

Обзор технологий индустрии 4.0 для разработки системы дистанционного управления строительной площадкой

Адамцевич Любовь Андреевна

доцент, к.т.н., доцент кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ (Москва, Россия);

e-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Харисов Ильнур Зямитевич

Аспирант кафедры Технологии и организации строительного производства НИУ МГСУ (Москва, Россия);

e-mail: zkhnur@gmail.com

Аннотация: Развитие науки и техники в различных областях жизнедеятельности человека приводит к тому, что все большее число рутинных операций автоматизируется. Не исключением является и строительная отрасль, активное развитие которой сегодня происходит с комплексным внедрением цифровых технологий. Данный подход заложен в концепции Строительство 4.0, непосредственно связанной с Индустрией 4.0. В статье представлен обзор технологий Индустрии 4.0, связанных со строительной отраслью, в результате которого выявлены перспективные для интеграции технологии с целью повышения эффективности и безопасности строительного производства за счет разработки системы дистанционного управления строительной площадки.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, Строительство 4.0, 3D сканирование, AR/MR, технологии информационного моделирования, искусственный интеллект, цифровые двойники

Введение

Развитие человечества неразрывно связано с изменением методов и подходов в различных областях

его жизнедеятельности, что подтверждается историей. Так, например, первая промышленная революция произошла в ведущих государствах мира в XVIII—XIX веках. Характерной чертой этого промышленного переворота стал массовый переход от ручного труда к машинному, от мануфактурного производства к фабричному. И этот пример не один, на рис. 1 представлены основные аспекты трансформации промышленности с течением времени.

Четвертая промышленная революция, толчком для которой стал мировой экономический кризис 2008 года, который показал, что возможности используемых в то время информационно-коммуникационных технологий оказались исчерпаны, связана с развитием полностью цифровой промышленности. Вот почему в то время остро встает вопрос о необходимости разработки новых прорывных технологий в производственные процессы, решением которого в 2011 году становится стратегическая инициатива развития промышленности Германии «Платформа «Индустрия 4.0». Практически одновременно аналогичные программы запускаются в Бельгии, Великобритании, Италии, Нидерландах, Франции, Китае и других странах. В нашей стране вводится термин «передовые производственные технологии». При

AN OVERVIEW OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF A REMOTE-CONTROL SYSTEM FOR A CONSTRUCTION SITE

Adamtsevich Liubov

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, MSUCE (Moscow, Russia); e-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Kharisov Ilnur

Post-graduate student of the Department of Technology and Organization of Construction Production, MSUCE (Moscow, Russia); e-mail: zkhnur@gmail.com

Abstract: The development of science and technology in various

areas of human life leads to the fact that an increasing number of routine operations are automated. The construction industry is no exception, which is actively developing today with the complex introduction of digital technologies. This approach is embedded in the Construction 4.0 concept, which is directly related to Industry 4.0. The article provides an overview of Industry 4.0 technologies related to the construction industry, because of which technologies that are promising for integration have been identified in order to increase the efficiency and safety of construction production through the development of a remote-control system for a construction site. **Keywords:** Industry 4.0, Construction 4.0, 3D scanning, AR/MR, information modeling technologies, artificial intelligence, digital twins

