

Эпоха «ИИ для» и интеллектуальная инфраструктура науки и инженерии XXI века



В.П. Анаников, доктор химических наук, академик РАН, руководитель лаборатории Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (ИОХ РАН), г. Москва, Ленинский проспект, 47, <http://AnanikovLab.ru>, val@ioc.ac.ru

В статье описывается трансформация роли искусственного интеллекта — от самостоятельной цели развития до интегрального инструмента в науке, технологиях и промышленности. Прослеживаются ключевые этапы эволюции ИИ, включающие на первом этапе разработку фундаментальных алгоритмов и архитектур нейросетей, на втором этапе — создание зрелых коммерческих и исследовательских продуктов, таких как генеративные языковые модели, цифровые двойники и интеллектуальные платформы для инженерного моделирования. Особое внимание уделено переходу к прикладной фазе — так называемой эпохе «ИИ для», в которой искусственный интеллект становится эффективным инструментом решения задач в конкретных отраслях. В качестве примера подробно рассмотрено применение ИИ в аддитивных технологиях: от генеративного дизайна и подбора материалов до дефектоскопии, управления процессами, логистики и персонализации продукции. Подчеркивается, что искусственный интеллект не просто дополняет современные технологические процессы, а становится их неотъемлемым интеллектуальным ядром.

В предыдущий период развития искусственный интеллект (ИИ) представлял собой прежде всего самоценную научно-технологическую цель. Усилия исследователей и разработчиков были сосредоточены на формировании основ: создании новых алгоритмов машинного обучения и нейросетевых архитектур, сборе и подготовке массивов данных, программной реализации и тестировании моделей. Этот этап требовал значительных междисциплинарных усилий — от фундаментальной математики и статистики до инженерии программного обеспечения и вычислительной инфраструктуры. Развитие ИИ в это время ориентировалось на сам факт возможности «научить» машину распознавать, классифицировать, прогнозировать и обучаться на данных без прямой привязки к конкретным прикладным задачам. Среди ключевых достижений этого этапа — становление алгоритмов глубокого обучения (Deep Learning), появление универсальных фреймворков вроде TensorFlow [1] и PyTorch [2],

а также формирование открытых датасетов (например, ImageNet [3] и целого ряда других), которые заложили основу для дальнейшего взлета ИИ-технологий в последующий период.

После формирования теоретических и технологических основ искусственного интеллекта последовал этап стремительного роста готовых продуктов, основанных на этих разработках. Именно в этот период искусственный интеллект стал массово внедряться в реальные приложения, оказывая ощутимое влияние на экономику, науку и повседневную жизнь. Были созданы и получили широкое распространение такие системы, как генеративные языковые модели (GPT от OpenAI, Claude от Anthropic, Gemini от Google, DeepSeek, GigaChat, YandexGPT и др.), генераторы изображений (DALL-E, Midjourney, Stable Diffusion и др.), инструменты для программирования (GitHub Copilot [4]) и многие другие. Компьютерное зрение нашло применение в автономном транспорте, медицинской диагностике и промышленном контроле качества. Системы рекомендаций и персонализации ИИ стали стандартом в интернет-платформах (поисковые системы, онлайн-магазины, социальные сети, видеохостинги и др.). Эти продукты уже не просто демонстрация возможностей, а высокоэффективные коммерческие решения, работающие в режиме реального времени и обрабатывающие миллиарды запросов пользователей по всему миру. Таким образом, ИИ вышел за рамки лабораторий и стал масштабным элементом цифровой инфраструктуры современного общества.

Параллельно с развитием массовых пользовательских продуктов происходило углубленное внедрение ИИ в научные исследования, технологическую разработку и промышленное производство. В этой области ИИ стал не просто инструментом автоматизации, но и средством интеллектуальной поддержки принятия решений, анализа данных и моделирования сложных процессов. В научной сфере в качестве примеров можно привести AlphaFold от DeepMind [5] для предсказания структуры белков, Materials Project [6] и MatGen [7] для прогнозирования свойств новых материалов. В инжене-

рии и промышленности активно развиваются платформы на базе ИИ для создания цифровых двойников, интеллектуального управления производственными линиями, а также для оптимизации логистики, энергосбережения и технического обслуживания. Все чаще ИИ-инструменты становятся частью вычислительных комплексов высокого уровня, интегрируются с симуляционными моделями, CAD/CAE-средами и промышленными информационными системами (CAD, Computer-Aided Design, системы автоматизированного проектирования; CAE, Computer-Aided Engineering, системы автоматизированного инженерного анализа). Эта тенденция знаменует собой переход от ИИ как вспомогательной технологии к ИИ как неотъемлемому компоненту научно-технологического прогресса.

