



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 69 за 2021 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Г.Г. Малинецкий, В.С. Смолин

О развитии прикладной
математики, искусственного
интеллекта и компьютерных
вычислений

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Малинецкий Г.Г., Смолин В.С. О развитии прикладной математики, искусственного интеллекта и компьютерных вычислений // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2021. № 69. 49 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2021-69>
<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2021-69>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

Г.Г. Малинецкий, В.С. Смолин

**О развитии прикладной математики,
искусственного интеллекта
и компьютерных вычислений**

Москва — 2021

Малинецкий Г.Г., Смолин В.С.

О развитии прикладной математики, искусственного интеллекта и компьютерных вычислений

В настоящее время происходит переход от индустриальной к постиндустриальной фазе развития цивилизации. В традиционной фазе развития (до XX века) в центре внимания исследователей и мыслителей было изучение природы. В индустриальный (XX век) – осмысливался и развивался мир машин. Важнейшим результатом этого периода стало создание компьютеров. В постиндустриальной фазе, в которую мир входит сейчас, в центре внимания оказывается человек. Это меняет прикладную математику, компьютерную реальность.

Происходит бифуркация, в которой существенная часть прикладной математики становится отраслью промышленности. На ряд наиболее перспективных инновационных направлений в этом контексте обращено внимание. Происходит переход от «непрерывной» к «дискретной» математике, во многом связанный с развитием криптографии. Другой особенностью момента является нейросетевая революция в машинном обучении, которая дала новый мощный импульс прогрессу развития искусственного интеллекта (ИИ). Он привел к широкому распространению устройств и систем, решающих «интеллектуальные» задачи на уровне человека и выше. Возможности решения весьма сложных задач ограниченными средствами противоречат устоявшимся взглядам, что мышление и разум основываются на душе, имеющей безграничные возможности. Проблема создания сильного ИИ (general AI, AGI) состоит не в построении устройств с волшебными возможностями, а в создании ограниченных систем, которые могут научиться решать много задач, доступных людям. Важным свойством AGI должно быть сотрудничество с людьми с учётом цивилизационных норм. Это свойство имеет не только техническую сторону, оно зависит от общественных отношений. Для устойчивого развития цивилизации необходимо развивать агентский подход к AGI, обеспечивать управляемое углубление разделения труда и конкуренции как внутри сообществ, так и на межгосударственном уровне.

Современная прикладная математика столкнулась с принципиальными трудностями при решении сложных задач. Многократное увеличение производительности вычислительных систем не привело к прорывным результатам. В качестве новых парадигм рассматриваются работающие с использованием новых принципов «аналоговые» вычислительные системы – нейронные сети и квантовые компьютеры. Показывается, что эти подходы в лучшем случае могут помочь решить «задачи прошлого», а не «задачи будущего», связанные с постиндустриальной фазой развития цивилизации. Усилия отечественной прикладной математики должны быть направлены на

решение центральных проблем развития постиндустриального общества в России с использованием междисциплинарных подходов. Это может позволить вернуться в число стран, обладающих передовыми технологиями по важнейшим направлениям современного производства. Рассматриваются альтернативные направления развития науки, связанные с расширением возможностей человека. Ключевым из них является связанное с ИИ, которое может изменить реальность. Альтернативным подходам к развитию ИИ в статье уделяется особое внимание.

Ключевые слова: Постиндустриальная фаза развития, криптография, инновационные направления прикладной математики; клеточные автоматы, квантовые вычисления, искусственный интеллект (ИИ), нейронные сети, artificial general intelligence (AGI), агенты AGI, искусственный интеллект (ИИ), научно-техническая революция (НТР), нейросетевые технологии, прикладная математика, теория самоорганизации, принципиальные ограничения цивилизации, человека и науки, гуманитарно-технологическая революция.

