

Наука и инновации в информационном обществе

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ НАУКИ В РАМКАХ ИНДУСТРИИ 4.0

Статья рекомендована к публикации членом редакционного совета Ю.Е. Хохловым 13.01.2022.

Фаталиев Тахмасиб Ханахмед

Институт информационных технологий Национальной академии наук Азербайджана, заведующий отделом

*Баку, Азербайджанская Республика
tfataliyev@gmail.com*

Мехтиев Шакир Агаджан

Институт информационных технологий Национальной академии наук Азербайджана, заведующий отделом

*Баку, Азербайджанская Республика
shakir.mehtieff@gmail.com*

Аннотация

В статье анализируется образ науки в новом формате с широким привлечением технологической платформы Индустрии 4.0, а также исследуются проблемы формирования и становления концепции Науки 4.0. Предложена классификация этапов развития науки в соответствии с моделью промышленных революций. Эффективными инструментами для проведения современных научных исследований становятся Интернет вещей, киберфизические системы, искусственный интеллект и другие интеллектуальные решения. Цель этого исследования – способствовать созданию общей основы для понимания трансформации науки, что позволит повысить результативность и ценность научных исследований.

Ключевые слова

Индустрия 4.0; э-наука; Наука 4.0; Интернет вещей; киберфизические системы; искусственный интеллект; аналитика больших данных

Введение

Четвертая промышленная революция изменила не только производственные отношения, но также открыла новые горизонты для развития информационного общества (ИО). Известно, что общая концепция ИО, ее основные направления, принципы и цели были определены на Всемирных саммитах по вопросам ИО, прошедших в 2003 г. (Женева) и 2005 г. (Тунис). На этих саммитах был определен план действий С7, предполагающий применение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в общественно-значимых сферах, а именно: э-правительство, э-бизнес, э-образование, э-здравоохранение, э-занятость, э-окружающая среда, э-сельское хозяйство и э-наука.

Формирование ИО стало возможным в результате информационных революций, произошедших на различных этапах развития человеческой цивилизации. Основу этих революций составили радикальные технологические достижения, имевшие огромное общественное и культурное значение. Так, например, изобретение письменности создало возможности для накопления и распространения знаний. С изобретением книгопечатания информация стала общедоступной, что ускорило развитие науки и техники и, в целом, способствовало промышленной революции. В новейшей истории цифровые технологии существенно изменили все социальные отношения и привели к возникновению нового общества – современного ИО, основными

© Фаталиев Т.Х., Мехтиев Ш.А.

Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «Атрибуция — Некоммерческое использование — На тех же условиях» Всемирная 4.0 (Creative Commons Attribution – NonCommercial - ShareAlike 4.0 International; CC BY-NC-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.ru>
https://doi.org/10.52605/16059921_2022_03_71

элементами которого являются информация, ИКТ и экономика знаний [1-3]. Они определили ускоренное развитие многих стран, которые разработали свои государственные программы и проводят последовательные работы над формированием ИО [4]. Одним из главных направлений построения ИО является э-наука, основанная на скоординированном и сбалансированном развитии трех компонентов: коммуникации, информации и вычислительных ресурсов.

В Азербайджанской Республике на основе плана С7 были также созданы базовые принципы для реализации и развития э-науки, как составной части государственной программы «Электронный Азербайджан». Внедрение принципов э-науки было направлено на перестройку деятельности институтов и организаций Национальной академии наук Азербайджана, а также других научных организаций республики с применением современных ИКТ, формирование национальной научной «онлайн инфраструктуры» и информационного пространства. Э-наука предполагает совместную деятельность в виртуальном пространстве научных организаций, коллективов и ученых, повышение эффективности научного управления и исследовательских работ, развитие всех областей науки на уровне современных мировых стандартов и их интеграцию в мировую научную среду [5].

Отметим, что за начало отсчета четвертой промышленной революции берется 2011 г., когда по инициативе правительства Германии с участием университетов и частных компаний была объявлена концепция Индустрия 4.0 [6]. Ее основная задача заключалась в разработке и внедрении информационных технологий в производственные системы для повышения эффективности и конкурентоспособности национальной промышленности. Основными драйверами Индустрии 4.0 стали инновационные ИКТ: киберфизические системы (КФС), искусственный интеллект (ИИ), Интернет вещей (ИВ), робототехника, облачные технологии, большие данные, цифровые двойники, «умные» города и др.

