

Развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта с использованием технологий информационного моделирования (bim) и больших данных (big data): обзор

УДК 69 : 004.942

Железнов Максим Максимович

Профессор, д.т.н., профессор кафедры «Информационные системы, технология и автоматизация строительства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);
e-mail: zheleznovmm@mgsu.ru

Адамцевич Любовь Андреевна

Доцент, к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы, технология и автоматизация строительства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);
e-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Аннотация: Цель статьи сводится к оценке уровня интеграции технологий информационного моделирования (BIM) и больших данных (Big Data) применительно к инфраструктуре на железнодорожном транспорте на основе анализа публикационной активности, представленной в международной базе данных Scopus.

Для достижения поставленной цели проведен библиометрический и библиографический обзор международных научных публикаций, представленных в БД Scopus. Представленное исследование включает в себя несколько взаимосвязанных этапов:

1. Подбор ключевых слов по теме исследования;
2. Сбор научных публикаций по теме исследования, по ключевым словам, определенным в пункте 1;
3. Проведение анализа отобранных публикаций:
 - 3.1. проведение библиометрического анализа публикаций для разработки кластерной карты по взаимосвязи ключевых слов;
 - 3.2. проведение библиографического анализа публикаций.
4. Обзор отобранных публикаций

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что использование технологий Индустрии 4.0 на объектах транспортной инфраструктуры находится еще в зачаточном состоянии. Перспективной

DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE USING BIM AND BIG DATA: A SYSTEMATIC REVIEW AND BIBLIOMETRIC

Zheleznov Makim Maksimovich

Doctor of engineering, Professor of the Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia;
e-mail: zheleznovmm@mgsu.ru

Adamtsevich Lubov Andreevna

Doctor of engineering, Docent of the Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia;
e-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Abstract: The purpose of the article is to assess the level of integration of information modeling technologies and big data in relation to the transport infrastructure in railway transport based on the analysis of publishing activity presented in the Scopus database. To achieve the goal set in the study, a bibliometric and bibliographic review of international scientific publications presented in Scopus,

a bibliographic and abstract database of scientists around the world was carried out. A generalized scheme for conducting a study includes several stages:

1. Selecting keywords for the research topic
2. Collection of scientific publications on the topic of research by the keywords defined in paragraph 1.
3. Conducting an analysis of scientific publications on the research topic:
 - 2.1. Conducting bibliometric analysis to develop a cluster map of the relationship of keywords;
 - 2.2. Conducting bibliographic analysis to select scientific publications for review.
3. Review of selected publications.

The conducted studies allow us to conclude that the use of new technologies at transport infrastructure facilities is still in its infancy. And it seems promising to develop models and methods of using BIM and big data technologies to implement the concept of implementing a life cycle management system for capital construction of transport infrastructures.

Keywords: BIM; Big Data; Industry 4.0; railway; transport infrastructure; smart cities, IoT

представляется разработка моделей и методов использования технологий информационного моделирования и больших данных для реализации концепции внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства транспортных инфраструктур.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования; большие данные; Индустрия 4.0; железнодорожный транспорт; умные города; Интернет вещей

Введение

Активная жизнедеятельность человека приводит к изменению методов и подходов в промышленности. Такой подход в истории развития человека получил название промышленная революция (рис. 1). Принято считать, что Первая промышленная революция или Великая индустриальная революция в ведущих государствах мира произошла в XVIII–XIX веках, в этот период происходит массовый переход от ручного труда к машинному, от мануфактуры к фабрике. Вторая половина XIX века и начало XX века считаются периодом становления второй промышленной технологической революции, где происходит глобальная трансформация мировой промышленности, кульминацией которой считается внедрение поточ-

ного производства и поточных линий. Третья промышленная революция началась в 1980-х гг. и характеризуется масштабным переходом от аналоговых технологий к цифровым. Данный процесс продолжался до середины первого десятилетия XXI века. Началом четвертой промышленной революции считается 2011 г., когда была презентована стратегическая инициатива развития промышленности Германии «Платформа «Индустрия 4.0» [1–3]. Практически одновременно аналогичные программы запускаются в Бельгии, Великобритании, Италии, Нидерландах, Франции, Китае и других странах.

Если рассматривать строительную отрасль, то четвертая промышленная революция принесла достаточно много новых технологий, использование которых позволяет повысить безопасность и устойчивость зданий и сооружений, снизить риски возникновения чрезвычайных ситуаций или их последствия. Однако в то же время статистические данные свидетельствуют о том, что активное внедрение какой-то одной технологии не приводит к ее интеграции во все отрасли промышленности. Целью статьи является оценка уровня интеграции технологий информационного моделирования и больших данных применительно к транспортной инфраструктуре на железнодорожном транспорте.

