

УДК 621.001.5

doi: 10.18698/0536-1044-2021-12-44-52

Достоинства внедрения инструментов виртуальной реальности при конструкторско-технологической подготовке производства

В.В. Яхричев

Вологодский государственный университет

Advantages of Implementing Virtual Reality Tools in Design and Technological Preparation of Production

V.V. Yahrichev

Vologda State University

Наряду с цифровым моделированием к ключевым современным технологиям относятся виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальности, применение которых является обязательным условием реализации четвертой промышленной революции, также известной под названием «Индустрия 4.0». Однако на российских предприятиях эти инструменты еще не получили широкого распространения. Выполнен анализ возможности использования инструментов виртуальной и дополненной реальностей. Приведены имеющиеся российские инструменты. Применение в этой области одного из них — системы VRConcept — подробно разобрано на практических примерах. Наличие поддержки в системе VRConcept формата представления данных отечественной системы автоматизированного проектирования Компас-3D упрощает ее внедрение и использование на предприятии.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, цифровое моделирование, конструкторско-технологическая подготовка, виртуальная среда

Along with digital modeling, the key modern technologies include virtual (VR) and augmented (AR) reality, the use of which is a prerequisite for the implementation of the fourth industrial revolution, also known as Industry 4.0. However, at Russian enterprises, these tools have not become widespread yet. The paper analyzes the possibility of using the tools of virtual and augmented reality and introduces the available Russian instruments. Practical examples consider the application in this area of one of them — the VRConcept system — in detail. The availability of support in the VRConcept system for the data presentation format of the domestic computer-aided design system Compass-3D simplifies its implementation and use at the enterprise.

Keywords: virtual reality, augmented reality, digital design, design and technological preparation, information environment

В академическом исследовании [1] сформулирована шестиуровневая модель развития предприятий, определяющая стратегию в области ресурсов, сферы информационных систем, культуры и организации производства. Успеш-

ное внедрение инструментов и методов каждого уровня позволяют реализовать предприятиям, работающим в эпоху цифровой экономики [2], конкурентные преимущества в производстве, что требует создания многофункциональ-

ных экспертных систем и постоянно пополняемых баз данных [3–6].

Требования к обзорности и прозрачности, предъявляемые при становлении виртуального машиностроительного предприятия, обеспечивают цифровое воспроизведение, связанное с системами SCADA, PLM, ERP и MES, а также со средствами виртуальной (Virtual Reality — VR), дополненной (Augmented Reality — AR) и смешанной реальностей [7, 8].

Цель работы — показать достоинства использования инструментов виртуальной реальности при подготовке производства совместно с инструментами 3D-моделирования.

VR представляет собой модель реальности, созданную техническими средствами, объекты и субъекты которой воспринимаются человеком через его ощущения: зрение, слух, обоняние и осязание [9–11].

Современная подготовка производства подразумевает широкое применение средств аппаратной и программной поддержки инженерных решений [12, 13]. Повсеместное распространение получило программное обеспечение как для создания документации с помощью инструментов 3D-моделирования, так и для инженерного анализа, моделирования и описания технологических процессов изготовления изделия [14, 15]. На сегодняшний день применение технологий VR/AR все еще требует всестороннего изучения и анализа.

Первой областью использования технологий VR/AR является удаленная работа и сотрудничество в распределенном коллективе. Использование средств VR/AR позволяет не только избежать ограничений устройств ввода-вывода (мониторов и проекционных систем), но и находиться в постоянном контакте как с коллегами, так и с разрабатываемым цифровым двойником изделия, не чувствуя пространственных и прочих ограничений.

Реализацию принципов цифрового двойника продукта в проектировании дополняет возможность виртуализации всех процессов и на остальных этапах жизненного цикла изделия.

С помощью технологии VR полученная математическая модель продукта, имеющая связь с состоянием объекта посредством датчиков систем контроля и мониторинга, позволит анализировать текущее состояние объекта самым удобным способом для наблюдателя — визуальным. Поэтому одной из задач очерчивания области применения технологии VR будет яв-

ляться определение уровня реализации принципов цифрового двойника.