Malinetskiy Georgy Gennadievich, Smolin Vladimir Sergeevich

On the applied mathematics, artificial intelligence and computer calculations development

Another feature of the moment is the neural network revolution in machine learning, which gave a new powerful impetus to the artificial intelligence (AI) development progress. It led to the widespread use of devices and systems that solve "intelligent" problems at the human level and above. The possibilities for solving very complex problems are limited by means that contradict the established views that thinking and reason are based on the soul, which has limitless possibilities. The strong AI (general AI, AGI) creating problem is not in building devices with magical capabilities, but in creating limited systems that can learn to solve many of the problems available. An important AGI property should be cooperation with people, taking into account civilizational norms. This property has not only a technical side, it depends on social relations. Sustainable development requires an agency approach to AGI.

Modern applied mathematics has faced fundamental difficulties in complex problems. Multiple increases in the performance of computing systems did not lead to breakthrough results. As new paradigms, "analog" computing systems working with the use of new principles are neural networks and quantum computers. It is shown that these approaches, at best, can help to solve the "past tasks", and not the "future tasks" associated with the post-industrial phase of the development of civilization. The domestic applied mathematics efforts should be used to solve the central problems of the post-industrial society development in Russia using interdisciplinary approaches. This can make it possible to return to the number of countries with advanced technologies in the most important modern production areas. The alternative directions of the science development related to the human capabilities expansion are considered. The key one is related to AI, which can change reality. The article pays special attention to alternative approaches to AI development.

Key words: Post-industrial development phase, cryptography, innovative areas of applied mathematics; cellular automata, quantum computing, artificial intelligence (AI), neural networks, artificial general intelligence (AGI), AGI agents, artificial intelligence (AI), scientific and technological revolution (STD), neural network technologies, applied mathematics, self-organization theory, fundamental limitations of civilization, man and science, humanitarian and technological revolution.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 19-01-00602 и 20-511-00003.

1 Введение

Ничто так не способствует созданию будущего, как смелые мечты. Сегодня утопия, завтра плоть и кровь.

В. Гюго

В планировании исследований очень важно не опоздать и предвидеть направления будущего развития. Однако в точке бифуркации, в которой сейчас находится мир, заглядывать в будущее особенно трудно. Сейчас происходит переход от индустриальной к постиндустриальной фазе развития цивилизации, от мира машин к миру людей. Это меняет социально-технические системы и науку.

На этом рубеже важно обсуждение, диалог, позволяющий увидеть, что очевидно, а в чём следует разобраться. Идея такого подхода в эпоху сомнений, по мнению Платона, принадлежит Сократу. Истину в форме диалога обсуждал Галилео Галилей. Альфред Реньи в форме диалога рассматривал сущность математики и теории вероятностей. Известный математик Ю.И. Манин и физик И.Ю. Кобзарев пришли к выводу, что именно диалог является лучшей формой обсуждения будущего физики элементарных частиц. Мы тоже решили последовать этому примеру, имея в виду наше обсуждение будущего прикладной математики на ряде конференций.

В первой части работы акцент определяется взглядами одного автора. Во второй части – другого.

Наверное, в коротких словах стоит сказать, на что мы смотрим одинаково, а в чём наши взгляды расходятся сильнее.

Начнём с относительно одинакового. В прикладной математике происходит революция, связанная с тем, что её значительная часть становится отраслью промышленности. И это приводит к другим категориям, к иным способам оценки результатов, порой достаточно далёким от тех, что приняты в науке. Поэтому здесь ключевое значение приобретают перспективные с инновационной точки зрения направления, а также результаты и продукты, обеспечивающие развитие и суверенитет других промышленных отраслей.

Происходящий переход от «непрерывной» к «дискретной» математике, интерес к квантовым вычислениям и квантовой телепортации связан с форсированным развитием криптографии. На наш взгляд, эта эпоха кончается и формируются новые поколения задач, более близко связанные с проблемами и возможностями человека.

Другая трактовка данного вопроса состоит в том, что уже при алгебраическом описании «непрерывных» функций происходит переход от непрерывных образов многообразий (линий, поверхностей и прочих «топологических» объектов) к дискретному описанию с помощью небольшого набора вполне дискретных обозначений (параметры, переменные,

преобразования). Закрывают разрыв между таким «дискретным» описанием «непрерывных» объектов действительные (т.е. бесконечнозначные) параметры и переменные. Но только в теории – на практике всегда параметры и переменные описываются рациональными числами, содержащими конечное число значащих цифр, то есть по сути – дискретными.

