанционное образование. № 1. С. 32–39.
16. Шукшунов В. Е. (2005) Тренажерные комплексы и тренажеры: технологии разработки и опыт эксплуатации. М.: Машиностроение.
17. Alinier G. (2007) A Typology of Educationally Focused Medical Simulation Tools // Medical Teacher. Vol. 29. No 8. P. 243–250. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01421590701551185>
18. Bell B. S., Kanar A. M., Kozlowski S. W. J. (2008) Current Issues and Future Directions in Simulation-Based Training. CAHRS Working Paper no 492. Ithaca, NY: Cornell University. <http://digitalcommons.ilr.cornell.edu/cahrswp/492>
19. Boström L. (2013) How Do Students in Vocational Programs Learn? A Study of Similarities and Differences in Learning Strategies // International Journal of Sciences. Vol. 2. August. P. 44–56.
20. Buzink S., Goosens R., de Ridder H., Jakimowicz J. (2010) Training of Basic Laparoscopy Skills on SimSurgery SEP // Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies. Vol. 19. Iss. 1. P. 35–41.
21. Cannon-Bowers J. A., Bowers C. A. (2008) Synthetic Learning Environments // J. M. Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, M. P. Driscoll (eds) Handbook of Research on Educational Communications and Technology. Mahwah: Lawrence Erlbaum. P. 317–327. https://www.researchgate.net/publication/268371527_Synthetic_Learning_Environments
22. CEDEFOP (2015) Vocational Pedagogies and Benefits for Learners: Practices and Challenges in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://www.cedefop.europa.eu/files/5547_en.pdf
23. Chini J., Straub C. L., Thomas K. (2016) Learning from Avatars: Learning Assistants Practice Physics Pedagogy in a Classroom Simulator // Physi-

- cal Review Physics Education Research. Vol. 12. Iss. 1. Art. No 10117. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010117>
24. Goodyear P. (2001) Effective Networked Learning in Higher Education: Notes and Guidelines. Final Report to Networked Learning in Higher Education Project (JCALT). https://www.academia.edu/314168/Effective_networked_learning_in_higher_education_notes_and_guidelines
 25. Hertel J., Millis B. (2002) Using Simulations to Promote Learning in Higher Education: An Introduction. Sterling, VA: Stylus.
 26. Khaled A., Gulikers J., Biemans H., van der Wel M., Mulder M. (2014) Characteristics of Hands-On Simulations with Added Value for Innovative Secondary and Higher Vocational Education // Journal of Vocational Education & Training. Vol. 66. Iss. 4. P. 462–490. <http://dx.doi.org/10.1080/13636820.2014.917696>
 27. Kis V. (2017) Work-based Learning for Youth at Risk: Getting Employers on Board. OECD Education Working Papers No 150. Paris: OECD. <https://dx.doi.org/10.1787/5e122a91-en>
 28. Kis V. (2016) Work, Train, Win: Work-Based Learning Design and Management for Productivity Gains. OECD Education Working Papers No 135. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz6rbnsg1-en>
 29. Kuczera M. (2017a) Incentives for Apprenticeship. OECD Education Working Papers no 152. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/55bb556d-en>
 30. Kuczera M. (2017b) Striking the Right Balance: Costs and Benefits of Apprenticeship. OECD Education Working Papers No 153. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/995fff01-en>
 31. Mislevy R. J. (2011) Evidence-Centered Design for Simulation-Based Assessment. CRESST Report 800. Los Angeles, CA: University of California, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST). <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED522835.pdf>
 32. Mühleemann S. (2016) The Cost and Benefits of Work-based Learning. OECD Education Working Papers No 143. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlpl4s6g0zv-en>
 33. Qayumi K., Pachev G., Zheng B. et al. (2014) Status of Simulation in Health Care Education: An International Survey // Advances in Medical Education and Practice. Vol. 5. November. P. 457–467. <https://www.dovepress.com/status-of-simulation-in-health-care-education-an-international-survey-peer-reviewed-fulltext-article-AMEP>
 34. Silva F. A., Medeiros S., Costa R., de Araújo M. (2017) Types, Purposes and Simulation of Contributions in Vocational Training in Health: Narrative Review // International Archives of Medicine. Vol. 10. No 3. <http://imedicalsociety.org/ojs/index.php/iam/article/view/2258>
 35. Stone R., Watts K., Zhong P. (2011) Virtual Reality Integrated Weld Training. A Scientific Evaluation of Training Potential, Cost Effectiveness and Implication for Effective Team Learning. Ames, Iowa: Iowa State University. <https://yandex.ru/search/?text=Virtual%20Reality%20Integrated%20Weld%20Training&lr=10758&clid=2139456>
 36. Toth P. (2012) Learning Strategies and Styles in Vocational Education // Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 9. No 3. P. 195–216.
 37. Zitter I., de Bruijn E., Simons P. R. J., Ten Cate T. J. (2011) Adding a Design Perspective to Study Learning Environments in Current Higher Education // Higher Education. Vol. 61. No 4. P. 371–386.
 38. Zitter I., Hoeve A. (2012) Hybrid Learning Environments: Merging Learning and Work Processes to Facilitate Knowledge Integration and Transitions. OECD Education Working Paper No 81. <http://dx.doi.org/10.1787/5k97785xwdfv-en>

