

Н.В. КАСЬЯНОВ

Kasyanov Nickolay.  
Contemporary World's  
Architecture, 2/2020.  
Pp. 23–47

# АРХИТЕКТУРА В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА\*

УДК 72.036

DOI 10.25995/  
NIITIAG.2020.15.2.002

Переход к новому технологическому укладу и стремительное развитие информационных технологий радикально изменяют глобализирующий мир. Необходимо обратить особое внимание на использование систем искусственного интеллекта в архитектурно-градостроительной отрасли. Она должна развиваться на новом гуманитарном и технологическом уровне по междисциплинарным законам науки и на основе художественного творчества. Однако в настоящее время это происходит в основном в интересах транснационального бизнеса. Сложная и многомерная система «умный дом — квартал — город — система расселения» находится в прямом взаимодействии с усовершенствованием систем управления и связи, обработки больших данных, мониторинга и обеспечения безопасности, инноваций в строительстве, с движением людских и транспортных потоков, экологией и множеством других аспектов. У зодчих и специалистов иных отраслей появляются задачи, связанные как с реализацией вновь возникающих позитивных возможностей, так и учетом потенциальных рисков применения технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные возможности человека.

**Ключевые слова:** современная архитектура, искусственный интеллект, наука и технологии, футурология.

N.V. KASYANOV

## ARCHITECTURE IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The transition to a new technological order and the rapid development of information technologies are radically changing the globalizing world. It is necessary to pay special attention to the use of artificial intelligence systems in the architectural and urban planning industry. It should develop at a new humanitarian and technological level according to the interdisciplinary laws of science and on the basis of art creativity. However, this is currently happening mainly in the interests of transnational businesses. The complex and multidimensional system “smart home — quarter — city — settlement system” is in direct interaction with the improvement of control and communication systems, processing of Big Data, security monitoring, building and construction innovations, with the movement of people and traffic flows, ecology and many other aspects. Architects and specialists from other industries face new challenges related to both the positive opportunities and the potential risks inherent in the use of technological solutions that allow imitating human cognitive capabilities.

**Keywords:** modern architecture, artificial intelligence, science and technology, futurology.

**Касьянов Николай  
Владимирович** —

кандидат архитектуры, советник РААСН, ведущий научный сотрудник Лаборатории архитектурного формообразования филиала ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» НИИТИАГ.  
E-mail: kas\_nv@mail.ru

**Kasyanov Nickolay** —  
Ph.D. of Architecture, Adviser of RAACS, Leading Researcher of the Branch of the Federal State Unitary Enterprise «Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation» NIITIAG, Laboratory of architectural shaping.

\* Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы в рамках плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 1.6.3. «Основные направления развития современной мировой архитектуры».

Стремительное развитие информационных технологий при переходе к новому технологическому укладу<sup>1</sup> ведет к радикальным изменениям во всем мире. Глобализация, пандемия 2020 г. заставляют обратить особое внимание на развитие и использование систем искусственного интеллекта в архитектурно-градостроительной отрасли, которая должна развиваться по междисциплинарным законам науки и на основе художественного творчества. Однако в настоящее время это происходит в тесной взаимосвязи с требованиями бизнес-сообщества. Сложная и многомерная система «дом — квартал — город», вписанная в большой масштаб расселения, ныне может быть спроектирована на новом гуманитарном уровне. Возникает прямая взаимосвязь с принципами «умного города», включая развитие систем управления и связи, обработку «больших данных», обеспечение безопасности, мониторинг, новации в строительстве, движение людских и транспортных потоков, экологию и многие другие аспекты. Перед зодчими возникает необходимость изучения как вновь открывающихся

#### ИЛЛЮСТРАЦИИ

1. Муравейник на горе Маура в Вологодской области. 2005 г. Фото автора

#### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2017. 288 с.



позитивных возможностей, так и потенциальных рисков, связанных с архитектурно-градостроительным применением инновационных технологических решений, включая имитацию когнитивных возможностей человека.

Везде и всегда требуется система эффективного управления. Понятно, что в условиях феномена глобальных городов, возникших относительно недавно, прежние рычаги администрирования становятся неэффективными, требуется нечто новое. Сейчас надежда возлагается в значительной мере на информационные технологии, включая искусственный интеллект (ИИ). В сущности, эти тенденции и тренды носят общемировой характер и имеют много общего с точки зрения технологических решений. С другой стороны, понятно, что сроки и реализация их на практике будут существенно отличаться и на разных континентах, и в отдельно взятых государствах.

Развитие информационных систем, помогающих человеку оценить ситуацию и принять решение, началось в 1940-х гг. ИИ — комплекс технологических решений, позволяющий имитировать такие когнитивные функции человека, как самообучение, обработка данных и поиск решений без заранее заданного алгоритма. В человеческом мозге несколько десятков миллиардов нейронов и триллионы связей между ними. В настоящее время разрабатывается и осуществляется создание нейроморфных вычислительных систем, построенных на принципе подобию биологическим нейронным системам. ИИ — это имитация биологических систем принятия решений, в том числе распределенных коллективных систем, таких как птичья стая, пчелиный рой, сообщества муравьев или термитов (илл. 1). В числе целей — автономная декомпозиция сложных задач, поиск и синтез решений. Технологии ИИ включают компьютерное зрение, распознавание, синтез визуальных образов и речи, интеллектуальную поддержку принятия решений. Предполагается, что результаты деятельности ИИ должны быть сопоставимы с результатами интеллектуальной деятельности человека, но при этом машинное обучение характеризуется рядом особенностей. Так, для поиска вычислительной системой непредвзятого решения требуется ввести репрезентативный, релевантный и корректно размеченный набор данных. Искусственный интеллект сегодня — совокупность нейросетей, облачных сервисов, компьютерного оборудования, инфраструктуры и персонала, которая служит для решения задач управления на основе собранных данных. ИИ, способный решать только узкоспециализированные задачи — т. н. «слабый» ИИ. Создание универсального (сильного) ИИ, способного, подобно человеку, решать разнообразные задачи, мыслить, взаимодействовать и адаптироваться к изменяющимся условиям, является сложной научно-технической проблемой, решение которой находится на пересечении различных сфер научного знания — естественно-научной, технической и социально-гуманитарной. По прогнозам экспертов, к 2024 г. мировой рынок технологических

решений, разработанных на основе ИИ, достигнет почти 140 млрд долларов США<sup>2</sup>.

