

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И СИНГУЛЯРНОСТЬ КАК ПРЕДЕЛ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

NEURAL NETWORK MODELING IN CONSTRUCTION AND SINGULARITY AS THE LIMIT OF DIGITAL TRANSFORMATION

V. Asaul
M. Petukhov

Summary. The development of artificial intelligence (AI) methods and, in particular, neural network modeling plays an important role in the digitalization of construction. The problems of introducing digitalization elements into the activities of construction organizations include various aspects: the trend towards automation; the introduction of various tools, in particular BIM modeling, at all levels of investment and construction project management, etc. Despite the numerous publications on this issue, there are practically no studies on the systemic implementation, for example, generative design, which includes the creation of design and estimate documentation based on a generative design model based on working documentation. Due to the fact that the introduction of neural network modeling into the activities of construction organizations has been little studied, the problem in this formulation is considered for the first time.

The purpose of this study is to analyze the possibilities of using neural network modeling in construction and to find the limit of digital transformation based on the study of the concept of singularity. As a result of the study, it was concluded that since the process of digitalization of the economy is not complete, and there are no clear models by which it would be possible to calculate all economic indicators of the organization's activities both in the short and long term, it can be assumed that, unlike existing methods, neural network modeling of processes can be applied in solving the problem of formalization, for example, the process of increasing the competitiveness or efficiency of construction organizations in the context of digitalization and a high degree of environmental uncertainty, the influence of risks and stochastic factors.

Keywords: neural network modeling, artificial intelligence, generative design, construction, digital transformation, singularity.

Асаул Вероника Викторовна

д. э. н., профессор,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
asaul@inbox.ru

Петухов Михаил Вадимович

к. э. н., доцент,
научный сотрудник, Уральский научный центр
petukhov@howtodo.ru

Аннотация. Важную роль в цифровизации строительства играет развитие методов искусственного интеллекта (ИИ) и, в частности, нейросетевого моделирования. Проблемы внедрения элементов цифровизации в деятельность строительных организаций включают различные аспекты: тренд на автоматизацию; внедрение различных инструментов, в частности BIM-моделирования, на всех уровнях управления инвестиционно-строительными проектами и пр. Несмотря на многочисленность публикаций по этой проблематике, практически отсутствуют исследования по системному внедрению, например, генеративного проектирования, включающего в себя создание проектно-сметной документации на основе генеративной модели проектирования, в основу которой заложена рабочая документация.

В силу того, что внедрение нейросетевого моделирования в деятельность строительных организаций мало исследовано, проблема в такой постановке рассматривается впервые.

Целью данного исследования является анализ возможностей применения нейросетевого моделирования в строительстве и поиск предела цифровой трансформации на основе исследования понятия сингулярности.

В результате исследования был сделан вывод, что так как процесс цифровизации экономики не закончен, и нет четких моделей, по которым можно было бы рассчитать все экономические показатели деятельности организации как в краткосрочном, так и в долгосрочном периоде, можно предположить, что в отличие от существующих способов нейросетевое моделирование процессов может быть применимо при решении проблемы формализации, например, процесса повышения конкурентоспособности или эффективности деятельности строительных организаций в условиях цифровизации и высокой степени неопределенности среды, влияния рисков и стохастических факторов.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, искусственный интеллект, генеративное проектирование, строительство, цифровая трансформация, сингулярность.

Заменив человека невозможно, но вся история прогресса показывает, что такие попытки совершались и будут совершаться в разных областях познания и практической деятельности. Сегодня, когда уровень решения задач существенно усложнился, идея применения для их решения нейронных сетей переживает второе рождение. Появилась необходимость имитации мышления человека при решении задач, требующих рас-

четов большой сложности, т. е. создания некой «модели» человеческого мозга и ее применения на практике. Для этого созрели и предпосылки благодаря расширению знаний о свойстве человеческого мозга и его структуре. Нейронная сеть не является, конечно, полным аналогом человеческого мозга, но то, что они имеют общие принципы работы, является очевидным на сегодняшний день.

