

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПОТЕНЦИАЛ И ОГРАНИЧЕНИЯ

### ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION: POTENTIAL AND LIMITATIONS

Рассматриваются основные тенденции в применении искусственного интеллекта (ИИ) во многих областях строительной индустрии. В настоящее время областями применения являются алгоритмы для управления большими объемами данных. Знания, полученные с помощью ИИ, могут быть использованы для оптимизации, повышения эффективности или экономии в строительных операциях. Исследование проблемы внедрения ИИ позволило выявить его основные характеристики: улучшение прогнозных данных, более точное определение данных машины или параметров материала, породы или грунта, оптимизация строительного процесса. Результаты исследования открывают новое теоретическое направление в изучении проблем исследования оптимизированных технологий, методов и стратегий строительства, а также правил и средств принятия решений путем оценки больших объемов данных.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, строительство, потенциал, ограничения, большой объем данных, разум, ценности.

The paper considers the main trends in the use of AI in many areas of construction industry. Currently, the main application areas are algorithms for managing large volumes of data. The knowledge gained through the AI can be used for optimizing, improving efficiency or saving money in construction operations. The study of the problem of introducing AI has made it possible to identify its main characteristics: improvement of forecast data, more accurate determination of machine data or material, rock, or soil parameters, as well as optimization of the construction process. The results of the study open up a new theoretical direction in the study of research problems of optimized construction technologies, methods and strategies, as well as rules and tools for decision-making by evaluating large amounts of data.

*Keywords:* artificial intelligence, construction, potential, limitations, large amount of data, intelligence, values.

#### Введение

Цифровизация, как и автоматизация, сегодня является неотъемлемым элементом строительства. Роботы и компьютеры берут на себя все больше физических, а также интеллектуальных и творческих задач. Использование искусственного интеллекта (ИИ), необходимое для замены или облегчения человеческого труда, уже стандартизировано в разных сферах

деятельности. Однако в строительстве потенциал цифровизации далеко не исчерпан. Как же на самом деле работает ИИ и чего он может достичь? Какие преимущества его внедрения в строительстве уже очевидны и где находятся границы его применимости?

#### 1. Значение искусственного интеллекта

Почти всем знаком термин «Франкенштейн» по одноименному роману Мэри



Шелли 1818 г.<sup>1</sup>, который вспоминается как некий искусственно созданный монстр, похожий на зверя. Однако Франкенштейн — это имя вымышленного персонажа, Виктора Франкенштейна, который создал живого монстра из неживой материи, совершившего по ходу повествования несколько убийств.

Прошло много лет, прежде чем ученые всерьез задумались о возможности создания «одушевленного» искусственного интеллекта.

И действительно, у монстра Франкенштейна и сегодняшнего ИИ много общего: логичные и методичные действия, рациональные решения, способствующие достижению цели. Монстр пренебрегает социальными нормами, которым он никогда не учился. Несмотря на наличие чувств и даже характера, он реагирует жестокостью на незнакомые ситуации, которые вызывают у него тревогу. Как и в художественном произведении 200-летней давности, так и сегодня ставится вопрос об ответственности человека при создании ИИ.

И в первую очередь мы сталкиваемся с этическими проблемами. Например, автоматически управляемый автомобиль с пассажирами едет по дороге. На дорогу выбегает ребенок. Какое решение должен принять ИИ?

- Сбить ребенка и спасти пассажиров?
- Свернуть на тротуар, по которому идут прохожие, сбить кого-то и спасти ребенка?
- Въехать в фонарный столб, спасти ребенка и прохожих на тротуаре, но, вероятно, нанести травмы пассажирам автомобиля?

Может ли человек обучить машину на имеющемся опыте? Как построить целевую функцию алгоритма? И опять встает вопрос об ответственности: кто ее должен нести? Программисты? Или, как создатель монстра Франкенштейн, они могут избежать ответственности?

<sup>1</sup> Чудовище Франкенштейна (англ. Frankenstein's monster; Создание Франкенштейна, монстр Франкенштейна, также ошибочно называется просто «Франкенштейн») — одно из главных действующих лиц романа Мэри Шелли «Франкенштейн, или Современный Прометей» (1818 г.).

Исторически машины и механизмы помогали человеку в физической работе, а сегодня во многих видах работ даже заменяют его. Предпринимались попытки создать такие устройства для когнитивных задач: счеты, счетные машины, калькуляторы и прочее, тем не менее ничего такого, чего не смог бы создать человек, они не делали. Для того чтобы генерировать человеческие мысли, требуется не только мощность вычислений. Нужны сложные алгоритмы действий в непредвиденных обстоятельствах и сложных ситуациях. Помочь в этом могут нейронные сети, являющиеся частью ИИ<sup>2</sup>.

