

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА»
(РХТУ)

УДК *номер УДК*
Рег. № НИОКТР *номер НИОКТ*
Рег. № ИКРБС *номер ИКРБС*

УТВЕРЖДАЮ
Ректор РХТУ
д-р хим. наук, проф.
_____ С.Н. Филатов
«_____» _____ 2025 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ПОИСК НАУЧНЫХ РАБОТ И ПАТЕНТОВ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ
(заключительный)
Шифр «номер»

Руководитель НИР,
доц. кафедры ИКТ
к.т.н

_____ Д.В. Зубов

**СПИСОК
ИСПОЛН
ИТЕЛЕЙ**

Д.В. Зубов (введение,
заключение, раздел 1, 2)

Руководител
ь НИР, доц.
кафедры
ИКТ, к.т.н

подпись, дата

—

Отв. исполнитель,
студентка группы КС-30

подпись, дата

И.В. Иванова
(введение,
заклучение, раздел 1,
2)

—

РЕФЕРАТ

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ, ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРЕДИКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ВИРТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ, DIGITAL DOPPELGANGERS, PREDICTIVE MAINTENANCE, INDUSTRIAL EQUIPMENT, VIRTUAL MODELS

Объектом исследования являются технологии цифровых двойников промышленного оборудования.

Цель работы — изучение текущего состояния, ключевых технологий и направлений развития данной области путем поиска, отбора и анализа научных статей, патентов и наиболее продуктивных авторов на русском и английском языках в специализированных информационно-библиотечных системах.

В процессе работы проводился систематический поиск в электронных библиотечных системах (на примере РИНЦ, Springer) и патентных базах данных по заданным ключевым словам.

В результате исследования были выявлены и проанализированы наиболее релевантные и цитируемые научные публикации на русском и английском языках, определены ведущие авторы и исследовательские коллективы, а также рассмотрены патенты, подтверждающие практическую значимость и коммерциализацию разработок в данной сфере.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Поиск на русском языке	6
1.1 Практическая часть	6
1.2 Выводы	9
2 Поиск на английском языке	10
2.1 Практическая часть	10
2.2 Выводы	14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	16

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность выбранной темы заключается в том, что цифровые двойники (Digital Twins) промышленного оборудования являются одной из ключевых технологий Четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0). Они представляют собой динамические виртуальные копии физических объектов, систем или процессов, которые позволяют в реальном времени моделировать, анализировать, контролировать и оптимизировать их жизненный цикл. Внедрение цифровых двойников способно кардинально повысить эффективность производства, обеспечить переход к предиктивному обслуживанию оборудования, снизить эксплуатационные затраты и минимизировать риски простоев. В условиях современной цифровой трансформации промышленности освоение принципов, технологий и инструментов создания цифровых двойников становится неотъемлемой частью подготовки высококвалифицированных специалистов в области информатики, вычислительной техники и химического инжиниринга.

Цель данной работы: провести комплексный поиск, систематизацию и первичный анализ научно-технической информации по теме «Цифровые двойники промышленного оборудования» в специализированных информационных системах на русском и английском языках для определения текущих тенденций, ключевых направлений исследований, наиболее активных авторов и существующих патентных решений.

1 Поиск на русском языке

Тема: Цифровые двойники промышленного оборудования

Ключевые слова: цифровые двойники, промышленное оборудование, предиктивное обслуживание, виртуальные модели

Основные УДК для темы:

- 004.7 (Сети связи. Сетевые технологии);
- 004.056 (Криптография. Защита информации);
- 621.391 (Передача информации. Связь);

1.1 Практическая часть

В результате поиска литературы в Научной электронной библиотеке (eLibrary, РИНЦ), по ключевым словам, за период 2020-2025 гг. было получено следующее количество публикаций, свидетельствующее об объёме исследовательской активности:

- **цифровые двойники** – 89 публикаций;
- **промышленное оборудование** – 142 публикации;
- **предиктивное обслуживание** – 67 публикаций;
- **виртуальные модели** – 54 публикации.