Такая трактовка дискретности отличается от современной, когда дискретной считается математика, работающая только с целыми числами. Утверждается, что дискретная математика, в современном её понимании, лучше подходит для описания квантовой природы физического мира. Ни в коей мере не отрицая важность и полезность открытия и развития квантовых представлений, следует отметить, что мы воспринимаем мир в «термодинамическом» приближении. Наши органы чувств сообщают нам информацию о свойствах объектов и явлений, которые, конечно, имеют корпускулярно-волновую природу, но количество частиц, формирующих наблюдаемые свойства принято описывать с использованием числа Авогадро ($6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

Непрерывные «термодинамические» свойства сложного окружающего мира отображаются на дискретной структуре нервной системы (НС) человека и животных, характеризуемой большим (у разных видов 10^9 - 10^{15} синапсов, весов связей), но ограниченным количеством параметров. По сравнению с числом Авогадро, большое количество параметров НС животных и человека невелико, что, по крайней мере на современном уровне понимания, практически исключает возможность описания макроявлений на микроуровне. Но вполне достаточно для отражения макроскопических («термодинамических») свойств объектов и явлений. Это подтверждается не столько наблюдениями за животными, тонкие механизмы преобразования информации у которых могут быть пока не до конца поняты, сколько современными успехами в решении интеллектуальных задач искусственными нейросетями.

Десять лет назад произошла нейросетевая революция в машинном обучении, связанная с задачами ИИ. Она обусловлена возможностями строить нейронные сети с сотнями слоёв, миллионами и миллиардами элементов. Это позволяет создавать системы, имеющие сравнимые или превосходящие (в ряде случаев многократно) возможности человека в различных сферах интеллектуальной деятельности. Во многих случаях ИИ позволяет изучать естественный интеллект (ЕИ).

Отличия в наших подходах заключаются в предвидении желательного направления развития систем с ИИ. Один взгляд связан с тем, что это наши помощники в определённых областях, «слуги», дополнения. Такие возможности описаны Р. Желязны как фракир (тайное оружие Мерлина, предупреждает его пульсацией, если в Мерлина целются, подкрадываются или просто обращают внимание) или деймоны (внешнее физическое проявление "внутреннего я" человека, которое принимает форму животного) в романах

Ф. Пулмана. Человек полностью отвечает за действия этих сущностей и создаёт их на этой основе. Они не меняют и не могут изменить социальный строй.

Альтернативный взгляд связан с тем, что создания в этой сфере будут в гораздо большей степени независимы от человека. Они будут действовать вместе с человеком, конкурировать с другими сущностями и станут, в определённом смысле, субъектами права.

В рамках первого подхода естественными кажутся три закона робототехники, предложенные А. Азимовым. В рамках второго они представляются, в лучшем случае, благими пожеланиями. Должна быть создана гораздо более полная и серьёзная законодательная база. Тест Тьюринга для вычислительных машин – это прошлое. Нужны другие критерии оценки систем с ИИ. Возможно, это будет «компьютер-исследователь».

Сам факт готовности обсуждать разные подходы к оценке роли дискретной математики и систем ИИ говорит о том, что авторы не абсолютизируют только одну сторону в каждом из альтернативных взглядов. Более того, именно разные взгляды позволяют разносторонне описывать состояние проблем в данных областях.

По прогнозам, более 40-50% людей, работающих сейчас, через 10-15 лет работы иметь не будут. Это может привести к серьёзным переменам в социальном строе, как к кардинальному улучшению положения работающих людей, так и к Новому Средневековью. Следует ориентироваться не на создание «монстров ИИ», а на системы, которые могут работать с отдельными людьми и небольшими коллективами.

Нам очень хотелось бы привлечь внимание коллег к этим вопросам.

2 Исторический аспект развития математики

В 1970-х годах американский социолог Дэниел Белл сформулировал так называемый «осевой принцип», по сути идущий от прикладной математики.

При исследовании сложного объекта, системы или процесса мы упрощаем его, выделяем наиболее важные причинно-следственные связи, и, в конце концов, проецируем на пространство тех сущностей, которые можем исследовать.