Краткая базовая теория

ВIM – технологии информационного модели-



Рис. 1. Трансформация производственной деятельности человека с течением времени

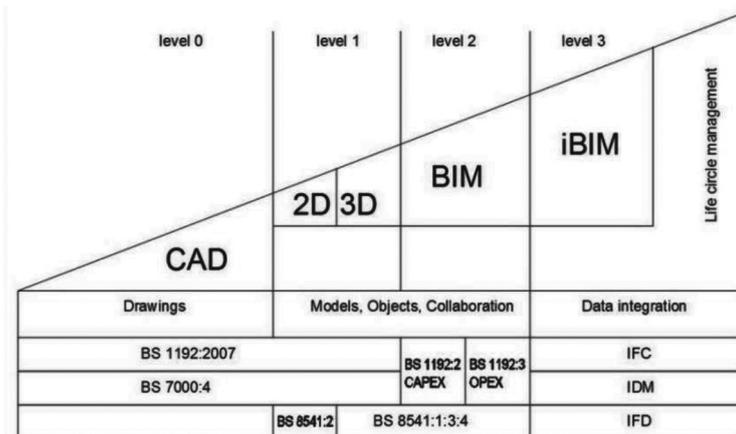


Рис. 2. Уровни зрелости BIM [4]

рования представляют собой процесс, который начинается с создания интеллектуальной 3D-модели и обеспечивает возможности управления документами, координации и моделирования на протяжении всего жизненного цикла проекта (планирование, проектирование, строительство, эксплуатация и обслуживание). Уровни зрелости BIM исходя из способности последовательности строительного процесса оперировать и обмениваться информацией описывает Модель BIM Бью-Ричардса, представленная на рис. 2

Уровень 0 — характеризует CAD (САПР) системы, позволяющие создавать двумерные чертежи.

Уровень 1 — Управляемый CAD в 2 или 3D формате с инструментом взаимодействия, обеспечивающего общую среду данных.

Уровень 2 — Управляемое 3D окружение, содержащееся в отдельных инструментах BIM.

Уровень 3 — обеспечивает поддержку всего жизненного цикла строительного объекта.

Кроме того, принято различать размерность или детализацию проработки информационной модели. Существующие в настоящее время размерности информационных моделей представлены на рис. 3 [5].

Однако в настоящее время ведутся споры еще о двух размерностях, таких как:

- 9D — бережливое строительство;
- 10D — индустриализация строительства.

Для стимулирования активного внедрения технологий информационного моделирования в ряде стран введены нормативные документы, регламентирующие правила реализации проектов за бюджетные средства только с использованием технологий информационного моделирования [6-10].

Большие данные (Big Data) — обозначение структурированных и неструктурированных данных огромных объемов и значительного многообразия, эффективно обрабатываемых горизонтально масштабируемыми программными инструментами, альтернативных традиционным системам управления базами данных.

В условиях цифровизации промышленности образуется все большее количество информации, обработка которой позволяет моделировать строительные процессы и прогнозировать неблагоприятные ситуации.

Уровень зрелости технологии больших данных можно оценить с использованием кривой Гартнера (Gartner), которая характеризует фазу зрелости технологического проекта. Кривая включает в себя пять этапов (табл. 1), которые переживает любая разработка или технология.

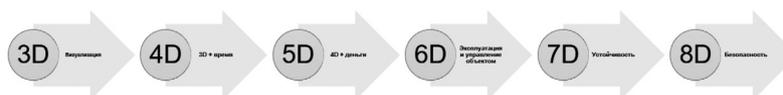


Рис. 3. Размерности информационной модели [5]

Таблица 1

Этапы зрелости технологии в соответствии с кривой Гартнера

Этапы кривой Гартнера	Описание этапа
Запуск технологии	начальный этап, отображающий фазу технологического прорыва и характеризует глобальный старт технологии на рынке с далеко идущими целями
Пик завышенных ожиданий	данный этап характеризует повышенный интерес и чрезмерный ажиотаж вокруг новой технологии, а также период в который строятся иллюзии вокруг проекта.
Нижняя точка разочарования	потенциальная смерть технологии. На данном этапе команда разработчиков проекта в надежде найти выход теряет энтузиазм и желание работать. Репутация проекта резко теряет доверие общественности.
Склон просвещения	во время данного этапа начинаются встречи с инвесторами, тотальный пересмотр позиционирования, корректировка хода проекта. Появляются новые задачи и решения, реализация которых дает большие преимущества для организации, реализующей новую технологию.
Плато производительности	на данном этапе технология доказала свою состоятельность и экономическую выгоду. Начинается поэтапное внедрение технологии на рынке.

