

УДК 621.865.7

DOI: 10.17586/2310-1172-2022-16-2-75-83

Научная статья

Подходы к применению цифровых двойников системными интеграторами и производителями робототехники

Леонтьева И.Н. iraleo@inbox.ru

Канд. с.-х. наук **Бурцев Д.С.** dsburtcev@itmo.ru

Университет ИТМО

197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

Актуальность: цифровые двойники – это новая реальность современной экономики и неоспоримое преимущество компаний-поставщиков робототехники. Целью работы стало проведение сравнительного анализа подходов к применению цифровых двойников двумя разными типами поставщиков робототехники: системными интеграторами и производителями, с целью выявления их особенностей и дальнейших рекомендаций по внедрению технологии «цифровой двойник». Объектом исследования являются предприятия-поставщики робототехники: непосредственно производители и системные интеграторы. Предметом исследования выступили подходы данных предприятий к использованию цифровых двойников для осуществления послепродажного обслуживания оборудования. Данные и методы: в ходе исследования использованы методы сравнительного анализа, систематизации, экспертный опрос, анализ источников информации. Экспертный опрос был проведен на основании опросника для специалистов релевантных предприятий-поставщиков роботов. Сравнительный анализ подходов двух разных игроков рынка робототехники показал как схожую проблематику, так и отличительные особенности. Анализ результатов: исследование позволило выявить более широкий подход у системных интеграторов к использованию цифровых двойников для послепродажного обслуживания робототехники, в связи со спецификой их деятельности: этому способствует комплексный подход к поставкам, а также необходимость поддержания конкурентного преимущества. Также проведен анализ предприятий и отраслей промышленности, на которых внедрение цифровых двойников, по мнению экспертов, эффективно и целесообразно. Исследование позволило подтвердить гипотезу о существенных различиях в подходах к цифровым двойникам у интеграторов и производителей роботов, однако не дало ответа касательно алгоритма внедрения данной технологии на разных типах предприятий. Дальнейшая работа будет связана с разработкой рекомендаций для различных организаций касательно использования цифровых копий для послепродажного обслуживания робототехники.

Ключевые слова: цифровой двойник, робототехника, роботы, интегратор, послепродажное обслуживание

Scientific article

Approaches to the use of digital twins by system integrators and robotics manufacturers

Leontieva I.N. iraleo@inbox.ru

Ph.D. **Burtsev D.S.** dsburtcev@itmo.ru

ITMO University

197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky ave., 49

Relevance: digital twins are a new reality of the modern economy and an indisputable advantage of robotics suppliers. The aim of the work was to conduct a comparative analysis of approaches to the use of digital twins by two different types of robotics suppliers: system integrators and manufacturers, in order to identify their features and further recommendations for the introduction of the digital twin technology. The object of the study are robotics suppliers: manufacturers and system integrators directly. The subject of the study was the approaches of these enterprises to the use of digital doubles for the implementation of after-sales service of equipment. Data and methods: in the course of the study, methods of comparative analysis, systematization, expert survey, analysis of information sources were used. The

expert survey was conducted on the basis of a questionnaire for specialists of relevant companies-suppliers of robots. A comparative analysis of the approaches of two different players in the robotics market showed both similar problems and distinctive features. Analysis of the results: the study revealed a broader approach among system integrators to the use of digital twins for after-sales service of robotics, due to the specifics of their activities: this is facilitated by an integrated approach to supplies, as well as the need to maintain a competitive advantage. The analysis of enterprises and industries where the introduction of digital twins, according to experts, is effective and expedient is also carried out. The study allowed us to confirm the hypothesis of significant differences in approaches to digital twins among integrators and robot manufacturers, but did not provide an answer regarding the algorithm for implementing this technology at different types of enterprises. Further work will be related to the development of recommendations for various organizations regarding the use of digital copies for after-sales service of robotics.

Keywords: digital twin, robotics, robots, integrator, after-sales service.

Введение

Роботизация производства – неотъемлемая составляющая перехода к «Индустрии 4.0» и эффективной экономике. На данный момент уровень оснащенности российских производств роботами значительно ниже, чем в других странах, однако наблюдается рост продаж робототехники. Так, в 2019 году в России было продано 958 промышленных роботов, что составило на 98 единиц больше, чем в 2018 году [1]. Робототехника входит в список приоритетов Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [2]. Исходя из положений Стратегии об отставании РФ по темпам экономического развития от других стран, можно сделать вывод также о зависимости данного фактора от уровня роботизации промышленных предприятий страны [3].