Человеческое интеллектуальное мышление и поведение уникальны. Как не существует однозначного понятия «интеллект», так и не существует однозначного понятия «искусственный интеллект». Вот какие подходы приводятся Открытым университетом непрерывного образования<sup>3</sup>:

«С философской точки зрения интеллект — это относительно устойчивая структура умственных способностей индивида, включающая способность к мышлению и рациональному познанию.

С точки зрения когнитивной психологии под интеллектом понимается способность приобретать, воспроизводить и использовать знания для понимания конкретных и абстрактных понятий и отношений между идеями и объектами, а также использовать эти знания осмысленным способом.

Генетический подход определяет интеллект как глобальную способность индивида разумно действовать, рационально мыслить, эффективно взаимодействовать со сре-

<sup>2</sup> Нейронная сеть — это метод в искусственном интеллекте, который учит компьютеры обрабатывать данные таким же способом, как и человеческий мозг. Это тип процесса машинного обучения, называемый глубоким обучением, который использует взаимосвязанные узлы или нейроны в слоистой структуре, напоминающей человеческий мозг. URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/neural-network/>

<sup>3</sup> Открытый университет непрерывного образования Логопрофи. URL: <https://logoprofy.ru/articles/view/ponatie-intellekta-voobrazhenia-i-vnimanija>



дой, адаптироваться в ней, приспособлявая ее к своим возможностям.

*Социокультурный подход* рассматривает интеллект как результат процесса социализации и влияния культуры в целом.

*Структурно-уровневый подход* понимает под интеллектом систему разноуровневых познавательных процессов.

*Информационный подход* понимает интеллект как совокупность элементарных процессов переработки информации.

*Регуляционный подход* рассматривает интеллект как форму саморегуляции психической активности.

*Феноменологический подход* представляет интеллект как особую форму содержания сознания.

*Процессуально-деятельностный подход* рассматривает интеллект как особую форму человеческой деятельности»<sup>3</sup>.

Таким образом, как мы видим, термин «искусственный интеллект» философы, генетики, строители и другие ученые трактуют по-разному.

Люди обучаются на основе **своего опыта**, ИИ это делает с помощью **обучающих данных**, которые он анализирует и «учится» на их основе. Это происходит с помощью целевой функции, обычно функции потерь<sup>4</sup>, в которой необходимо минимизировать средне-квадратичную ошибку. Различают **контролируемое обучение** (когда известна математическая структура задачи и результатом могут быть только дискретные значения), **регрессионное** (с непрерывной переменной отклика<sup>5</sup>)

и **неконтролируемое** (поиск статистического сходства в немаркированных данных<sup>6</sup>) [12].

Некоторые исследователи [5] классифицируют ИИ на **машинное обучение**, **обучение представлений** и **глубокое обучение** в зависимости от их способности к обучению. Глубокое обучение отличается от машинного тем, что в нем используются нейронные сети, состоящие как минимум из трех слоев. Мы говорим о репрезентативном обучении, когда характеристики автоматически распознаются и извлекаются искусственным интеллектом и их не нужно вводить вручную, как в случае с машинным обучением.

Существует еще одно подразделение: сети с прямолинейным движением, когда доступны только уравнения, и сверточные нейронные сети, которые используются, например, для обработки видео и аудио (рисунок).

Другие исследователи [5] классифицируют технологии, возникающие на основе ИИ, по уровню их **технологической готовности**. Уровень готовности технологий варьируется от технологий, которые уже используются (высокий), до тех, которые находятся только в начале своего развития (низкий). Алгоритмы ИИ, на которых основаны более высокие уровни готовности технологий, характеризуются большей степенью восприятия, планирования, коммуникации, робототехники и прочее.

Производительность интеллектуальных машин в основном ограничивается двумя факторами: используемым оборудованием и алгоритмом. Самый лучший алгоритм бесполезен при моделировании в реальном времени, если аппаратное обеспечение недостаточно для вычислений, а самое лучшее аппаратное обеспечение не может компенсировать плохой алгоритм. Требования к обоим компонентам возрастают с увеличением сложности и объема обрабатываемых данных. Одним из самых сложных этапов

<sup>4</sup> В математической статистике и машинном обучении функция потерь — это функция, которая отображает некоторое событие в виде действительного числа, интуитивно представляя некоторую «стоимость», связанную с событием. Например, таким событием может быть допущение или недопущение клиентом просрочки по кредиту, а соответствующая функция потерь будет принимать два значения: 0 или 1. URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/loss-function.html>

<sup>5</sup> Непрерывная переменная — это переменная, которая может принимать любое значение (целое, рациональное и иррациональное) в диапазоне от минимального до максимальных значений.