При проектировании и создании таких технологий много внимания уделяется этическому аспекту; ученые ориентируются на то, что технологии существуют для людей, а не наоборот. Принципы, которым должны следовать ученые при развитии технологий ИИ, были сформулированы в 2017 г. на конференции в американском курортном прибрежном калифорнийском городке Азиломар (илл. 2). Свои подписи под документом поставили представители Apple, Facebook, Google, IBM, Microsoft и более 3,5 тысяч ученых<sup>3</sup>. В числе участников стоит упомянуть астрофизика С. Хокинга и предпринимателя и инженера И. Маска. Первым азиломарским принципом стало то, что цель исследований в области интеллектуальных систем должна заключаться в создании не «бесцельного разума», а систем, способных принести пользу человечеству. В данной ситуации американский предприниматель И. Маск (реализовавший со своей компанией Space X<sup>4</sup> два космических полета с экипажами из двух и четырех астронавтов на первом в мире частном космическом корабле Crew Dragon к Международной космической станции в 2020 г.) предлагает свой рецепт, как выиграть конкуренцию у машин, — улучшать человека, встраивая ему чипы. Его компания Neuralink разрабатывает чипы, которые можно подключать к мозгу<sup>5</sup>. Можно вспомнить опыты энтузиаста кибернетики К. Уорвика, известного множественными экспериментами по интеграции машин и живых существ. Футурология подразумевает даже принятие за основу принципов трансгуманизма — концепции использования достижений науки и технологии для улучшения умственных и физических возможностей человека с целью устранения аспектов человеческого существования, которые считаются нежелательными: страданий, болезней, старения. Серьезное внимание взаимосвязи компьютерных дисциплин, мышления и законов физики уделил сэр Роджер Пенроуз<sup>6</sup>, получивший Нобелевскую премию по физике в 2020 г. за исследование черных дыр.

## ИЛЛЮСТРАЦИИ

2. Городок Азиломар, США

3. Фасады некоторых офисных зданий компаний «Apple», «Facebook», «Google», «IBM», «Microsoft»

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>2</sup> Указ Президента РФ от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>3</sup> Азиломарские принципы [Электронный ресурс]. URL: <https://futureoflife.org/ai-principles/?cn-reloaded=1> (дата обращения: 14.11.2020).

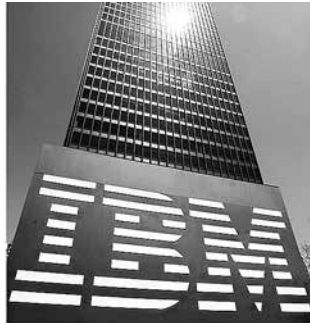
<sup>4</sup> Официальный сайт компании Space X [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spacex.com/> (дата обращения: 15.11.2020).

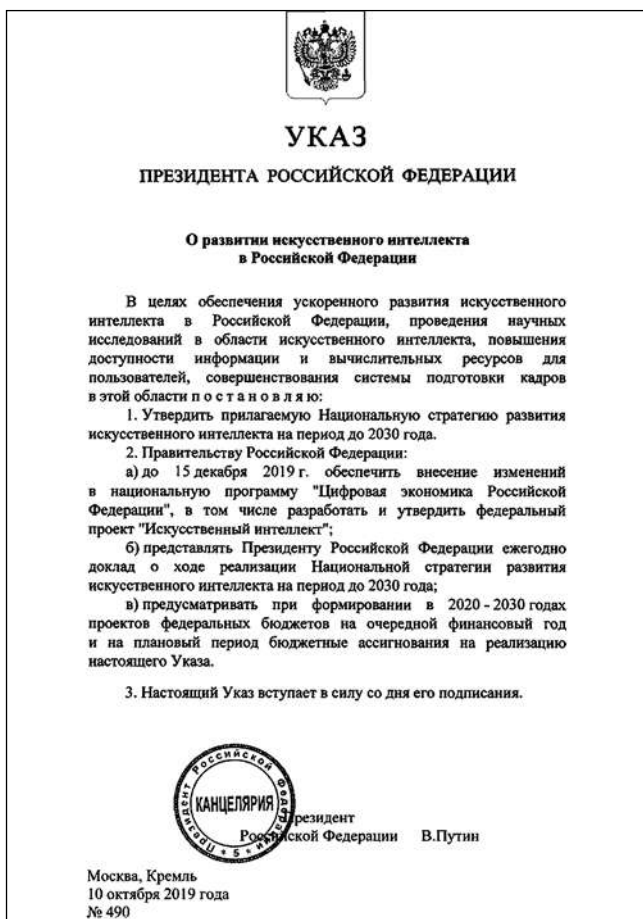
<sup>5</sup> Сайт компании «Neuralink» [Электронный ресурс]. URL: <https://neuralink.com/> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>6</sup> Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: УРСС, 2005.



Остекленные фасады крупных штаб-квартир международных корпораций в какой-то мере отражают взгляды их руководства на архитектуру (илл. 3). Встречаются и брутальные здания, наоборот, фактически лишенные окон, по сути, являющиеся чисто техническими дата-центрами. Тектоника, цвет и фактура, статичные в традиционной архитектуре, могут становиться динамичными, гибко трансформируемыми в зависимости от изменяющихся





## ИЛЛЮСТРАЦИИ

4. Заглавная страница Указа Президента РФ от 19 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»

5. Московский урбанистический форум 2018 г. «Мегаполис будущего», проходивший в парке «Зарядье»

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>7</sup> Указ Президента РФ от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

<sup>8</sup> Федеральный проект «Искусственный интеллект» [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.ac.gov.ru/about/5055/> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>9</sup> Московский урбанистический форум. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://mosurbanforum.ru/archive/2018/> (дата обращения: 15.11.2020).

потребностей. При этом за легкими или тяжеловесными структурами скрыта сложнейшая, объединенная глобальными телекоммуникационными сетями электронная техника, обладающая исключительными вычислительными мощностями.

Первые лица многих стран уже традиционно общаются дистанционно в видеоформате, что стало особенно выражено в 2020 г. Характерно, что и юбилейная 75-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН, открывшаяся 15 сентября 2020 г., проводилась в дистанционном режиме.

О важности новых технологий для нашей страны свидетельствуют подписанный осенью прошлого года Указ Президента России «О развитии искусственного интеллекта в РФ» (илл. 4) и ряд других

значимых нормативно-правовых документов<sup>7</sup>. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» включает разработку и утверждение федерального проекта «Искусственный интеллект»<sup>8</sup>. 30 мая 2019 г. на совещании по развитию цифровой экономики под председательством Президента России было принято решение о подготовке национальной стратегии по ИИ; готовится федеральная программа с выделением 90 млрд рублей.