Представление геометрической информации (в первую очередь результатов 3D-моделирования) с помощью шлема виртуальной реальности и контроллеров манипулирования дает проектировщику несравненно больше, чем традиционные средства проектирования. Это касается, прежде всего, реального представления о масштабах объекта и возможности манипулирования им в любом предложенном окружении.

Благодаря инструментам VR/AR эргономика будущего изделия получила новый мощный посыл развития в направлении удовлетворения самых строгих требований удобства и безопасности персонала, что невозможно представить, оценивая 3D-модель на экране.

Еще одной областью применения технологий VR/AR становится анализ и управление производственных процессов. Наряду с традиционными системами Computer Aided Manufacturing, позволяющими моделировать процессы обработки [16], многообещающие результаты может дать сочетание систем моделирования производственных процессов и инфраструктуры, таких как Delmia компании Dassault Systèmes или Factory Design Utilities software компании Autodesk и рассматриваемые инструменты VR/AR.

Применение технологии VR при разработке новой продукции позволяет максимально исключить дорогостоящие операции по созданию физического макета (особенно в натуральную величину), всесторонне проанализировать вопросы эргономики будущего объекта, оценить компоновку входящих в его состав узлов и деталей. Немаловажным аспектом при проектировании нового изделия является дизайн, эстетические характеристики формы и содержание продукта.

В технологической подготовке производства наибольшее значение приобретает другая технология — использование контента и оборудования дополненной реальности, которая позволяет разрабатывать технологические инструкции, максимально приближенные к реальному процессу изготовления и сборки изделия. К окружающей действительности (комплекту деталей сборки, оснастке, оборудованию) добавляется информация, иллюстрирующая (моделирующая) технологические операции над реальными объектами.



Рис. 1. Модель макета троллейбуса в VR (в центре виртуальное представление контроллера HTC Vive Pro для взаимодействия с VR-контентом)

Предлагаемая методика основана на предположении о том, что подготовка производства на предприятиях машиностроительной отрасли начинается с компьютерного моделирования будущего изделия. Системы автоматизированного проектирования (САПР) разрабатывают цифровой макет, состоящий из деталей и узлов.

При разработке конструкторской и технологической документации, традиционно представ-

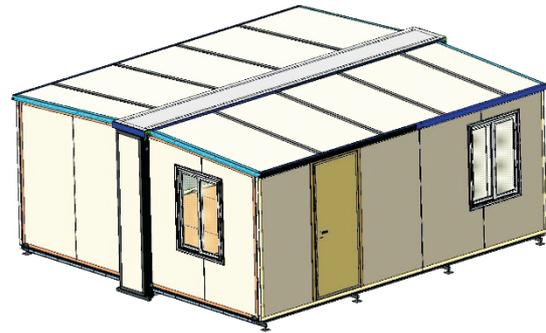


Рис. 2. Цифровая модель макета блок-трансформера

ляемой в 2D-формате, помимо информационной 3D-модели цифрового макета можно использовать цифровой макет в специальном программном обеспечении для взаимодействия с ним в VR/AR. Многие современные САПР уже предлагают такие инструменты. Также можно воспользоваться сторонними инструментами.

Каждый из разработчиков отечественных систем САПР — ТОП Системы (T-FLEX CAD) и АСКОН (Компас-3D) — пошел своим путем. В систему T-FLEX CAD с 2016 г. интегрирован модуль приложения VR/AR, который по заявлениям разработчиков позволяет не только просматривать объект производства, но и выполнять процедуры проектирования, не выходя из VR.

Компания «АСКОН» поддержала разработчика приложения VRConcept, заключив с ним договор о сотрудничестве и позволив применять для виртуального моделирования матема-