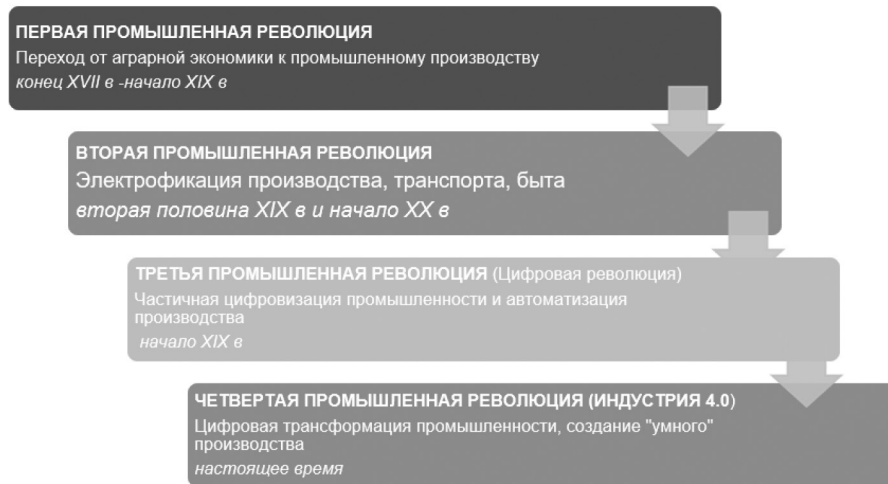


Рис.1. Трансформация производственной деятельности человека

этом одним из ключевых аспектов совершенствования промышленности при развитии концепции «Индустрия 4.0» объявляется применение в заводских процессах киберфизических систем (КФС), внедрение которых обеспечивает полную интеграцию вычислительных ресурсов в физические процессы. При этом внедрение КФС предполагается как в промышленности, так и на транспорте, в энергетике и даже системы жизнеобеспечения. Вместе с тем связующим звеном между физической, биологической и цифровой реальностями становятся информационные технологии. На рис.2. представлены примеры технологий, входящих в физические, биологические и цифровые блоки.

Не исключением является и строительная отрасль, в которой также прогнозируется глобальная цифровая трансформация. Для примера, мы на протяжении последних тридцати лет видим эволюцию

развития цифровых инструментов в проектировании. Люди многие столетия использовали бумагу и карандаш, создавая двумерные чертежи. На смену кульмана, появились многочисленные инструменты САД систем, которые помогли «оцифровать кульман». Сейчас наступила новая эпоха – эпоха технологий информационного моделирования, в которой объект представлен не просто набором трехмерных линий, а где любому элементу уже присвоены свойства. Открытым остается вопрос, когда Искусственный Интеллект будет помогать человеку проектировать здания и сооружения,

В статье рассмотрим актуальные исследования в этой области через публикации, представленные в международной базе знаний Scopus, для разработки подхода к дистанционному управлению строительной площадкой. Статьи из Российского индекса научного цитирования — библиографической базы данных научных публикаций российских учёных, не рассматриваются, поскольку по ключевым словам, используемым в исследовании, публикаций не найдено.

Методы и методология

Как было указано выше концепция «Индустрия 4.0» первоначально анонсирована правительством Германии в 2011 году и подразумевала под собой новый подход к производству, основанный на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта [1].



Рис.2. Примеры технологий Индустрии 4.0

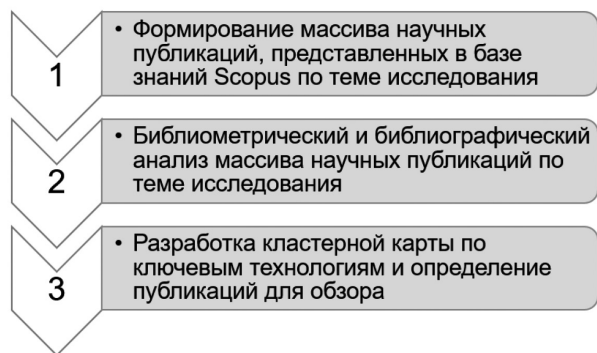


Рис.3. Схема представленного исследования в соответствии с поставленной целью

В тоже время концепция «Строительство 4.0» описывает изменение подходов в архитектуре, а также при проектировании, строительстве и эксплуатации строительных объектов [2-4] и фактически описывает цифровую трансформацию строительной отрасли. Таким образом «Строительство 4.0» представляет собой вариант адаптации концепции Индустрии 4.0 для гражданского и промышленного строительства с использованием передовых технологий для преодоления специфических проблем этого сектора.

В статье будет рассмотрена взаимосвязь указанных выше концепций для выявления перспективных для интеграции технологий с целью повышения эффективности и безопасности строительного производства. Для достижения поставленной в исследовании цели необходимо выполнить три последовательных этапа в соответствии с принципиальной схемой исследования, представленной на рис. 3.