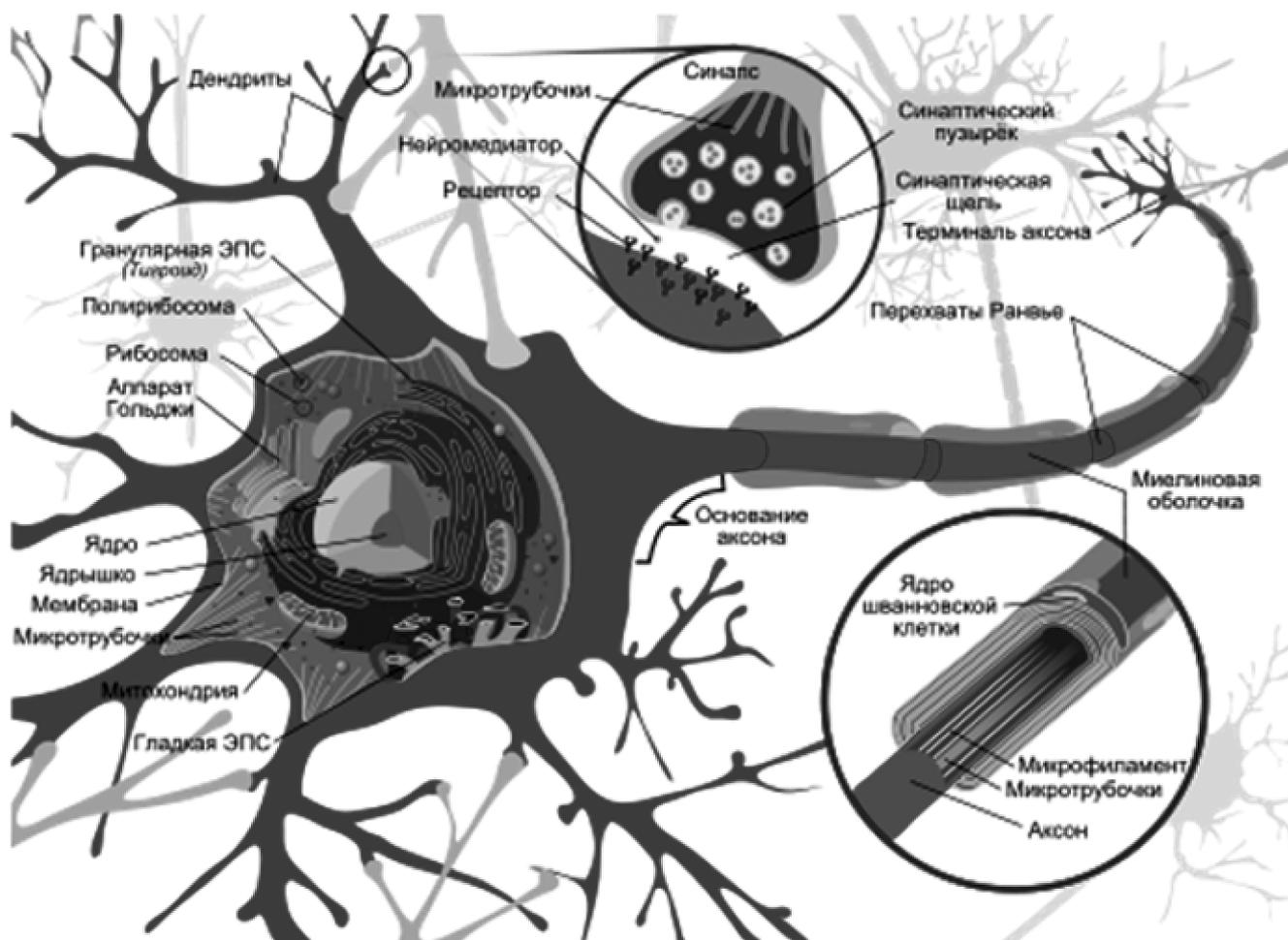


Рис. 1. Биологическая модель нейрона

Еще в XIX в. Ученые А. Бэйн¹ и У. Джеймс² в своих научных трудах выразили предположение, что в основе деятельности мозга лежит взаимодействие нейронов. Позднее различные исследования показали, что в головном мозге функционируют нервные клетки, которые и были названы нейронами. В совокупности с нейронами спинного мозга они и образуют нейронную сеть.

Именно нейронная сеть человека и послужила прототипом создания искусственных нейронных сетей, которые сегодня лежат в основе множества изобретений. Биологическая модель нейрона и ее описание приведено на рис. 1³.

При взаимодействии между собой нейроны образуют биологические сети.

¹ Александр Бейн (1810–1877 гг.) — шотландский изобретатель, инженер. Создал печатающий телеграф, а затем химический телеграф.

² Уильям Джеймс (1842–1910 гг.) — американский философ и психолог. Основатель прагматизма и функционализма, теории эмоций и теории личности.

³ Взято из общедоступного источника в сети Интернет.

Существует и математическая модель нейрона («формальный нейрон»). Его схема приведена на рис. 2.

$$w_i, x_i, b, y \in \mathbb{R}.$$

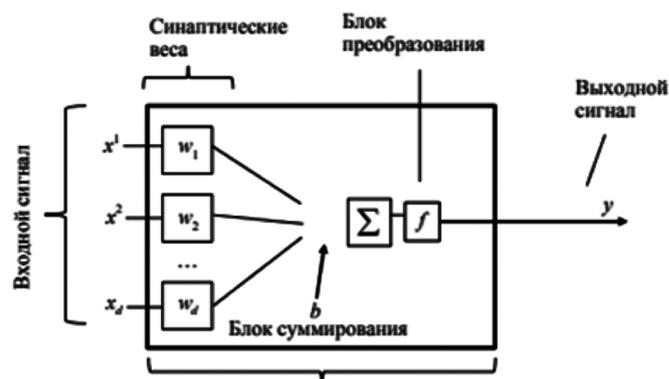


Рис. 2. Схема математической модели нейрона [8]

Математическую модель нейрона в виде формулы можно представить следующим образом:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right),$$

где y — выходной сигнал нейрона;
 f — нелинейное преобразование (функция активации);
 n — число входов нейрона;
 w_i — вес синапса;
 x^i — компонента входного вектора (входной сигнал), $i = 1, \dots, n$;
 b — внешний источник (значение смещения) [8].

Между нейронами связь проводят синапсы⁴ путем умножения входного сигнала на число, определяющее силу связи (вес сигнала). Все поступающие сигналы от других нейронов или внешних источников суммируются, а затем с помощью нелинейного преобразователя формируется выход сумматора. Это функция активации или передаточная функция нейронов. Вес синаптических связей может быть положительным и отрицательным. В первом случае связи являются возбуждающими, во втором — тормозящими. Это самая простая математическая модель биологического нейрона.

Определение **искусственной нейронной сети** можно сложить из всего вышесказанного: множество элементов, имеющих подобие нейронов, связанных друг с другом и внешней средой с помощью определенных связей, имеющих весовые коэффициенты.