Цель данной статьи – выяснить основные тенденции в организации науки и проведении научных исследований, а также возможности их трансформации в контексте отношений с Индустрией 4.0.

1 Развитие науки в контексте промышленных революций

В самом широком смысле наука – это узкоспециализированная область деятельности, которая дает объективные знания о мире, в том числе о человеке. Известно, что ее развитие началось с зарождением цивилизации. Наука возникла, отвечая на определенную потребность человечества в производстве и получении истинного, адекватного знания о мире, и существует, оказывая весьма заметное воздействие на развитие всех сфер общественной жизни [7]. Эволюция науки непосредственно связана с улучшением и развитием средств и способов решения таких проблем, как сбор (регистрация) и запоминание информации, обработка (логические и вычислительные инструменты) и передача (распространение) полученных знаний. В [8] предложены четыре парадигмы в развитии науки: эмпирическая, теоретическая, вычислительная и э-наука.

Действительно, на протяжении длительной исторической эпохи наука развивалась чисто эмпирически. Например, в каменном веке на основе многочисленных наблюдений и экспериментов были созданы бронзовые и железные орудия труда, что создало условия перехода человечества на совершенно новую ступень развития. Средние века характеризуются зарождением теоретических моделей и обобщений в форме математических уравнений. Но аналитические решения теоретических моделей очень сложные, а иногда и невозможны. С появлением компьютеров (суперкомпьютеров) особую популярность приобрели численные методы решения теоретических моделей реального мира, а также компьютерный эксперимент. В настоящее время с учетом объема данных, генерируемых экспериментами и симуляциями, можно с уверенностью определить современную науку, как ориентированную на большие данные (Big data).

На примере изобретения Дж. Уаттом парового двигателя, можно предположить, что имеется фундаментальная связь между наукой, важнейшими изобретениями периода первой промышленной революции и общественным развитием (рис. 1).

Приведем несколько известных фактов. Изобретение Г. Модслея, создавшего токарно-винторезный станок с суппортом, позволило изготавливать детали с точностью до долей миллиметра и заложило основу современного машиностроения. Появление машин вызвало потребность в металле. Прогрессивное значение для своего времени приобрели усовершенствования и изобретения Г. Кортон процессом пудлингования и прокатки (1784), как

наилучшего способа превращения кокса в кованое железо. Эти процессы требовали большого количества угля для производства чугуна, и добыча угля стала ведущей отраслью промышленности в Англии в период первой промышленной революции.

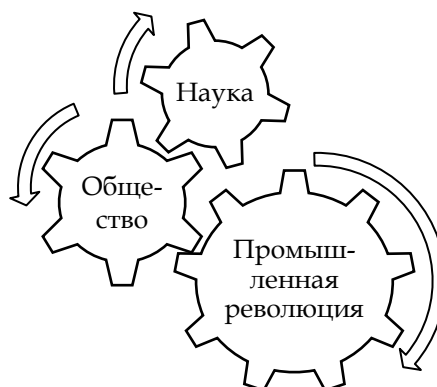


Рис. 1. Взаимовлияние промышленных революций, науки и общественных потребностей

Отметим, что такие изобретения второй промышленной революции, как телефон А. Белла (1876 г.) и радио А. Попова (1895 г.), оказали существенное влияние на усиление информационных обменов в обществе. Возникновение возможностей оперативной передачи информации на большие расстояния совпало с периодом активного развития естественных наук.

Рассмотрим особенности развития науки и научных исследований в контексте произошедших промышленных революций.

Этап 1: Наука 1.0. Первая промышленная революция (Индустрия 1.0, середина 18 века) традиционно была связана с такими изобретениями, как ткацкий станок и паровой двигатель. Этот период характеризуется появлением первых манометров, термометров и других датчиков, а также внедрением механической автоматики. Развивались экспериментальные и инженерные науки. Датчики и механические устройства все чаще используются в научных экспериментах.