Результаты

1. Формирование массива научных публикаций, представленных в базе знаний Scopus по теме исследования

На первом этапе был сформирован список публикаций, представленных в международной базе знаний Scopus по ключевым словам Industry 4.0 и Construction 4.0. Всего в указанной базе данных за все время представлено 859 публикаций. Для дальнейшего анализа возьмем статьи, опубликованные в период с 2011 года, поскольку именно в этот год появился термин Индустрия 4.0 в принятом в статье понятии. Таким образом, анализируемый объем публикаций для определения перспективных технологий в строительной отрасли и разработки подхода к

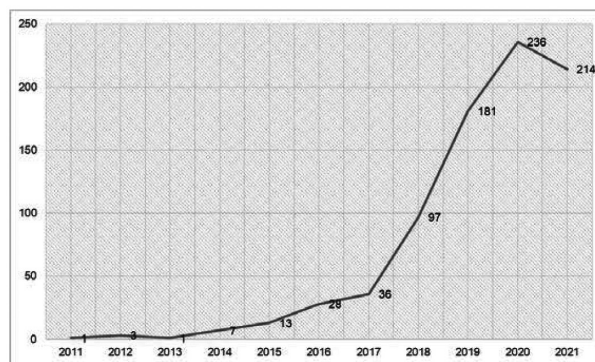


Рис. 4. Распределение публикаций по годам

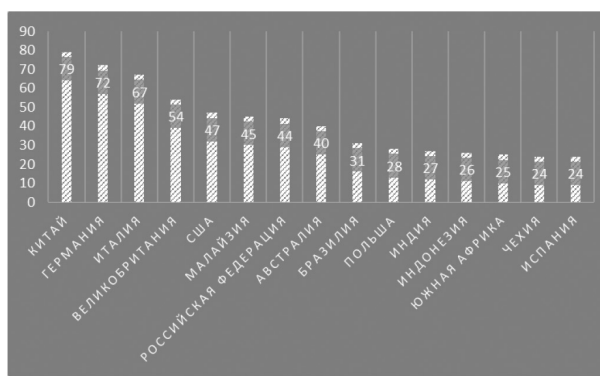


Рис.5. распределение публикаций по странам (первые 15 стран)

дистанционному управлению строительной площадью составил 818 штук.

2. Библиометрический и библиографический анализ массива научных публикаций по теме исследования

На рис. 4 представлено распределение указанных публикаций по годам.

При этом наибольшее количество публикаций относится к отрасли наук Engineering (технические науки) – 31,1% и computer science (компьютерные науки) 18,8%, что еще раз подтверждает гипотезу о тесной взаимосвязи информационных технологий и строительной отрасли. Распределение публикаций по первым 15 странам представлено на рис. 5.

Как видно из рисунка авторы из России также заинтересованы развитием технологий Индустрии 4.0 в строительной отрасли и занимают 7 место.

3 Разработка кластерной карты по ключевым технологиям и определение публикаций для обзора

На рис. 6 представлена кластерная карта взаимосвязи ключевых технологий Индустрии 4.0 в строительстве. Всего в выборке осталось 818 публикаций,

Таблица 1.