<sup>6</sup> В машинном обучении маркировка данных — это процесс идентификации необработанных данных (изображений, текстовых файлов, видео и т.д.)



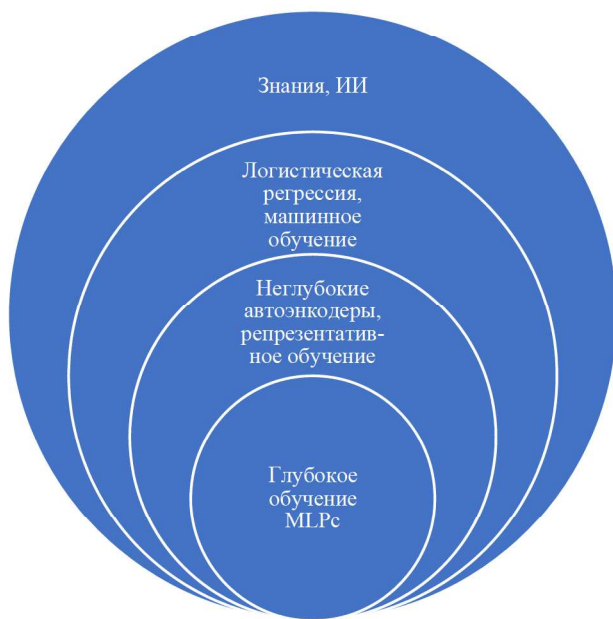


Диаграмма Венна для классификации искусственного интеллекта [5]\*

\* MLPc — многослойный твердотельный конденсатор; Автоэнкодеры — это нейронные сети прямого распространения, которые восстанавливают входной сигнал на выходе. Внутри у них имеется скрытый слой, который представляет собой код, описывающий модель. Автоэнкодеры конструируются таким образом, чтобы не иметь возможность точно скопировать вход на выходе.

является поиск наилучшего алгоритма для конкретной задачи.

## 2. Использование ИИ в процессе строительства

### 2.1. Планирование

**Архитектура: генеративное проектирование. Генеративное проектирование\*** — это метод передачи задач проектирования компьютерной программе. Он используется в архитектуре, в частности для оптимизации поэтажных планов [4]. Сначала собираются данные или спецификации, представляющие граничные условия (например, геометрические границы, доступность помещений, статические требования, наличие санузлов). На следующем этапе формулируются цели консультации с соответствующими заинтересованными сторонами. Граничные условия и целевая функция вводятся в алгоритм ИИ, который итеративно определяет

оптимальный план этажа. Генерация плана этажа циклически сопровождается оценкой и улучшением, пока предложения не будут достаточно оптимизированы с точки зрения целевой функции (метод метаэвристики<sup>7</sup>). Получается большое количество результатов, из которых можно выбрать желаемый план этажа в соответствии с предпочтениями архитекторов или заказчика.

**Структурный анализ.** ИИ может быть использован для решения сложных структурных задач. Решения на основе ИИ предлагают перспективные подходы для расчета более точных и быстрых решений, чем это возможно с помощью обычного программного обеспечения. Для этого в ИИ должны быть реализованы физические принципы в виде уравнений, что позволяет называть его искусственным интеллектом, основанным на физике [6]. Такая глубокая нейронная сеть с учетом физических принципов, обученная почти на 20 000 наборов данных, может быть использована, например, для определения устойчивости квадратных и прямоугольных колонн из полого стального профиля. Этот подход оказывается значительно более экономичным [6].

**Земляные работы.** Вьетнамские ученые приводят результаты своих исследований: прочность грунтов на сдвиг определяется с помощью искусственной нейронной сети, которая включает в себя машину векторов поддержки по методу наименьших квадратов (метод контролируемого обучения) и алгоритм, адаптированный для решения оптимизационных задач (оптимизация с помощью кукушкиного поиска). К переменным признакам относятся содержание песка или глины, влажность, глубина отбора проб или параметры пластичности, которые были определены для 80 % из 332 образцов почвы и использо-

<sup>7</sup> Метаэвристика — это метод оптимизации, многократно использующий простые правила или эвристики для достижения оптимального или субоптимального решения. Достоинство метаэвристических методов заключается в большей устойчивости к попаданию в локальные экстремумы



ваны для обучения нейронной сети. Результаты тестирования модели прогнозирования обеспечивают коэффициент детерминации<sup>8</sup>  $R^2 = 0,885$  для оставшихся 20 % [1].