Классификационные признаки нейронных сетей могут быть разными:

1. функции, выполняемые нейронами — входные, выходные и промежуточные нейроны;
2. типология нейронных сетей — полностью связанные (рис. 3), слоистые или многослойные (рис. 4).

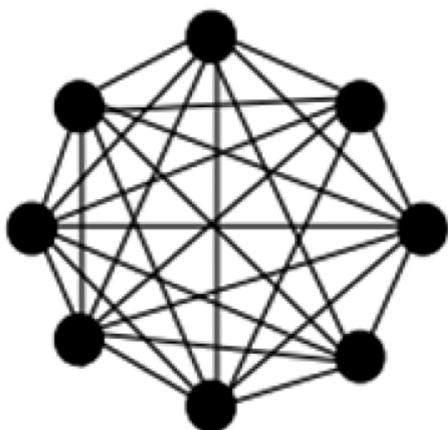


Рис. 3. Полностью связанные нейронные сети [8]

Слоистые сети, в свою очередь делятся на три вида:

1. монотонные, в которых слои двух типов — тормозящие (функция монотонно не возрастает) и возбуждающие (функция монотонно не убывает)

⁴ Синапс — греч. соединение, связь) — место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал клеткой.

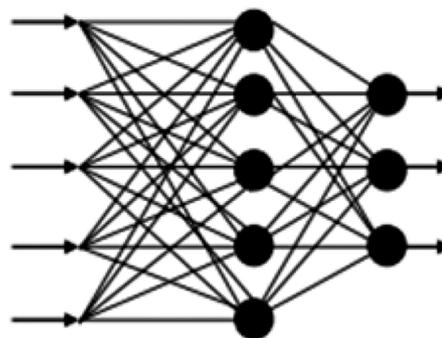


Рис. 4. Слоистые и многослойные нейронные сети [8]

2. без обратной связи и с обратной связью;
3. слабосвязанные (рис. 5) (с локальными связями).

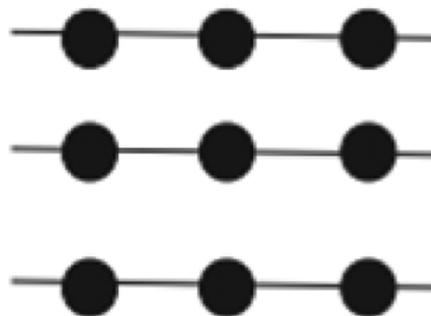


Рис. 5. Слабосвязанные слоистые нейронные связи [8]

И нейронная сеть может быть представлена в виде графа с формальными нейронами в вершинах, и обладающая входами и выходами (рис. 6).

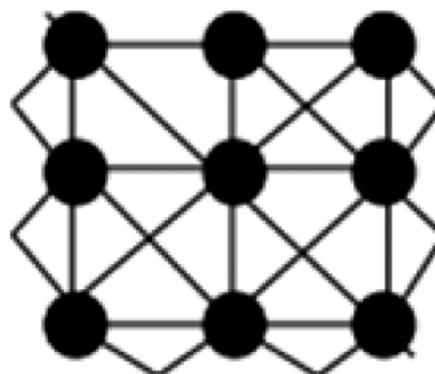


Рис. 6. Нейронная сеть в виде графа [8]

Основная задача нейронных сетей — это задача **управления** (табл. 1).

Так как разработка нейронных сетей не является целью настоящего исследования, вопрос, который заслуживает внимания: а какие задачи нейросети могут решать в строительстве?

Одним из критериев оптимизации строительного процесса, безусловно, является — минимизация времени строительства.

Таблица 1.

Задачи управления, которые могут решать нейронные сети (примеры)

Задача	X	Y
Распознавание образов	Вектор состояния	Номер класса, к которому принадлежит входящий образ
Управления процессом или объектом	Набор контролируемых параметров управляемого объекта	Код, определяющий управляющее воздействие, соответствующее текущим значениям контролируемых параметров
Управления диагностикой и процессом лечения	Параметры состояния больного	Класс диагнозов; класс диагностики (распознавание образов); процедура лечения: каждой процедуре ставится в соответствие необходимое лечение
Прогнозирования	Временные ряды, которые представляют значения контролируемых переменных на некоторых интервалах времени	Множество переменных, которое является подмножеством множества X

И тренд на автоматизацию выражается внедрением различных инструментов, в частности BIM-моделирования, на всех уровнях управления инвестиционно-строительными проектами благодаря тому, что это становится возможным и доступным при современном развитии уровня техники и технологии.

Новый термин это — **генеративное проектирование** (*Generative Design — GD*), включающий в себя создание проектно-сметной документации на основе генеративной модели проектирования (*Generative Design Modeling*), в основу которой заложена рабочая документация. Модель создается с помощью методов машинного обучения и нейросетей. Видов архитектуры нейронных сетей существует множество, на рисунке 7 представлена их классификация [2]. Перевод терминов и обозначений приведен в таблице 2.

Генеративное проектирование является этапом в развитии методов проектирования, в основе которого лежит база специального программного обеспечения, созданная для реализации концепции *Generative Design Modeling (DGM)* — объединения геометрии и информации.

Процесс генеративного проектирования можно разделить на этапы, осуществляться которые должны в соответствии с действующими нормами и правилами,

Таблица 2.