Этап 2: Наука 2.0. Во второй промышленной революции (Индустрия 2.0, XIX и до середины XX века) развитие получили теоретические науки (электромагнетизм, теория Эйнштейна, ядерная физика и др.). Научные лаборатории оснащаются электрическими датчиками, электроизмерительными приборами, фото- и киноаппаратами. Широкое использование аналоговых систем связи, радиовещания и телевидения, дистанционных технологий способствует популяризации науки и образовательных программ.

Этап 3: Наука 3.0. Третья промышленная революция (Индустрия 3.0, 50-60-е годы XX века-начало XXI века) в основном связана с развитием микроэлектроники, компьютеров, программируемых логических контроллеров, робототехники, сетевых технологий, Интернета, веб-технологий. Ускоренными темпами развиваются кибернетика, информатика, генетика. Формируются вычислительная наука и компьютерный эксперимент. Появляются такие инициативы, как открытые данные, открытая наука и э-наука, заложившие основы новых форм сотрудничества.

Этап 4: Наука 4.0. В четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0, начало XXI века) происходит интеллектуализация производства, благодаря таким инструментам, как ИИ, КФС, ИВ, большие данные, цифровые двойники и т.п. Этот период формирует науку, ориентированную на большие данные. Развиваются новые области науки, такие как интеллектуальный анализ данных, наука о данных. Научная деятельность и управление наукой формируются на основе достижений Индустрии 4.0. Наука способствует сближению различных областей знаний и характеризуется появлением междисциплинарных исследований, которые развиваются в новые дисциплины.

Таким образом, в соответствии с этапами промышленных революций выделены четыре вектора в развитии науки. Согласно этому подходу, Наука 4.0, как четвертый вектор науки, предусматривает широкое использование ИИ, КФС, ИВ, облачных вычислений, аналитики больших данных и других интеллектуальных технологий Индустрии 4.0.

2 Э-наука как технологическая платформа для Науки 4.0

2.1 Интеграция э-науки и Индустрии 4.0

Несомненно, что изобретение компьютеров оказало существенное влияние на методы проведения научных исследований, сбор, хранение и обработку данных и создало среду для возникновения э-науки. Предполагается, что первая интеграция традиционной науки с виртуальной средой э-науки связана с проектом компьютерной сети ARPANET, которая предназначалась для связи исследовательских групп в режиме реального времени. В более широком смысле э-наука основана на решении двух основных фундаментальных задач, а именно, реструктуризации существующей научной среды в соответствии с требованиями ИО и использовании ИКТ в этой среде. Для этого предполагается последовательное решение сложных задач по применению ИКТ в научной деятельности, в управлении, в информационной безопасности, развитию научно-теоретических основ и др. В то же время э-наука воспринимается как сложная система с техническими и технологическими компонентами, такими как инфраструктура, генерация, сбор, хранение, обработка, поиск, анализ, передача, представление данных и т. д.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что э-наука и ее интеграция с решениями Индустрии 4.0 определяют технологическую платформу Науки 4.0 (рис. 2).



Рис. 2. Трансформация э-науки в Науку 4.0

Отметим также, что подобная трансформация по отраслям наук создает Физику 4.0, Химию 4.0, Медицину 4.0, Биологию 4.0 и т.п.

2.2 Анализ литературных источников

Был проведен обзор литературы и проанализированы соответствующие статьи из шести академических баз данных (IEEE Xplore, Web of Knowledge, цифровая библиотека ACM, INSPEC, Google Academy и ScienceDirect), чтобы оценить исследования относительно использования технологий Индустрии 4.0 в э-науке и перспектив в этом направлении.

В [9] рассматриваются автономные лаборатории, как альтернатива классическим лабораториям. Автоматизированные платформы на основе машинного обучения, нейролингвистического программирования, управления знаниями, интеллектуального контроля и анализа больших данных на основе облачных сервисов позволяют проводить полностью автономные эксперименты в научных лабораториях. Создание автономной лаборатории – это мультидисциплинарная задача, сочетающая в себе самые разные направления исследований. Для прогнозирования свойств материалов и предложения новых экспериментов используются методы машинного обучения и моделирования. Для проведения экспериментов и анализа результатов реализован робот-ученый, который может автономно проводить эксперименты, анализировать результаты и решать, что делать дальше. Робот перемещается по лаборатории благодаря системе обнаружения LIDAR, очень похожей на те, что используются в автономных транспортных средствах, и запрограммирован с координатами для нескольких рабочих станций, на которых выполняются определенные задачи.