## 2.2. Строительство

*Машинное обучение для данных о строительном оборудовании.* Стоимость перепродажи играет решающую роль в анализе жизненного цикла строительного оборудования. В немецкоязычных странах для этой цели в настоящее время используются простые формулы оценки или эмпирические значения из перечня строительного оборудования<sup>10</sup>. В США используются нормы ЕР 1110-1-8 Инженерного корпуса армии США. В рамках проекта «Предиктивное обслуживание строительной техники» Венский технологический университет, факультет управления строительством и технологического инжиниринга, работает над прогнозированием перепродажной стоимости строительной техники на основе данных. Исходные данные часто подвержены ошибкам, вызванным ручным вводом. В ходе предварительной обработки данных эти ошибки распознаются с помощью статистических методов. На следующем этапе для прогнозирования стоимости при перепродаже используется машинное обучение. Первые исследования показали, что прогнозы значительно лучше традиционных методов расчета. Традиционные методы предполагают заранее установленную связь между входными переменными (такими как тип автомобиля, часы работы и возраст) и стоимостью перепродажи. В отличие от них, методы, основанные на ИИ, могут отображать сложные, многомерные зависимости между входными переменными и стоимостью перепродажи. Эти методы могут быть использованы строительными компаниями в будущем.

<sup>8</sup> Коэффициент детерминации является статистической мерой согласия, с помощью которой можно определить, насколько модель линейной регрессии соответствует данным, на которых она построена.

*Технологические данные для строительных операций.* Еще один пример использования — все более широкое применение цифровых систем управления строительными данными в строительных операциях. Они закрывают интерфейс между строительными работами и бизнес-процессами компании. В то же время эти системы собирают множество данных, которые могут быть использованы ИИ. В качестве примера можно привести управление процессами в цепочках обслуживания строительного оборудования. Такое оборудование в процессе работы выполняет большое количество технологических операций, которые могут быть объединены в более крупные переменные установки или работы с использованием логических последовательностей. С помощью искусственного интеллекта и исторических данных можно выявить отклонения от целевого процесса, которые могут быть связаны со временем ремонта, простоями или отходами. Автоматические временные диаграммы какого-либо процесса могут быть созданы для последующего утверждения экспертами.

Помимо документирования времени процесса, в качестве одного из применений прогнозирования времени строительства в исследованиях строительных операций следует упомянуть углубленное изучение и проверку значений производительности и усилий. Например, во время строительства стен из монолитного бетона цифровое управление строительными данными может использоваться для ежедневной регистрации влияющих на процесс факторов (таких как размер партии, геометрия компонентов, размер опалубки и циклов, погода, время смены)<sup>11</sup>. С помощью этой информации можно использовать искусственный интеллект для лучшего прогнозирования усилий, необходимых для будущих этапов строительства, и оптимизировать процесс строительства на основе полученных данных.



*Прокладка тоннелей.* В одном из исследовательских проектов два искусственных интеллекта были использованы для прогнозирования геологии тоннеля Гаран в иранской провинции Курдистан и последующей оценки оставшегося времени и стоимости строительства [8]. В качестве инструментов использовались регрессия гауссовского процесса<sup>12</sup> и регрессия опорного вектора<sup>13</sup> — два метода контролируемого обучения для решения задач регрессии. Несколько геологических параметров измеряются вдоль проходки тоннеля и прогнозируются для дальнейшего маршрута на основе их предыдущего развития в породе с использованием подходов регрессии гауссовых процессов и регрессии опорных векторов. Из их суммы вычисляется значение рейтинга горной массы. Затем оба инструмента обучаются с помощью данных о скорости проходки и затратах на метр в зависимости от наблюдаемых геологических параметров предыдущей проходки. На основе полученных результатов прогнозируются оставшееся время строительства и затраты, что не нашло практического применения. Расчеты были проведены после завершения проекта, когда все данные были доступны. Результаты, особенно при использовании инструмента регрессии гауссова процесса, оказались весьма многообещающими. Коэффициент детерминации  $R^2$  был выше 0,90 для значения рейтинга горной массы, времени и стоимости строительства.