Перевод обозначений к рис. 7. Основные схемы построения нейронных сетей

Текст на рисунке	Перевод
Заголовок	
<i>A mostly complete chart of Neural Networks</i>	В основном полная диаграмма нейронных сетей
Колонка обозначений слева	
1. <i>Backfed Input Cell</i>	1. Входная ячейка с обратной подачей
2. <i>Input Cell</i>	2. Входная ячейка
3. <i>Noisy Input Cell</i>	3. Шумная входная ячейка
4. <i>Hidden Cell</i>	4. Скрытая ячейка
5. <i>Probabilistic Hidden Cell</i>	5. Вероятностная скрытая ячейка
6. <i>Spiking Hidden Cell</i>	6. Пикирование скрытой ячейки
7. <i>Output Cell</i>	7. Выходная ячейка
8. <i>Match input Output Cell</i>	8. Сопоставить входную ячейку вывода
9. <i>Recurrent Cell</i>	9. Повторяющаяся ячейка
10. <i>Memory Cell</i>	10. Ячейка памяти
11. <i>Different Memory Cell</i>	11. Другая ячейка памяти
12. <i>Kernel</i>	12. Ядро
13. <i>Convolution or Pool</i>	13. Свертка или пул
Названия нейронных сетей слева направо сверху вниз	
1. <i>Perceptron (P)</i>	1. Персептрон (П)
2. <i>Feed Forward (FF)</i>	2. Подача вперед (FF)
3. <i>Radial Basis Network (RBF)</i>	3. Радиальная базисная сеть (RBF)
4. <i>Deep Feed Forward (DFF)</i>	4. Глубокая подача вперед (DFF)
5. <i>Recurrent Neural Network (RNN)</i>	5. Рекуррентная нейронная сеть (RNN)
6. <i>long /Short Term Memory (ISTM)</i>	6. долго/кратковременная память (ISTM)
7. <i>Gated Recurrent Unit (GRU)</i>	7. Закрытая рекуррентная установка (ГРУ)
8. <i>Auto Encoder (AE)</i>	8. Автоэнкодер (AE)
9. <i>Variational AE(VAE)</i>	9. Вариационная АЭ (ВАЭ)
10. <i>Denoising AE (DAE)</i>	10. Денойзинг АЭ (DAE)
11. <i>Sparse AE(SAE)</i>	11. Разреженный АЭ (SAE)
12. <i>Markov Chain (MC)</i>	12. Цепь Маркова (MC)
13. <i>Hopfield Network (HN)</i>	13. Сеть Хопфилда (HN)
14. <i>Boltzmann Machine (BM)</i>	14. Машина Больцмана (BM)
15. <i>Restricted BM(RBM)</i>	15. Ограниченный BM (RBM)
16. <i>Deep Belief Network (DBN)</i>	16. Сеть глубокого убеждения (DBN)
17. <i>Deep Convolutional Network (DCN)</i>	17. Глубокая сверточная сеть (DCN)
18. <i>Deconvolutional Network (DN)</i>	18. Сеть деконволюции (DN)
19. <i>Deep Convolutional inverse Graphics Network (DCIGN)</i>	19. Глубокая сверточная обратная графическая сеть (DCIGN)
20. <i>Generative Adversarial Network (GAN)</i>	20. Генеративно-сопоставительная сеть (GAN)
21. <i>liquid State Machine (LSM)</i>	21. Машина жидких состояний (LSM)
22. <i>Extreme learning Machine (ELM)</i>	22. Машина для экстремального обучения (ELM)
23. <i>Echo State Network (ESN)</i>	23. Эхо-сеть состояния (ESN)
24. <i>Deep Residual Network (DRN)</i>	24. Глубокая остаточная сеть (DRN)
25. <i>Kohonen Network (KN)</i>	25. Сеть Кохонена (KN)
26. <i>Support Vector Machine(SVM)</i>	26. Машина опорных векторов (SVM)
27. <i>Neural Turing Machine (NTM)</i>	27. Нейронная машина Тьюринга (НТМ)