Современное строительство — глобальная отрасль с нынешними мировыми оборотами в триллионы долларов. Если говорить о Москве как бурно развивающемся глобальном городе, можно отметить, что такого рода темы обсуждались в ходе целого ряда различных конференций и на московском урбанистическом форуме 2018 г. «Мегаполис будущего<sup>9</sup>. Новое пространство для жизни» (илл. 5). Тогда же была объявлена московская программа «Умный город — 2030», в обсуждении которой принимали участие многие крупные компании: Ростех, IBM, Samsung, Huawei, Nokia (илл. 6); крупные телекоммуникационные корпорации — Ростелеком, МГТС, Мегафон (илл. 7); электронные сервисы — Яндекс и Mail.ru (илл. 8). Для их новых офисных зданий характерны все те же, в основном «стеклянные», тенденции, при этом активно используются и прежние советские тяжеловесные постройки зданий АТС второй половины XX в. Из компаний, занимающихся продажами, можно отметить М-Видео и Авито. Необходимо упомянуть и Сбербанк, возглавляемый Г.О. Грефом, который в конце сентября 2020 г. объявил о серьезном ребрендинге организации в т. н. «СБЕР».



Участники рынка больших данных (Big Data) входят в Ассоциацию больших данных, там присутствуют «Яндекс», Mail.Ru Group, Сбербанк, Газпромбанк, Тинькофф-банк, Qiwi, МТС, «МегаФон», «Вымпелком», «Ростелеком» и др. Они намерены интегрировать «экосистемы» частных компаний с государственными информационными системами (ГИС) и готовы платить за доступ к государственным данным. В Министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ планируют создать «государственную фабрику данных» — механизм, с помощью которого бизнес сможет получать доступ к ГИС. По мнению экспертов, возможной проблемой может стать рост риска утечек<sup>10</sup>.

ИИ автоматически помогает потребителям оптимизировать свои расходы и сбережения, основываясь на личных привычках и целях. Например, на сайте магазина можно автоматически верифицироваться в системе государственных услуг. Крупная торговая структура X5 Retail Group, в которую входит сеть магазинов «Пятерочка», открыла в октябре 2020 г. небольшую полностью цифровую торговую точку<sup>11</sup> в комплексе «Испанские кварталы» в Москве. Очевидно, дальнейшее развитие

6. Фасады некоторых офисных зданий компаний «Ростех», «Samsung», «Huawei», «Nokia»

7. Примеры архитектуры некоторых офисов компаний связи: «Ростелеком», «МГТС», «Мегафон»

8. Примеры архитектуры офисов электронных сервисов — «Яндекс» и «Mail.ru»

#### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>10</sup> Королев Н., Шестоперов Д. Фабрика-цифра. Государство поделится данными граждан с бизнесом [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4539873> (дата обращения: 15.11.2020).

<sup>11</sup> В Москве открылся первый магазин без персонала «Пятерочка #налету» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.retail.ru/news/v-moskve-otkrylsya-pervyy-magazin-bez-personala-pyatyerochka-naletu-23-oktyabrya-2020-198897/> (дата обращения: 14.11.2020).







подобных автоматизированных торговых точек может иметь лавинообразный характер и распространиться не только в городах. Перспективной представляется и доставка грузов и товаров беспилотными летательными аппаратами в отдаленные и малонаселенные регионы. Это может придать импульс освоению такого рода территорий и их постепенному заселению.

Программа «Умный город — 2030» (илл. 9), как планируется, уже через 10 лет существенно изменит жизнь в столице<sup>12</sup>. При этом Москва, как город России, претендующий на статус глобального мегаполиса, находится на острие происходящих серьезных перемен. Весной 2020 г. Государственной Думой принят, а Советом Федерации одобрен закон «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий ИИ в субъекте РФ — городе федерального значения Москве» сроком на пять лет с 1 июля 2020 г. Закон подписан Президентом РФ 24 апреля 2020 г.

## ИЛЛЮСТРАЦИИ

9. К концепции «Москва — умный город». Коллаж автора

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>12</sup> Москва2030 — умный город [Электронный ресурс]. URL: <https://2030.mos.ru/> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>13</sup> Сети 5G [Электронный ресурс]. URL: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/5G> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>14</sup> ТК РФ Глава 49.1. Особенности регулирования труда дистанционных работников [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/e3109974293f0702a9260fd10cf35a0ca2968319/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/e3109974293f0702a9260fd10cf35a0ca2968319/) (дата обращения: 15.11.2020).



Возникновение основанного на искусственном интеллекте т. н. «умного города», очевидно, послужит толчком и для пересмотра традиционного подхода к архитектуре. Управление «умными городами» должно происходить в реальном времени на основе тех данных, которые город будет постоянно получать, подобно живому организму. Здания, смартфоны, беспилотные автомобили и общественные места будут взаимодействовать друг с другом с целью улучшения условий жизни. Постулируются развитие здравоохранения и образования, защита прав и свобод человека, повышение эффективности государственного и муниципального управления; прозрачность, объяснимость работы искусственного интеллекта и процесса достижения им результатов с целью повышения удовлетворенности и лояльности потребителей. Более того, утверждает даже равноценность «виртуального присутствия физическому».

В документах прописано довольно много различных идей, принципов и подходов, затрагивающих практически все сферы человеческой жизни. Отдельные части вышеупомянутых документов посвящены и архитектурно-градостроительной сфере. Многочисленные апробации этих подходов и концепций ведутся как в мире, так и в России уже несколько лет. Здесь архитектура и дизайн, реальный и виртуальный миры соединяются в некий сплав новыми информационными технологиями, включающими, в частности, компьютерное моделирование, трехмерное сканирование и печать.

Планируется широкое внедрение сетей подвижной радиотелефонной связи технологии 5G (очевидно и дальнейшее развитие такого рода стандартов — 6G и далее). Под эти технологии должны быть выделены новые диапазоны радиочастот, которые позволят обеспечить сверхвысокие скорости передачи информации; подразумевается высокая плотность абонентских устройств и сверхнизкие задержки сигнала передачи данных<sup>13</sup>. Прогнозируется массовое распространение т. н. интернета вещей, повсеместное распространение автономного транспорта (илл. 10). Предполагается отказ от использования личного автотранспорта в пользу беспилотного такси и совместного использования транспорта, не только автомобильного, но и железнодорожного, водного и авиационного. Транспортные и людские потоки — тема отдельного исследования.