### **3. Потенциал искусственного интеллекта в строительстве**

#### **3.1. Управление большими данными**

Обнаружение знаний в базах данных — это метод обнаружения скрытых знаний в огромных массивах данных [3]. Обычно они состоят из закономерностей, корреляций, взаимосвязей и аномалий, которые было бы очень трудно или невозможно обнаружить человеку в одиночку, и поэтому они являются большим подспорьем для ИИ. Данные извлекаются из источников в несколько эта-

пов, подготавливаются, анализируются на предмет выявления закономерностей (*data mining*), и эти закономерности проверяются на значимость [13].

Этот метод может быть применен к данным любого типа. Сбор, обработка и их анализ с привязкой ко времени и месту с различных строительных площадок могут стать началом практически неисчерпаемого источника знаний о строительных процессах, из которого в дальнейшем можно вывести многочисленные правила, технологии строительства, средства принятия решений и стратегии [10].

Сбор данных в строительстве происходит в рамках иерархической организационной структуры и формирования индивидуальных баз знаний внутри компаний. Из-за временных ограничений строительных площадок (напоминают независимые организации) данные, которые можно использовать в комплексе, доступны в разных формах. Однако дополнительные преимущества управления большими данными могут быть использованы только в том случае, если строительная отрасль решительно настроена на достижение их прозрачности и сотрудничество внутри своей компании и за ее пределами. Исследование показало, что только 40 % лиц, принимающих решения в строительстве, например в Австрии, готовы предоставлять больше информации через централизованные системы на стройплощадках [11].

Для всего строительства с точки зрения управления ценно, если машиночитаемые данные, которые собираются в обязательном порядке, можно было бы использовать в базе данных для поиска знаний.

#### **3.2. Управление строительными процессами**

По мнению Эбера, к использованию искусственного интеллекта в управлении строительными процессами следует подходить критически, поскольку высокая степень сложности и уникальность строительных проектов представляют собой ограниче-



ние для искусственного интеллекта [2]. Эти сложные системы должны быть разбиты человеком на более простые повторяющиеся подпроцессы, чтобы с помощью ИИ можно было делать обобщения.

При таком подходе следует помнить, что алгоритмы ИИ ограничены в своей работе мощностью обучающего набора данных. Известно, что при анализе данных от 50 до 70 % усилий приходится на их предварительную обработку [7]. Развитие технологий в строительстве, сопровождающееся автоматизированным сбором данных, цифровыми средствами ввода и стандартизированными рабочими процессами, может значительно сократить эти усилия и обеспечить в будущем надежную базу данных для обучения. Если включить в эти наборы данных наиболее важные влияющие переменные, алгоритмы машинного обучения смогут распознавать сложные взаимосвязи более полно, чем самый опытный и подготовленный инженер-строитель. Однако использование таких результатов в новых строительных проектах все еще находится в руках опытных строительных экспертов.

### 3.3. Контроль устройств и машин

Программное обеспечение для обработки изображений уже может использоваться и для контроля качества. Это важный шаг на пути к цифровизации строительных площадок, поскольку раньше контроль качества осуществлялся исключительно людьми. Возможные области применения очень широки: автоматическое составление строительной документации, приемка арматуры, сохранение доказательств и т. д. Возможна полная автоматизация контроля и мониторинга, особенно в сочетании с беспилотниками, собаками-роботами и т. д.

Если программное обеспечение для распознавания изображений используется в режиме реального времени, оно подходит для автономной строительной техники или грузовых автомобилей. В 2019 г. концерн *Daimler*

объявил, что в ближайшие годы инвестирует 500 € млн в исследования в области самодвигающихся грузовиков, чтобы вывести их на рынок в 2025 г.<sup>9</sup> В будущем самодвигающаяся строительная техника может быть использована на строительных площадках. Предпосылки для этого уже есть, поскольку существуют достаточно точные до сантиметра системы 3D GPS, которые можно заменить локальным позиционированием в разрезах местности. Функция системы E-Fence<sup>10</sup> ограничивает диапазон работы и поворота, поэтому их можно проводить и в непосредственной близости от дорожного движения. Потенциальные возможности применения самоходной крупногабаритной строительной техники в настоящее время изучаются в рамках исследовательских проектов. Это сопровождается изменением традиционных требований к операторам строительной техники. На первый план выходят цифровые навыки, задача смещается в сторону мониторинга и контроля. Потребуется меньше профессионально обученного и, следовательно, более высокооплачиваемого персонала.