В [10] рассмотрены некоторые применения КФС в среде э-науки. Они охватывают все этапы от сбора, хранения, обработки и анализа данных исследований. Приведен пример платформы Web-Oriented Automation System в качестве прототипа веб-платформы, которая позволяет интегрировать сервисы КФС и использовать функциональные системы на основе браузера для создания и управления лабораторией для удаленных экспериментов. Интеграция физического уровня экспериментов с компьютерной системой осуществляется посредством ИВ, позволяющего уменьшить человеческий фактор и повысить точность и достоверность результатов.

Очень многообещающим направлением в научных исследованиях является ИИ, который предназначен для увеличения когнитивных способностей человека и автоматического генерирования новых знаний. Отметим, что первым известным приложением ИИ для решения

проблем научного сообщества была программа Heuristic-DENDRAL. Другая ее версия, получившая название Meta-DENDRAL, стала первой экспертной системой для формирования научных гипотез. Эта система, используя масс-спектры возможных химических структур в качестве входных данных, предложила некоторые гипотезы для объяснения корреляции между определенными структурами и масс-спектрами [11].

Тема больших данных и их интеграция с ИИ вызывает большой интерес у исследователей. Аналитика больших данных предполагает методологический анализ структур больших данных, которые часто делятся на следующие категории: объем, скорость, разнообразие, достоверность и ценность. В сочетании с ИИ она может трансформировать области производства, здравоохранения и бизнес-аналитики, предлагая расширенные стимулы в контексте прогнозирования [12]. В медицинских исследованиях анализировалось влияние и вклад больших данных и ИИ в диагностику и прогнозирование состояния здоровья пациентов [13].

Цифровые двойники также находят применение в научных исследованиях и экспериментах. Например, в проекте, известном как Destination Earth, был создан цифровой двойник планеты Земля, который виртуально отображает большинство процессов на поверхности планеты, включая влияние человека на окружающую среду. Это предоставит надежную информацию об экстремальных погодных условиях и изменении климата [14]. Цифровые двойники увеличивают ценность научных данных. Они отражают двустороннее динамическое отображение исследуемых процессов и виртуальных моделей. В частности, это виртуализация физических объектов. Физический процесс оценивается, анализируется, прогнозируется и оптимизируется виртуальными средствами, а цифровой двойник способствует эффективному взаимодействию между различными этапами исследования, обеспечивая итеративную оптимизацию.

Таким образом проведенный краткий анализ работ показал, что взаимодействие технологий Индустрии 4.0 в научных исследованиях создало возможности для трансформации э-науки в новый формат, а именно в Науку 4.0.

2.3 Формирование Науки 4.0

Наряду с традиционными исследовательскими структурами в науке были созданы виртуальные научные учреждения, научные кластеры, научные сети, научные парки. С развитием технологий возникновение подобных качественных структур будет продолжаться. Наука 4.0 представляет собой корпоративную среду с соответствующей физической инфраструктурой: телекоммуникационными сетями, центрами обработки данных, исследовательскими лабораториями, зданиями, электричеством, логистикой и т. д. Подобная корпоративная среда может быть создана на платформе «умного» города. Следует отметить, что аналогичные тенденции характерны для умного университетского городка, состоящего из комплекса инфраструктур, таких как классы, библиотеки, лаборатории, факультеты и компьютерные системы, где университетское сообщество может разрабатывать мероприятия для своего обучения [15].

Известно, что концепция «умного» города не является устойчивым понятием и находится в непрерывном развитии. «Умный» город в целях поддержки научной инфраструктуры должен иметь следующие возможности:

- Для зданий – бесперебойное электроснабжение и водоснабжение; климат-контроль; контроль доступа; охрану зданий и видеонаблюдение; управление материалами и оборудованием; мониторинг оборудования; управление зданием, обнаружение опасностей и их предупреждение и т.д.
- Обслуживание сетевых ресурсов, средств и оборудования; сетевой мониторинг и кибербезопасность; электронные услуги; постоянную диагностику и др.
- Управление и безопасность информационного обеспечения науки.
- Интеграцию Индустрии 4.0 в исследовательскую среду.