Белл в качестве сложной системы рассматривал мировую историю. Если в качестве основной оси, на которую осуществляется проектирование, рассматривать собственность на средства производства, то возникает исторический материализм с его делением на социально-экономические формации – от первобытно-общинной до коммунистической. Белл взял в качестве оси роль и место науки как источника развития общества, и тогда получается иное деление. Это традиционная (до XX века), индустриальная (XX век) и постиндустриальная (в которую мир вступает сейчас) фазы развития цивилизации.

Итог своей теории Белл изложил так: «На протяжении большей части человеческой истории *реальностью была природа*: и в поэзии, и в воображении

люди пытались соотнести своё «я» с окружающим миром. Затем *реальностью стала техника*, инструменты и предметы, сделанные человеком, однако получившие существование вне его «я», в овеществленном мире. В настоящее время *реальность является в первую очередь социальным миром* – не природным, не вещественным, а исключительно человеческим – воспринимаемым через отражение своего «я» в других людях... Человек может быть переделан или освобожден, его поведение – запрограммировано, а сознание изменено. Ограничители прошлого исчезли вместе с концом эры природы и вещей» [1, с.663].

Лейбниц определял математику как «науку о возможных мирах». С таких же позиций стремился рассматривать философию известный специалист в области философии науки В.С. Степин [2]. Тем не менее, не все миры одинаково интересны и заслуживают детального изучения. Например, Лейбниц, создавший в 1673 году арифмометр, который мог производить умножение и деление, предвидел огромное будущее «считающих машин». Он полагал, что они будут настолько совершенны, беспристрастны и осведомлены, что будут судить людей. Происходящее ныне в компьютерной реальности во многом можно рассматривать как воплощение мечты Лейбница.

В конечном итоге прикладной аспект, понимаемый как способность решать волнующие людей задачи, является решающим в развитии этой области знания. Естественно, в разные эпохи эти задачи были разными, и в соответствии с этим менялись и приоритеты математических исследований.

Этот радикальный взгляд подтверждает оценка В.И. Арнольда, данная в книге, подводящей итоги развития математики к 2000 году:

«Вся математика делится на три части:

Криптография (оплачиваемая ЦРУ, КГБ и им подобными), гидродинамика (поддерживаемая производителями подводных лодок) и небесная механика (финансируемая военными и другими организациями, типа НАСА, имеющими отношение к ракетам).

Криптография привела к созданию теории чисел, алгебраической геометрии над конечными полями, алгебры¹, комбинаторики и компьютеров.

Гидродинамика породила комплексный анализ, уравнения в частных производных, теорию групп и алгебр Ли, теорию когомологий и методы вычислений.

Небесная механика дала начало теории динамических систем, линейной алгебре, топологии, вариационному исчислению и симплектической геометрии» [3, с.9-10].

Заметим, что все эти направления, за исключением криптографии, относятся к исследованию природы, к естествознанию. Именно изучение окружающего мира, использование его возможностей для «покорения природы» было императивом развития этой фазы цивилизации.

¹ Создатель современной алгебры Виет был криптографом короля Генриха IV во Франции.

Ключевое достижение этой фазы связано с созданием математического анализа, «анализа бесконечно малых». Эта выдающаяся теория дала язык дифференциальных уравнений, на котором удалось сформулировать фундаментальные физические законы.

По сути, в центре внимания в эту эпоху оказались модели вида

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x}, \vec{\lambda}), \quad \vec{x}(0) = \vec{x}_0, \quad \vec{\lambda} = \vec{\lambda}_0, \quad 0 < t \leq \infty \quad (1)$$

В различных теориях менялись лишь вектор \vec{x} и вектор параметров $\vec{\lambda}$, соответствующие конкретным системам. Выдающимся достижением этой эпохи стало выяснение того, что число существенных уравнений, описывающих законы природы и заслуживающих детального изучения, невелико. И, как правило, эти уравнения линейны (акустика, электродинамика, теория упругости, квантовая механика и т.д.).