Training Simulators in Vocational Education: Pedagogical and Technological Aspects

Fedor Dudyrev

Candidate of Sciences in History, Director of the Center for Vocational Education and Skills Development, Institute of Education, National Research University Higher School of Economics.
E-mail: fdudyrev@hse.ru

Authors

Olga Maksimenkova

Candidate of Sciences in Information Systems and Processes, Junior Researcher, International Laboratory for Intelligent Systems and Structural Analysis, Faculty of Computer Science, National Research University Higher School of Economics.
E-mail: omaksimenkova@hse.ru

Address: 20 Myasnitckaya Str., 101000 Moscow, Russian Federation.

This article provides a review of literature on using training simulators in vocational education and training and explores the vocational pedagogy approaches to describing training simulators as a tool for vocational skill development. We examine simulators applied in medical, engineering and teacher training education, present a general taxonomy of practice-oriented training models, and analyze the role of simulators as specific learning media. This review can be useful for developing and implementing initiatives within the Human Resources and Education component of the Digital Economy National Program (in particular, integrating simulators in vocational and higher education).

Abstract

training simulators in vocational education and training, virtual simulations, learning environment.

Keywords

- Abzaliev K., Daniyarov N., Saidalin D. et al. (2018) Sroki formirovaniya navykov u khirurgov po vyazaniyu uzlov [The Length of Training for Surgeons to Acquire the Skills of Making Surgical Knots]. *Virtual Simulators in Medicine*, no 2 (20), pp. 21–22.
- Alinier G. (2007) A Typology of Educationally Focused Medical Simulation Tools. *Medical Teacher*, vol. 29, no 8, pp. 243–250. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01421590701551185> (accessed 30 June 2020).
- Bashmakov A., Bashmakov I. (2003) *Razrabotka kompyuternykh uchebnikov i obuchayushchikh sistem* [Development of Electronic Textbooks and Training Systems]. Moscow: Filin.
- Bell B. S., Kanar A. M., Kozlowski S. W. J. (2008) *Current Issues and Future Directions in Simulation-Based Training*. CAHRS Working Paper no 492. Ithaca, NY: Cornell University. Available at: <http://digitalcommons.ilr.cornell.edu/cahrswp/492> (accessed 30 June 2020).
- Bolelov E., Prokhorov A., Prokofiev I. (2018) *Aviatsionnye trenazhery: uchebnoe posobie* [Aviation Simulators: Study Guide]. Moscow: Akademiya Zhukovskogo.
- Boström L. (2013) How Do Students in Vocational Programs Learn? A Study of Similarities and Differences in Learning Strategies. *International Journal of Sciences*, vol. 2, August, pp. 44–56.