Поставки робототехники на промышленные предприятия осуществляются напрямую производителями данного оборудования или посредством системных интеграторов, осуществляющих комплексные поставки оборудования, комплектующих и программного и сервисного обеспечения. В настоящее время часто происходит переход к данной организационной структуре инновационно-активных предприятий [4]

Важной составляющей в поставке робототехнической продукции на предприятия является осуществление послепродажного обслуживания (ППО). Это необходимость, соблюдение требований безопасности и конкурентное преимущество поставщиков роботов. Один из современных методов ППО – это использование технологии «цифровой двойник» [5].

Цифровой двойник – это виртуальная модель процессов, работ, изделий, использование которой обусловлено сложностью современных производств, технологических процессов и систем управления ими [6]. Данная технология позволяет наладить связь между оборудованием и программным обеспечением, базами данных, а также обеспечивать контроль за оборудованием на протяжении всего жизненного цикла [7].

Цифровые копии объектов предоставляют возможность получать данные по моделированию процессов, проводить наблюдения в режиме «реального времени», а также эксперименты по воздействию внешних факторов на моделируемый объект [8]. На основе машинного обучения цифровые двойники позволяют принимать производственные решения, что приводит к снижению потребности в кадрах и повышению надежности оборудования [9]. При этом цифровые двойники могут быть классифицированы по объекту моделирования: цифровой двойник продукта, цифровой двойник процесса, цифровой двойник системы [10].

Вопрос использования цифровых двойников изучается многими современными авторами. Так, некоторыми из них рассматриваются условия и проблемы внедрения цифровых двойников на промышленных предприятиях [9, 11, 7, 12]. Другие исследователи изучают особенности внедрения данной технологии в различных отраслях [13, 14, 15].

Поставка робототехники разными типами поставщиков (интеграторы и производители) приводит к наличию разных подходов к осуществлению сервисного сопровождения данного оборудования, в том числе при помощи цифровых двойников. В связи с этим целью работы является сравнительный анализ подходов к применению цифровых двойников различными типами поставщиков, такими как системные интеграторы и производители робототехники.

Методы исследования

Для анализа подходов к применению цифровых двойников различными типами поставщиков, были изучены литературные источники, а также использованы данные, полученные в ходе непосредственного наблюдения за изучаемым процессом, и в результате экспертного опроса ведущих сотрудников производителей робототехники и системных интеграторов. Систематизация экспертных мнений касательно особенностей, преимуществ и проблем использования цифровых двойников для послепродажного обслуживания робототехнической продукции помогла выявить общие и специфичные подходы к использованию цифровых

копий оборудования у производителей роботов и системных интеграторов. Произведен их сравнительный анализ, что также помогло определить различия в подходах.

На основе анализа литературных источников был составлен опросный лист, содержащий вопросы касательно возможностей применения цифровых двойников для послепродажного обслуживания робототехнической продукции. Опросник был апробирован экспертом, а затем отправлен другим специалистам, в ряд которых вошли руководители и специалисты по профилю опроса из числа системных интеграторов и производителей робототехники.

Опрос содержал следующие вопросы:

1. Какие методы ППО робототехники на данный момент, по Вашему мнению, используются наиболее широко?

- традиционные
- цифровые

2. Целесообразно ли использование цифровых двойников для ППО робототехники?

3. На каком этапе обслуживания роботов наиболее эффективно использование цифровых двойников?

- пуско-наладка
- мониторинг состояния
- ремонт

– другой (укажите, пожалуйста, какой)

4. Каковы особенности использования цифровых двойников для робототехнической продукции?

- сложность оборудования
- высокая зависимость оборудования от внешней среды и человеческого фактора
- целесообразность использования цифровых двойников преимущественно на этапе пуско-наладки
- другие (укажите, пожалуйста, какие)

5. Какие проблемы, на Ваш взгляд, могут возникать при внедрении цифровых двойников для обслуживания роботов?