а



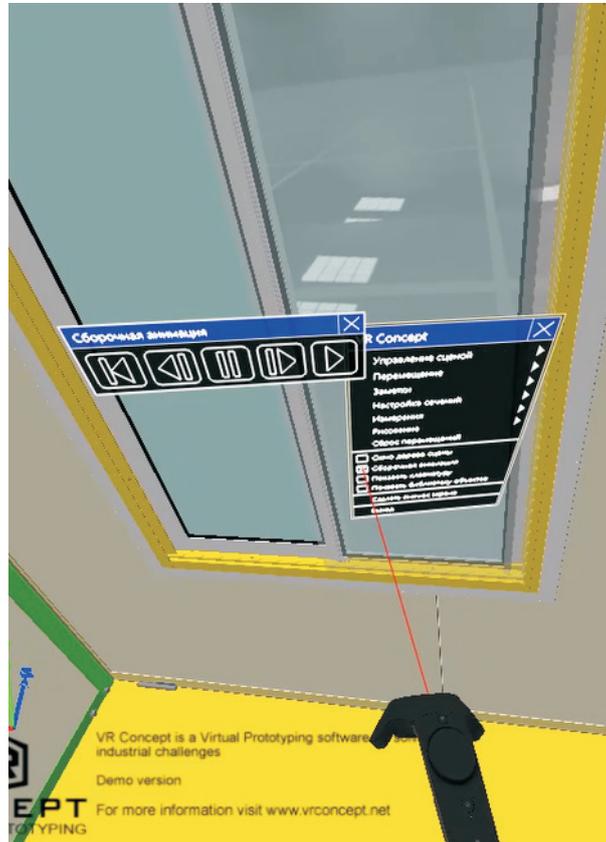
б

Рис. 3. Цифровая модель макета блок-трансформера в VR (а) и имитация открытия его двери с использованием виртуального контроллера HTC Vive Pro (б)

тический аппарат геометрического ядра собственного продукта С3D.

Для импорта в приложение VRConcept можно использовать специальный формат фай-

лов 3D-моделей из Компас-3D (тип файлов с расширением С3D) компании «АСКОН». Этот формат оказался очень удачным. Даже большие 3D-сборки, состоящие из нескольких тысяч



a



b

Рис. 4. Цифровая имитация открытия сдвижного окна блок-трансформера (a) и сворачивания стеновых панелей (b) в VR с использованием виртуального контроллера HTC Vive Pro

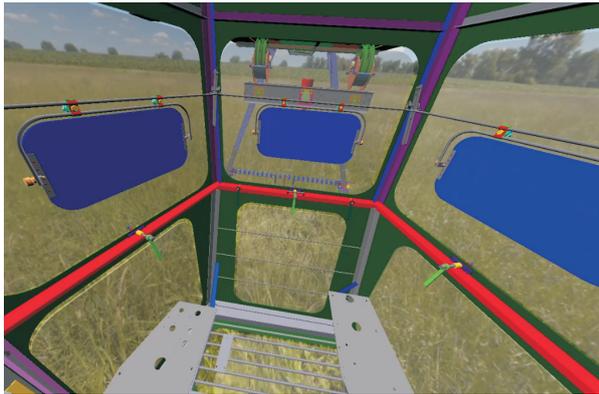


Рис. 5. Модель кабины козлового крана в VR

моделей, импортируются в VRConcept в очень компактном и легком размере для дальнейшего манипулирования в VR/AR.

В качестве примера на рис. 1 приведен салон троллейбуса, импортированный в приложение VRConcept из Компас-3D. Пользователь VRconcept, находясь в виртуальной реальности и взаимодействуя с объектом 3D, получает самое точное представление о степени проработанности изделия, может снять размеры интересующих объектов, исследовать неточности построения и сборки изделия.

Еще более интересным объектом исследования стал блок-трансформер, спроектированный инжиниринговым центром Вологодского государственного университета (рис. 2) совместно с предприятием АО «СКДМ». Цифровая модель

макета блок-трансформера в VR показана на рис. 3, а, имитация открытия его двери с использованием виртуального контроллера HTC Vive Pro — на рис. 3, б.

Отличительная особенность блок-трансформера заключается в механизме трансформации изделия из транспортного положения в эксплуатационное. Все панели блока (крыша, стены и пол) закреплены на основании шарнирно. Сборка/разборка домика происходит с минимумом техники и без необходимости в специальном оборудовании.

В виртуальной реальности появляется возможность отработать все нюансы сборки и демонтажа здания на стадии проектирования. При традиционных способах проектирования и применении только штатных средств 3D-моделирования с учетом того, что пространственная конструкция изделия сильно меняется в разных состояниях, нельзя быть уверенным, что все особенности учтены и при сборке/разборке изделия на этапе изготовления не придется исправлять конструктивные ошибки.