Наиболее релевантные в рамках представленного исследования публикации

Ссылка на публикацию	Краткое содержание	Технология
[6]	В статье представлена система промышленной облачной платформы Интернета на основе EMQX. Сервер обмена сообщениями EMQX использует протокол связи MQTT для подключения устройств на промышленной площадке к Интернету. Получая доступ к облачной платформе, пользователи могут удаленно управлять устройствами на месте. Система облачной платформы, разработанная в этой статье, реализует сочетание промышленности и Интернета	Облачная платформа
[7]	Научная работа посвящена оценке готовности Румынии к развитию интеллектуальной индустрии в строительной отрасли. Далее научная работа будет сосредоточена на примерах вклада и разработок оригинальных концепций и конструкций интеллектуальных систем, технологических платформ и сетей роботов, которые поддерживают цифровое предприятие и интеллектуальную промышленность (4.0) в Румынии	Умное производство Коботы или коллаборативные роботы,
[8]	Исследование направлено на изучение проблем при внедрении интеллектуальных технологий в Сингапуре, предложение эффективных стратегий для содействия внедрению интеллектуальных технологий и изучение значительных различий в восприятии проблем и стратегий организациями, имеющими многолетний опыт работы в строительной отрасли. Для достижения поставленных целей проведены всесторонний обзор литературы и пилотные интервью с отраслевыми экспертами, за которыми последовали опрос и интервью. Результаты показали, что главными проблемами, с которыми приходится сталкиваться, являются обмен данными и информацией, соблюдение нормативных требований и владение данными, а наиболее эффективными стратегиями являются обучение квалифицированных строительных кадров, предоставление государственных стимулов, а также обмен информацией и управление изменениями.	
[9]	Цель статьи сводилась к выявлению с помощью исследований, представленных в открытом доступе и анализа экономических отчетов особенности Португалии в контексте Европейского Союза в отношении барьеров и условий присоединения к Индустрии 4.0.	
[10]	В статье представлена система «BeaM» - система управления производством, которая направлена на поддержку BIM-интегрированного применения методов бережливого строительства на строительных площадках. Эта статья передает теоретические основы системы «BeaM!», а функциональные требования вводятся вместе с набором сценариев использования. Кроме того, представлен первый прототип, построенный с использованием этих функциональных требований.	Технологии информационного моделирования (ТИМ)
[11]	Исследовательская работа, представленная в статье, посвящена вопросам развития концепции Индустрии 4.0, через изучение особенностей строительного процесса, который осуществляет ведущая строительная организация Великобритании. Таким образом исследование ориентировано на составление прогноза внедрения технологий четвертой промышленной революции с учетом возможных препятствий.	
[12]	В последние годы появились различные приложения, интегрирующие блокчейн с Интернетом вещей (IoT). В то время как такие отрасли, как автомобилестроение, приняли эту интеграцию, применение в других областях, таких как строительство, остается ограниченным. Наукометрический анализ применяется к 648 статьям, в которых определяется использование Интернета вещей и блокчейн в инженерии, а также оценивается прогресс исследований в строительной отрасли. Качественный критический обзор применяется к 88 статьям и анализирует успешные примеры применения IoT и Blockchain в строительстве, а также выделяются проблемы и ограничения. Этот документ предоставляет исследователям исчерпывающий обзор соответствующей литературы и пробелов в исследованиях, которые открывают возможности для будущих исследований.	Блокчейн Интернет вещей
[13]	В статье представлена концепция управления цифровыми данными в условиях развития технологий Индустрии 4.0	
[14]	Целью данного исследования является определение уровня внедрения технологий Индустрии 4.0 в строительной отрасли в Малайзии и определение предполагаемого воздействия на ее производительность	
[15]	Эволюция цифровых экосистем на основе информационного моделирования зданий делает возможным создание цифровых двойников из физических сред здания. Эти цифровые двойники могут контролировать физические ресурсы (материалы, оборудование и персонал) на строительной площадке и могут быть включены в систему управления строительством для поддержки принятия решений. Для этого необходимо использовать соответствующие вспомогательные инструменты для сбора, хранения и визуализации данных. Это исследование направлено на представление структуры и применения цифровых двойников для мониторинга физических ресурсов на строительных площадках и отображения информации в режиме реального времени.	Цифровой двойник