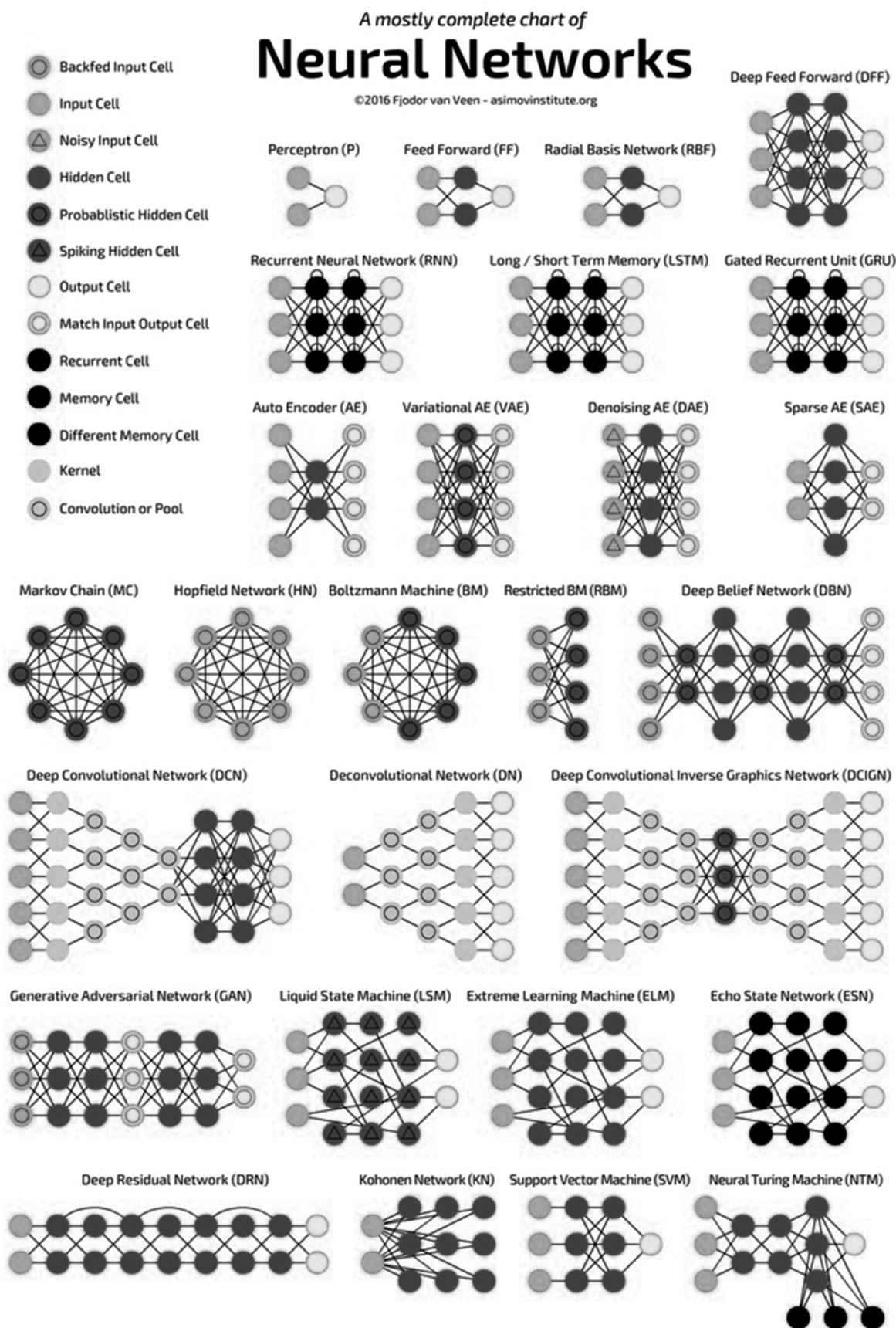


Рис. 7. Основные схемы построения нейронных сетей [2]

чтобы составляемый в процессе электронный каталог модульных решений *GD* был совместим со всеми современными системами *BIM* или *KAD*.

В качестве первого этапа можно представить сбор всех данных начиная от площади участка, климата, расположения относительно частей света и пр., и заканчивая данными геологических изысканий. Загрузив все данные в модель с требуемыми характеристиками (высота здания, этажность и пр.), можно получить генерируемую модель здания, удовлетворяющую, по возможности всем требованиям, и созданную программным обеспечением.

В качестве второго этапа может выступать согласование формы — внесение многочисленных дополнительных деталей, дополнительных объектов с помощью нейронной сети, обученной на архитектурных моделях.

Третий этап — расчет каркасной модели с учетом архитектурных элементов. Здесь тоже может быть полезна к использованию нейросеть, обученная на соответствующих проектах. На четвертом этапе подбираются конструктивные решения на основе расчетной модели. Решается задача оптимизации машинного обучения:

происходит аналитический подбор к модели готовых монолитных или сборных решений, решений, созданных на основе обучения нейронной сети в процессе загрузки в нее готовых элементов и моделей из *BIM*.

На пятом этапе осуществляется привязка конструкций, не являющихся несущими, и коммуникаций. Определяется пропускная способность по количеству людей, выстраиваются перегородки, элементы вентиляции, противопожарные элементы и пр.

На шестом этапе определяются точки подключения сетей.

На седьмом — проверяются ошибки проектирования и устраняются.

Для перехода к восьмому этапу понадобятся дополнительные исходные данные: генеральный план, геодезические и геологические данные, сведения о грунте, пересечении и соединении дорог и пр. Здесь применяются алгоритмы машинного обучения для выбора необходимых элементов: монолитных, сборных, длины и ширины мостов и дорог.