Способность оценить будущее изделие максимально приближенно к реальным условиям, предоставляемая виртуальной реальностью, повышает не только качество продукта, но и уровень безопасности производственных процессов. Появляется уникальная возможность отработать все элементы технологии изготовления и сборки изделия. Операцию открытия

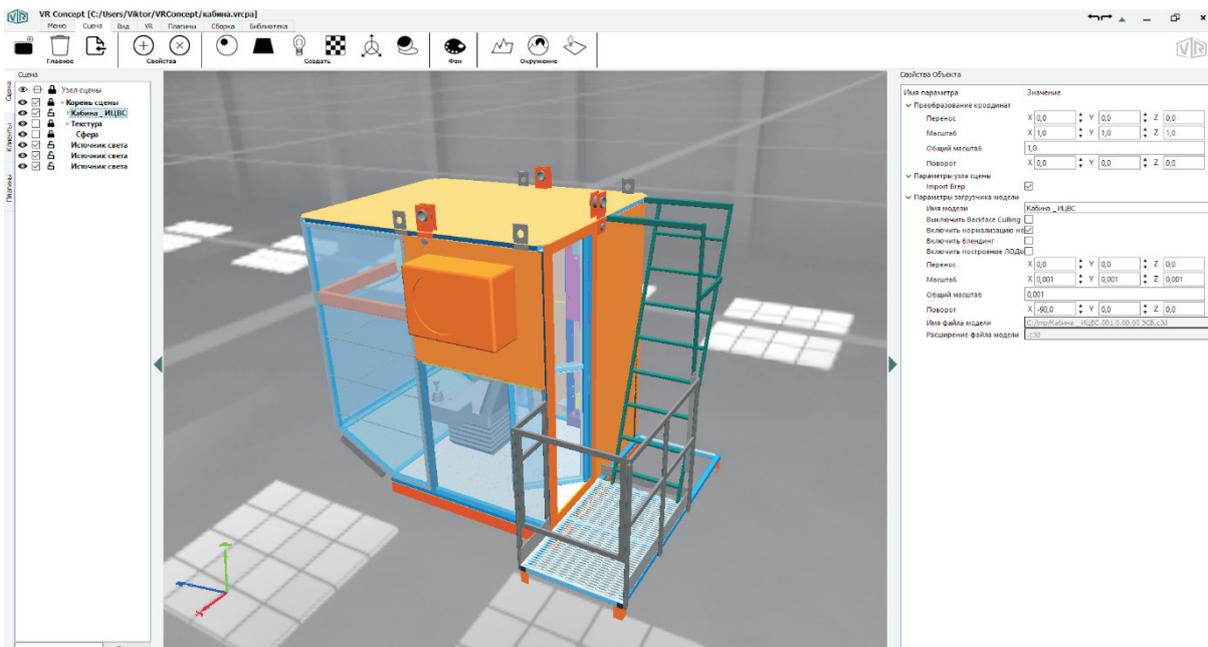


Рис. 6. Стартовое окно приложения VRConcept с загруженной моделью кабины козлового крана

окна в блоке-трансформере иллюстрирует рис. 4, а, процесс сворачивания его стеновых панелей — рис. 4, б.

Пользователь максимально приближенно к реальности взаимодействует с объектом, контролируя наличие препятствий, точность перемещения, трудности с доступом к отдельным деталям и узлам.

В виртуальной реальности могут быть смоделированы различные объекты, в частности козловой кран, модель кабины которого показана на рис. 5. Для учета всех эргономичных параметров рабочего места оператора козлового крана можно «заглянуть» в кабину крана.

Для реалистичности объект размещен на фоне естественного ландшафта, заданы особенности освещенности площадки. Можно оценить удобство размещения объектов управления, обзор из кабины крана на строительную площадку, учесть все особенности маршрута оператора к его рабочему месту.

На рис. 6 показано стартовое окно приложения VRConcept с загруженной моделью кабины козлового крана, которая была спроектирована и отработана с использованием описанной методики применения инструментов VR.

Скриншоты некоторых моментов работы козлового крана в VR показаны на рис. 7, а–г.