Сегодня наблюдается четкое смещение акцента: искусственный интеллект перестает быть самоцелью и все больше воспринимается как универсальное средство решения прикладных задач. Это отражает переход к новой фазе — так называемой эпохе «ИИ для», где передовые алгоритмы и модели ИИ направлены на решение конкретных проблем в различных отраслях. Например, возникают направления: ИИ для медицины (диагностика, подбор терапии, моделирование лекарств), ИИ для химической промышленности (оптимизация синтеза, предсказание свойств веществ, автоматизация лабораторий), ИИ для машиностроения (ускорение проектирования, контроль качества), ИИ для энергетики (распределенное управление, прогнозирование потребления) и многие другие области применения. Такой переход стал возможен благодаря зрелости ИИ-технологий, развитию цифровой инфраструктуры и накоплению массивов специализированных данных, необходимых для высокоточного обучения. Эпоха «ИИ для» отражает не только практическую востребованность, но и когнитивную связь ИИ с научно-технологическим прогрессом. ИИ становится не просто инструментом автоматизации, а новым языком описания и преобразования реальности, дополняющим интеллектуальные возможности человека и расширяющим горизонты возможного.

Впервые термин эпоха «ИИ для» был сформулирован на пленарной сессии Форума будущих технологий (21 февраля 2025 г.) [8]. Было отмечено, что, несмотря на обилие обсуждений и повышенный общественный интерес к ИИ, сейчас важно не упустить поворотный

момент — начало новой фазы, когда ИИ становится инструментом ускоренного развития отраслей. Следует делать ставку не на импорт технологий, а на формирование собственной высокотехнологичной среды, где ИИ становится частью национального научного и промышленного комплекса. На форуме был зафиксирован сдвиг парадигмы в использовании ИИ и необходимость институциональной поддержки идеи «ИИ для» как стратегического ориентира для научно-технологического развития страны.

Если рассмотреть историческую ретроспективу, анализ современного состояния области демонстрирует три ключевых этапа в развитии искусственного интеллекта (табл. 1). На первом этапе, когда ИИ выступал как самоцель, основной акцент делался на разработке архитектур нейронных сетей и создании теоретических основ машинного обучения. Второй этап связан с появлением прикладных ИИ-продуктов, где предварительно обученные модели начали массово использоваться в различных пользовательских и коммерческих приложениях. На третьем, современном этапе ИИ становится инструментом внутри других дисциплин и отраслей — он интегрируется в научные исследования, инженерные системы и производственные процессы. Эта эволюция отражает не только технологическую зрелость, но и смену парадигмы в восприятии самого понятия интеллекта как ресурса (табл. 1).

Международная конференция по искусственному интеллекту в науке AI4X [9], прошедшая в июле 2025 года в Сингапуре, стала ярким и независимым подтверждением того, что глобальное сообщество все более уверенно вступает в эпоху «ИИ для». Конференция была организована Институтом функциональных интеллектуальных материалов Национального университета Сингапура при поддержке многих международных научных учреждений и собрала ведущих исследователей и представителей индустрии со всего мира, включая такие организации, как Google, NVIDIA, MIT и другие. Ключевой идеей конференции было понимание ИИ не как конечной цели, а как ускорителя научных открытий в различных областях знаний. Тематика конференции охватывала широкий спектр направлений — от материаловедения, химии и физики до медицины, математики, экологии, образования

Таблица 1. Этапы эволюции искусственного интеллекта от теоретической разработки к прикладной интеграции

Этап	Характеристика	Некоторые примеры
ИИ как цель	Фокус на разработке теоретических основ, алгоритмов и архитектур ИИ	Глубокие нейронные сети, сверточные сети, рекуррентные сети; создание библиотек и фреймворков, обучение на массивах данных
ИИ как продукт	Создание прикладных решений на основе готовых ИИ-моделей	Генеративные модели для текста и изображений, системы компьютерного зрения, интеллектуальные ассистенты и рекомендательные алгоритмы
ИИ как инструмент	Интеграция ИИ в научные, инженерные и производственные процессы	ИИ-модели для предсказания материалов, цифровые двойники процессов, алгоритмы предиктивной аналитики и самообучающиеся производственные линии