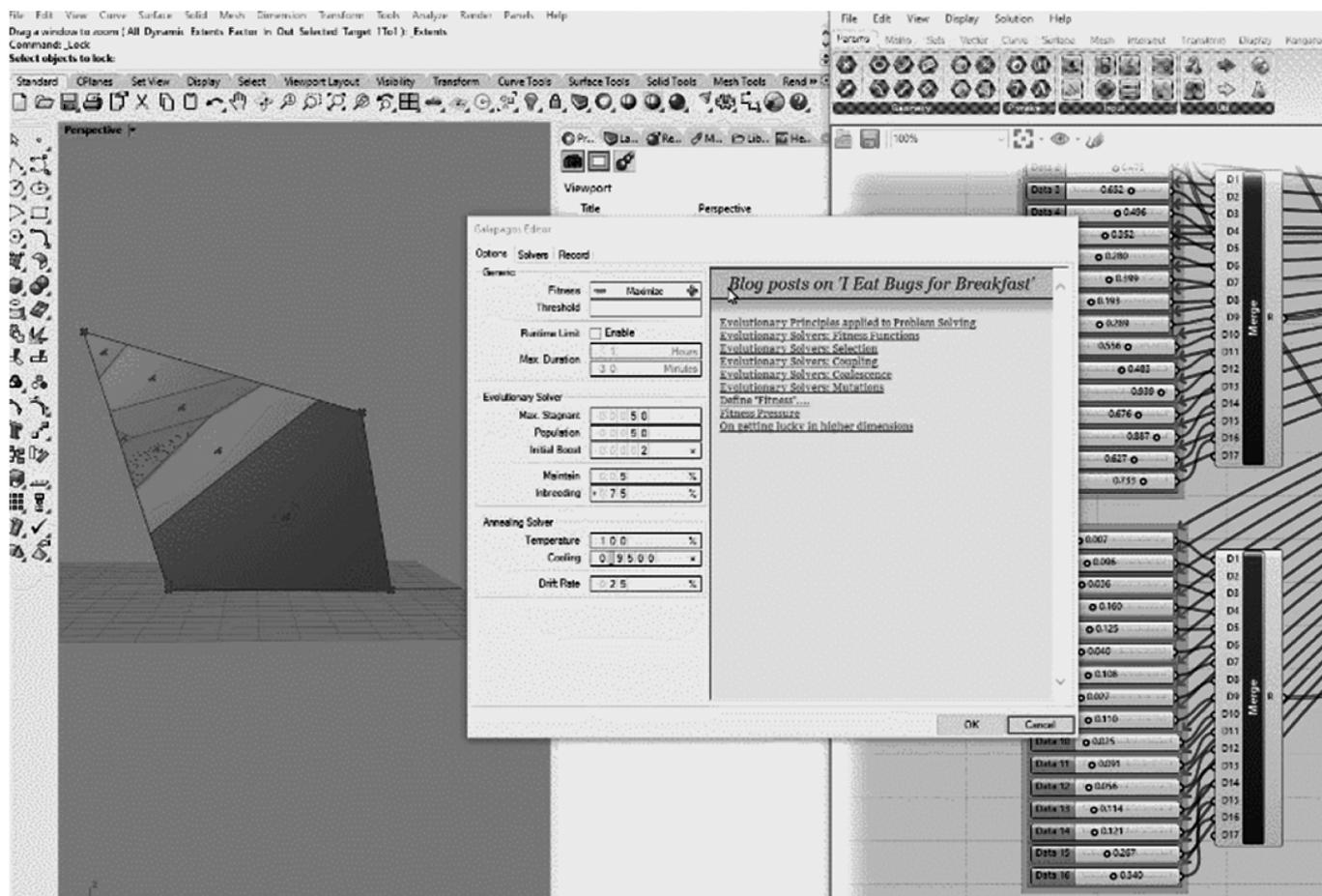


Рис. 8. Пример работы генеративного дизайна в *Rhinoceros 3D* [2]



Рис. 9. Основная схема создания модели по принципу *Generative Design* [2]



Рис. 10. Методы искусственного интеллекта [1]

После этого осуществляется восьмой этап окончательного определения размеров элементов и узлов в трех проекциях, их маркировка, наложение их на каждый вид проекции с помощью нейронной сети, составление сметной документации.

Первой, кто начал реализовывать концепцию генеративного дизайна из производителей ПО, была компания *Robert McNeel & Associates*⁵, которая после долгих лет исследований и разработок вывела на рынок 5-ую версию своего основного продукта (*Rhino 5 Rhinoceros 3D*⁶ для генеративного дизайна с системой визуального программирования в 2012 г. (рис. 8) [2].

Идея генеративного дизайна заключается в разработке поколения элементов в зависимости от заданных условий. Затем из него выбираются наилучшие элементы, которые выполняют роль родительских для следующих

⁵ Компания-разработчик программного обеспечения для трехмерного моделирования и визуализации (Сиэтл). Основана Робертом Макнилом в 1980 г.

⁶ *Rhinoceros (Rhino)* — коммерческое ПО для трехмерного NURBS-моделирования разработки *Robert McNeel & Associates*. Преимущественно используется в промышленном дизайне, архитектуре, корабельном проектировании, ювелирном и автомобильном дизайне, в CAD/CAM проектировании, быстром прототипировании, реверсивной разработке, а также в мультимедиа и графическом дизайне.

поколений элементов, и так далее. Процесс развития и внедрение генеративного проектирования проходил сложно, слишком креативной казалась идея, и слишком сложно было перестраивать процесс проектирования.

Компания Autodesk не осталась в стороне и внедрила свой продукт — *Generative Design* в 2020 г.

Интерес к генеративному программированию возник в связи с ростом интереса к нейронным сетям и процессам машинного обучения. Они будут развиваться в тесной связи, и компании — разработчики ПО — осуществляют разработки в направлении дальнейшей автоматизации проектирования.

И здесь, безусловно, необходимо вспомнить о том, что нейросетевое моделирование является одним из методов искусственного интеллекта (ИИ).

В результате можно сформулировать научную гипотезу: потенциал нейросетевого моделирования огромен, как и искусственного интеллекта в целом. В настоящее время аккумулируется невероятный объем данных о проектах — следующая цель — использовать искусственный интеллект, чтобы найти закономерности, объясняющие, почему и когда строительные проекты идут не так, как надо. Но есть ли предел развитию искусственного интеллекта? Есть ли границы цифровой транс-

формации и моделирования нейросетей? Ответ на эти вопросы можно попытаться найти с помощью исследования понятия «сингулярность».

В технологиях сингулярность описывает гипотетическое будущее, в котором технологический рост не поддается контролю и необратим [11]. Эти интеллектуальные и мощные технологии радикально и непредсказуемо преобразят нашу реальность.

Слово сингулярность имеет много разных значений в естественных науках и математике. Все зависит от контекста. Например, в естественных науках сингулярность описывает динамические системы и социальные системы, где небольшое изменение может оказать огромное влияние.