Изменяется рынок труда. Так, в главе 49.1 Трудового Кодекса РФ уже отражены особенности регулирования работы дистанционных работников (ст. 312.1–312.5)<sup>14</sup>. Очевидно, с учетом новых реалий законодательная база в этой области претерпит серьезные изменения, вовлекая сокращение рабочих мест и полную автоматизацию производства, где роль человека — созидание и управление. Тут можно вспомнить несколько наивное движение луддитов в Англии, закончившееся



фактической победой машин над кустарным производством. С другой стороны, и отдельные результаты высококачественного ручного труда могут быть оценены в новых условиях по-иному.

Складывающаяся ситуация уже оказывает существенное влияние на образовательный процесс. Запланировано широкое внедрение дистанционного обучения. В 2020 г., в связи с пандемией COVID-19, этот процесс получил достаточно бурное развитие. Летом 2020 г. появился проект Постановления Правительства РФ «О проведении в 2020–2022 годах эксперимента по внедрению целевой модели цифровой образовательной среды» с 1 сентября 2020 г. по 31 декабря 2022 г.<sup>15</sup>

Отдельная тема связана со здравоохранением<sup>16</sup>. Инновационные технологии интерпретируются как потенциально способные осуществить

## ИЛЛЮСТРАЦИИ

10. Примеры беспилотных автомобилей в г. Масдар (ОАЭ) и г. Иннополис (РФ)

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>15</sup> Проект постановления Правительства РФ «О проведении в 2020–2022 годах эксперимента по внедрению целевой модели цифровой образовательной среды в сфере общего образования, среднего профессионального образования и соответствующего дополнительного образования, профессионального обучения, дополнительного образования детей и взрослых» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=home#doc/PNPA/59532/4294967295/0> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>16</sup> Волкова С. В поликлиниках Москвы запускают систему искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. URL: <https://www.msk.kp.ru/daily/217197/4307251/> (дата обращения: 14.11.2020).

<sup>17</sup> Greitemann J. et al. Identification of emergent constraints and hidden order in frustrated magnets using tensorial kernel methods of machine learning [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1907.12322.pdf> (дата обращения: 15.11.2020).

замену частей тела человека, упоминаются, в частности, трансплантация искусственных органов и вживление в организм медицинских устройств. Вводится система поддержки врачебных решений на основе ИИ. При этом компьютер обрабатывает информацию о симптомах и жалобах в режиме онлайн, затем предлагает врачу три наиболее вероятных предварительных диагноза из сотен стандартных групп диагнозов, а также схему лечения. Врач может выбрать данные цифрового помощника, добавив или вычеркнув что-то при необходимости. Это на порядок сокращает среднее время назначения диагностических исследований и повышает точность диагностики. Новинка для врачей основана на Единой медицинской информационной аналитической системе (ЕМИАС). Партнером проекта стал Сбербанк, специалисты которого наработали базу знаний по анализу больших данных и искусственному интеллекту.

Для развития науки ИИ тоже имеет большие перспективы. Например, в исследовании, недавно опубликованном в *Physical Review*, ИИ научился распознавать необычные магнитные фазы на модели природного минерала с тетраэдрической решетчатой структурой. При использовании электронно-вычислительной машины решение проблемы заняло несколько недель, тогда как ранее ученым требовалось шесть лет<sup>17</sup>.

Архитектуру порой сравнивают с «застывшей музыкой». В области музыки тоже есть достижения ИИ, которые в основном сосредоточены на сочинении симфоний и классической музыки для фильмов. Анализируя уникальные комбинации стилей и методы оптимизации, ИИ может сочинять музыку в любом существующем стиле.

В области архитектуры и градостроительства одна из сфер приложения усилий — виртуальная реальность, созданный техническими средствами мир, передаваемый человеку через его ощущения. В результате введения в поле восприятия любых сенсорных данных возникает дополненная реальность. Смешанная реальность является следствием объединения реального и виртуального миров для создания новых визуализаций и их окружения. Необходимо помнить об интерактивной архитектуре и применении голографических проекций при презентации архитектурных проектов и проведении, например, публичных слушаний.

BIM (Building Information Model) — уже известный набор методов и средств для эффективного решения градостроительных задач. Параметрическая или алгоритмическая архитектура существует как некий инновационный дизайн больше десятка лет. С помощью BIM-технологий проводится сбор и комплексная обработка всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации об объекте со всеми его взаимосвязями. Существенным является применение BIM-технологий на всех этапах реализации жизненного цикла объекта — от планирования до вывода из эксплуатации. Ведется активная

разработка стандартов, систем классификации и требований к информационным моделям. Так называемые «смарт-стандарты» включают рекомендации по реализации предпроектных решений с применением перспективных технологий в рамках создания комфортной городской среды. Предполагается оптимизация городского планирования и застройки на базе больших данных и цифровых технологий как аналитики следующего поколения.

Ожидается дальнейшее развитие компьютерного моделирования, трехмерного сканирования и печати как макетов, так и зданий или их частей, что ведет к 3D-печати промышленных изделий, техники и объектов архитектуры как аддитивному производству. Здесь архитектура смыкается с дизайном, поскольку технологии используются в самых разных отраслях промышленности. Эксперименты в этой области продолжают в последнее десятилетие достаточно успешно, но пока еще не вышли на уровень больших промышленных масштабов. поэтажные планы разрабатываются на основе моделей, построенных путем анализа множества планов зданий определенной типологии, включая возможную вариативность и учет контекста места. В сфере градостроительства расширяется применение синтеза, генерации планов, поскольку ИИ способен не только распознавать графические космические снимки, образы городов или панорамы городских пространств, но и создавать новые на основе предварительно изученных материалов.

Возникает ключевой вопрос: кто закладывает параметры задания — зодчий или девелопер? Ответ сейчас достаточно очевиден, и это особенно актуально для крупных российских городов, многие из которых получили в последние годы достаточно бурное строительное развитие. Это и Москва с Санкт-Петербургом, города-миллионники, и отдельные агломерации, в частности, районы Сочи и Владивостока.