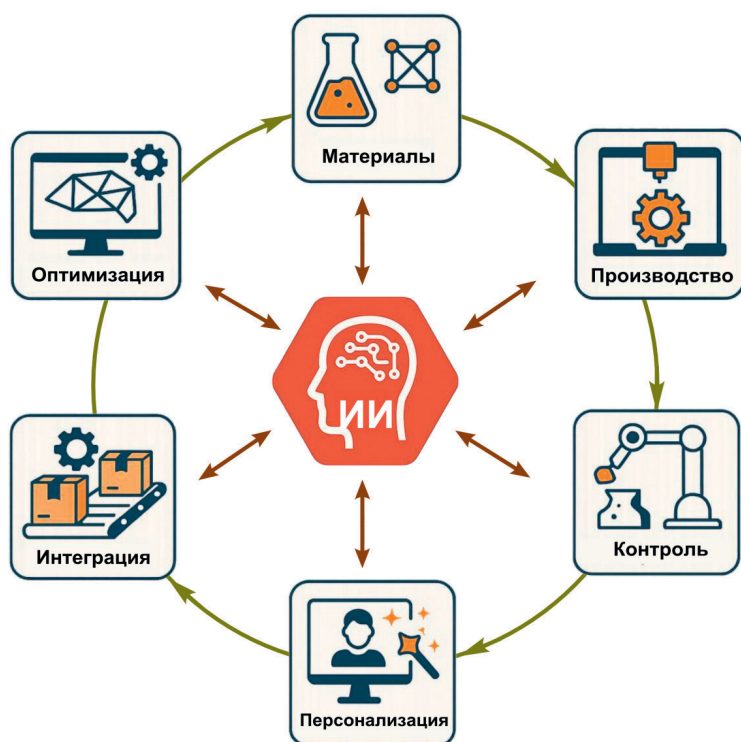


Рис. 1. Применение искусственного интеллекта в аддитивных технологиях — традиционная последовательная цепочка технологических этапов (темно-желтая круговая стрелка) и сквозная объединяющая технология с обратной связью на основе ИИ (темно-коричневые стрелки)

и устойчивого развития. Особое внимание было уделено таким темам, как самообучающиеся лаборатории, агенты ИИ для науки и алгоритмические усовершенствования в машинном обучении. Конференция AI4X продемонстрировала, что на международном уровне сформировался устойчивый тренд — искусственный интеллект рассматривается как интегральный инструмент в научной и технологической практике, а не как изолированная область исследований. Таким образом, идеи, озвученные в контексте как эпоха «ИИ для», отражают направления глобальной научной повестки.

Важно, что ИИ играет все более важную роль в развитии и применении аддитивных технологий, и этот вклад распространяется на весь жизненный цикл — от проектирования до эксплуатации изделий (рис. 1). Анализ текущей ситуации позволяет выделить следующие тренды:

1. Оптимизация проектирования и генеративный дизайн

Применение методов искусственного интеллекта в области проектирования позволяет существенно расширить границы инженерной мысли за счет алгоритмов генеративного дизайна и топологической оптимизации. Такие подходы обеспечивают автоматическую генерацию геометрических решений, оптимальных по множеству критериев: прочность, вес, экономия материала, устойчивость к нагрузкам. Наиболее ярким примером является интеграция генеративного дизайна с ИИ-поддержкой, а также применение цифровых алгоритмов

для проектирования сложных конструкций с целью добиться значительного снижения массы при сохранении прочности. Принципиально новые формы и топологии, создаваемые ИИ, зачастую невозможно воспроизвести традиционными методами производства, что делает их естественным дополнением к аддитивным технологиям.

2. Материаловедение и разработка новых композиционных материалов

ИИ используется для предсказания свойств материалов, оценки их поведения при различных параметрах печати и автоматизации подбора новых рецептур. Особенно активно развиваются подходы, основанные на машинном обучении и построении моделей по большому массиву экспериментальных и симуляционных данных. Создаются открытые базы данных, используемые для тренировки ИИ-моделей, способных предсказывать механические свойства изделий в зависимости от состава материала и условий печати. Разрабатываются платформы, позволяющие ускорить поиск новых композитов и методик печати на основе активного ИИ-обучения и роботизированных лабораторий.

3. Контроль качества и дефектоскопия в реальном времени

Встроенные в рабочие камеры оборудования видеокamеры, инфракрасные сенсоры и системы акустического мониторинга накапливают массивы данных, которые могут быть обработаны ИИ в режиме реального времени для диагностики дефектов и отклонений от заданных параметров. Разрабатываются решения на основе нейросетевых моделей, позволяющие выявлять пористость, деформации и дефекты в процессе построения каждого слоя. Такие системы особенно востребованы в аэрокосмической и медицинской отраслях, где высока цена ошибки и критичны требования к воспроизводимости.

4. Управление производственными процессами и цифровые двойники

ИИ-инструменты находят широкое применение в создании цифровых двойников технологических процессов и оборудования, что обеспечивает возможность предиктивного анализа, моделирования отказов и оптимизации режимов работы. Создаются инструменты моделирования процессов печати с учетом термомеханических напряжений, скорости охлаждения и геометрических отклонений. Такие цифровые модели позволяют предварительно оценить результаты производства и адаптировать параметры еще до запуска реального процесса. Интеграция с промышленным интернетом вещей (IIoT) и платформами управления формирует основу интеллектуальных производственных систем, соответствующих концепции Индустрии 4.0.