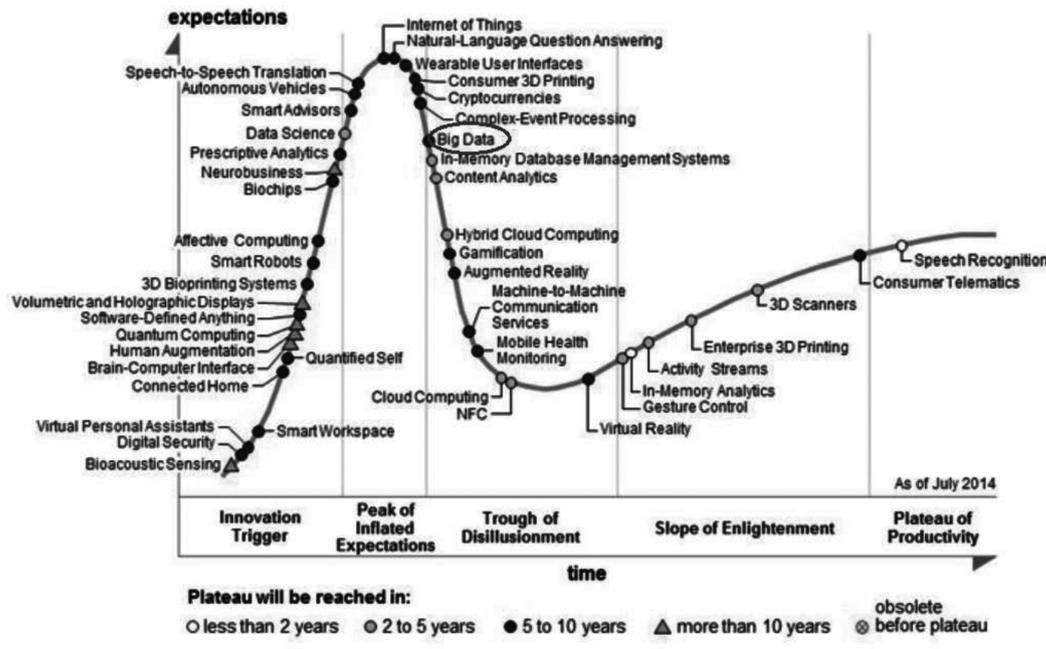


Рис. 4. Кривая Гартнера 2014 года [11]

В 2011 г. исследовательская и консалтинговая компания Gartner отметила большие данные как один из ведущих трендов в информационно-технологической инфраструктуре. В 2015 году Гартнер исключил большие данные из цикла зрелости новых технологий, тем самым подтвердив активное использование данной технологии.

Методы

Для достижения поставленной в исследовании цели был проведен библиометрический и библио-

графический обзор международных научных публикаций, представленных в Scopus - библиографическая и реферативная база данных ученых по всему миру.

Обобщенная схема проведения исследования/обзора представлена на рис.3 и включает в себя несколько этапов:

1. Выбор ключевых слов по теме исследования.
2. Сбор научных публикаций по теме исследования по ключевым словам, определенным в п.1.
3. Проведение анализа научных публикаций по теме исследования:

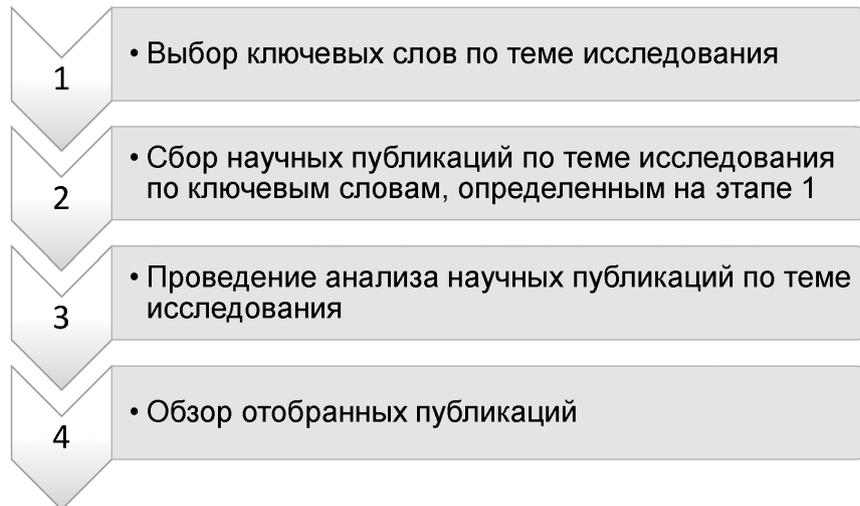


Рис. 5. Обобщенная схема проведения исследования

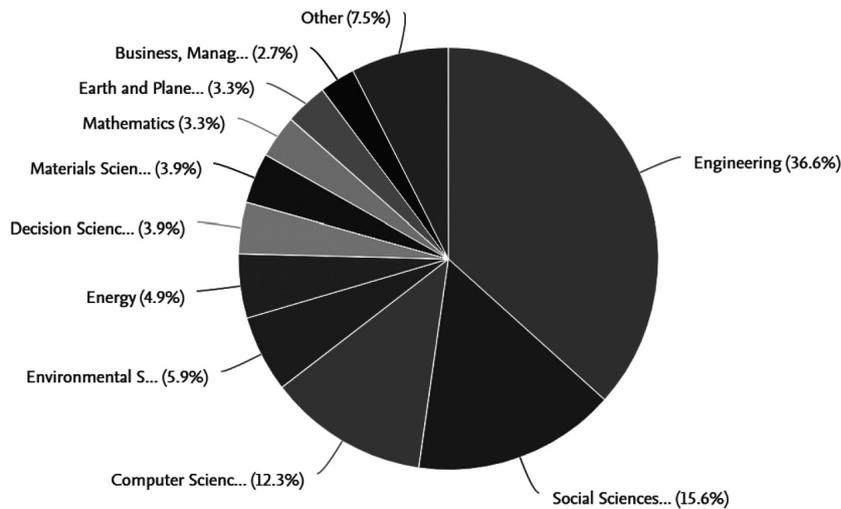


Рис. 6. Распределение публикаций по отраслям знаний по данным БД Scopus

3.1. Проведение библиометрического анализа для разработки кластерной карты взаимосвязи ключевых слов;

3.2. Проведение библиографического анализа для выбора научных публикаций для проведения их обзора.