Приложения VR и VRConcept позволяют работать не только с объектом производства, но и с производственной средой. С помощью пользовательских библиотек, находясь в VR-пространстве, можно добавлять объекты, например, инструменты или оснастку.

В качестве примера можно привести анализ производственных процессов сборки или ремонта объектов производства в окружении производственной среды. Этот пример иллюстрирует рис. 8, где показана визуализация операции установки штифтов в изделия на верстаке в VR.

Используя инструменты VR, можно оценить логику производственного процесса, эрго-

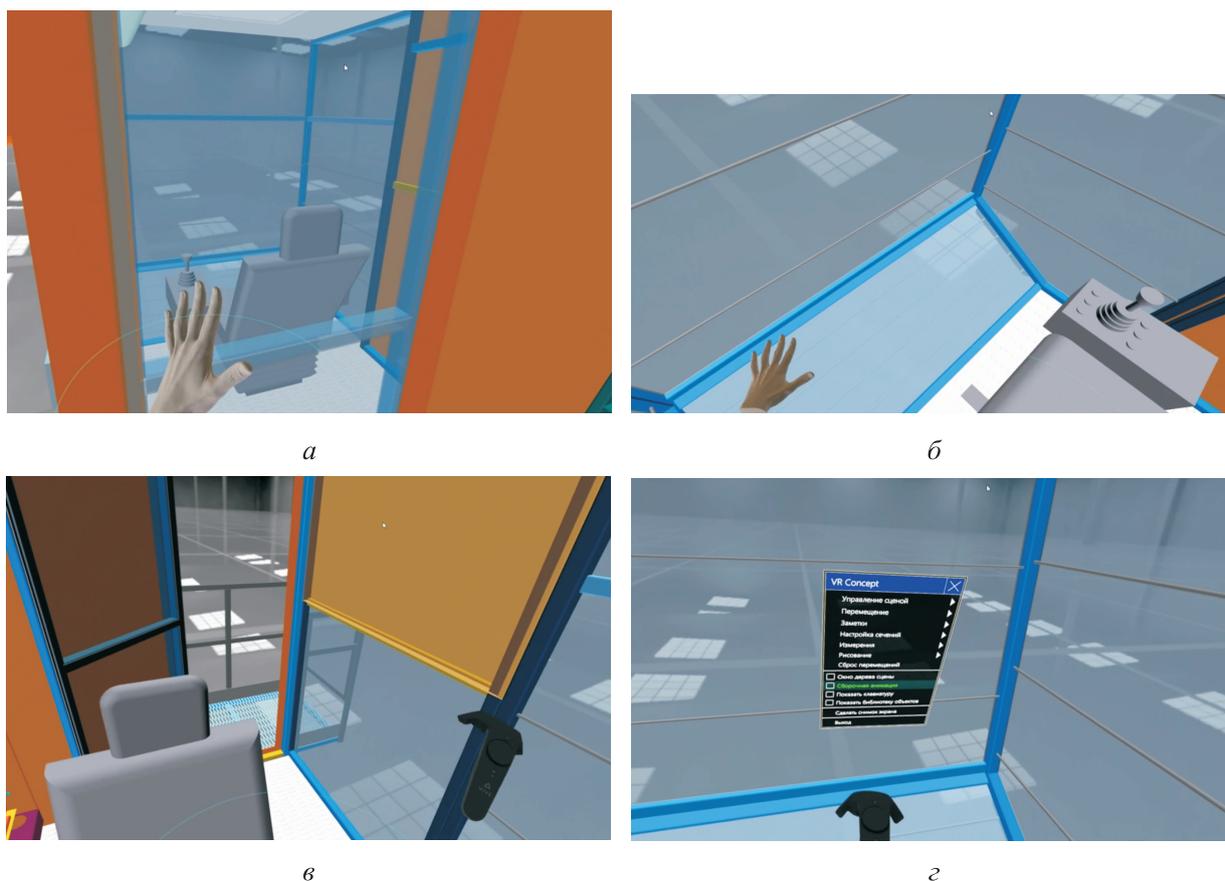


Рис. 7. Скриншоты некоторых моментов работы козлового крана в VR:

а — открытие двери в кабину с помощью контроллера HTC Vive, представленного в виде человеческой руки; б — наблюдатель находится внутри кабины перед посадкой в кресло оператора; в — наблюдатель оглядывает пространство кабины с кресла оператора (вид на открытую дверь); г — наблюдатель вызывает рабочее меню VR с помощью контроллера HTC Vive



Рис. 8. Визуализация операции установки штифтов в изделия на верстаке в VR

номику и даже общую трудоемкость производственных операций.