- недостаток высококвалифицированных специалистов
- отсутствие законодательного оформления и профессиональных стандартов
- недостаточная информационная безопасность
- другие (укажите, пожалуйста, какие)

6. Каковы преимущества использования цифровых двойников для робототехники?

- возможность предиктивной аналитики и своевременной ликвидации аварийных ситуаций
- возможность использования новых технологий для накопления и анализа больших массивов данных
- отражение текущей реальной ситуации для оценки возможностей сбоев
- минимизация человеческого фактора
- другие (укажите, пожалуйста, какие)

7. Для каких предприятий Вы посоветовали бы внедрение цифровых двойников робототехники?

8. Какие кейсы успешного использования цифровых двойников для роботов Вам известны?

9. Какова стоимость внедрения цифровых двойников?

Результаты

Игроки на рынке робототехники в РФ

Исследование рынка робототехники показало наличие двух основных способов поставки робототехнической продукции на промышленные предприятия РФ, а также двух ключевых игроков на рынке:

- 1) производители роботов (или их дилеры),
- 2) системные интеграторы.

Системный интегратор – это предприятие с особой организационной структурой, осуществляющее объединение различных подсистем в единую систему, а также автоматизацию и поставку комплексных решений для предприятий [4].

По результатам исследования аналитического центра Tadviser и Национальной Ассоциации участников рынка робототехники (НАУРР), в 2021 году был составлен «Список крупнейших интеграторов промышленных роботов в России 2021», включающий 33 компании, установившие на российские предприятия около 1200 роботов за период с 2018 по 2020 гг. (314, 407 и 501, соответственно). При этом количество всего поставленных единиц роботов на предприятия РФ составило: в 2018 году – 1007 шт., в 2019 году – 1410 штук. Таким образом, через системные интеграторы проводится около 30% поставок робототехники [16].

Особенности производителей робототехники и системных интеграторов и поставок роботов при их участии, а также примеры компаний, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Особенности поставок робототехнической продукции производителями роботов и системными интеграторами

Тип поставщика	Особенности	Компании
Производители робототехники	Собственное производство Отсутствие необходимости комплектации роботов ПО Возможность прямых продаж	ABB Robotics, Швейцария FANUC Robotics, Япония Kawasaki Robotics, США KUKA Robotics, США Universal Robotics, Inc., Дания Yaskawa, США SCHUNK GmbH, Германия
Системные интеграторы	Комплексность поставок Отсутствие своего производства Владение различными ИТ-системами Технологичность Прогнозирование	«Концерн R-Про» BFG Robotics (БФГ Роботикс) Prof-it Group «Вебер Комеханикс» «Компания АНТ»

**Источник: составлено авторами*

Особенностью поставок роботов посредством участия системных интеграторов является комплексность данных поставок: робот поставляется в системе, а также оснащенный программным обеспечением и сервисными услугами, кастомизированный под конкретные потребности конечного потребителя. В данном контексте чрезвычайно важным оказывается предоставление также и послепродажного сервиса для роботизированной системы, в том числе при помощи технологии «цифровой двойник».

Особенностями поставок продукции от производителей роботов является отсутствие прямой необходимости установки программного обеспечения на робота, а также очевидный факт наличия собственного производства и возможности прямых поставок конечным потребителям. Однако при этом поставляемое оборудование может быть лишь отдельным элементом целой системы и не обладать полной ценностью.

Анализ предлагаемых производителями роботов решений для осуществления послепродажного обслуживания поставляемого ими оборудования выявил ограниченность цифровых способов ППО и преобладание традиционных методов. Однако можно отметить, что производитель роботов ABB Robotics (Швейцария) предлагает решение в виде цифрового двойника RobotStudio [17].

Японский производитель FANUC Robotics внедряет систему FANUC Diagnostic Pro, осуществляющую диагностику состояния оборудования в реальном времени [18].

Среди интеграторов практика внедрения технологии «цифровой двойник» гораздо шире. Подобные решения предлагают, например, следующие компании: «Концерн R-Про», BFG Robotics (БФГ Роботикс), Prof-it Group, «Вебер Комеханикс», «Компания АНТ».