4. Обзор отобранных публикаций.

Результаты

На первом этапе проведен обзор исследований в области развития транспортной инфраструктуры. Для этого публикации были собраны по ключевым

словам: «transport infrastructure» (транспортная инфраструктура) и railway (железная дорога). Всего в международной базе знаний Scopus по данным ключевым словам было отобрано 3323 публикации в период с 1973 г. по 2022 г. включительно. Однако, учитывая цель исследования целесообразно рассматривать в дальнейшем публикации, начиная с 2011 г., поскольку именно в этом году положено начало концепции Индустрия 4.0, и только те публикации, которые относятся к одной из следующих отраслей знаний: инженерные науки (engineering), социальные науки (social sciences), компьютерные науки (computer science), наука об окружающей среде (environmental

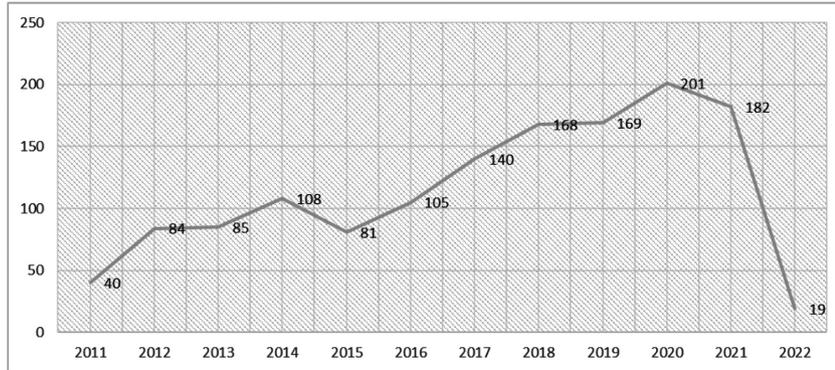


Рис. 7. Распределение публикаций по годам

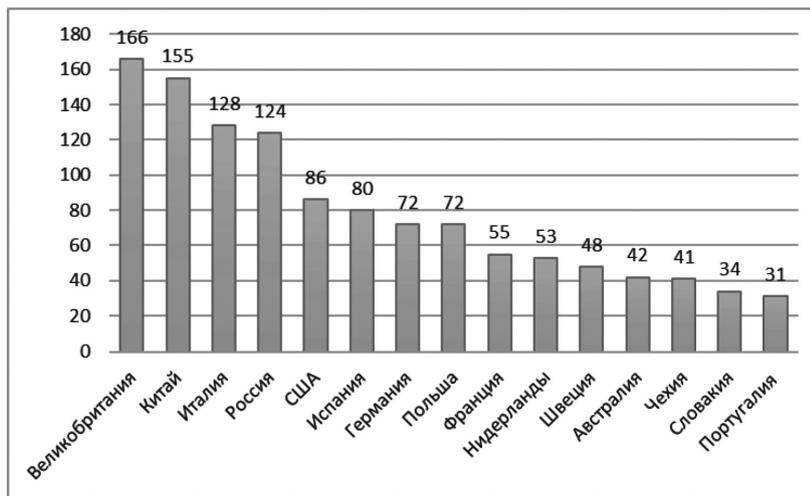


Рис. 8. Распределение публикаций по странам (первые 15 стран)

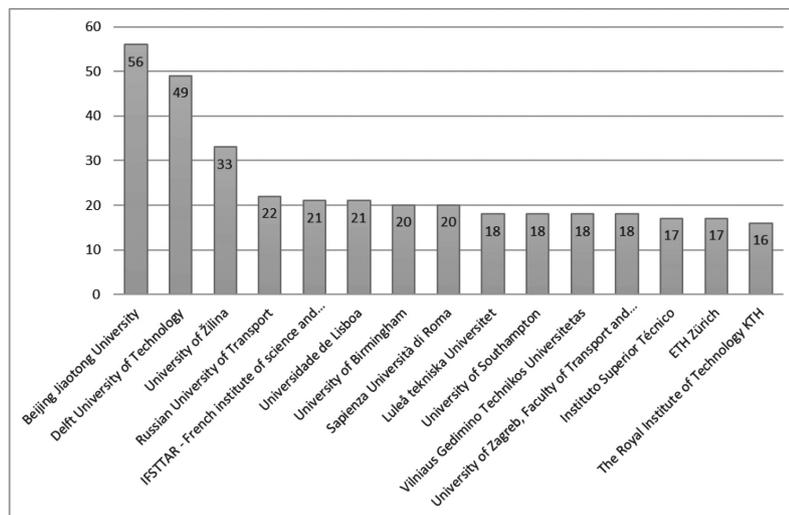
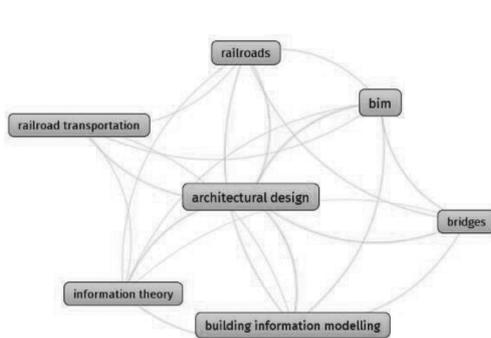