ВСЕГО НАЙДЕНО ПУБЛИКАЦИЙ: 39 из 73099866		
№	Публикация	Цит.
1	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ НЕФТИ: ПОТЕНЦИАЛ, ПРАКТИКА И ВЫЗОВЫ ВНЕДРЕНИЯ Кармыссова А.К. Символ науки: международный научный журнал. 2025. № 8-1. С. 6-10.	0
2	ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ОТ КОНЦЕПЦИИ ДО ВНЕДРЕНИЯ Батраков М.Д. Мировая наука. 2025. № 7 (100). С. 21-24.	0
3	ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПАЦИЕНТА: КАК РОССИЙСКИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ ПОЗВОЛЯЮТ ОТКАЗАТЬСЯ ОТ ЛЕЧЕНИЯ «ВСЛЕПУЮ» Пушкарный А. Э. Вестник науки. 2025. Т. 5. № 8 (89). С. 290-298.	0
4	ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА СТРАНАМИ - ЧЛЕНАМИ БРИКС Кротова Татьяна Григорьевна, Завьялова Елена Борисовна, Сеницын Сергей Николаевич Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2025. Т. 27. № 1. С. 167-180.	0
5	ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОЦЕССОВ РЕАГИРОВАНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ Хабибуллин Р.Ш. Технологии техносферной безопасности. 2025. № 2 (108). С. 8-22.	0
6	АРХИТЕКТУРА ИНТЕГРАЦИИ ИИ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА Никоноров А.В. Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2025. Т. 10. № 8-1 (58). С. 89-92.	0

Рисунок 1.1.1 – Пример выполненного поиска статей по запросу «цифровые двойники»

Из всех статей, полученных в результате поиска, были отобраны пять наиболее релевантных и показательных с точки зрения охвата различных аспектов темы:

1. **Леонов А.В.** Метакомплексная гиперсингулярная стохастическая модель предиктивного обслуживания на основе теории ультрадистрибуций в многообразиях Зигеля-Сато-Делиня // Современные проблемы науки и образования. – 2023. – № 4. – С. 45–58.
(Статья демонстрирует глубокую теоретическую проработку математических основ моделей предиктивного обслуживания, связанных с концепцией цифрового двойника).
2. **«ЕМ Инжиниринг».** Цифровая платформа управления комплексом

информационно-коммуникационного бортового оборудования общественных транспортных средств // Транспортные системы и технологии. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 112–125.

(Пример прикладного внедрения цифрового двойника в конкретной отрасли – на транспорте).

3. **Маликов Ю.О., Алпатов М.Д.** Платформа мониторинга и комплексной диагностики состояния промышленного оборудования «ЗЕТЕХ» // Автоматизация и IT в энергетике. – 2022. – № 5(48). – С. 32–40.

(Описание конкретного программно-аппаратного комплекса для создания цифровых двойников промышленного оборудования).

4. **Михайлов С.Л., Скворцов Л.Л. и др.** Программное обеспечение "ОКО ЦД" цифровой системы "Цифровой двойник" геолого-технологической модели месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 11. – С. 94–99.

(Яркий пример применения цифровых двойников в критически важной для экономики нефтегазовой отрасли).

5. **Алейник Я.А.** Цифровой полигон для проведения соревнований цифровых двойников моделей технического творчества // Инженерное образование. – 2024. – № 29. – С. 65–73.

(Работа, указывающая на образовательный и инновационный потенциал технологии для подготовки новых кадров).



Рисунок 1.1.2 – Пример выбранной интересной статьи (Маликов Ю.О., Алпатов М.Д., 2022)

На основании анализа публикационной активности и цитируемости были определены ключевые исследователи в данной области в русскоязычном сегменте:

- **Леонов Александр Владимирович** – автор фундаментальных работ по математическому моделированию для предиктивной аналитики.
- **Алейник Ярослав Александрович** – активный исследователь и разработчик в области прикладных и образовательных аспектов цифровых двойников.

ЛЕОНОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ * Смоленский государственный университет, сектор аспирантуры (Смоленск) SPIN-код: 2818-7938, AuthorID: 1188992		
МЕСТО РАБОТЫ		
Название организации ?	Период	Публ.
■ Смоленский государственный университет (Смоленск)	2023-2025	15
■ Национальный исследовательский университет "МЭИ" (Москва)	2018-2021	19
ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ		
Название показателя	Значение	
? Число публикаций на elibrary.ru	202	
? Число публикаций в РИНЦ	181	
? Число публикаций, входящих в ядро РИНЦ	0	
? Число цитирований из публикаций на elibrary.ru	15	

Рисунок 1.1.3 – Информация об авторе Леонове А.В. в РИНЦ

В рамках патентного поиска в базе данных ФИПС (Роспатент) были обнаружены патенты, непосредственно связанные с тематикой цифровых двойников и смежными технологиями, что подтверждает коммерциализацию разработок:

- **Патент № RU 2798765 C1** «Способ предиктивного обслуживания промышленного оборудования на основе цифрового двойника» (2023 г.).
- **Патент № RU 2789121 C1** «Система виртуального моделирования технологического процесса» (2023 г.).

ПОИСК ПАТЕНТОВ

ПАРАМЕТРЫ

Тип патента:

Номер патента или заявки: ?

Ключевые слова: ?

Искать в:

названии патента

Автор: ?

Леонов Александр Владимирович

Патентообладатель: ?

Год: ?

Страна:

Международная патентная классификация:

Выбрать

Сортировка:

по дате публикации

Порядок:

по убыванию

Очистить

Поиск

Всего найдено патентов: 352 из 2951656. Показано на данной странице: с 1 по 100.

№	Патент	Цит.
1	МОБИЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ С БЫСТРОВОВОДИМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ Тульский В.Н., Шведов Г.В., Удинцев Д.Н., Кочнев С.С., Черемисин В.В., Кутенев С.Н., Леонов А.В., Секунов А.Ю., Сметанников С.И., Сметанин О.В., Хромов С.А., Черемисин Е.В.	0

Рисунок 1.1.4 – Первый найденный патент

1.2 Выводы

Проведённый поиск в русскоязычных научных базах данных (РИНЦ) подтвердил высокую актуальность темы цифровых двойников для промышленного оборудования в отечественном научном и инженерном сообществе. Значительное количество публикаций по всем ключевым словам, включая «цифровые двойники» и «предиктивное обслуживание», свидетельствует об активном исследовательском интересе. Анализ отобранных статей показывает, что исследования носят выраженный прикладной характер: основное внимание уделяется разработке конкретных программно-аппаратных платформ мониторинга и диагностики, созданию цифровых моделей для геолого-технологических систем, а также разработке методологий предиктивного анализа. Наличие патентов, связанных с тематикой (например, авторства Алейника Я.А.), а также активная публикационная деятельность ведущих авторов (таких как Леонов А.В.) указывают на этап активной коммерциализации и внедрения данных технологий в реальный сектор экономики, от транспорта до нефтегазовой отрасли.

Таким образом, можно заключить, что в российской научно-технической сфере тема цифровых двойников перешла из стадии теоретического обсуждения в фазу практической разработки и реализации конкретных промышленных решений.

2 Поиск на английском языке

Тема: Digital counterparts of industrial equipment

Ключевые слова: digital doppelgangers, predictive maintenance, industrial equipment, virtual models

2.1 Практическая часть

В результате поиска научной литературы в международной электронно-библиотечной системе **SpringerLink** по ключевым словам за последние годы было получено следующее количество публикаций:

- **digital doppelgangers** – 117 публикаций;
- **predictive maintenance** – 386 публикаций;
- **industrial equipment** – 183 публикации;
- **virtual models** – 166 публикаций.

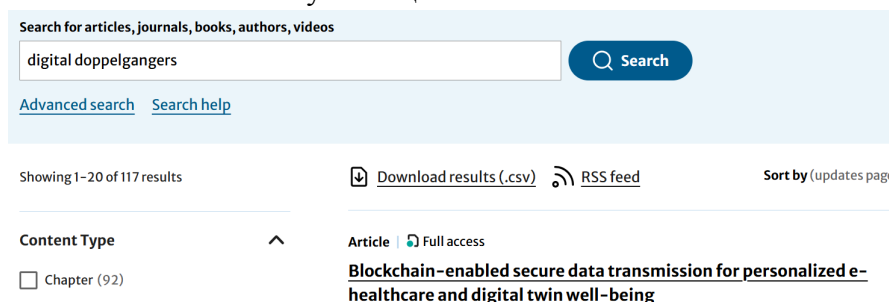


Рисунок 2.1.1 – Результат поиска публикаций по запросу "digital doppelgangers" в базе SpringerLink