Целесообразность внедрения цифровых двойников робототехники на промышленных предприятиях

Экспертный опрос представителей как производителей робототехники, так и системных интеграторов, дал ответ на вопрос касательно предприятий, на которых применение цифровых двойников роботов особенно целесообразно. В опросе участвовали сотрудники таких производителей, как SCHUNK, ABB Robotics, а также ведущие специалисты системных интеграторов: «Концерн R-Про», «Вебер Комеханикс», «Компания АНТ», Siemens.

По полученным характеристикам предприятий можно сгруппировать их по отраслям промышленности. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Отрасли промышленности, для которых
целесообразно использование цифровых двойников, и их особенности**

Отрасль	Особенности			
	Высокая стоимость ошибки	Наличие производственных автоматических линий	Техника старше 2005 г.	Высокая степень автоматизации и цифровизации производства
Авиапромышленность	+	+	+	-
Автомобильная промышленность	+	+	-	+
Нефтегазовая отрасль	+	+	+	+
Металлургия	+	+	+	+
Металлообработка	-	+	-	+
Пищевая промышленность	+	+	-	+

**Источник: составлено авторами по данным экспертного опроса*

Так, высокоавтоматизированные предприятия могут быть из отрасли автопрома, металлургии, нефтегазовой отрасли, металлообработки и пищевой промышленности – в том числе, отрасли, относящиеся к высокотехнологичным.

Наличие производственных автоматических линий также характерно для всех указанных отраслей в связи с особенностями производства: это «комплекс оборудования, расположенный в определенной технологической последовательности, связанный транспортными устройствами, средствами управления и обеспечивающий автоматическое превращение исходных материалов в обрабатываемое изделие» [19].

Еще один фактор, способствующий эффективности внедрения цифровых двойников, — это высокая стоимость ошибки на производстве. Данный фактор наиболее характерен для автомобильной и авиапромышленности, нефтегазовой отрасли, металлургии, пищевой промышленности в связи со стоимостью производства продукции.

Уровень оснащения техникой с датой производства старше 2005 года – фактор, который может быть характерен для нефтегазового сектора, автопрома и металлургии.

Можно сделать вывод о том, что для разных отраслей промышленности, предприятия которых оснащены робототехнической продукцией, использование цифровых двойников, по мнению экспертов, целесообразно.

***Сравнительный анализ подходов к применению цифровых двойников роботов
производителями робототехники и системными интеграторами***

Экспертный опрос представителей производителей робототехники и системных интеграторов показал как схожие взгляды на внедрение цифровых двойников на этапе послепродажного обслуживания оборудования, так и специфику данных подходов. Результаты опроса представлены в табл. 3.

Таблица 3

Факторы внедрения технологии «цифровой двойник» по результатам оценки экспертных мнений производителей роботов и системных интеграторов

Факторы	Производители роботов	Системные интеграторы
Этапы послепродажного обслуживания, на которых применимы цифровые двойники	Пуско-наладка, мониторинг состояния, предиктивный анализ роботов, предпродажная подготовка для анализа эффективности системы, ремонт	Пуско-наладка, мониторинг состояния, оффлайн программирование, тренинги для операторов и сервис-инженеров, сбор цифровой аналитики по процессам, предиктивный ремонт, кооперация с АСУП, ремонт, предиктивный анализ роботов
Проблемы внедрения цифровых двойников	Недостаток компетенций у специалистов, высокая стоимость внедрения, временные затраты	Недостаток компетенций у специалистов, высокая стоимость внедрения, недоверие потребителя к вендору, недостаточная информационная безопасность, отсутствие законодательного оформления и профессиональных стандартов
Преимущества внедрения цифровых двойников	возможность предиктивной аналитики и своевременной ликвидации аварийных ситуаций, использования новых технологий для накопления и анализа больших массивов данных, отражение текущей реальной ситуации для оценки возможностей сбоев минимизация человеческого фактора	повышение экономической эффективности роботизируемых процессов, минимизация человеческого фактора, удобство программирования, легкость проектирования ячеек, возможность предиктивной аналитики и своевременной ликвидации аварийных ситуаций

**Источник: составлено авторами по результатам экспертного опроса*

Результаты опроса показали более широкий взгляд на внедрение цифровых двойников роботов у системных интеграторов. Так, при определении релевантных этапов ППО, оба типа поставщиков сделали акцент на пуско-наладке, предиктивном ремонте, мониторинге состояния и предиктивном анализе роботов. При этом системные интеграторы также выделяют этапы: оффлайн программирование, тренинги для операторов и сервис-инженеров, сбор цифровой аналитики по процессам, кооперация с АСУП.