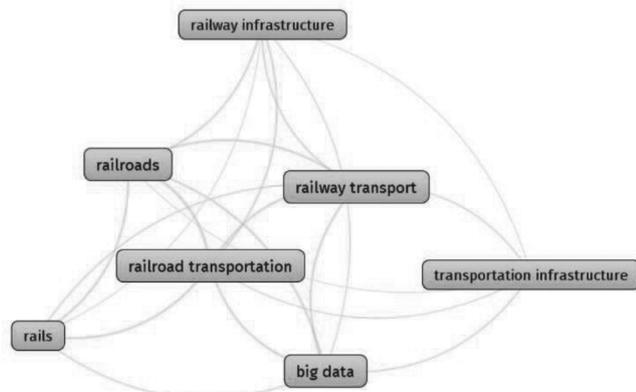
Рис. 9. Распределение публикаций по университетам стран мира и научным центрам (Первые 15 организаций)

Выборки публикаций из базы данных Scopus

год	количество публикаций по ключевым словам					
	«transport infrastructure», «Railway» BIM (выборка 2)	BIM	%	«transport infrastructure», «Railway», Big Data (выборка 3)	Big Data	%
1	2	3	4	5	6	7
2011		680			2962	
2012		852			3711	
2013		1029		2	6168	0,03
2014		1223		1	8641	0,01
2015		1230		1	12907	0,01
2016	2	1417	0,14	2	16905	0,01
2017	3	1717	0,17	4	18818	0,02
2018	2	1963	0,10	3	21582	0,01
2019	3	2422	0,12	1	25706	0,00
2020	6	2490	0,24	7	26038	0,03
2021	2	2474	0,08	3	24077	0,01
2022	1	244	0,41		1822	
Итого	19	17741		24	169337	



Кластерная карта, построенная по ключевым словам «transport infrastructure + Railway + BIM»



Кластерная карта, построенная по ключевым словам transport «infrastructure + Railway + Big Data»

Рис. 11. Кластерная карты, построенные на основе выбранных ключевых слов

меня применяются при проектировании мостов, а большие данные — при прогнозировании условий эксплуатации объектов.

Рассмотрим некоторые публикации из выборки по теме исследования:

Из представленной таблицы видно, что комплексное решение по использованию технологий на всем этапе жизненного цикла пока отсутствует. В этой

связи было принято решение вернуться к выборке 1 и проанализировать ее публикации с целью определения перспективных технологий Индустрии 4.0 для разработки системы управления жизненным циклом. В табл. 4 представлены результаты рассмотрения наиболее перспективных в рамках исследования публикаций выборки 1.