Таким образом, можно заключить, что на данном этапе развития производственных процессов предприятий технологии VR/AR можно применять для повышения качества продукции, снижения сроков подготовки производства и повышения уровня безопасности процессов.

Одним из главных условий применения технологий VR/AR в производственных процессах

является подробное геометрическое описание объекта производства и окружающей обстановки. Почти на всех машиностроительных предприятиях существует банк данных 3D-описаний производимой продукции.

Также для успешного применения инструментов VR/AR необходимо наличие пространственных моделей производственных площадок, например полученных с помощью технологий 3D-сканирования.

Выводы

1. Разработана методика создания базы необходимого контента VR/AR для моделирования и управления производственными процессами. Использование уже существующей базы 3D-моделей объектов производства и САПР совместно с инструментами 3D-сканирования позволит в кратчайшие сроки создать виртуальную среду и провести моделирование производственных процессов.

2. Определено эффективное и легкое в освоении отечественное программное обеспечение для создания VR/AR-среды, описывающей производственные процессы. Приложение VRConsept позволяет легко перейти к проектированию, управлению и контролю производственных процессов в виртуальной реальности. Совместимость такого программного обеспечения с отечественным ядром геометрического моделирования С3D компании «АСКОН» значительно упрощает задачу освоения и использования среды для VR/AR.

Литература

- [1] Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., et al., eds. *Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies*. Munich, Herbert Utz, 2017.
- [2] Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». *static.government.ru: веб-сайт*. URL: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNLo6gczMkPF.pdf> (дата обращения: 12.03.2021).
- [3] Bulavin V.F., Bulavina T.G., Yahrichev V.V., et al. Digital design and technological innovation in the small machine building sector. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 939, art. 012016, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012016>
- [4] Bulavin V.F., Bulavina T.G., Stepanov C.A., et al. Digital support of production small business preparation in engineering. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, vol. 1399, art. 033045, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033045>
- [5] Боровков А.И., Рябов Ю.А. Перспективные направления развития передовых производственных технологий в России. *XVII Апрельская междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества*. Кн. 3. Москва, НИУ ВШЭ, 2017, с. 381–389.
- [6] Булавин В.Ф., Булавина Т.Г., Яхричев В.В. и др. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. I. Конструкторский этап. *Известия высших*

- учебных заведений. *Приборостроение*, 2020, т. 63, № 3, с. 242–249, doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-242-249>
- [7] Булавин В.Ф., Булавина Т.Г., Яхричев В.В. и др. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. II. Технологический этап. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, 2020, т. 63, № 3, с. 167–172, doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-250-256>
- [8] Булавин В.Ф., Яхричев В.В., Степанов А.С. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 9, с. 35–45, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-9-35-45>
- [9] LaValle S.M. *Virtual reality*. Cambridge University Press, 2017. 418 p.
- [10] Иванова А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 2018, № 3, с. 88–107, doi: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-88-107>
- [11] Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Inf. Syst.*, 1994, vol E77-D, no. 12, pp. 1321–1329.
- [12] Питерс Д. Дигитализация преобразует экономику и повышает эффективность инвестиционных проектов. *САПР и графика*, 2016, № 1, с. 4–7.
- [13] Трачук А.В., Линдер Н.В. Инновации и производительность российских промышленных компаний. *Инновации*, 2017, № 4, с. 53–65.
- [14] Бабкин А.В., ред. *Цифровизация экономических систем: теория и практика*. Санкт-Петербург, Политех-Пресс, 2020. 796 с.
- [15] *Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии*. Московская школа управления Сколково, 2017. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoye_proizvodstvo_112017.pdf (дата обращения: 12.03.2021).
- [16] Евгеньев Г.Б. Интеллектуальная система управления ГПС. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2021, № 1, doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.009>