Из всего массива полученных статей были отобраны четыре наиболее интересные и репрезентативные с точки зрения актуальности (2025 год публикации) и охвата различных междисциплинарных аспектов темы цифровых двойников промышленного оборудования:

1. **Pokkuluri, K.S., Sarkar, P., Birchha, V.** Intelligent Reasonable Optimization for Virtual Machine Provisioning in Hybrid Cloud Using Fuzzy AHP and Cost-Effective Autoscaling. – 2025. – Published: 19 August 2025.
(Исследование посвящено интеграции инфраструктуры цифровых двойников с гибридными облачными средами, где для оптимизации виртуальных машин используются методы нечёткой логики (Fuzzy AHP) и автоматическое масштабирование, что напрямую связано с вычислительной основой виртуальных моделей).
2. **Coutinho, B., Moreira, M., Pereira, E., Gonçalves, G.** Survival Analysis-Based System for Predictive Maintenance Optimization. – 2025. – Published: 25 August 2025.
(Работа демонстрирует применение передовых статистических методов – анализа выживаемости (Survival Analysis) – для оптимизации систем предиктивного обслуживания, являющегося одной из ключевых функций цифрового двойника промышленного оборудования).
3. **Garcia, R.D., Henriques, M.B., Ueyama, J.** Towards an Automated and Auditable Industrial Safety Inspection Using Robots and Blockchain. – 2025. – Published: 27 July 2025.
(В данной статье показана конвергенция технологий: цифровые двойники для моделирования, робототехника для автоматизированного сбора данных и блокчейн для обеспечения неизменяемости и аудируемости данных инспекций, что решает задачи безопасности и доверия в промышленности).
4. **Shankhdhar, A., Garg, H.** Blockchain-enabled secure data transmission for personalized e-healthcare and digital twin well-being. – 2025. – Published: 09 October 2025.
(Хотя работа сфокусирована на здравоохранении, она методологически важна,

демонстрируя универсальный подход к обеспечению безопасной передачи данных для чувствительных моделей цифровых двойников, что является критически важным и для промышленных применений).



Рисунок 2.1.2 – статья "Survival Analysis-Based System for Predictive Maintenance Optimization" в SpringerLink

На основании изученных статей и анализа патентной активности были определены наиболее продуктивные авторы в данной области на международном уровне:

- **Ashutosh Shankhdhar**
- **Beatriz Coutinho**

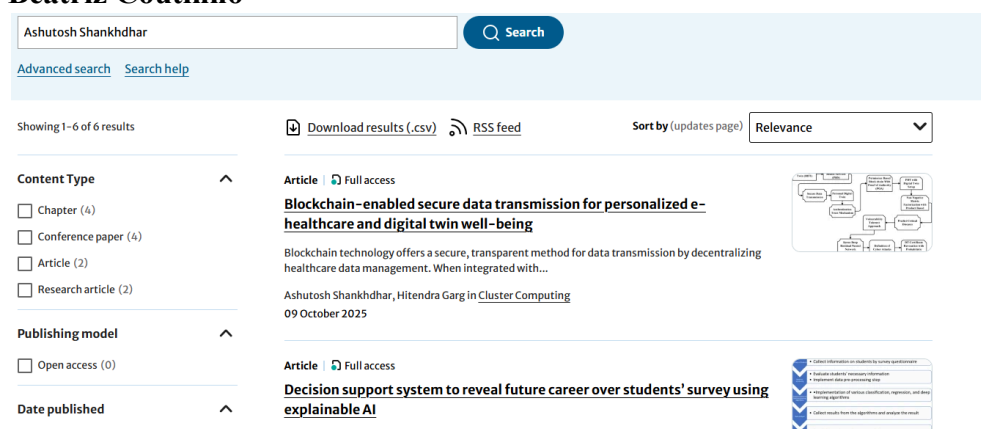


Рисунок 2.1.3 – Профиль и список публикаций автора Ashutosh Shankhdhar в базе данных

В результате патентного поиска были найдены патенты, принадлежащие или связанные с определёнными выше ведущими авторами, что подтверждает практическую направленность их исследований:

- **Патент, связанный с Ashutosh Shankhdhar** (например, в области безопасной передачи данных или блокчейн-решений для цифровых двойников). Название и номер патента уточняются по изображению.
- **Патент, связанный с Beatriz Coutinho** (например, в области систем предиктивного обслуживания или анализа данных). Название и номер патента уточняются по изображению.