Технологическое использование сингулярности получило свое название от физики. Термин впервые вошел в обиход в теории общей относительности Альберта Эйнштейна 1915 г. [12]. В теории сингулярность описывает центр черной дыры, точку бесконечной плотности и гравитации, внутри которой никогда не сможет вырваться ни один объект, находящийся внутри, даже свет.

Когда сингулярность используется для описания будущего, основное внимание уделяется уровню крайней

неизвестности и необратимости. Термин используется для описания гипотетической точки, в которой технология — в частности, ИИ (AI) [13], основанный на алгоритмах машинного обучения, — достигает сверхчеловеческого уровня интеллекта и возможностей.

Сингулярностью в технологии считается ситуация, когда компьютерные программы становятся настолько продвинутыми, что ИИ превосходит человеческий интеллект, потенциально стирая границу между человеком и компьютерами. Сингулярность также повлечет за собой расширение технологических связей с человеческим телом, таких как интерфейсы мозг-компьютер, биологические изменения мозга, мозговые имплантаты и генная инженерия. Нейро-нанотехнологии, такие как экспериментальный мозговой имплантат Илона Маска Neuralink, воспринимаются как одна из ключевых технологий, которая сделает сингулярность реальностью.

Этот интеллектуальный взрыв окажет значительное влияние на человеческую цивилизацию. Во-первых, ИИ достигнет человеческого уровня сознания, интеллекта и возможностей, известного как искусственный общий интеллект (AGI) [14]. В настоящее время реальных примеров AGI не существует. Некоторые технологии обладают возможностями, подобными человеческим, но они ограничены только одной областью, например,



Рис. 11. Уровни развития ИИ и его перспективы

генеративные программы искусственного интеллекта. AGI относится к машинам, которые объединяют в себе несколько мощностей, что позволяет им делать все, что может сделать человек. На рис. 11 отображены уровни развития ИИ.

Есть и другие определения. Сингулярность означает единичное событие, противоположное множеству. Этот термин обычно используется в науке для описания одного события, имеющего важные последствия для рассматриваемой области [15].

Технологическая сингулярность — это, например, концепция и прогноз футурологии, основанные на быстром технологическом прогрессе и множестве общественных изменений, которые рано или поздно приведут к возникновению технологической сингулярности, которая представляет собой «искусственный интеллект» как продолжение человеческого интеллекта.

В контексте физики, теории большого взрыва, это описывало бы сингулярность в нашей галактике, то есть нам неизвестно другое подобное событие.

Сингулярность объясняется математически по аналогии с рисованием непрерывной прямой линии на листе бумаги. В какой-то момент она не сможет продолжаться, или геометрически линия становится «неполной», поскольку бумага имеет границу, поэтому можно сказать, что линия исчезает. Начало формы

Прямая линия, проведенная на листе бумаги, будет представлять собой прямую линию, на которой все свободно падающие частицы притягиваются только силой тяжести. Сингулярность возникает тогда, когда линия, т. е. частица, «исчезает».

Наука и техника обусловили изучение гравитационной сингулярности вокруг необычных условий черных дыр и их гравитационных волн.

Уникальность человека или еще называют уникальностью его поведения определяется чувством индивидуальности. В животном мире мы представляем собой уникальное явление, поскольку мы, кажется, единственные, кто пытается отличиться друг от друга, быть уникальными и особенными.

Вантропологии и психологии понятие эмоциональная уникальность который относится к важности того, чтобы каждый человек осознавал свою особую реляционную конструкцию с точки зрения наших связей между нашим опытом и чувствами для нашего личностного роста [16].

Сингулярность в первую очередь потребовала бы искусственного общего интеллекта, который включает

в себя объединение различных типов искусственного интеллекта в одной машине.

Согласно теории сингулярности, после достижения AGI эти компьютерные программы и искусственный интеллект превратятся в сверхразумные машины с когнитивными способностями [17], превосходящими человеческие. В этот момент люди больше не могли бы контролировать себя.

Машинный интеллект, превосходящий человеческий мозг, также известен как искусственный сверхразум, весьма умозрительная концепция. Согласно теории, значительные инновации в генетике, нанотехнологиях, автоматизации и робототехнике заложат основу сингулярности в первой половине XXI в.

Предприниматели и общественные деятели, такие как Илон Маск и Стивен Хокинг, выражали обеспокоенность по поводу достижений в области искусственного интеллекта, ведущих к вымиранию человечества. В 2023 г. Маск и другие специалисты в области искусственного интеллекта подписали открытое письмо, в котором призвали к шестимесячной паузе в исследованиях в области искусственного интеллекта [18] до тех пор, пока не будут установлены правила и ответственный искусственный интеллект [19].

В качестве **вывода** можно предположить следующее. Хотя термин «техническая сингулярность» часто встречается в дискуссиях об искусственном интеллекте, технологи и ученые расходятся во мнениях относительно его значения. Однако многие эксперты сходятся во мнении, что поворотным моментом станет появление сверхразума. Они также согласны с важнейшими аспектами сингулярности, такими как технологический прогресс интеллектуальных систем, самосовершенствующихся с экспоненциальной скоростью. Однако, судя по тем преимуществам, которые **пока** может дать внедрение ИИ в практику отечественного строительства, появление «сверхразума» в строительстве представляется делом далекого будущего.