### 4. Пределы искусственного интеллекта

При всех описанных выше технических применениях ИИ необходимо принимать во внимание ценности человеческого интеллекта. Важно задать фундаментальный вопрос о том, действительно ли строительство должно ориентироваться исключительно на *повышение эффективности*? В каких условиях мы в конечном итоге хотим планировать, строить и эксплуатировать здания в нашем обществе? Хотим ли мы принимать во внимание отдельные аспекты социальной устой-

<sup>9</sup> Daimler investiert 500 Millionen Euro in selbstfahrende Lkw. 07.01.2019. URL: <https://www.diepresse.com/5556878/daimler-investiert-500-millionen-euro-in-selbstfahrende-lkw>. (Daimler инвестирует 500 миллионов евро в беспилотные грузовики. (Дата обращения: 7 января 2019 г.)).

<sup>10</sup> Функция Cat® 2D E-Fence удерживает передний рычажный механизм в пределах заранее определенной рабочей зоны, помогая избежать опасных ситуаций, например, столкновений с другими машинами. Система 2D E-Fence на основании данных от датчиков положения автоматически останавливает перемещение, когда передний рычажный механизм достигает заданных границ.



чивости? Значение этих вопросов выходит далеко за рамки возможностей ИИ.

«Искусственный интеллект... не чувствует никаких ценностей. Даже если вы попытаетесь запрограммировать в него так называемые ценности, у него их не будет. Потому что ценность, которая одновременно не воспринимается, не является ценностью» [11].

Приведенные выше комментарии Прехта убедительно демонстрируют пределы возможностей искусственного интеллекта (не только в строительстве). ИИ не может чувствовать красоту, измерять или оценивать чувства участников процесса или качество коммуникации. Он не креативен и не обладает здравым смыслом. Процедуру балансировки противоположных интересов (например, финансовых, социальных или экологических), конечно, можно запрограммировать или обучить, но при этом принимается ценностная конструкция программистов. В процессе обучения негативные социологические явления иногда переносятся и на искусственный интеллект, как это наблюдалось в различных примерах расовой предвзятости в алгоритмах обучения. **Интеллект** — это способность принимать решения, **разум** — способность воспринимать и понимать сложные ситуации во всей их полноте, а **рациональность** — это получение знаний путем умозаключений. Искусственный интеллект разумен, может думать, но он не может делать то, что люди и животные делают, не думая.

В нестандартных ситуациях искусственный интеллект может проанализировать миллионы известных ему стратегий и рассчитать их шансы на успех на основе алгоритмов. Однако ему не хватает человеческой креативности, чтобы придумать новые и уникальные решения. Менеджеров по строительству годами учили справляться с кризисными ситуациями, поэтому они могут использовать свой богатый опыт, казалось бы, в безнадежных ситуациях. Этот челове-

ческий и эмпирически приобретенный опыт будет утрачен, если мы будем полагаться исключительно на искусственный интеллект.

Кроме того, мы, люди, мыслим гораздо менее рационально, чем принято считать. Особенно в стрессовых ситуациях мы часто переключаемся на лимбическую систему<sup>11</sup> и, следовательно, на эмоциональный подход со всеми вытекающими отсюда преимуществами и недостатками. ИИ также не в состоянии сделать это из-за отсутствия эмоций. Машины также далеки от того, чтобы разрешать социальные конфликты, поскольку им не хватает **эмпатии**, именно поэтому важно обучать инженеров будущего не только всесторонним цифровым навыкам, но и **твердым ценностям**, умению решать проблемы и творчески мыслить. Повышение эффективности и инновации не самоцель, люди всегда должны занимать центральное место. Как только искусственный интеллект перестанет служить людям, он устареет.

### Выводы

ИИ уже используется во многих областях строительной индустрии. В настоящее время основными областями применения являются алгоритмы для управления большими объемами данных. Знания, полученные с помощью ИИ, могут быть использованы для оптимизации, повышения эффективности или экономии в строительных операциях. Это включает в себя улучшение прогнозов, более точное определение данных машины или параметров материала, породы или грунта, а также оптимизацию строительного процесса.

В будущем ИИ можно будет использовать для исследования оптимизированных технологий, методов и стратегий строительства, а также для определения правил и средств принятия решений путем оценки больших объемов информации. Даже сложные задачи

<sup>11</sup> Лимбическая система — это совокупность ряда структур головного мозга, которые имеют большое значение для возникновения и обработки эмоций, а также мнемических процессов.