References

- Buzink S., Goosens R., de Ridder H., Jakimowicz J. (2010) Training of Basic Laparoscopy Skills on SimSurgery SEP. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, vol. 19, iss. 1, pp. 35–41.
- Cannon-Bowers J.A., Bowers C. A. (2008) Synthetic Learning Environments. *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (eds J. M. Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, M.P Driscoll), Mahwah: Lawrence Erlbaum, pp. 317–327. Available at: https://www.researchgate.net/publication/268371527_Synthetic_Learning_Environments (accessed 30 June 2020).
- CEDEFOP (2015) *Vocational Pedagogies and Benefits for Learners: Practices and Challenges in Europe*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available at: https://www.cedefop.europa.eu/files/5547_en.pdf (accessed 30 June 2020).
- Chini J., Straub C. L., Thomas K. (2016) Learning from Avatars: Learning Assistants Practice Physics Pedagogy in a Classroom Simulator. *Physical Review Physics Education Research*, vol. 12, iss. 1, art. no 10117. Available at: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010117> (accessed 30 June 2020).
- Dozortsev V. M. (2009) *Kompyuternye trenazhery dlya obucheniya operatorov tekhnologicheskikh processov* [Computer Simulators for Training of Operators of Technological Processes]. Moscow: SINTEG.
- Goodyear P. (2001) *Effective Networked Learning in Higher Education: Notes and Guidelines. Final Report to Networked Learning in Higher Education Project (JCALT)*. Available at: https://www.academia.edu/314168/Effective_networked_learning_in_higher_education_notes_and_guidelines (accessed 30 June 2020).
- Hertel J., Millis B. (2002) *Using Simulations to Promote Learning in Higher Education: An Introduction*. Sterling, VA: Stylus.
- Khaled A., Gulikers J., Biemans H., van der Wel M., Mulder M. (2014) Characteristics of Hands-On Simulations with Added Value for Innovative Secondary and Higher Vocational Education. *Journal of Vocational Education & Training*, vol. 66, iss. 4, pp. 462–490. <http://dx.doi.org/10.1080/13636820.2014.91769618>.
- Kis V. (2017) Work-Based Learning for Youth at Risk: Getting Employers on Board. OECD Education Working Papers no 150. Paris: OECD. <https://dx.doi.org/10.1787/5e122a91-en>
- Kis V. (2016) *Work, Train, Win: Work-Based Learning Design and Management for Productivity Gains. OECD Education Working Papers no 135*. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz6rbnsg1-en>
- Klykov V., Yeltsov A., Shatlov K. (2006) Interaktivnye kompyuternye trenazhery po integralnomu ischisleniyu i differentsialnym uravneniyam [Interactive Computer Simulators for Integral Calculus and Differential Equations]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*/Bulletin of the Tomsk Polytechnic University-Geo Assets Engineering, vol. 309, no 2, pp. 255–260.
- Klyuchko V., Kushnir N., Matyazh A., Zhukov V. (2016) Tekhnologii virtualnoy realnosti: sovremennye simulyatory i ikh primenenie v meditsine [Virtual Reality Technology: Modern Simulation and Their Application in Medicine]. *Scientific Works of the Kuban State Technological University*, no 15, pp. 94–104.
- Kubyshev V., Svistunov A., Gorshkov M., Balkizov Z. (2016) *Specialist Meditsinskogo simulyatsionnogo obucheniya* [Specialist in Medical Simulation Training]. Moscow: ROSOME Russian Society of Simulation Training in Medicine. Available at: <https://rosomed.ru/documents/spetsialist-medit->