5. Персонализация продукции

ИИ позволяет автоматизировать процесс адаптации изделий под индивидуальные параметры пользователя. Это особенно важно в медицине (импланты, ортопедические изделия), спортивной индустрии (кастомизированная экипировка), а также в потребительском дизайне. Разрабатываются усиленные ИИ программные решения для проектирования и печати индивидуальных медицинских имплантов на основе анализа 3D-сканов пациентов. Разрабатываются ИИ-платформы, позволяющие быстро адаптировать конструкции по данным пользователя с минимальным участием человека на стадии проектирования.

6. Интеграция с цепочками поставок и логистикой

ИИ может существенно повысить эффективность логистических операций, связанных с аддитивным производством, включая планирование загрузки оборудования, оптимизацию размещения производств, прогнозирование спроса и управление складскими запасами. В условиях перехода к децентрализованной модели печати — «производства по месту потребления» — особенно важными становятся решения на стыке ИИ и логистической аналитики. Цифровые платформы предоставляют инструменты оценки экономической целесообразности печати, анализа времени и стоимости, а также интеграции с ERP-системами предприятий (ERP, Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия).

Применение искусственного интеллекта в аддитивных технологиях выходит далеко за рамки автоматизации самого процесса печати. Оно охватывает весь производственный цикл — от интеллектуального проектирования и подбора материалов до контроля качества, логистики и персонализации продукции (рис. 1). Это подтверждает ключевую мысль: ИИ становится неотъемлемым компонентом современных технологических платформ, а аддитивное производство — одной из наиболее перспективных областей его практического применения.

В заключение важно отметить, что переход к эпохе «ИИ для» следует рассматривать как закономерный этап в эволюции науки и технологий, отражающий изменение представлений о роли искусственного интеллекта — от самостоятельной исследовательской цели к универсальному инструменту преобразования окружающего мира. Классификация систем искусственного интеллекта в наши дни включает в себя три уровня: ИИ-ассистент, ИИ-аналитик и ИИ-исследователь [10]. Уровень «ИИ-исследователь» подразумевает технологию-участник, напрямую вовлеченную в исследовательскую практику.

Этот переход вписывается в широкую историческую траекторию научно-технического прогресса. В XX веке развитие науки и промышленности опиралось на волны индустриализации — от Индустрии 1.0 (механизация и паровые машины) через Индустрию 2.0 (массовое производство и электричество) и Индустрию 3.0 (цифровые технологии и автоматизация) к Индустрии 4.0, появившейся в XXI веке. Последняя волна характеризуется

интеграцией киберфизических систем, интернета вещей, автономных роботов и распределенных платформ управления. Искусственный интеллект займет в этой структуре центральное место, обеспечивая адаптивность, гибкость и интеллектуализацию всех стадий жизненного цикла продукции и научных процессов.

Эпоха «ИИ для» знаменует переход от изолированного технологического развития к интеллектуальной интеграции ИИ во все ключевые области человеческой деятельности — от фундаментальной науки и медицины до машиностроения, экологии и образования. В этой парадигме ИИ перестает быть объектом, а становится неотъемлемым элементом современной научной и инженерной инфраструктуры [10]. Наука приобретает свойства когнитивной системы, промышленность — черты самообучающихся производств, а общество — новые формы взаимодействия с технологией.

Таким образом, эпоха «ИИ для» представляет собой долгосрочный системный сдвиг, задающий вектор развития науки, технологий и общества в XXI веке [10].

Литература

1. TensorFlow, комплексная платформа машинного обучения с открытым исходным кодом. <https://www.tensorflow.org/>
2. PyTorch, фреймворк машинного обучения с открытым исходным кодом для создания и обучения глубоких нейронных сетей. <https://pytorch.org/>
3. ImageNet, база данных изображений для визуального распознавания объектов. <https://www.image-net.org/>
4. GitHub Copilot, инструмент на базе искусственного интеллекта для написания кода ассистентом программирования в режиме реального времени. <https://github.com/features/copilot>
5. DeepMind AlphaFold, искусственный интеллект для предсказания трехмерных структур белков на основе их аминокислотной последовательности. <https://deepmind.google/science/alphafold/>
6. Materials Project, открытая онлайн-платформа для доступа к вычислительно предсказанным свойствам неорганических материалов. <https://next-gen.materialsproject.org/>
7. MatGen, инструмент на базе искусственного интеллекта для генерации новых материалов с заданными свойствами. <https://matgen.ai/>
8. Пленарное заседание Форума будущих технологий, 21 февраля 2025 г, Москва. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/76304>
9. Международная конференция AI4X по применению искусственного интеллекта в науке, 8–11 июля 2025 г, Сингапур. <https://ai4x.cc/>
10. Классификация применения искусственного интеллекта в химии: от автоматизации к цифровому научному мышлению. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2025-fbk8w>