Недостатки этого языка являются продолжением его достоинств:

- Представление чисел как бесконечной последовательности цифр. Это очень далеко от наших реальных возможностей, от способности измерять интересующие нас величины. Как правило, нам доступны лишь первые 5-6 цифр измеряемой величины.
- Переход к пределу требует техники работы с бесконечными множествами, величинами, последовательностями. Это приближение приводит к фундаментальным проблемам в построении математических теорий, к рождению логицизма, интуиционизма, к появлению в XX веке нескольких различных «математик» [4].
- Разработка фундаментальных основ математических теорий – метаматематика – показала ограниченность возможностей строгих теорий, доказанную Геделем, и самого аксиоматического подхода. Аксиомы оказались отражением тех сущностей, которые мы хотим описывать.
- Необходимость описывать реальные объекты привела к развитию асимптотических методов, работающих в приближении больших или малых параметров, какие бывают далеко не всегда.
- Принципиальные сложности возникают при исследовании нелинейных моделей, необходимых для описания многих явлений и процессов в природе.

3 Математика индустриальной эпохи

В основе технологий индустриальной эпохи лежит механизация – массовое применение стандартных операций. Именно такая организация производства позволила заменить людей машинами и многократно повысить производительность труда. Вершиной этой эпохи является создание компьютера, являющегося несовершенной реализацией машины Тьюринга.

Последняя представляет собой неограниченную в обе стороны ленту, разделенную на ячейки (в них могут быть записаны символы 0, 1, STOP) и

управляющее устройство (головка записи-чтения), способное находиться в одном из множества состояний. Число возможных состояний управляющего устройства конечно и точно задано. Управляющее устройство работает согласно правилам перехода, предписывающего машине действия в зависимости от текущего состояния и наблюдаемого головкой символа на ленте. Машина может записать на ленте новый символ, перейти в новое состояние, переместиться на одну клетку влево или вправо. Когда на ленте написано STOP, машина останавливается.

Тезис Тьюринга–Черча в вольном пересказе гласит: «Всё, что можно «вычислить», «запрограммировать» или «распознать», можно вычислить, запрограммировать или распознать с помощью подходящей машины Тьюринга» [5].

Принципиальной проблемой, заставившей перейти к созданию компьютеров и отрасли, производящей вычислительную технику, в США была криптография, а в СССР стала необходимость управления космическими системами. В последнем случае необходимо производить не только множество стандартных операций, но и надо делать это очень быстро. Поэтому магистральным направлением развития науки и технологий стало увеличение быстродействия вычислительных машин.

Гордон Мур в 1965 году, анализируя развитие вычислительной техники, пришел к выводу, что количество транзисторов N , размещенных на кристалле интегральной схемы, растет со временем t по экспоненте.

$$N(t) \approx 2^{t/2 \text{ года}} \quad (2)$$

Закон Мура продолжает действовать, и достигнутые успехи впечатляют (см. рис. 1). В 2020 году японский суперкомпьютер Fugaku имел производительность 415,5 пфлопс (петафлопс – 10^{15} операций с числами с плавающей запятой в секунду), включал в себя 300000 процессов. Ни одна технология никогда не развивалась так быстро, в таком стремительном темпе.

Выдающиеся математики второй половины XX века – А.Н. Тихонов, П.Д. Лакс, А.А. Самарский, Г.И. Марчук и другие – решали вопрос, как «перевести» непрерывные математические модели естествознания в «дискретную» форму, с которой могли бы работать существовавшие в то время компьютеры. Дискретные описания непрерывных моделей в той или иной степени отражают лишь некоторые их качества, поэтому необходимо определить, какие свойства непрерывных моделей важно сохранить в их дискретных аналогах (законы сохранения – консервативность, дисперсионные свойства и т.д.). При этом, как правило, строились асимптотические теории при шагах по времени τ и по пространству h , стремящихся к нулю. При этом обычно не удавалось оценить влияние дискретности самой изучаемой величины на точность вычислений и многие нелинейные эффекты. Вместе с тем результаты компьютерных расчётов того времени трудно переоценить.