Следует отметить, что формирование Науки 4.0 на основе единой концепции является сложной задачей и требует финансовой, нормативной, технической и технологической поддержки, а потому должно осуществляться поэтапно. Здесь следует учитывать следующие факторы:

- развитие сетевой и вычислительной инфраструктуры, хранилищ данных с учетом новых требований;

- внедрение нового поколения интеллектуальных датчиков, исполнительных механизмов, беспроводных сенсорных сетей, усилителей ИИ, графических процессоров, процессоров параллельной обработки и т.д.;
- специальное программное обеспечение;
- разработку систем по своему назначению;
- развитие научной деятельности и управление наукой с учетом новых требований;
- обеспечение информационной безопасности и др.

По мере того, как эффективными инструментами современных научных исследований становятся ИВ, КФС, ИИ и другие интеллектуальные решения новых ИКТ, Наука 4.0 все больше приобретает такие характерные черты Индустрии 4.0, как функциональная совместимость, модульность, гибкость, виртуализация, децентрализация, оптимизированное принятие решений в режиме реального времени и т. д.

Заключение

Масштабное применение информационных технологий в промышленном производстве, отраженное в концепции Индустрии 4.0, оказывает решающее влияние на все сферы человеческой деятельности: экономику, государственное управление, социальную сферу. При этом в научной сфере оно напрямую влияет как на исследовательские процессы, так и на использование результатов исследований в форме инноваций, а также на управление наукой и взаимодействие науки и общества. В статье исследованы концептуальные вопросы трансформации э-науки в рамках Индустрии 4.0. Наука 4.0 рассматривается как система из совокупности взаимосвязанных интеллектуальных подсистем, взаимодействующих между собой и внешней средой с использованием материальных, технических и информационных средств для достижения поставленных целей. Также предлагается использовать концепцию «умного» города для управления научной инфраструктурой, персоналом, уникальным оборудованием и т. д., чтобы более эффективно использовать потенциал исследовательских групп. Предлагаемая концепция Науки 4.0 направлена на повышение эффективности, надежности, достоверности, воспроизводимости научных исследований. Анализ смежных работ по применению основных инновационных технологий подтверждает, что переформатирование традиционной исследовательской среды в науке открывает новые перспективы для ее развития.

Литература

1. Смолян Г. Л., Черешкин Д. С. Пятая информационная революция // Мир связи. Connect. - 1997. - № 7-8. - С. 10 - 16.
2. Черешкин Д. С., Смолян Г. Л. Сетевая информационная революция // Информ. ресурсы России. - 1997. - № 4 - С. 15 - 18.
3. Katz R. Social and economic impact of digital transformation on the economy // International Telecommunications Union. - July 2017. - 41 p.
4. Смолян Г. Л., Черешкин Д. С. О формировании информационного общества в России. // Информационное общество. - 1998. - вып. 6. - С. 8 - 13.
5. Фаталиев Т. Х. Электронная наука: состояние и перспективы развития в Азербайджане // Телекоммуникации. - 2016. - №. 8. - С. 41.
6. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing letters. - 2015. - Т. 3. - С. 18-23.
7. Ильянович Е. Б. Наука и техника на горизонте четвертой технологической революции современной техногенной цивилизации // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Гуманит. и соц. науки. - 2021. - Т. 21. -- No 4. - С. 100-110.
8. Hey T., Tansley S., and Tolle K. The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery. - Redmond, WA: Microsoft Research, 2009. - 252 p.
9. Häse F., Roch L. M., Aspuru-Guzik A. Next-generation experimentation with self-driving laboratories // Trends in Chemistry. - 2019. - Т. 1. - №. 3. - С. 282-291.
10. Fataliyev T. K., Mehdiyev S. A. Integration of cyber-physical systems in e-science environment: state-of-the-art, problems and effective solutions // International Journal of Modern Education and Computer Science. - 2019. - Т. 11. - №. 9. - С. 35.

11. Sparkes A. et al. Towards Robot Scientists for autonomous scientific discovery // Automated Experimentation. – 2010. – Т. 2. – №. 1. – С. 1-11
12. Shukla N., Tiwari M. K., Beydoun G. Next generation smart manufacturing and service systems using big data analytics. – 2019.
13. Beregi J. P. et al. Radiology and artificial intelligence: an opportunity for our specialty. – 2018.
14. Bauer P. et al. The digital revolution of Earth-system science // Nature Computational Science. – 2021. – Т. 1. – №. 2. – С. 104-113.
15. Villegas-Ch W., Palacios-Pacheco X., Luján-Mora S. Application of a smart city model to a traditional university campus with a big data architecture: A sustainable smart campus // Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 10. – P. 2857.