Выборки публикаций по тематикам

Ссылка на статью	Краткое содержание публикации	Этап ЖЦ, на котором используется представленное решение
12	В статье представлены четыре тематических исследования, посвященные использованию технологий информационного моделирования зданий применительно к транспортной инфраструктуре. В случае покрытия дорог и аэропортов изучалась несущая способность конструкций при моделировании. Что касается железных дорог, то было рассмотрено строительство переходной зоны, а также ее поведение в течение первых трех лет после ввода в эксплуатацию. Как для автомобильных, так и для железных дорог восстановление существующей инфраструктуры было смоделировано с использованием технологий информационного моделирования. строительство эксплуатация	
13	В статье представлены результаты разработки семейств на основе стандартов Министерства земли, инфраструктуры и транспорта Южной Кореи для автоматизации проектирования железнодорожной инфраструктуры.	проектирование
14	Авторы акцентируют внимание на возможностях цифрового моделирования при его использовании на всех этапах жизненного цикла объектов инфраструктуры и подвижного состава на железнодорожном транспорте. Отдельно отмечается необходимость использования технологий информационного моделирования в области систем управления поездами и железнодорожной автоматикой.	концептуальная модель использования бим на всех стадиях жизненного цикла технических объектов
15	В статье обсуждается реализация мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов для создания цифровой модели местности.	эксплуатация
16	Работа сосредоточена на изучении методологий I-VIM для транспортных инфраструктур (в частности, железнодорожных инфраструктур), анализируя тематическое исследование, связанное с портом Венеции.	проектирование
17	В статье объясняется, как информационное моделирование зданий успешно использовано в качестве неотъемлемой части процесса генерального планирования для проекта высокоскоростной железной дороги протяженностью 30 км в Норвегии.	проектирование
18	В документе описывается возможное включение концепции обучения в поддержку внедрения технологий информационного моделирования по всей стране в соответствии с требованиями, стандартами и общими условиями, установленными Федеральным министерством транспорта и цифровой инфраструктуры и их партнерами по сотрудничеству, включая немецкую железнодорожную корпорацию и Университет прикладных наук.	-
19	В исследовании разрабатывается интегрированная структура моделирования, которая позволяет прогнозировать характеристики задержек, вызванных погодными условиями, для различных транспортных систем, включая высокоскоростную железную дорогу и авиацию.	эксплуатация
20	Целью статьи является анализ дорожно-транспортных происшествий с участием опасных веществ на автомагистралях и основных железнодорожных путях в Чешской Республике.	эксплуатация
21	Авторы сосредоточились на рассмотрении критических проблем, возникающих в процессе проверки инфраструктуры железной дороги. Процесс валидации осуществлялся поэтапно.	эксплуатация
22	В статье рассмотрены проблемы разработки и внедрения АСУ ТП в условиях цифровизации железнодорожного транспорта. Показана актуальность создания цифровых двойников для железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава. Раскрыто значение понятия «Цифровой двойник грузовой железнодорожной станции».	эксплуатация
23	В статье описаны основные проблемы, связанные с аналитикой больших данных.	-
24	В статье представлен подход к более точной и целесообразной синхронизации позиций проверки геометрии пути с помощью объединения больших данных и алгоритмов пошагового обучения.	эксплуатация
25	В статье представлены результаты экологической оценки нового инновационного продукта, целью которого является снижение воздействия на окружающую среду процессов технического обслуживания железных дорог.	эксплуатация
26	В статье предлагается методология анализа пропускной способности и использования сложных взаимосвязанных железнодорожных сетей.	эксплуатация
27	В работе представлен обзор литературы по информированию о рисках применительно к железнодорожному транспорту	-
28	В статье изучаются несколько подходов к методам машинного обучения для обеспечения безопасности железнодорожной сети в условиях возросшего спроса на услуги и нагрузку на железнодорожные сети.	эксплуатация

Таблица 4

Количество упоминаний технологии в рассматриваемых публикациях*

Технология \ Год публикации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Всего
Интернет вещей	1		1	1	1			4
Робототехника				1				1
Киберфизические системы							2	2
Цифровые двойники					1	1	2	4
Машинное обучение					1		3	4
Искусственный интеллект					1	1	2	4
БПЛА		1			2			3
3 laser scanning				1	2			3
Умный город				2	2		4	8

*Таблица составлена по публикациям [29–56], при этом в случае упоминания нескольких технологий в одной статье, они учитывались в строке каждой упомянутой технологии. Таким образом, становится очевидным следующее:



Рис. 12. Этапы развития научного знания и высоких технологий в путевом комплексе (период 1990–2015 гг., далее-прогноз)

- использование технологий Индустрии 4.0 находится на стадии становления применительно к железнодорожному транспорту;
- в отобранных статьях отобразено комплексное использование технологий Индустрии 4.0;
- ключевой в настоящее время является концепция «умный город».

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение новых технологий на объектах транспортной инфраструктуру пока все еще находятся на стадии своего становления. Вместе с тем, не сложно выделить несколько основных, связанных с

развитием технологий обработки информации тенденций: механизация; автоматизация; информатизация; геоинформатизация (этап масштабного внедрения и тиражирования технологий комплексной обработки пространственно-распределенной информации в производственные задачи железнодорожного транспорта); интеллектуализация (перспективный этап внедрения интеллектуальных систем и технологий в путевом комплексе, целью которого является создание интеллектуальной роботизированной системы путевого хозяйства). На рис. 12 представлен процесс развития основных этапов развития научного знания и высоких технологий в путевом комплексе: до 2020 года основываясь на проведенных исследованиях и с 2030 – возможный прогноз.

Очевидно, что в настоящее время идет непрерывный процесс интеграции методов и средств мониторинга в единую информационно-управляющую си-

стему, однако разработка подобной системы не возможна без активного внедрения технологий Индустрии 4.0.

Таким образом, дальнейшие исследования авторов будут посвящены разработке моделей и методов информационного моделирования (BIM) с использованием технологий больших данных (Big Data) для реализации концепции внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства транспортной инфраструктуры.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51013