[16]	Виртуальный ввод в эксплуатацию - ключевая технология в Индустрии 4.0, которая может решить проблемы, с которыми инженеры сталкиваются на ранних этапах проектирования. Процесс виртуального ввода в эксплуатацию включает создание цифрового двойника - динамического виртуального представления соответствующей физической системы. Модель цифрового двойника можно использовать для тестирования и проверки системы управления в смоделированной виртуальной среде для обеспечения быстрой настройки и оптимизации перед физическим вводом в эксплуатацию. Кроме того, модульные системы управления производством могут быть интегрированы и протестированы во время или до создания физической системы. В данной статье описывается реализация эмулятора цифрового двойника автоматизированной мехатронной модульной производственной системы, который связан с работающими программируемыми логическими контроллерами и позволяет обмениваться информацией с физической системой в режиме, близком к реальному времени.	Цифровой двойник
[17]	В этой работе представлены и проанализированы строительные материалы от проектного моделирования до извлечения информации о модели, виртуального строительства и импортированного механизма виртуального моделирования.	ТИМ
[18]	С наступлением эры Energy 4.0 внедрение систем «Интернет + искусственный интеллект» позволит трансформировать и модернизировать традиционную энергетическую отрасль. Это смягчит энергетические и экологические проблемы, с которыми в настоящее время сталкивается Китай. Комплексное развитие искусственного интеллекта и энергетики стало неизбежным при разработке энергосистем будущего. В этом исследовании был применен комплексный оценочный индекс к энергетической отрасли для расчета комплексного индекса развития энергетической отрасли в 30 провинциях Китая с 2000 по 2017 год	
[19]	В статье рассматриваются перспективы использования технологий информационного моделирования в рамках Индустрии 4.0	ТИМ
[20]	В статье представлен систематический обзор концепции Строительство 4.0 в контексте развития информационного моделирования зданий.	ТИМ
[21]	В статье исследуется приложение для использования дополненной реальности в процессе использования технологий информационного моделирования.	Дополненная реальность, ТИМ
[22]	В статье представлен обзор литературы по взаимосвязи двух ключевых технологий Индустрии 4.0: ТИМ и Интернет вещей.	ТИМ, Интернет вещей
[23]	В этой статье оценивается, существует ли автоматизированный или полуавтоматический рабочий процесс обеспечивающий переход ТИМ к энергомоделированию зданий, который может сократить сроки проектирования здания.	ТИМ; энергомоделирование зданий
[24]	В статье рассматривается применение Интернета вещей в различных областях, таких как автомобильная промышленность, встроенные устройства, мониторинг окружающей среды, сельское хозяйство, строительство, интеллектуальные сети, здравоохранение и т. д.	Интернет вещей
[25]	Цифровой двойник - это новая технология, находящаяся в авангарде Индустрии 4.0, конечная цель которой - объединить физическое и виртуальное пространство. На сегодняшний день концепция цифрового двойника применяется во многих инженерных областях, обеспечивая полезную информацию в областях инженерного проектирования, производства, автоматизации и строительства. В то время как сочетание различных технологий открывает новые возможности с цифровым двойником, технология требует структуризации для интеграции различных технологий, таких как, ТИМ. В этой работе предлагается структура слияния информации для плавного слияния разнородных компонентов в структуре цифрового двойника из различных задействованных технологий. Это исследование направлено на расширение цифрового двойника в зданиях с использованием искусственного интеллекта и трехмерной реконструкции с помощью беспилотных летательных аппаратов.	ТИМ, цифровой двойник, искусственный интеллект
[26]	В статье представлен всесторонний анализ ТИМ с позиции развития концепции Индустрии 4.0	ТИМ
[27]	В последние годы в связи с активным проникновением информационных и коммуникационных технологий в производственные процессы появились новые концепции, такие как Интернет вещей, промышленный Интернет вещей и киберфизические системы. Взаимосвязь между этими концепциями и степень интеграции между ними считаются апофеозом современности, поэтому в этой статье основное внимание уделяется интеграции Интернета вещей, промышленного Интернета вещей и киберфизических систем.	Интернет вещей, промышленный интернет вещей, киберфизические системы
[28]	В условиях происходящей в настоящее время революции Индустрии 4.0 производственные компании массово внедряют новые технологии для достижения виртуализации своих производственных помещений и совместной работы своих информационных систем. Этот процесс часто приводит к созданию в реальном времени совместной интеллектуальной виртуальной фабрики их физического завода (так называемого цифрового двойника). Применение цифровых двойников и передовых технологий в планировании производства по-прежнему сталкивается с множеством проблем. Но исследования относительно того, как эти передовые техноло-	Цифровой двойник

	гии могут быть применены для улучшения планирования производства, все еще ограничены. В этом документе рассказывается, как улучшить планирование материальных ресурсов (MRP) с помощью цифровых двойников и других передовых технологий, а также представлена структура для интеграции программного обеспечения MRP с технологиями цифровых двойников.	Цифровой двойник
[29]	В статье оценивается в какой степени информационное моделирование зданий используется для выбора сценария завершения жизненного цикла для минимизации отходов строительства и сноса	ТИМ
[30]	В статье обсуждаются потенциальные опасности, которые следует учитывать при оценке пригодности БПЛА или робота для конкретного приложения в строительной отрасли.	БПЛА
[31]	Сегодня 3D-сканирование существующих объектов - это хорошо известный инструмент для создания надежной основы для инженерного проекта. С помощью 3D-сканирования можно измерить точные размеры и положение существующего оборудования, трубопроводов, кабельных лотков и т.д. Однако данные, генерируемые во время сканирования, могут принести гораздо больше пользы для работы установки, если они подготовлены соответствующим образом. В статье 3D-сканирование рассматривается как часть «виртуального управления активами предприятия»	3D сканирование