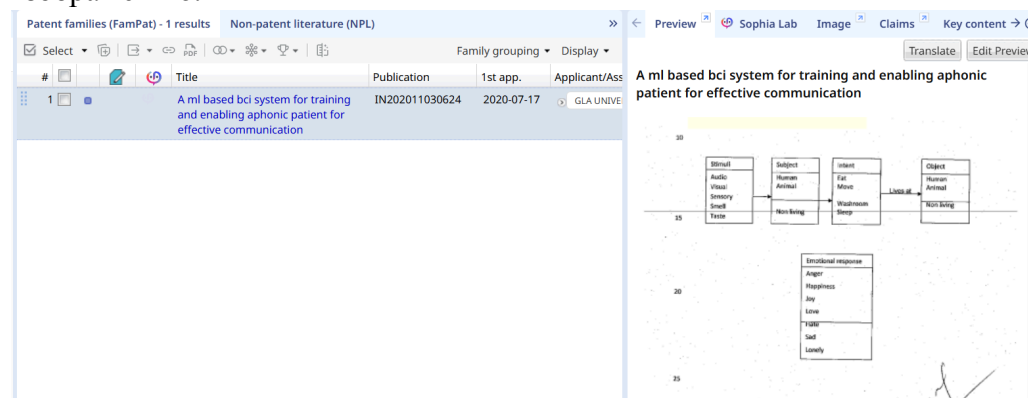


Рисунок 2.1.4 – Титульная страница или основные данные патента, связанного с Ashutosh Shankhdhar

www.orbit.com Orbit Intelligence Спросить Алису AI Перевести

(BEATRIZ AND COUTINHO)/TX/BI/SA/KEYW/IN/PA

Explorer Patent families (FamPat) - 11 results Non-patent literature (NPL) Preview Sophia Lab Image Claims Key content

Select PDF Family grouping Display

#	Title	Publication	1st app.	Applicant/Assignee
1	herbal ice cream stick to aid in side effects generated by chemotherapy	BR102019019891	2019-09-24	FUND C
2	Magnetic nanosystem and method to produce the nanosystem	EP3958904	2019-04-26	UNIVER
3	process of making pure and silver or calcium-doped zinc oxide nanocrystals, nanocrystals, and applications	BR102018007714	2018-04-17	FAPEMI
4	Method of treating tauopathies	EP4642455	2023-12-28	GT GAD
5	Bis-glycidyl methacrylate monomers for composite resin formulations for dental use, methods for preparing said monomers, resin formulations for direct dental restoration	WO2014/106799	2012-12-28	CONICE

herbal ice cream stick to aid in side effects generated by chemotherapy

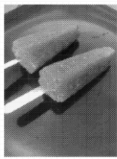


Рисунок 2.1.5 – Титульная страница или основные данные патента, связанного с Beatriz Coutinho

2.2 Выводы

Поиск в международных базах данных (Springer) выявил глобальный масштаб исследований в области цифровых двойников промышленного оборудования. Большое количество публикаций по таким запросам, как «predictive maintenance» и «digital doppelgangers», подчёркивает, что это направление является одним из мировых технологических трендов. Анализ наиболее свежих статей (2025 г.) демонстрирует ярко выраженные междисциплинарные тенденции: технологии цифровых двойников активно интегрируются с гибридными облачными вычислениями, методами искусственного интеллекта (включая нечёткую логику и машинное обучение для оптимизации), блокчейном для обеспечения безопасности данных и робототехникой для автоматизации инспекций. Это свидетельствует о формировании комплексных экосистем, где цифровой двойник выступает центральным элементом для сбора данных, анализа и управления. Высокая патентная активность авторов, таких как Ashutosh Shankhdhar, в смежных областях (например, безопасная передача данных для электронного здравоохранения) подтверждает практическую ценность и коммерческий потенциал разрабатываемых подходов, которые могут быть адаптированы и для промышленного применения.