References

- [1] Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., et al., eds. *Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies*. Munich, Herbert Utz, 2017.
- [2] Passport natsional'noy programmy «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii» [“Digital economy of the RF” national program passport]. *static.government.ru: website*. URL: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNLo6gczMkPF.pdf> (accessed: 12.03.2021). (In Russ.).
- [3] Bulavin V.F., Bulavina T.G., Yakhrichev V.V., et al. Digital design and technological innovation in the small machine building sector. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 939, art. 012016, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012016>
- [4] Bulavin V.F., Bulavina T.G., Stepanov C.A., et al. Digital support of production small business preparation in engineering. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, vol. 1399, art. 033045, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033045>
- [5] Borovkov A.I., Ryabov Yu.A. [Promising area for developing advanced production technologies in Russia]. *XVII Aprel'skaya mezhd. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. Kn. 3* [XVII April Int. Sci. Conf. on Problems of Economy and Society Development. Vol. 3]. Moscow, NIU VShE Publ., 2017, pp. 381–389. (In Russ.).
- [6] Bulavin V.F., Bulavina T.G., Yakhrichev V.V., et al. Digital format for preparation of instrument production. Part I. Design stage. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2020, vol. 63, no. 3, pp. 242–249, doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-242-249> (in Russ.).
- [7] Bulavin V.F., Bulavina T.G., Yakhrichev V.V., et al. Digital format for preparation of instrument production. Part II. Technological stage. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2020, vol. 63, no. 3, pp. 167–172, doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-250-256> (in Russ.).
- [8] Bulavin V.F., Yakhrichev V.V., Stepanov A.S. Policy of digital technologies in small machine-building enterprises. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU

- Journal of Mechanical Engineering], 2019, no. 9, pp. 35–45, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-9-35-45> (in Russ.).
- [9] LaValle S.M. *Virtual reality*. Cambridge University Press, 2017. 418 p.
- [10] Ivanova A.V. VR & AR technologies: opportunities and application obstacles. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment* [Strategic Decisions and Risk Management], 2018, no. 3, pp. 88–107, doi: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-88-107> (in Russ.).
- [11] Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Inf. Syst.*, 1994, vol E77-D, no. 12, pp. 1321–1329.
- [12] Piters D. Digitalization transforms economy and raises efficiency of investment projects. *SAPR i grafika*, 2016, no. 1, pp. 4–7. (In Russ.).
- [13] Trachuk A.V., Linder N.V. Innovations and productivity of the Russian industrial companies. *Innovatsii* [Innovations], 2017, no. 4, pp. 53–65. (In Russ.).
- [14] Babkin A.V., ed. *Tsifrovizatsiya ekonomicheskikh sistem: teoriya i praktika* [Digitalization of economic systems: theory and practice]. Sankt-Petersburg, Politekh-Press Publ., 2020. 796 p. (In Russ.).
- [15] *Tsifrovoe proizvodstvo. Metody, ekosistemy, tekhnologii* [Digital production. Methods, ecosystems, technologies]. Moskovskaya shkola upravleniya Skolkovo, 2017. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf (accessed: 12.03.2021). (In Russ.).
- [16] Evgenev G.B. An intelligent FMS control system. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2021, no. 1, doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.009> (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 21.05.2021

Информация об авторе

ЯХРИЧЕВ Виктор Васильевич — старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения». Вологодский государственный университет (160000, Вологда, Российская Федерация, ул. Ленина, д. 15, e-mail: yahrichev@yandex.ru).

Information about the author

YAHRICHEV Victor Vasilievich — Senior Lecturer, Department of Engineering Technologies. Vologda State University (160000, Vologda, Russian Federation, Lenin St., Bldg. 15, e-mail: yahrichev@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Яхричев В.В. Достоинства внедрения инструментов виртуальной реальности при конструкторско-технологической подготовке производства. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 12, с. 44–52, doi: [10.18698/0536-1044-2021-12-44-52](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-12-44-52)

Please cite this article in English as:

Yahrichev V.V. Advantages of Implementing Virtual Reality Tools in Design and Technological Preparation of Production. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 12, pp. 44–52, doi: [10.18698/0536-1044-2021-12-44-52](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-12-44-52)