Новые здания существенно отличаются от снимых по программе реновации: они более современные, но не всегда комфортные, поскольку

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>18</sup> Москва 2030 — умный город [Электронный ресурс]. URL: <https://2030.mos.ru/> (дата обращения: 14.11.2020); Autodesk: 5 технологий будущего для строительства и промышленности. Редакционная статья [Электронный ресурс]. URL: <https://www.porrmec.ru/editorial/news-398102-autodesk-5-tehnologiy-budushchego-dlya-stroitelstva-i-promyshlennosti/> (дата обращения: 15.11.2020).

<sup>19</sup> Simcox G. Residents shun Chinese 'vertical forest' housing project because the trees meant to revolutionize urban living have attracted plagues of mosquitos [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8737341/Residents-shun-Chinese-vertical-forest-housing-project-attracted-plagues-mosquitos.html> (дата обращения: 14.11.2020).

в основу закладывается стоимость квадратного метра. Обостряется проблема социального расслоения, бюджетного и т. н. элитного жилья.

Тем не менее дроны, лазерные сканеры и дальнометры, лидары, тахеометры, в свою очередь, позволяют одновременно повысить качество строительного объекта и снизить затраты на него; их использование заключается в сборе данных, которые затем добавляются в т. н. интеллектуальную информационную модель. Еще большее значение для строительной отрасли имеет прогресс, достигнутый в сфере разработки автономной инженерно-строительной техники и тяжелого оборудования; автономная техника станет привычным явлением на строительных площадках по всему миру. ИИ будет вносить вклад и в повышение безопасности при строительстве.

Управление городским хозяйством в значительной степени осуществляется на основе больших данных с применением сложной и многомерной аналитики, а отдельные схемы энерго-, тепло-, газо- и водоснабжения сформируют общую «Систему систем». В области планирования и дизайна наряду с системами 3D-моделирования разработаны программы, позволяющие проектировать одновременно с конструкцией здания его внутреннюю электротехническую инфраструктуру с учетом сроков выполнения работ на каждом этапе строительства и всех возможных параметров здания<sup>18</sup>.

Среди других быстро развивающихся сфер применения ИИ в архитектуре, проектировании и строительстве можно назвать программное обеспечение для компьютерного проектирования со способностью к глубокому обучению, а также устранение шума в фотореалистичных визуализациях при проектировании.

Применение самообучающихся машинных технологий также будет способствовать вариативному проектированию с уходом от однотипности. Модели нейронных сетей на основе предварительно изученных изображений способны воспроизвести план из простого наброска или чертежа. Можно вспомнить и инновационные проекты мини-городов «будущего» — Сколково, Иннополис (илл. 11). Это общемировая тенденция, достаточно упомянуть такие города, как Масдар, Неом (илл. 12), Ченду.

При реализации разного рода благостных «экологических проектов» помимо позитивных эффектов возможны и неожиданные просчеты. Пример такого просчета — комплекс «зеленых» жилых зданий в Ченду (Китай) (илл. 13), возведенных с благими намерениями и привлекательной «экологической» идеей комфортного жилья в большом городе. Однако недоучет ряда факторов привел к появлению многочисленных москитов в зелени этого комплекса, что привело к фактической невозможности постоянного проживания там людей. Очевидно, что решение проблемы будет найдено путем применения химикатов или замены растений на другие виды. Однако первоначальная идея оказалась несколько дискредитирована<sup>19</sup>.

При этом формально социалистический Китай, который сейчас потребляет треть мировой стали и половину бетона, в течение 2020 г. наиболее успешно справлялся с пандемией, хотя, насколько известно, первичная вспышка там и возникла.

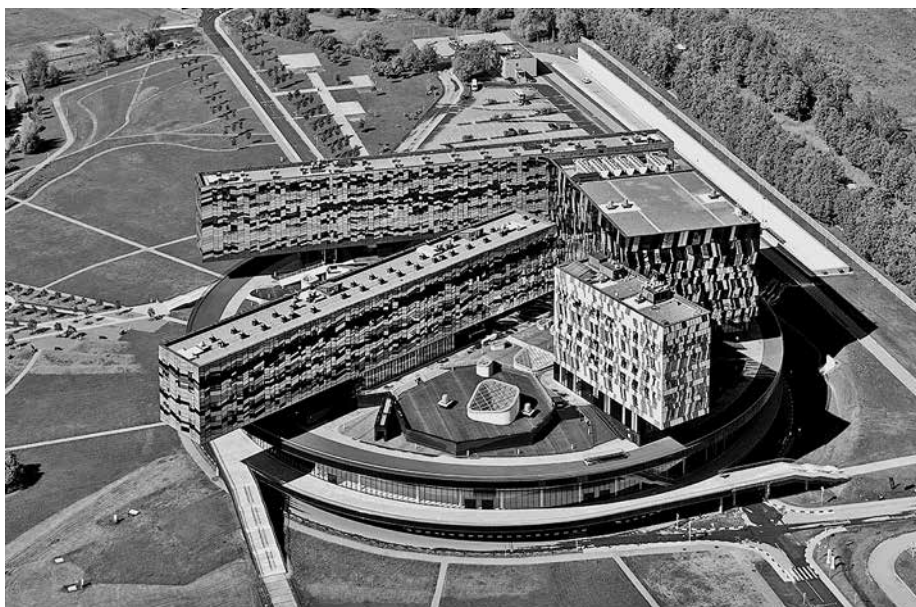
Изменения архитектурной парадигмы и непрерывно развивающиеся технологические возможности позволяют получать с каждым годом все более интересные результаты в архитектурном творчестве. В современной архитектуре сама форма порождена одновременно новой технологией и новой идеологией. Это уже сложно однозначно назвать архитектурой, дизайном или искусством: возникает некий сплав, воплощающий

ИЛЛЮСТРАЦИИ

11. Российские инновационные центры Сколково и Иннополис

12. Инновационные города Неом (Саудовская Аравия) и Масдар (ОАЭ)

13. Город Ченду, Китай. Озелененный жилой комплекс с «вертикальным лесом», атакованный москитами







и реализующий междисциплинарные подходы. Проекты и построенные сооружения могут моделировать, описывать движение в статических материалах, визуализируя выдающиеся научные достижения и методы проектирования.