CURRENT PROBLEMS AND WAYS SOLUTIONS OF THE TRANSFORMATION OF SCIENCE WITHIN INDUSTRY 4.0

Fataliyev, Tahmasib Khanahmed

*Institute of Information Technologies of Azerbaijan National Academy of Sciences, head of department
Baku, Azerbaijan*

tfataliyev@gmail.com

Mehdiyev, Shakir Agajan

*Institute of Information Technologies of Azerbaijan National Academy of Sciences, head of department
Baku, Azerbaijan*

shakir.mehtieff@gmail.com

Abstract

The article analyzes the image of science in a new format with the broad involvement of the Industry 4.0 technological platform, and examines the problems of the formation and establishment of the Science 4.0 concept. The classification of the stages of development of science in accordance with the model of industrial revolutions is proposed. The Internet of Things, cyber-physical systems, artificial intelligence and other intelligent solutions are becoming effective tools for conducting modern scientific research. The purpose of this study is to contribute to the creation of a common framework for understanding the transformation of science, which will increase the effectiveness and value of scientific research.

Keywords

Industry 4.0; e-science; Science 4.0; Internet of Things; cyber-physical systems; artificial intelligence; big data analytics

References

1. Smolyan G. L., Chereskin D. S. Pyataya informatsionnaya revolyutsiya // Mir svyazi. Connect. - 1997. - № 7-8. - S. 10 - 16.
2. Chereskin D. S., Smolyan G. L. Setevaya informatsionnaya revolyutsiya // Inform. resursyi Rossii. - 1997. - № 4 - S. 15 - 18.
3. Katz R. Social and economic impact of digital transformation on the economy // International Telecommunications Union. - July 2017. - 41 p.
4. Smolyan G. L., Chereskin D. S. O formirovaniy informatsionnogo obshchestva v Rossii. // Informatsionnoe obshchestvo. - 1998. - vyp. 6. - S. 8 - 13.
5. Fataliyev T. Kh. Elektronnyaya nauka: sostoyaniye i perspektivy razvitiya v Azerbaydzhanе // Telekommunikatsii. - 2016. - № 8. - S. 41.
6. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing letters. - 2015. - T. 3. - P. 18-23.
7. Il'yanovich E. B. Nauka i tekhnika na gorizonte chetvertoj tekhnologicheskoy revolyucii sovremennoj tekhnogennoj civilizatsii // Vestn. Sev. (Arktich.) feder. un-ta. Ser.: Gumanit. i soc. nauki. - 2021. - T. 21. - No 4. - S. 100-110.
8. Hey T., Tansley S., and Tolle K. The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery. - Redmond, WA: Microsoft Research, 2009. - 252 p.
9. Häse F., Roch L. M., Aspuru-Guzik A. Next-generation experimentation with self-driving laboratories // Trends in Chemistry. - 2019. - T. 1. - № 3. - P. 282-291.
10. Fataliyev T. K., Mehdiyev S. A. Integration of cyber-physical systems in e-science environment: state-of-the-art, problems and effective solutions // International Journal of Modern Education and Computer Science. - 2019. - T. 11. - № 9. - P. 35.
11. Sparkes A. et al. Towards Robot Scientists for autonomous scientific discovery // Automated Experimentation. - 2010. - T. 2. - № 1. - P. 1-11.
12. Shukla N., Tiwari M. K., Beydoun G. Next generation smart manufacturing and service systems using big data analytics. - 2019.
13. Beregi J. P. et al. Radiology and artificial intelligence: an opportunity for our specialty. - 2018.

14. Bauer P. et al. The digital revolution of Earth-system science //Nature Computational Science. – 2021. – Т. 1. – №. 2. – P. 104-113.
15. Villegas-Ch W., Palacios-Pacheco X., Luján-Mora S. Application of a smart city model to a traditional university campus with a big data architecture: A sustainable smart campus //Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 10. – P. 2857.