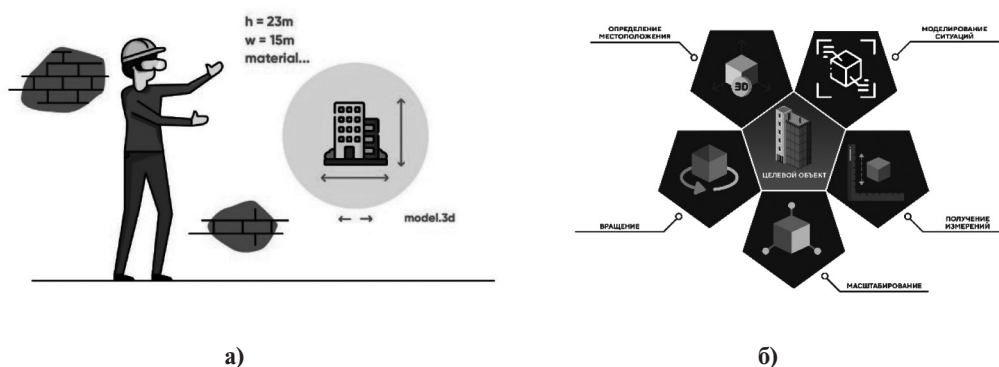


Рис. 7. Визуальное представление предлагаемых решений

Литература

1. Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О. Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0»: Обзор// Вестник МГСУ. -2021. - Т. 16. № 7. С. 885-911.
2. Karmakar, A., Delhi, V.S.K. Construction 4.0: What we know and where we are headed?// Journal of Information Technology in Construction. -26. – 2021. - 526-545.
3. Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., and Bartolo, P. J., Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on construction 4.0.// Automation in Construction. - 2019. – 103. - 251-267.
4. Pia Sch nbeck, Malin L fsj rd, Anders Ansell Collaboration and knowledge exchange possibilities between industry and construction 4.0 research//Procedia Computer Science.- №192.- 2021. - 129-137
5. VOSviewerTM—Visualizing Scientific Landscapes.
6. Gao, S., Shi, Z. Industrial Internet Cloud Platform System Based on EMQX//Lecture Notes in Electrical Engineering. - 803 LNEE. – 2022. – 183-192
7. Gheorghe, G., Sorin-Ionut, B., Ilie, I., Veronica, D. Is Romania Ready for the Development of Smart Industry 4.0?// Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2022. – 293-304
8. Hwang, B.-G., Ngo, J., Teo, J.Z.K. Challenges and Strategies for the Adoption of Smart Technologies in the Construction Industry: The Case of Singapore//Journal of Management in Engineering. - 38(1). – 2022. – 05021014
9. de Jesus, C., Lima, R.M. Study of the Portuguese Challenges in the Context of European Union to Identify Adaptation Strategies for the Industry 4.0//Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2022. – 25-35
10. Schimanski, C.P., Pradhan, N.L., Chaltsev, D., Pasetti Monizza, G., Matt, D.T. Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software//Automation in Construction. - №132.-2021. - 103969
11. Newman, C., Edwards, D., Martek, I., (...), Thwala, W.D., Rillie, I. Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study//Smart and Sustainable Built Environment. - №10(4). – 2021. – 557-580.
12. Elghaish, F., Hosseini, M.R., Matarneh, S., (...), Poshdar, M., Ghodrati, N. Blockchain and the ‘Internet of Things’ for the construction industry: research trends and opportunities// Automation in Construction. - №132. – 2021. – 103942
13. M da, P., Calvetti, D., Hjelseth, E., Sousa, H. Incremental digital twin conceptualisations targeting data-driven circular construction //Buildings. – 11(11). – 2021. - 554
14. Shaharuddin, A.B., Aminudin, E., Zakaria, R., Abidin, N.I.,