управления строительным процессом могут быть решены с помощью ИИ, конечно, только под строгим контролем человека и только в качестве вспомогательного инструмента. Окончательное решение всегда должен принимать человек, потому что только у него есть общая картина и здравый смысл, чтобы понять последствия решений, которые по практическим соображениям не запрограммированы в алгоритме, в противном случае неизбежно возникнут этические проблемы.

Использование самоуправляемых грузовиков и строительной техники без ИИ немислимо, он также подходит для оптимизации работы водительского оборудования за счет использования в системах помощи. В сочетании с технологиями роботов или дронов возможности его применения безграничны. В будущем это сделает строительство гораздо более эффективным, но при этом приведет к потере многих рабочих мест.

ИИ имеет свои пределы там, где требуется интеллект или разум человека. Компьютеры превосходят нас в вычислениях, слухе, зрении, распознавании образов и во многом другом, но они бесполезны в сложных ситуациях, для которых не обучены. ИИ еще очень долго не заменит нам инженеров, однако он может оказать существенную поддержку, если мы будем целенаправленно использовать его сильные стороны, не забывая о недостатках.

«Забудьте об искусственном интеллекте — в дивном новом мире больших данных нам следует опасаться искусственного идиотизма», — утверждал Том Чатфилд, английский писатель.

#### Библиографический список

1. Dieu Tien Bui, Nhat-Duc Hoang, Viet-Ha Nhu. A swarm intelligence-based machine learning approach for predicting soil shear strength for road construction: a case study at Trung Luong National Expressway Project (Vietnam) // *Engineering with Computers*, July 2019. Vol. 35, Iss. 3. Pp 955–965. URL: <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0643-1>

2. Eber Wolfgang Artificial intelligence in construction management - prospects // *Proceedings of the Creative Construction conference* (2019). CCC 2019, June 29 – July 2, 2019, Budapest, Hungary. URL: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/server/api/core/bitstreams/ec2b505b-cc53-4b33-af02-4bbb7b1f53ed/content>

3. Fayyad Usama M., Piatetsky-Shapiro Gregory, Smyth Padhraic, Uthrusamy Ramasamy *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. January 23, 1996. Publisher: AAAI Press. 625 p. URL: <https://cdn.aaai.org/KDD/1996/KDD96-014.pdf>

4. Fernando Martínez-Plumed, Emilia Gómez, José Hernández-Orallo. Futures of artificial intelligence through technology readiness levels // *Telematics and Informatics*. May 2021. Vol. 58, 101525. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736585320301842>

5. Goodfellow/Bengio/Courville, Deep Learning (2016), online abrufbar unter. URL: <https://www.deeplearningbook.org>

6. Kraus M. A., Drass M. Künstliche Intelligenz im Bauingenieurwesen. Hintergründe, Status Quo und Potenziale // *Bauingenieur*. Publication Date: 2020-10. Pp. 369–378. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, the Transportation Research Board (TRB). URL: <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Bauingenieur%22#/View/1751105>

7. Leis Miriam Ji Sun, Döbel I., Molina Vogelsang Manuel, Welz J. Maschinelles Lernen. Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung. Fraunhofer-Gesellschaft, München 2018. Die Publikation wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. URL: [https://www.researchgate.net/publication/347982342\\_Maschinelles\\_Lernen\\_Eine\\_Analyse\\_zu\\_Kompetenzen\\_Forschung\\_und\\_Anwendung](https://www.researchgate.net/publication/347982342_Maschinelles_Lernen_Eine_Analyse_zu_Kompetenzen_Forschung_und_Anwendung)

8. Mahmoodzadeh Arsalan, Mohammadi Mokhtar, Daraei Ako, Faraj Rabar H., Omer Rebaz Mohammed Dler, Sherwani Aryan Far H. Decision-making in tunneling using artificial intelligence tools // *Tunnelling and Underground Space Technology*. September 2020, Vol. 103. 103514. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779820304685?via%3Dihub>

9. Precht Richard David Artificial Intelligence and the Meaning of Life. Künstliche Intelligenz und der Sinn des Lebens. Goldmann. Munich. 2020. Historia · Filosofia. 256 páginas. URL.: <https://uklitag.com/proyecto/artificial-intelligence-and-the-meaning-of-life/>

10. Turner Christopher J., Oyekan John, Stergioulas Lampros, Griffin David Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. February 2021. Vol. 17, Iss. 2, Pp. 746–756. Date of Publication: 15 June 2020. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9117064>



11. Winkler L. Digitales Datenmanagement für Injektionsarbeiten (Dissertation, Technische Wien 2020). URL: <https://repositum.tuwien.at/retrieve/2103>

12. Weigert Maximilian, Winkler Leopold, Goger Gerald Künstliche Intelligenz im Baubetrieb Best Practices, Potenziale und Grenzen // Bau aktuell. Baurecht – Baubetriebswirtschaft – Baumanagement. 12 Jahrgang/ März 2021, № 2. URL: [publik\\_295679.pdf](publik_295679.pdf) (tuwien.ac.at).