Литература

- Bahrin M.A.K., Othman M.F., Azli, N.H.N., Talib, M.F. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic Science Eng. 2016, 78, 137–143
- Nowotarski P., Paslawski J. Industry 4.0 concept introduction into construction SMEs. IOP Conference Series MSE. 2017, 245, 052043
- Zabidin N.S., Belayutham, S., Ibrahim, K.I. A Bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. J. of Information Technology in Construction. 2020, 25, 287–307
- Ginzburg, A., Shilova, L., Adamtsevich, A., Shilov, L. Implementation of BIM-technologies in Russian construction industry according to the international experience J.of Applied Eng. Science. 2016, 14(4), 457-460
- Darko A., Chan A. P.C., Yang Y., Tetteh M. O. Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs Computers in Industry. 2020, 123, 103327
- Matthews, A., Ta, B. Applying a National BIM Model to Vietnam’s National Implementation of BIM: Lessons Learned from the UK-Vietnam Collaboration for the Industry. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020, 54, 57-66
- Shigaki, J.S.-I., Yashiro, T. BIM and Automation of Building Operations in Japan: Observations on the State-of-the-Art in Research and Its Orientation. Lecture Notes in Civil Engineering, 2021, 98
- Alsaeedi, F., Lafta, M.J., Ahmed, A. State of Building Information Modelling (BIM) adoption in Iraq. IOP Conference Series: MSE. 2020, 737(1), 012007
- Georgiadou, M.C. An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. Construction Innovation. 19(3), 2020, 298-320
- Akhanova G., Nadeem A., Kim J. R., Azhar S., Khalfan M. Building Information Modeling Based Building Sustainability Assessment Framework for Kazakhstan. Buildings 2021, 11(9), 384
- Gartner.com
- Fontul, S., Couto, P., Silva, M.J.F. BIM Applications to Pavements and Railways. Integration of Numerical Parameters. Advances in Science, Technology and Innovation, 2021, 69-74
- Seo, M.B., Lee, D. Development of railway infrastructure BIM prototype libraries. Applied Sciences (Switzerland). 2020, 10(22), 8118, 1-13
- Efanov, D., Shilenko, A.S., Khoroshev, V.V. Digital Modeling in Railway Infrastructure and Rolling Stock Objects at all Stages Life Cycle: Features. Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. 2020, 9208088, 29-34
- Gulin, V.N., Neretin, A.A., Paudyal, S.P. BIM of transport infrastructure - Practical aspects of data collection for DTM creation. IOP Conference Series: MSE 2020, (1), 012048
- Pasetto, M., Giordano, A., Borin, P., Giacomello, G. Integrated railway design using Infrastructure-Building Information Modeling. the case study of the port of Venice Transportation Research Procedia, 2020, 45, 850-857
- Tveit, M., Gjerde, K. Using building information modelling for planning a high-speed rail project in Norway. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering, 2018, 171(3), 121-128
- Herter, L., Silbe, K., Diaz, J. A new training concept for implementation of 5D planning with regard to construction of large-scale projects. Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2016, 545-550
- Chen, Z., Wang, Y., Zhou, L. Predicting weather-induced delays of high-speed rail and aviation in China. Transport Policy, 2021, 101, 1-13
- Prochazka, J., Hořák, M., Mayerov, J., Procházka, D. The risks connected with accidents on highways and railways. Quality and Quantity, 2020, 54(5-6), 1537-1548
- Tucci, G., Corongiu, M., Flamigni, F., (...), Parisi, E.I., Arcidiaco, L. The validation process of a 3D multisource/multiresolution model for railway infrastructures. Applied Geomatics. 2020, 12, 69-84
- Shabelnikov, A.N., Olgeyzer, I.A. Technology and Mathematical