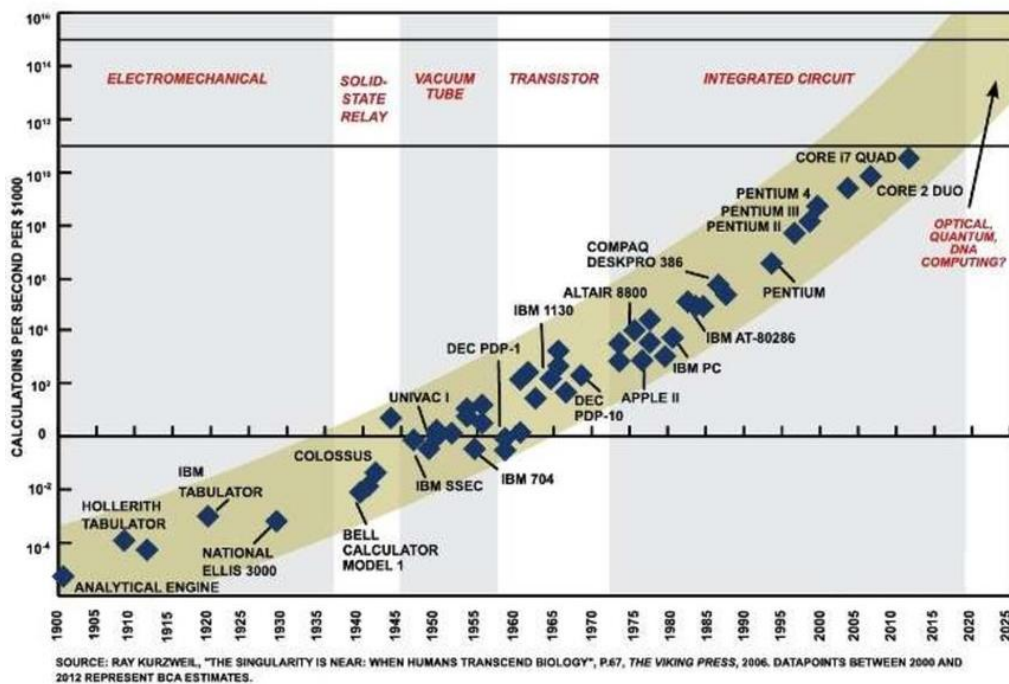


Рис. 1. Закон Мура – рост производительности компьютеров [6].

В своё время А.А. Самарский призывал в прикладной математике рассматривать комплекс *модель – алгоритм – программа*. При этом, подведя итог последних 60 лет, можно сказать, что при совершенствовании моделей вклад в развитие компьютерной реальности вносят и повышение эффективности алгоритмов, и достижения в программировании, но наибольшее значение имеет прогресс вычислительных устройств.

Наглядный пример – компьютерные программы для игры в шахматы. Попытка выдающегося шахматиста и педагога М.М. Ботвинника использовать «человеческие подходы» не дала удовлетворительного результата. В 1974 году программа «Каисса», созданная В.Л. Арлазаровым и его коллегами, стала первым чемпионом мира по шахматам среди компьютерных программ благодаря оригинальным программистским решениям. Однако далее огромное ускорение следующих компьютеров и понимание, что они должны играть «по-компьютерному», а не «по-человечески», сыграло решающую роль. Ныне компьютеры играют сильнее чемпионов мира среди людей, и это во многом уничтожило шахматы.

С появлением компьютеров в 1950-1960-х годах были связаны огромные надежды на решение сложных задач. Предполагалось, что с их помощью можно будет *получить среднесрочный (2-3 недели) прогноз погоды, эффективно моделировать рынки, описывать организм человека, моделировать биологическую эволюцию, процесс воспитания, элементы сознания*. В книге «*Может ли машина мыслить?*» выдающийся математик XX века А. Тьюринг давал утвердительный ответ. Подтверждением этого должна была стать победа над людьми в игре «Имитация» (тест Тьюринга) [7].

Пройденный путь вычислительного моделирования показывает, что ни одна из указанных выше задач, на которые пионеры компьютерной эпохи отводили по несколько лет, до сих пор не решена. Более того, один из разделов синергетики – теория динамического хаоса – показала, что в области предсказания есть принципиальные ограничения. Динамические системы, описывающие простые механические объекты, могут обладать чувствительностью к начальным данным \vec{x}_0 и параметрам $\vec{\lambda}$. Это приводит к существованию горизонта прогноза – времени T , за которым мы в общем случае не можем предсказать, в каком состоянии окажется система [8]. Это кардинально меняет не только проблемы моделирования, естествознания, но и отношение к научным исследованиям в целом.