Создание новых технологий виртуальной реальности и развитие новых пространственных форм «виртуальной архитектуры» допускает ее применение в качестве средства теоретического исследования как инструмента архитектурной теории и практики. Помимо историко-культурного это может иметь также прикладное значение для разработки перспективных градостроительных планов. В этом аспекте можно говорить о возникновении новых специальностей в интересах развития архитектурно-градостроительной отрасли, что весьма актуально в связи с цифровизацией экономики и неизбежным сокращением рабочих мест. Данное же направление в обозримом будущем безусловно подразумевает участие человека в проектно-изыскательских работах. Развитие соответствующей технологической базы и программно-аппаратных средств, использование достижений в области космической и лазерной техники для картографирования можно рассматривать как прорывную технологию в архитектуре и градостроительстве и инновационном проектировании<sup>20</sup>. Экологическое сознание влияет на образ мыслей, концептуальные идеи в архитектуре и градостроительстве, создавая образ будущей среды и социального развития<sup>21</sup>. Сама «интеллектуальная архитектура», способная к интерактивному взаимодействию в реальном масштабе времени с человеком и окружающей средой, становится инновационным технологическим направлением. «Интеллектуальная архитектура» — информационно открытая самоорганизующаяся кибернетическая система, перестраивающаяся по мере необходимости, отличается высоким уровнем автоматизации, встроенным информационным контролем и энергообеспечением<sup>22</sup>.

В архитектуре идея геометрических трансформаций может быть связана с определенными функциональными решениями, подобные приемы могут быть применены и для решения задач

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>20</sup> Kasyanov N. Study of architectural shape formation in comparison with natural morphogenesis using computer simulations [Электронный ресурс] // *International electronic scientific-educational journal on scientific technological and educational-methodical aspects of modern architectural education and designing with usage of video and computer technologies*. 2008. № 1. URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2008/1kvart08/Kasyanov/article.php> [дата обращения: 14.11.2020].

<sup>21</sup> Вайнс Д. Экологическая архитектура сегодня. Зеленая архитектура. Taschen, 2000. 230 с.

<sup>22</sup> Хант Д. Архитектура в «Кибернетическую эпоху» // *Architectural Design*. 1998. № 11/12. С. 24–26.

<sup>23</sup> Gretchen C. Model of Diffusion — Diffusion Limited aggregation [Электронный ресурс]. URL: <https://phas.ubc.ca/~berciu/TEACHING/PHYS349/DIA.pdf> [дата обращения: 15.11.2020].

<sup>24</sup> Banzhaf W., McMullin B. *Artificial Life, Handbook of Natural Computing* / Eds. G. Rozenberg et al. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. (2012). 1806–1834.

<sup>25</sup> Langton C.G. *Artificial Life*, Addison-Wesley Publ. Co., 1988.

архитектурно-художественного характера. Рост городов, связанный с особенностями геоморфологии, сходен с морфогенезом хаотических фрактальных кластеров и может быть имитирован, в частности, моделями агрегации, ограниченной диффузией (*diffusion limited aggregation, DLA*)<sup>23</sup>. Модель роста хаотических фрактальных кластеров успешно моделирует рост городов и их агломераций.

К концу XX в. на стыке компьютерных и биологических исследований возникла новая междисциплинарная наука, включающая изучение и математическое моделирование жизни *in silico*, в компьютере<sup>24</sup>. К. Лэнгтоном дано определение новой науки: «Artificial life — изучение искусственных систем, проявляющих поведение, характерное для природных живых систем. Оно включает компьютерное моделирование, биологические и химические эксперименты и чисто теоретические поиски. Объекты исследования — процессы на молекулярном, клеточном, нейральном, социальном и эволюционном уровнях. Конечная цель — понять логические формы живых систем»<sup>25</sup>. Возникло и понятие *reverse engineering* — исследование устройства с целью понимания его работы для воспроизведения необходимых функций.

Математическое моделирование и развитие искусственной жизни и систем искусственного интеллекта вносит все больше новаций как в повседневную жизнь, так и в архитектуру, которая в своем развитии все чаще взаимодействует с областями технической эстетики и дизайна. Информационные технологии стали мощнейшим инструментарием, придавшим серьезный импульс социально-экономическому развитию человечества, появлению новых и расширению существующих областей науки. Технологические преобразования и их скорость зачастую носят революционный, взрывной характер. Многие идеи и футурологические возможности этого направления исследований порождают вопросы, а современные попытки ответов на них носят порой дискуссионный и противоречивый характер. Каким будет дальнейшее совместное развитие информационного общества и архитектуры?

Приближаясь к природе по принципам формообразования, архитектура по-прежнему остается не живой, а лишь имитирующей живую природу. Впрочем, не исключено, что на каком-то этапе совершенствование технологий приведет к тому, что некие структуры, например, претерпевающие процесс биоминерализации, будут использоваться и в конструкциях будущих зданий. Использование информационных технологий, достижений робототехники, принципов природной самоорганизации и синтез этих подходов — эффективный путь построения сложных систем, определяемый внутренними свойствами их компонентов. Что касается технологий трехмерной печати, то уже совершенно очевидно, что они получают широчайшее применение, так как позволяют изменить характер производства целого ряда изделий различного назначения.

Стоит отметить некоторые факторы, ограничивающие успешную разработку и применения систем искусственного интеллекта в строительстве. Часто информационные системы несовместимы друг с другом, и потенциал решений на основе ИИ может быть реализован только через корректную интеграцию источников разнородных данных.

Новые технологии подвергаются различным, порой полярным оценкам. Возможны экономические спекуляции, например, таргетированная реклама по результатам отслеживания цифровых следов человеческого общества, связанных с развитием компьютеризации и широким распространением мобильных устройств. В связи с этим возникает возможность ИИ направленно, фальсифицированно формировать общественное мнение, например, о престижности района и т. д., преследуя лишь

14. Высотная жилая застройка в Китае

#### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>26</sup> Боты изобрели свой язык: почему Facebook испугался искусственного интеллекта? Редакционная статья [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bbc.com/russian/features-40778454> [дата обращения: 15.11.2020].



коммерческие цели. Подобным образом работают агрегаторы новостей, различные системы на основе ботов. Таким образом, например, рынок недвижимости может быть фактически сфальсифицирован, будучи настроенным на интересы застройщика и формирующим ложные представления у покупателей. В итоге возникают т.н. «человеиники» (илл. 14), название которым дал фантастический роман-антиутопия «Глобальный человеиник» писателя и философа А. Зиновьева, вышедший в 1997 г.

Более глобальна и весьма реальна обсуждаемая ныне опасность «цифровой цензуры», «цифровой диктатуры» средств массовой информации, способных виртуально и реально «стереть», уничтожить, не допустить неугодные взгляды и их носителей. Главный вопрос — в чьих руках находятся столь мощные средства массовой информации.