Помимо таких преимуществ использования цифровых копий, как возможность предиктивной аналитики и своевременной ликвидации аварийных ситуаций, использования новых технологий для накопления и анализа больших массивов данных, отражение текущей реальной ситуации для оценки возможностей сбоев и минимизации человеческого фактора, интеграторы акцентируют внимание и на повышении экономической эффективности роботизируемых процессов.

Оба типа поставщиков отмечают такие проблемы внедрения цифровых двойников, как недостаток компетенций у специалистов, высокая стоимость внедрения, временные затраты. Однако, с точки зрения системных интеграторов, важными оказываются также недоверие потребителя к вендору, недостаточная информационная безопасность, отсутствие законодательного оформления и профессиональных стандартов.

Таким образом, предоставляя комплексные решения, системные интеграторы сталкиваются с большим количеством проблем, выделяют большее количество преимуществ, а также выделяют большее число этапов, на которых могут быть задействованы цифровые двойники роботов.

Рассмотрим, каким образом меняется процесс управления послепродажным обслуживанием при внедрении технологии «цифровой двойник». Данные представлены в табл. 4.

Таблица 4

Проблемы в управлении послепродажным обслуживанием при использовании цифрового двойника оборудования

Функция управления	Описание возникающих проблем	Возможности решения проблем
Планирование	Решение основных задач планирования не затруднено	–
Организация	Необходимость наличия компетенций или повышения их уровня у персонала, а также соответствующего программного и технического обеспечения	Обучение сотрудников необходимым цифровым компетенциям, поиск новых квалифицированных кадров, оснащение техникой и ПО
Мотивация	Неготовность пользователя делиться с вендором информацией о производственных процессах, недостаточная информационная безопасность	Внедрение методов обеспечения информационной безопасности, заключение договоров о конфиденциальности
Контроль	Отсутствие законодательного оформления и профессиональных стандартов. Нерелевантность старых методов контроля	Внедрение новых методов контроля, обеспечение нормативной базы на законодательном уровне
Координация	Недостаточность компетенций для осуществления координирующих действий при наличии цифровой модели	Обучение сотрудников необходимым цифровым компетенциям, поиск новых квалифицированных кадров

**Источник: составлено авторами по результатам экспертного опроса*

Таким образом, внедрение цифровых двойников робототехники влечет за собой такие проблемы в организации и координации, как необходимость поиска кадров с определенным уровнем и спецификой цифровых компетенций или необходимость обучения существующих сотрудников. Возникают такие проблемы мотивации, как нежелание делиться информацией о своих производственных и технологических процессах с поставщиком роботов, а также недостаточный уровень информационной безопасности как источник данной демотивации. На этапе контроля возникает необходимость внедрения новых методов контроля, в связи с новой, цифровой, технологией осуществления ППО. Все эти управленческие проблемы требуют особого подхода и рассмотрения возможности разработки регламентов для управления ППО робототехники с использованием цифровых двойников, а также ряд изменений на законодательном уровне.

Обсуждение

Исследование позволило выделить и систематизировать ряд проблем, возникающих в процессе внедрения технологии «цифровой двойник» для осуществления послепродажного обслуживания робототехники, в частности такими поставщиками, как непосредственно производители роботов и комплектующих к ним и системными интеграторами. Подход к применению цифровых копий оборудования, действительно, отличается у данных типов поставщиков. Так, системные интеграторы в большей степени вовлечены и заинтересованы в процессе внедрения цифровых двойников для ППО робототехники, что, в том числе является их конкурентным преимуществом. Однако, этот же фактор является и основанием для возникновения большего количества проблем и возможностей при внедрении цифровых двойников. Исследование не дает четких ответов на вопрос касательно рекомендаций по внедрению цифровых двойников роботов в комплексе с самим оборудованием. Дальнейшее исследование будет посвящено разработке данных рекомендаций и алгоритмов по внедрению цифровых двойников на российские промышленные предприятия.