Так как процесс цифровизации экономики не закончен, и нет четких моделей, по которым можно было бы рассчитать различные экономические показатели деятельности организации как в краткосрочном, так и в долгосрочном периоде, можно предположить, что в отличие от существующих способов нейросетевое моделирование процессов может быть применимо при решении проблемы формализации, например, процесса повышения конкурентоспособности или эффективности деятельности строительных организаций в условиях цифровизации и высокой степени неопределенности среды, влияния рисков и стохастических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Л. Методы искусственного интеллекта — особенности каждого подхода. URL.: <https://mitm.institute/journal--informatika--metody-iskusstvennogo-intellekta-osobennosti-kazhdogo-podhoda>. Дата обращения: 17.11.2023.
2. Нейронные сети в проектировании. Основы и применение. ЭНЭКА — инженерно-консалтинговая группа компаний. URL.: <https://eneca.by/novosti/proektirovanie-inzhiniring/neuronnye-seti-v-proektirovanii-osnovy-i-primenenie>. Дата обращения: 09 июля 2021 г.
3. Петухов, М.В. Конкурентные преимущества применения искусственного интеллекта в строительстве: снижение затрат, сроков и обеспечение качества строительства / М.В. Петухов // Экономика и предпринимательство, № 8, 2021 г. — С. 1129–1135.
4. Петухов, М.В. Изменение ролей и традиционного уклада: развитие робототехники как фактор необходимости изменения подходов к формированию конкурентных преимуществ в строительстве / М.В. Петухов // Экономика и предпринимательство, № 9, 2021 г. — С. 931–936.
5. Петухов, М.В. Переход к модульности и сборке компонентов в строительстве как фактор заимствования экономических конкурентных преимуществ промышленного производства / М. В. Петухов // Экономика и предпринимательство, № 11, 2021 г. — С. 1345–1349.
6. Петухов, М.В. Конкурентные преимущества цифровизации для оптимизации строительного процесса — эффективное использование ресурсов данных системами ERP и CRM / М. В. Петухов // Московский экономический журнал. № 4. 2022. URL.: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-4-2022-61/?print=print>; <https://qje.su/wp-content/uploads/2022/05/Petuhov.pdf>
7. Петухов, М.В. Применение искусственного интеллекта в менеджменте строительной отрасли / М.В. Петухов, В.В. Асаул, Н.К. Пономарев, А.А. Никулин // Финансовые рынки и банки. — № 1, 2022.
8. Трофимова, Е.А. Нейронные сети в прикладной экономике: [учеб. пособие] / Е. А. Трофимова, Вл. Д. Мазуров, Д. В. Гилев; [под общ. ред. Е. А. Трофимовой]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т.— Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 96 с.
9. Цифровые технологии в строительстве https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8_%D0%B2_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5#.2A_.D0.9D.D0.B0.D0.B7.D0.B2.D0.B0.D0.BD.D1.8B_.D0.B3.D0.BB.D0.B0.D0.B2.D0.BD.D1.8B.D0.B5_.D0.98.D0.98-.D1.82.D1.80.D0.B5.D0.BD.D0.B4.D1.8B_.D0.B2_.D1.81.D1.84.D0.B5.D1.80.D0.B5_.D1.81.D1.82.D1.80.D0.BE.D0.B8.D1.82.D0.B5.D0.BB.D1.8C.D1.81.D1.82.D0.B2.D0.B0 2023/09/15 18:13:31
10. Von: Sonja Meßner Künstliche Intelligenz hält Einzug ins Bauwesen KÜNSTLICHE INTELLIGENZ 13.10.2020 <https://www.handwerkundbau.at/bauen/kuenstliche-intelligenz-haelt-einzug-ins-bauwesen-14836>
11. Barney, N. What is the Singularity? Definition from Tech Target / Barney N., Zola A. URL.: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/Singularity-the> Опубликовано: 09 сен 2023
12. What is theory of relativity? | Definition from TechTarget theory of relativity <https://www.techtarget.com/whatis/definition/theory-of-relativity#:~:text=According%20to%20the%20theory%20of,by%20the%20presence%20of%20mass>. Опубликовано: 09 сен 2023
13. What is Artificial Intelligence and How Does AI Work? TechTarget <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence>
14. What is Artificial General Intelligence? — TechTarget [https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/artificial-general-intelligence-AGI#:~:text=Artificial%20general%20intelligence%20\(AGI\)%20is,system%20could%20find%20a%20solution](https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/artificial-general-intelligence-AGI#:~:text=Artificial%20general%20intelligence%20(AGI)%20is,system%20could%20find%20a%20solution)
15. Singularitätsbedeutung (Was ist das, Konzept und Definition) URL.: <https://de.about-meaning.com/11036166-singularity-meaning>
16. Künstliche Intelligenz hält Einzug ins Bauwesen. URL.: <https://www.handwerkundbau.at/bauen/kuenstliche-intelligenz-haelt-einzug-ins-bauwesen-14836>. Datum der Bewerbung: 13.10.2020. (пер.: Искусственный интеллект входит в строительство. Австрия).
17. Artificial intelligence: How is it different from human intelligence? <https://online.hull.ac.uk/blog/what-is-artificial-intelligence-and-how-is-it-different-from-human-intelligence#:~:text=While%20artificial%20intelligence%20includes%20technologies,creativity%2C%20perception%2C%20and%20memory> 9/12/22
18. The call for an AI pause points to a major concern <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/news/365534127/The-call-for-an-AI-pause-points-to-a-major-concern> 30/03/23
19. Responsible AI: Scale AI with confidence <https://www.accenture.com/us-en/services/applied-intelligence/ai-ethics-governance#:~:text=That's%20where%20Responsible%20AI%20comes,and%20scale%20AI%20with%20confidence>.

© Асаул Вероника Викторовна (asaul@inbox.ru); Петухов Михаил Вадимович (petukhov@howtodo.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»