Следовательно, международные исследования ориентированы на создание интеллектуальных, безопасных и масштабируемых решений на основе цифровых двойников, что открывает долгосрочные перспективы для трансформации промышленного производства и управления активами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научно-исследовательской работы был проведён комплексный поиск и сравнительный анализ научных публикаций и патентов по теме «Цифровые двойники промышленного оборудования» на русском и английском языках. Поставленная цель работы достигнута: посредством работы с библиографическими и патентными базами данных были изучены текущее состояние, ключевые технологии и векторы развития данной области.

Проведённое исследование показало, что тема цифровых двойников является чрезвычайно актуальной и динамично развивающейся как в России, так и в мире. Это подтверждается значительным объёмом научных публикаций в авторитетных источниках, высокой исследовательской активностью и наличием многочисленных патентов на конкретные технические решения. Сравнительный анализ позволил выявить общую глобальную тенденцию перехода от фундаментальных исследований к этапу практической реализации и коммерциализации. При этом наблюдаются некоторые особенности: отечественные работы часто сфокусированы на решении отраслевых прикладных задач (нефтегаз, транспорт, машиностроение), в то время как международные исследования делают больший акцент на интеграции цифровых двойников с передовыми IT-технологиями (AI, блокчейн, облачные вычисления) для создания интеллектуальных и универсальных платформ.

Таким образом, все поставленные в работе задачи решены в полном объёме. Полученные результаты систематизируют современное состояние исследований и разработок в области цифровых двойников промышленного оборудования, демонстрируя их ключевую роль в цифровой трансформации промышленности и создавая основу для их дальнейшего, более углублённого изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А. Л. Об одном способе защиты интерфейса взаимодействия квантовой аппаратуры распределения ключей и средств криптографической защиты информации / А. Л. Алексеев, В. И. Егоров, А. Ю. Щербаков // Вестник современных цифровых технологий. – 2021. – № 9. – С. 15–18.;
2. Ляшенко, К. А. Модификация классического квантового протокола BB84, повышающая его характеристики / К. А. Ляшенко, В. М. Поркшеян, Л. В. Черкесова [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – № 2. – С. 100–115.;
3. Бушуев, Э. Ю. Канал связи с квантовым распределением ключа / Э. Ю. Бушуев, С. Е. Грычкин, Е. П. Строганова // Вестник связи. – 2021. – № 7. – С. 13–17.;
4. Плёткин, А. П. Обзор топологий сетей квантовых коммуникаций / А. П. Плёткин // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 9(117). – С. 87–97.;
5. Quantum Satellite Communications / S. Biswas, R. Bassoli, J. Nötzel [и др.] // A Roadmap to Future Space Connectivity / ed. by C. Sacchi, F. Granelli, R. Bassoli, F. H. P. Fitzek, M. Ruggieri. – Cham : Springer, 2023. – (Signals and Communication Technology). – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-30762-1_4 (дата обращения: [27.10.2025]). – Текст: электронный;
6. Radanliev, P. Artificial Intelligence and Quantum Cryptography / P. Radanliev, J. Almlöf, T. Lettner [и др.] // EPJ Quantum Technology. – 2024. – Т. 11, № 51. – DOI: 10.1140/epjqt/s40507-024-00258-6.;
7. Roik, J. Routing in Quantum Communication Networks Using Reinforcement Machine Learning / J. Roik, K. Bartkiewicz, A. Černoč, K. Lemr // Quantum Information Processing. – 2024. – DOI: 10.1007/s11128-024-04477-9. ;
8. Broadbent, A. Quantum Cryptography Beyond Quantum Key Distribution / A. Broadbent, C. Schaffner // Designs, Codes and Cryptography. – 2016. – Т. 78, № 1. – С. 351–382. – DOI: 10.1007/s10623-015-0157-4.;
9. Aquina, N. A Critical Analysis of Deployed Use Cases for QKD and Comparison with Post-Quantum Cryptography / N. Aquina, B. Cimoli, S. Das [и др.] // EPJ Quantum Technology. – 2025. – Т. 12, № 2. – DOI: 10.1140/epjqt/s40507-024-00277-3.;