- sinskogo-simulyatsionnogo-obucheniya-uchebnoe-posobie (accessed 30 June 2020).
- Kuczera M. (2017a) *Incentives for Apprenticeship. OECD Education Working Papers no 152*. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/55bb556d-en>
- Kuczera M. (2017b) *Striking the Right Balance: Costs and Benefits of Apprenticeship. OECD Education Working Papers no 153*. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/995fff01-en>
- Martynova N., Kuzmin A., Alikberova M., Lozovitsky D. (2018) Meditsinskie trenazhery kak basis dlya otrabotki khirurgicheskikh navykov [Medical Simulators as a Basis for Processing Surgical Skills]. *Health and Education in the 21st Century*, no 1, pp. 108–113.
- Mavritsina T. (2000) *Obuchayushchie trenazhery* [Training Simulators]. Moscow: Moscow Power Engineering Institute.
- Mislevy R. J. (2011) *Evidence-Centered Design for Simulation-Based Assessment. CRESST Report 800*. Los Angeles, CA: University of California, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST). Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED522835.pdf> (accessed 30 June 2020).
- Mühlemann S. (2016) *The Cost and Benefits of Work-based Learning. OECD Education Working Papers no 143*. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5j1pl4s6g0zv-en>
- Palevskaya S., Taktarov V. (2015) *Sovremennyye simulyatory i trenazhery dlya podgotovki meditsinskoy sestry* [Modern Simulators and Training Equipment in Nursing Training]. Paper presented at IV forum Russian Society of Simulation Training in Medicine (Moscow, October 1–2). Available at: <https://rosomed.ru/theses/158> (accessed 30 June 2020).
- Pyshcheva L., Ugnich K., Shchukin U., Soloviev V. (2016) *Analiz simulyatsionnogo obucheniya studentov navykam serdechno-legochnoy reanimatsii na manekene—imitatore patsienta* [Analysis of Students Skills Training in Cardio-Pulmonary Resuscitation Based on Patient Phantom Simulation]. Paper presented at V forum Russian Society of Simulation Training in Medicine (Moscow, September, 29–30). Available at: <https://rosomed.ru/theses/359> (accessed 30 June 2020).
- Qayumi K., Pachev G., Zheng B. et al. (2014) Status of Simulation in Health Care Education: An International Survey. *Advances in Medical Education and Practice*, vol. 5, November, pp. 457–467. Available at: <https://www.dovepress.com/status-of-simulation-in-health-care-education-an-international-survey-peer-reviewed-fulltext-article-AMEP> (accessed 30 June 2020).
- Serdyukov A. (ed.) (2009) *Trenazhery i tekhnicheskyye sredstva obucheniya* [Simulators and Training Facilities]. Moscow: Oruzhie i tekhnologii.
- Shukshunov V. (2005) *Trenazhernyye komplekxy i trenazhery: tekhnologii razrabotki i opyt ekspluatatsii* [Simulation Complexes and Simulators: Technologies of Development and Operating Experience]. Moscow: Mashinostroenie.
- Silva F. A., Medeiros S., Costa R., de Araújo M. (2017) Types, Purposes and Simulation of Contributions in Vocational Training in Health: Narrative Review. *International Archives of Medicine*, vol. 10, no 3. Available at: <http://imedicalsociety.org/ojs/index.php/iam/article/view/2258> (accessed 30 June 2020).
- Solovov A., Mishchuk V. (2007) *Intellektualnyye trenazhery i virtualnyye laboratorii: uchebnoe posobie* [Intellectual Simulators and Virtual Laboratories: Study Guide]. Samara: Samara State Aerospace University.
- Stone R., Watts K., Zhong P. (2011) *Virtual Reality Integrated Weld Training. A Scientific Evaluation of Training Potential, Cost Effectiveness and Im-*

- plication for Effective Team Learning*. Ames, Iowa: Iowa State University. Available at: <https://yandex.ru/search/?text=Virtual%20Reality%20Integrated%20Weld%20Training&lr=10758&clid=2139456> (accessed 30 June 2020).
- Svistunov A. (ed.) (2013) *Simulyatsionnoe obuchenie v medicine* [Simulation-Based Training in Medicine]. Moscow: MSMU named after I. M. Sechenov.
- Toth P. (2012) Learning Strategies and Styles in Vocational Education. *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 9, no 3, pp. 195–216.
- Trukhin A. (2008) Analiz sushchestvuyushchikh v RF trenazherno-obuchayushchikh system [The Analysis of Computer Training Systems Developed in Russian Federation]. *Open and Distance Education*, no 1, pp. 32–39. Available at: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/viewFile/196/197> (accessed 30 June 2020).
- Zitter I., de Bruijn E., Simons P. R. J., Ten Cate T. J. (2011) Adding a Design Perspective to Study Learning Environments in Current Higher Education. *Higher Education*, vol. 61, no 4, pp. 371–386.
- Zitter I., Hoeve A. (2012) *Hybrid Learning Environments: Merging Learning and Work Processes to Facilitate Knowledge Integration and Transitions*. OECD Education Working Paper no 81. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5k97785xwdvf-en>