- Basis of Digital Twin Creation in Railway Infrastructure. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, 1156 AISC, 688-695
23. Tryapkin, E., Shurova, N. The Use of Technology ‘Big Data’ and ‘Predictive Analytics’ in the Power Supply System of Railways. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, 1156 AISC, 60-68
 24. Wang, Y., Wang, P., Wang, X., Liu, X. Position synchronization for track geometry inspection data via big-data fusion and incremental learning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2018, 93, 544-565
 25. Hegedi, M., tefani, N., Nik i, M. Life cycle assessment: Assessing the environmental impact in the railway maintenance. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 180,01004
 26. Francesco, R., Gabriele, M., Stefano, R. Complex railway systems: capacity and utilisation of interconnected networks. *European Transport Research Review*, 2016, 8(4),29-10
 27. Esteban, M., Hughes, P., Van Gulijk, C. The role of data visualization in railway Big Data Risk Analysis Figueres- 2015 Safety and Reliability of Complex Engineered Systems - Proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2015, 2877-2882
 28. Li, H., Parikh, D., He, Q., (...), Fang, D., Hampapur, A. Improving rail network velocity: A machine learning approach to predictive maintenance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2014,45, 17-26
 29. Duan, P., Askari, M., Hemat, K., Ali, Z.M. Optimal operation and simultaneous analysis of the electric transport systems and distributed energy resources in the smart city. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 75,103306
 30. Palmentieri, S. Smart cities and the sustainability of urban transport: Strategic directions for the metropolitan city of Naples. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 2021, 15(1), 83-94
 31. Furno, A., El Faouzi, N.-E., Sharma, R., Zimeo, E. Graph-based ahead monitoring of vulnerabilities in large dynamic transportation networks. *PLoS ONE*, 2021, 16(3), e0248764
 32. Prokhorova, I.S. Assessing the Efficiency of the Digitization Process of the Russian Transportation Industry. *Studies in Systems, Decision and Control*, 2021, 314, 395-407
 33. Ankala, K.M., Kanigolla, J. Railway infrastructure and traveller usage prediction and rendering solutions. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, 8(12), 915-917
 34. Paul, P., Datta, J., Poddar, S., Haq, M.A. S m a r t transportation management planning to reduce surface vehicle pressure for a better urban design of howrah municipal corporation area. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, 8(12), 4942-4950
 35. Cruz, R., Jardim, J., Mira, J., Teixeira, C. Smart rail for smart mobility. *Proceedings of 2018 16th International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications*, 2018, ITST 2018 8566842
 36. Heddebaut, O., Di Ciommo, F. City-hubs for smarter cities. The case of Lille “EuraFlandres” interchange. *European Transport Research Review*, 2018, 10(1),10
 37. Kebbeh, P.S., Seye, M.R., Ngom, B., Gueye, B., Diallo, M. RailMon: Distance, Temperature and Location Railway Monitoring Using IoT Technologies. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, 2018, LNICST 249, 212-223
 38. Hatzivasilis, G., Papaefstathiou, I., Manifavas, C. Real-time management of railway CPS secure administration of IoT and CPS infrastructure, 2017 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2017 - Including ECYPS 2017, Proceedings, 2017, 7977188
 39. Magrini, M., Moroni, D., Palazzese, G., (...), Azzarelli, D., Spada, A. An Infrastructure for Integrated Management of Urban Railway Crossing Areas, *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Proceedings, ITSC, 2015 ,7313107, 42-47
 40. Zhu, W., Hu, H., Huang, Z. Calibrating Rail Transit Assignment Models with Genetic Algorithm and Automated Fare Collection Data. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2014, 29(7), 518-530
 41. Fabella, V.M., Szymczak, S. Resilience of railway transport to four types of natural hazards: An analysis of daily train volumes. *Infrastructures*, 2021, 6(12),174
 42. Falahati, A., Shafiee, E. Improve Safety and Security of Intelligent Railway Transportation System Based on Balise Using Machine Learning Algorithm and Fuzzy System. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 2021
 43. Mori, K., Kunifuji, T. Autonomous decentralized systems and their applications in transport and infrastructure (Book). *Autonomous Decentralized Systems and their Applications in Transport and Infrastructure*, 2018, 1-338
 44. Broo, D.G., Schooling, J. A Framework for Using Data as an Engineering Tool for Sustainable Cyber-Physical Systems. *IEEE Access*, 2021, 9,9340179, 22876-22882
 45. Hatzivasilis, G., Fysarakis, K., Ioannidis, S., (...), Papadakis, N., Spanoudakis, G. SPD-safe: Secure administration of railway intelligent transportation systems. *Electronics (Switzerland)*, 2021, 10(1),92, 1-26
 46. Kampeczyk, A., Dybe, K. The fundamental approach of the digital twin application in railway turnouts with innovative monitoring of weather conditions. *Sensors*, 2021, 21(17),5757
 47. Shabelnikov, A.N., Olgezyer, I.A. T e c h n o l o g y a n d Mathematical Basis of Digital Twin Creation in Railway Infrastructure. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020, 1156 AISC, 688-695
 48. Morra, E., Damiani, L., Revetria, R., Rozhok, A. A case study of a digital twin for designing intermodal railways operations for a maritime terminal. *17th International Industrial Simulation Conference*, 2019, ISC 2019, 98-101
 49. Hlavat, J., Li betin, J. Innovation in rail passenger transport as a basis for the safety of public passenger transport. *Transportation Research Procedia*, 2021, 53, 98-105
 50. Gorbachev, R., Novikov, A., Kalinkin, A., Cheranev, A., Zakharova, E. Applying virtual modelling to verify control systems decision with artificial intelligence in railway transport. *International Conference Engineering and Telecommunication*, 2020, 9431256
 51. Falamarzi, A., Moridpour, S., Nazem, M. A review of rail track degradation prediction models .*Australian Journal of Civil Engineering*, 2019, 17(2), 152-166
 52. Kikin, P.M., Kolesnikov, A.A., Portnov, A.M. Use of machine learning techniques for rapid detection, assessment and mapping the impact of disasters on transport infrastructure. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2019, 42(3/W8), 195-200
 53. Kuo, C.-M., Kuo, C.-H., Lin, S.-P., (...), Hsieh, Y.-C., Lu, W.-H. Infrastructure inspection using an Unmanned Aerial System (UAS) with metamodeling-based image correction. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference* , 2016, 2B-2016

54. Sánchez-Rodríguez, A., Soilán, M., Cabaleiro, M., Arias, P. Automated inspection of Railway Tunnels' power line using LiDAR point clouds. *Remote Sensing*, 2019, 11(21),2567
55. Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A., Del Río-Barral, P., (...), Arias, P., Riveiro, B. Review of laser scanning technologies and their applications for road and railway infrastructure monitoring. *Infrastructures*. 2019, 4(4),58
56. Sánchez-Rodríguez, A., Riveiro, B., Soilán, M., González-Santos, L.M. Automated detection and decomposition of railway tunnels from Mobile Laser Scanning Datasets. *Automation in Construction* 2018, 96, 171-179