Не теряют актуальности угрозы компьютерных вирусов или хакерских атак. В условиях существенной криминализации IT-сферы — это весьма неоднозначные и опасные тенденции. Частная жизнь людей растворяется в равнодушной цифре. Нынешняя пандемия COVID-19 показала, что человечество не слишком далеко ушло от эпидемий средних веков; развитие медицины шло параллельно с ростом разного рода миграций, продолжилась и эволюция различных микроорганизмов — как природная, так и техногенная.

Кроме того, чем сложнее система, тем выше вероятность ее сбоя или отказа. В случае ИИ существует потенциальная угроза выхода его из-под контроля человека — достаточно вспомнить про эксперимент с разговором т.н. чат-ботов, проведенный отделом по исследованию возможностей искусственного интеллекта Facebook. Изучалось взаимодействие между собой двух ботов, перед которыми была поставлена задача обсуждения заданного им вопроса; в какой-то момент боты перешли на некий собственный язык, который не могли понять их разработчики — люди. В итоге чат-боты пришлось отключить<sup>26</sup>. Важно извлекать уроки из подобных историй. Проблема в том, что и человеческий интеллект изучен недостаточно, и у исследователей нет ясного понимания того, как работают искусственные самообучающиеся нейронные сети. Непрозрачность работы этой системы — вот в чем проблема. Алгоритмы работы нейронных сетей крайне сложны для интерпретации, результаты их работы могут быть подвергнуты сомнению и отменены человеком. Отсутствие понимания того, как искусственный интеллект достигает результатов, является одной из причин низкого уровня доверия к современным технологиям искусственного интеллекта и может стать препятствием для их развития. Возникает некий «ящик Пандоры» — тема, которая издавна поднималась футурологами или писателями-фантастами, включая и идеи постгуманизма. Можно вспомнить про неоднозначные этические «законы робототехники» известного фантаста А. Азимова. Важно понимание того, что

стремительно наступающая на привычные жизненные устои технология должна быть не заменой человека, а его помощником, призванным улучшать жизнь; технологии должны существовать для людей, а не наоборот.

Немногочисленные творчески мыслящие зодчие, разумеется, понимают необходимость вернуть в архитектуру дух искусства, художественно-композиционного и инженерного творчества. Нынче создаются и многочисленные «лучезарные» и экологические проекты городов будущего, зачастую напоминающие симуляции из компьютерных игр (илл. 15). Однако их гуманистичность и экономическая целесообразность далеко не всегда прозрачны. В настоящее время получение сверхприбылей по-прежнему почти полностью доминирует в рамках трансконтинентального капитализма. В «строительном бизнесе» зачастую просто нет места научным и эстетическим подходам архитектуры. Развитие будущего во многом



зависит от того, какие исходные данные и идеологические ценности будут заложены в системы ИИ. Предыдущие технологические революции, помимо позитивного развития человечества, вели и к войнам, гибели многих миллионов человек, поскольку именно «передовые» технологии были использованы для передела источников сырья и рынков сбыта. Нынешняя ситуация тревожна — распространение коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 в начале 2020-х гг., народные волнения в некогда спокойных странах. Нельзя забывать, что в основе процессов развития цивилизации лежит и конкуренция человеческих сообществ, государств и империй. Человечество прошло целый ряд промышленных революций и стоит на пороге новых больших перемен. К чему они в итоге приведут человечество, его архитектурную и градостроительную сферы — вопрос остается открытым.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азиломарские принципы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://futureoflife.org/ai-principles/?cn-reloaded=1> (дата обращения: 14.11.2020).
2. Боты изобрели свой язык: почему Facebook испугался искусственного интеллекта? Редакционная статья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-40778454> (дата обращения: 15.11.2020).
3. Вайнс Д. Экологическая архитектура сегодня. Зеленая архитектура. Taschen. 2000. 230 с.
4. Волкова С. В поликлиниках Москвы запускают систему искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.msk.kp.ru/daily/217197/4307251/> (дата обращения: 14.11.2020).
5. В Москве открылся первый магазин без персонала «Пятерочка #налету». Редакционная статья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.retail.ru/news/v-moskve-otkrylsya-pervyy-magazin-bez-personala-pyatyerochka-nal-etu-23-oktyabrya-2020-198897/> (дата обращения: 15.11.2020).
6. Королев Н., Шестоперов Д. Фабрика-цифра. Государство поделится данными граждан с бизнесом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4539873> (дата обращения: 15.11.2020).
7. Москва 2030 — умный город [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://2030.mos.ru/> (дата обращения: 14.11.2020).
8. Московский урбанистический форум. Официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mosurbanforum.ru/archive/2018/> (дата обращения: 15.11.2020).
9. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: УРСС, 2005.
10. Проект постановления Правительства РФ «О проведении в 2020–2022 годах эксперимента по внедрению целевой модели цифровой образовательной среды в сфере общего образования, среднего профессионального

образования и соответствующего дополнительного образования, профессионального обучения, дополнительного образования детей и взрослых» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=home#doc/PNPA/59532/4294967295/0> (дата обращения: 14.11.2020).

11. Сайт компании «Neuralink» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neuralink.com/> (дата обращения: 14.11.2020).
12. Сети 5G [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/5G> (дата обращения: 14.11.2020).
13. Федеральный проект «искусственный интеллект» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digital.ac.gov.ru/about/5055/> (дата обращения: 14.11.2020).
14. Трудовой кодекс Российской Федерации. Глава 49.1. Особенности регулирования труда дистанционных работников [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/e3109974293f0702a9260fd10cf35a0ca2968319/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/e3109974293f0702a9260fd10cf35a0ca2968319/) (дата обращения: 15.11.2020).
15. Хант Д. Архитектура в «Кибернетическую эпоху» // Architectural Design. 1998. № 11/12. С. 24–26.
16. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2017. 288 с.
17. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 14.11.2020).
18. Autodesk: 5 технологий будущего для строительства и промышленности. Редакционная статья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.porrmec.ru/editorial/news-398102-autodesk-5-tehnologiy-budushchego-dlya-stroitelstva-i-promyshlennosti/> (дата обращения: 15.11.2020).
19. Banzhaf W., McMullin B. Artificial Life, Handbook of Natural Computing / Eds. G. Rozenberg et al. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. (2012). 1806–1834.
20. Greitemann J. et al. Identification of emergent constraints and hidden order in frustrated magnets using tensorial kernel methods of machine learning [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1907.12322.pdf> (дата обращения: 15.11.2020).
21. Gretchen C. Model of Diffusion — Diffusion Limited aggregation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://phas.ubc.ca/~berciu/TEACHING/RHYS349/DLA.pdf> (дата обращения: 15.11.2020).
22. Kasyanov N. Study of architectural shape formation in comparison with natural morphogenesis using computer simulations // International electronic scientific-educational journal on scientific technological and educational-methodical aspects of modern architectural education and designing with usage of video and computer technologies. 2008. № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.marhi.ru/AMIT/2008/1kvart08/Kasyanov/article.php> (дата обращения: 14.11.2020).
23. Langton C.G. Artificial Life. Addison-Wesley Publ. Co., 1988.