Заключение

Основными игроками на рынке робототехники в РФ являются производители роботов и системные интеграторы. Согласно их мнению, существует ряд промышленных предприятий, для которых использование цифровых двойников целесообразно и эффективно.

Обладая разными способами взаимодействия с конечными потребителями и разными подходами к осуществлению поставок оборудования, указанные поставщики также обладают и различными подходами к внедрению технологии «цифровой двойник» для обслуживания поставляемой ими продукции. Являясь комплексным поставщиком, интеграторы транслируют более глубокий взгляд на цифровых двойников, а также большую заинтересованность.

На пути внедрения данной технологии возникает ряд затруднений и особенностей, наряду с преимуществами. Для их решения возможен ряд мероприятий и действий, в том числе со стороны законодательства.

Дальнейшее исследование позволит разработать рекомендации по внедрению цифровых двойников на промышленные предприятия РФ, в том числе посредством системных интеграторов.

Литература

1. Использование промышленных роботов: обзор рынка робототехники в России и мире // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/ispolzovanie-promyshlennykh-robotov-obzor-rynka-robototekhniki-v-rossii-i-mire/> (дата обращения 10.12.2021).
2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. 2016. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf> (дата обращения 01.12.2021)
3. Ермолов И.Л. О роли промышленной робототехники в развитии промышленности России // ИННОВАЦИИ. № 10(252) 2019. с. 127-129.
4. Батьковский М.А., Кравчук П.В. Согласование экономических стратегий предприятий, производящих инновационную продукцию // Московский экономический журнал. № 1. 2019. с. 298-304.
5. Леонтьева И.Н., Бурцев Д.С. Возможности использования цифровых двойников в послепродажном обслуживании робототехнической продукции // Логистика и управление цепями поставок. 2021. № 2-3(103)
6. Пономарев К.С., Феофанов А.Н., Гришина Т.Г. Цифровой двойник производства – средство цифровизации деятельности организации // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. № 2(04). 2019. с. 11-15.
7. Цехла С.Ю., Симченко Н.А. Цифровой двойник в системе управления промышленным объектом // Большая Евразия: Развитие, безопасность, сотрудничество. 2020. №3-2. с. 794-796.
8. Фролова А.В., Копылова Л.Е. Цифровые двойники в высокотехнологичном производстве: новые инструменты цифровой экономики // Успехи в химии и химической технологии. 2020. №1 (224). с. 32-33.
9. Курганова Н.В., Филин М.А., Черняев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies. 2019. №5. с. 105-114.
10. Царев М.В., Андреев Ю.С. Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификация, технологии, сценарии использования // Приборостроение. 2021. №7.
11. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2020. №1. с. 20-30.
12. Фролов Е.Б., Климов А.С., Зин Мин Мин Мин Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории mes // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. №12 (73). с. 66-73.
13. Левенцов В.А., Костецкий Д.Ю., Аркина К.Г. Разработка интегрированного стандарта обеспечения цифровыми двойниками наукоемкого производства // Известия СПбГЭУ. 2021. №1 (127). с. 105-115.
14. Кокорев Д.С., Посмаков Н.П. Применение «Цифровых двойников» в производственных процессах // Colloquium-journal. 2019. №26 (50). – с. 38-45.
15. Бутко А.О., Кузнецов П.М., Хорошко Л.Л. Организация цифрового двойника процессов восстановления дробильноизмельчительного оборудования // ГИАБ. 2020. №8. с. 130-143.
16. Список крупнейших интеграторов промышленных роботов в России 2021 // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Список_крупнейших_интеграторов_промышленных_роботов_в_России_2021 (дата обращения: 12.12.2021).
17. The world's most used offline programming tool for robotics // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> (дата обращения 01.12.2021)
18. FANUC Diagnostic Pro // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.fanuc.eu/ru/ru/обслуживание-в-течение-срока-эксплуатации-оборудования/техническое-обслуживание> (дата обращения: 10.12.2021)

19. Амиров Ф.Г. Некоторые особенности повышения производительности автоматических линий // Известия вузов. Машиностроение. 2020. №9 (726).