- Lau, S.E.N. Adoption of construction industry 4.0 among small and medium sized contractor in Malaysia //AIP Conference Proceedings. – 2428. – 2021. – 060001.
15. de Andrade Marques Ferreira, E., de Jesus, B.S.V.B., Ara jo, C.S., Rodrigues, Y.C.M., Costa, D.B. Digital twins to monitor physical resources at construction sites with web application// AIP Conference Proceedings.- 2428. – 2021. - 050006
 16. Mykoniatis, K., Harris, G.A. A digital twin emulator of a modular production system using a data-driven hybrid modeling and simulation approach//Journal of Intelligent Manufacturing. – 32(7). – 2021. – 1899-1911
 17. Sun, H., Fan, M., Sharma, A. Design and implementation of construction prediction and management platform based on building information modelling and three-dimensional simulation technology in Industry 4.0// IET Collaborative Intelligent Manufacturing. – 3(3). – 2021. – 224-232.
 18. Dong, F., Zhang, S., Zhu, J., Sun, J. The impact of the integrated development of ai and energy industry on regional energy industry: A case of China// International Journal of Environmental Research and Public Health. – 18(17). – 2021. – 8946.
 19. Ding, C., Kohli, R. Analysis of a building collaborative platform for Industry 4.0 based on Building Information Modelling technology // IET Collaborative Intelligent Manufacturing. – 3(3). -2021. – 233-242.
 20. Begi , H., Gali , M. A systematic review of construction 4.0 in the context of the BIM 4.0 premise//Buildings. - 11(8). – 2021. -33.
 21. Schranz, C., Urban, H., Gerger, A. Potentials of augmented reality in a bim based building submission process// Journal of Information Technology in Construction. -26. – 2021. - 441-457.
 22. Mannino, A., Dejaco, M.C., Re Cecconi, F. B u i l d i n g information modelling and internet of things integration for facility management-literature review and future needs// Applied Sciences (Switzerland). - 11(7). – 2021. – 3062.
 23. Porsani, G.B., de Lersundi, K.D.V., Guti rrez, A.S.-O., Bandera, C.F. Interoperability between building information modelling (Bim) and building energy model (bem)// Applied Sciences (Switzerland). - 11(5),2167. – 2021. - 1-20.
 24. Malik, P.K., Sharma, R., Singh, R., (...), Ghosh, U., Nayak, J. Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of The Art //Computer Communications. -166. – 2021. - 125-139
 25. To, A., Liu, M., Hazeq Bin Muhammad Hairul, M., (...), Hesse, H., Nguyen, H.D. Drone-Based AI and 3D Reconstruction for Digital Twin Augmentation //Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). - 12774 LNCS. - 2021. -511-529
 26. Joblot, L., Danjou, C., Pellerin, R., Lamouri, S. Industry 4.0 and BIM: Do They Share the Same Objectives?// Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2021. - 412-418
 27. Khujamatov, H., Reypnazarov, E., Khasanov, D., Akhmedov, N. IoT, IIoT, and Cyber-Physical Systems Integration // Advances in Science, Technology and Innovation. -2021. - 31-50.
 28. Luo, D., Thevenin, S., Dolgui, A. A Digital Twin-Driven Methodology for Material Resource Planning Under Uncertainties// IFIP Advances in Information and Communication Technology. - 630 IFIP. – 2021. - 321-329
 29. Akbarieh, A., Jayasinghe, L.B., Waldmann, D., Teferle, F.N. BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review// Sustainability (Switzerland). – 12(7). – 2020. - 2670
 30. Kas, K.A., Johnson, G.K. Using unmanned aerial vehicles and robotics in hazardous locations safely //Process Safety Progress. - 39(1). – 2020. - e12066
 31. Strunkmann, G.W. 3D Scanning as a part of «virtual plant asset management» - A short trip to industry 4.0 | [3D-scanning als teil von virtual plant asset management» - kurze betrachtung zu industrie 4.0] / / Zuckerindustrie. - 145(1). – 2020. - 46-48.