24. Simcox G. Residents shun Chinese 'vertical forest' housing project because the trees meant to revolutionize urban living have attracted plagues of mosquitos [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8737341/Residents-shun-Chinese-vertical-forest-housing-project-attracted-plagues-mosquitos.html> (дата обращения: 14.11.2020).
25. Space X. Официальный сайт компании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.spacex.com/> (дата обращения: 15.11.2020).

## REFERENCES

1. *Azilomarskie printsiipy* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://futureoflife.org/ai-principles/?cn-reloaded=1> (data obrascheniya: 14.11.2020).
2. *Boty izobreli svoi iazyk: pochemu Facebook ispugalsia iskusstvennogo intellekta?* Redaktsionnaia stat'ia [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.bbc.com/russian/features-40778454> (data obrascheniya: 15.11.2020).
3. Wines J. *Ekologicheskaiia arkhitektura segodnia. Zelenaiia arkhitektura'*. Taschen, 2000. 230 p.
4. Volkova S. *V poliklinikakh Mskvy zapuskaiut sistemu iskusstvennogo intellekta* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.msk.kp.ru/daily/217197/4307251/> (data obrascheniya: 14.11.2020).
5. *V Moskve otkrylsia pervyi magazin bez personala "Pyaterochka #naletu"*. Redaktsionnaia stat'ia. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.retail.ru/news/v-moskve-otkrylsya-pervyy-magazin-bez-personala-pyaterochka-nale-tu-23-oktyabrya-2020-198897/> (data obrascheniya: 15.11.2020).
6. Korolev N., Shestoperov D. *Fabrika-tcifra. Gosudarstvo podelitsia dannymi grazhdan s biznesom* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.kommersant.ru/doc/4539873> (data obrascheniya: 15.11.2020).
7. *Moskva 2030 – umnyi gorod* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://2030.mos.ru/> (data obrascheniya: 14.11.2020).
8. *Moskovskii urbanisticheskiy forum. Ofitsial'nyi sait* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://mosurbanforum.ru/archive/2018/> (data obrascheniya: 15.11.2020).
9. Penrose R. *Novyi um korolya. O komp'iuterakh, myshlenii i zakonakh fiziki*. Moscow: URSS, 2005.
10. Proekt postanovleniya Pravitel'stva PF "O provedenii v 2020–2022 godakh eksperimenta po vnedreniiu tselevoi modeli tsifrovoi obrazovatel'noi sredy v sfere obshchego obrazovaniia, srednego professional'nogo obrazovaniia i sootvetstvuiushchego dopolnitel'nogo obrazovaniia, professional'nogo obucheniia, dopolnitel'nogo obrazovaniia detei i vzroslykh" [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=home#doc/PNPA/59532/4294967295/0> (data obrascheniya: 14.11.2020).
11. Sait kompanii „Neuralink“ [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://neuralink.com/> (data obrascheniya: 14.11.2020).

12. Seti 5G [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/5G> (data obrascheniya: 14.11.2020).
13. Federal'nyi proekt „iskusstvennyi intellekt“ [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://digital.ac.gov.ru/about/5055/> (data obrascheniya: 14.11.2020).
14. Trudovoi kodeks Rossiiskoi Federatsii. Glava 49.1. *Osobennosti regulirovaniia truda distantsionnykh rabotnikov* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/e3109974293f0702a9260fd-10cf35a0ca2968319/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/e3109974293f0702a9260fd-10cf35a0ca2968319/) (data obrascheniya: 15.11.2020).
15. Hunt J. Arhitektura v „Kiberneticheskuu epokhu“ // *Architectural Design*. 1998. № 11/12. P. 24–26.
16. Schwab K. *Chetvertaia promyshlennaia revoliutsiya*. Moscow: Eksmo, 2017. 288 p.
17. Ukaz Prezidenta RF ot 10 oktiabria 2019 goda № 490 “O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossiiskoi Federatsii” [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (data obrascheniya: 14.11.2020).
18. Autodesk: 5 tekhnologii budushchego dlia stroitel'stva i promyshlennosti. Redaktsionnaia stat'ia [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.popmech.ru/editorial/news-398102-autodesk-5-tehnologiy-budushchego-dlya-stroitelstva-i-promyshlennosti/> (data obrascheniya: 15.11.2020).
19. Banzhaf W., McMullin B. *Artificial Life, Handbook of Natural Computing* / Eds. G. Rozenberg et al. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. (2012). 1806–1834.
20. Greitemann J. et al. *Identification of emergent constraints and hidden order in frustrated magnets using tensorial kernel methods of machine learning* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://arxiv.org/pdf/1907.12322.pdf> (data obrascheniya: 15.11.2020).
21. Gretchen C. *Model of Diffusion – Diffusion Limited aggregation* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://phas.ubc.ca/~berciu/TEACHING/PHYS349/DLA.pdf> (data obrascheniya: 15.11.2020).
22. Kasyanov N. Study of architectural shape formation in comparison with natural morphogenesis using computer simulations [Elektronnyi resurs] // *International electronic scientific-educational journal on scientific technological and educational-methodical aspects of modern architectural education and designing with usage of video and computer technologies*. 2008. № 1. Rezhim dostupa: <http://www.marhi.ru/AMIT/2008/1kvart08/Kasyanov/article.php> (data obrascheniya: 14.11.2020).
23. Langton C.G. *Artificial Life*. Addison-Wesley Publ. Co., 1988.
24. Simcox G. *Residents shun Chinese 'vertical forest' housing project because the trees meant to revolutionize urban living have attracted plagues of mosquitos* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8737341/Residents-shun-Chinese-vertical-forest-housing-project-attracted-plagues-mosquitos.html> (data obrascheniya: 14.11.2020).
25. Space X. Ofitsial'nyi sait kompanii [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.spacex.com/> (data obrascheniya: 15.11.2020).