Reference

1. Ispol'zovanie promyshlennykh robotov: obzor rynka robototekhniki v Rossii i mire// [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/ispolzovanie-promyshlennykh-robotov-obzor-rynka-robototekhniki-v-rossii-i-mire/> (data obrashhenija 10.12.2021).
2. Strategija nauchno-tehnologicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii. 2016. [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf> (data obrashhenija 01.12.2021)
3. Ermolov I.L. O roli promyshlennoj robototekhniki v razvitii promyshlennosti Rossii // INNOVACII. № 10(252) 2019. s. 127-129.
4. Bat'kovskij M.A., Kravchuk P.V. Soglasovanie jekonomicheskikh strategij predpriyatij, proizvodjashchih innovacionnuju produkciju// *Moskovskij jekonomicheskij zhurnal*. № 1. 2019. s. 298-304.
5. Leont'eva I.N., Burcev D.S. Vozmozhnosti ispol'zovanija cifrovych dvojnikov v posleprodazhnom obsluzhivanii robototekhnicheskoy produkcii // *Logistika i upravlenie cepjami postavok*. 2021. № 2-3(103)
6. Ponomarev K.S., Feofanov A.N., Grishina T.G. Cifrovoy dvojniki proizvodstva – sredstvo cifrovizacii dejatel'nosti organizacii // *Avtomatizacija i modelirovanie v proektirovanii i upravlenii*. № 2(04). –2019. s. 11-15.
7. Cehla S.Ju., Simchenko N.A. Cifrovoy dvojniki v sisteme upravlenija promyshlennym ob#ektom // *Bol'shaja Evrazija: Razvitie, bezopasnost', sotrudnichestvo*. 2020. №3-2. s. 794-796.
8. Frolova A. V., Kopylova L.E. Cifrovye dvojniki v vysokotekhnologichnom proizvodstve: novye instrumenty cifrovoy jekonomiki // *Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii*. 2020. №1 (224). s. 32-33.
9. Kurganova N.V., Filin M.A., Chernjaev D.S., Shaklein A.G., Namiot D.E. Vnedrenie cifrovych dvojnikov kak odno iz ključevykh napravlenij cifrovizacii proizvodstva // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. №5. s. 105-114.
10. Carev M.V., Andreev Ju.S. Cifrovye dvojniki v promyshlennosti: istorija razvitija, klassifikacija, tehnologii, scenarii ispol'zovanija // *Priboroostroenie*. 2021. №7.
11. Badenko V.L., Bol'shakov N.S., Fedotov A.A., Jadykin V.K. Cifrovye dvojniki slozhnykh tehničeskikh sistem v industrii 4. 0: bazovye podhody // *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Jekonomicheskie nauki*. 2020. №1. s. 20-30.
12. Frolov E.B., Klimov A.S., Zin Min Min Min Cifrovoy dvojniki proizvodstvennoj sistemy na osnove programmogo obespečenija kategorii mes // *Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2018. №12 (73). s. 66-73.
13. Levencov V.A., Kosteckij D.Ju., Arkina K.G. Razrabotka integrirovannogo standarta obespečenija cifrovymi dvojniki naukoemkogo proizvodstva // *Izvestija SPbGJeU*. 2021. №1 (127). s. 105-115.
14. Kokorev D.S., Posmakov N.P. Primenenie «Cifrovych dvojnikov» v proizvodstvennyh processah // *Colloquium-journal*. 2019. №26 (50). – s. 38-45.
15. Butko A.O., Kuznecov P.M., Horoshko L.L. Organizacija cifrovogo dvojnika processov vosstanovlenija drobil'noizmel'chitel'nogo oborudovanija // *GIAB*. 2020. №8. s. 130-143.
16. Spisok krupnejshih integratorov promyshlennykh robotov v Rossii 2021 // [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ja:Spisok_krupnejshih_integratorov_promyshlennykh_robotov_v_Rossii_2021 (data obrashhenija: 12.12.2021).
17. The world's most used offline programming tool for robotics // [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> (data obrashhenija 01.12.2021)
18. FANUC Diagnostic Pro // [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.fanuc.eu/ru/ru/obslyuzhivanie-v-techenie-sroka-jekspluatacii-oborudovanija/tehničeskoe-obslyuzhivanie> (data obrashhenija: 10.12.2021)
19. Amirov F.G. Nekotorye osobennosti povyshenija proizvoditel'nosti avtomaticheskikh linij // *Izvestija vuzov. Mashinostroenie*. 2020. №9 (726).