13. Yan Hang, Yang Nan, Pen Yi, Ren Yitian Data mining in the construction industry: Present status, opportunities, and future trends // *Automation in Construction*. November 2020, Vol. 119. 103331. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520309110>

## References

1. Dieu Tien Bui, Nhat-Duc Hoang, Viet-Ha Nhu. A swarm intelligence-based machine learning approach for predicting soil shear strength for road construction: a case study at Trung Luong National Expressway Project (Vietnam). *Engineering with Computers*, July 2019, vol. 35, iss. 3, pp 955–965. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0643-1>

2. Eber Wolfgang. Artificial intelligence in construction management – prospects. *Proceedings of the Creative Construction conference (2019)*, CCC 2019, June 29 – July 2, 2019, Budapest, Hungary. Available at: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/server/api/core/bitstreams/ec2b505b-cc53-4b33-af02-4bbb7b1f53ed/content>

3. Fayyad Usama M., Piatetsky-Shapiro Gregory, Smyth Padhraic, Uthurusamy Ramasamy. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. January 23, 1996. AAAI Press Publ., 625 p. Available at: <https://cdn.aaai.org/KDD/1996/KDD96-014.pdf>

4. Fernando Martínez-Plumed, Emilia Gómez, José Hernández-Orallo. Futures of artificial intelligence through technology readiness levels. *Telematics and Informatics*, May 2021, vol. 58, 101525. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736585320301842>

5. Goodfellow/Bengio/Courville, Deep Learning (2016), online abrufbar unter. Available at: <https://www.deeplearningbook.org>

6. Kraus M. A., Drass M. Künstliche Intelligenz im Bauingenieurwesen. Hintergründe, Status Quo und Potenziale. *Bauingenieur*, Publication Date: 2020-10, pp. 369–378. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, the Transportation Research Board (TRB). Available at: <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Bauingenieur%22#/View/1751105>

7. Leis Miriam Ji Sun, Döbel I., Molina Vogelsang Manuel, Welz J. Maschinelles Lernen. Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung. Fraunhofer-Gesellschaft, München 2018. Die Publikation wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/347982342\\_Maschinelles\\_Lernen\\_Eine\\_Analyse\\_zu\\_Kompetenzen\\_Forschung\\_und\\_Anwendung](https://www.researchgate.net/publication/347982342_Maschinelles_Lernen_Eine_Analyse_zu_Kompetenzen_Forschung_und_Anwendung)

8. Mahmoodzadeh Arsalan, et al. Decision-making in tunneling using artificial intelligence tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*, September 2020, vol. 103, 103514. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779820304685?via%3Dihub>

9. Precht Richard David. Artificial Intelligence and the Meaning of Life. Künstliche Intelligenz und der Sinn des Lebens. Goldmann. Munich. 2020. *Historia Filosofía*. 256 páginas. Available at: <https://uklitag.com/proyecto/artificial-intelligence-and-the-meaning-of-life/>

10. Turner Christopher J., Oyekan John, Stergioulas Lampros, Griffin David. Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, Iss. 2, February 2021, pp. 746–756. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9117064>

11. Winkler L. *Digitales Datenmanagement für Injektionsarbeiten* (Dissertation, Technische Wien 2020). Available at: <https://repositum.tuwien.at/retrieve/2103>

12. Weigert Maximilian, Winkler Leopold, Goger Gerald Künstliche Intelligenz im Baubetrieb. Best Practices, Potenziale und Grenzen. *Bau aktuell. Baurecht–Baubetriebswirtschaft–Baumanagement*, 12Jahrgang/März 2021, no. 2. Available at: [publik\\_295679.pdf](publik_295679.pdf) (tuwien.ac.at).

13. Yan Hang, YangNan, PenYi, Ren Yitian. Data mining in the construction industry: Present status, opportunities, and future trends. *Automation in Construction*, November 2020, vol. 119, 103331. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520309110>