Огромные усилия математиков, программистов, инженеров, других специалистов привели к тому, что математика превратилась в отрасль промышленности. Создание операционных систем, пакетов прикладных программ, не говоря уже о разработке компьютеров, потребовали совместной работы больших коллективов, в результате которой заинтересованы миллиарды людей.

В былые времена, несмотря на глубокое внутреннее единство математики, бытовала шутка: «Фундаментальная математика делает то, что можно, так, как нужно, а прикладная – то, что нужно, так, как можно». И прикладная математика во второй половине XX века совершила стремительный взлет. Тем не менее, эта эпоха кончается. Признаком конца большой эпохи являются неудачи ряда крупных проектов. Для конкретности перечислим несколько.

В XX веке родились «вычислительная физика», «вычислительная химия», «вычислительная биология», «вычислительная экономика» [9]. Тем не менее, вычислительный эксперимент, как новая форма познания, как это предвидел А.А. Самарский, сравнивая с натурным экспериментом и теоретическим анализом, в сложных задачах не сложился. Огромная роль вычислительного эксперимента в Атомном и Космическом проектах была связана с тем, что они стояли на прочной основе естественных наук, число необходимых параметров было сравнительно невелико и соответствовало возможностям экспериментаторов. Во многих задачах моделирования ситуация та же. В сложных задачах химии, биологии, экономики, экологии это не так – для проведения содержательных расчетов параметров не хватает. Без развития натурального эксперимента не обойтись.

Кроме того, многие задачи, связанные с моделированием, являются *некорректными*. Французский математик Ж. Адамар назвал задачи математической физики корректными, если их решения существуют, единственны, обладают устойчивостью по отношению к входящим параметрам. Парадоксальным образом важнейшие успехи прикладной математики в XX веке связаны с исследованием некорректных задач. Для их решения приходится использовать ту или иную априорную информацию, позволяющую выбрать среди множества возможностей наилучшую [10].

Огромный масштабный проект, начатый В.М. Глушковым и его коллегами, был связан с созданием Общегосударственной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством (ОГАС). В рамках этого проекта должна была быть создана сеть около 100 больших вычислительных центров, которые бы являлись головными объектами для 20 тысяч центров низового уровня. Запрошенная в 1962 году сумма составляла 20 млрд рублей, а экономическая выгода за 15 лет должна была превысить эту сумму вчетверо. Если бы этот проект был реализован, то в СССР было бы создано единое информационное пространство, система электронных платежей и система, аналогичная Интернету [11]. Это позволило бы вывести управление экономикой на принципиально более высокий уровень. Этот проект опередил своё время. Проблемой оказалось гуманитарное сопровождение проекта и неготовность элит к новым технологиям управления. Это показывает, что с ростом совершенства машин гораздо более важной становится роль людей.

В 1975 году Л.В. Канторович был удостоен Нобелевской премии по экономике «за вклад в оптимальное распределение ресурсов». Это означает, по сути, поддержку идей плановой экономики в мировом научном сообществе. Для России это особенно очевидно, поскольку страна находится в экстремальных географических условиях. Сейчас стала понятна необходимость *протекционизма, планирования и обеспечения системной достаточности* для развития страны. Новый подход к планированию, гораздо более эффективный, чем существовавший, предлагал Н.Н. Моисеев [12]. И здесь мы сталкиваемся с необходимостью активной гуманитарной поддержки и готовности руководящих каст к переменам. К сожалению, и это направление не покинуло научного пространства.

Развитие прикладной математики для сложных задач не оправдало также и прогноз о кардинальном повышении эффективности экономики в связи с тотальным использованием компьютеров. Лауреат Нобелевской премии по экономике Р. Солоу провел исследование, чтобы выяснить, в каких отраслях американской экономики внедрение вычислительных машин дало значимый экономический эффект, и выяснил, что таких отраслей нет... кроме отрасли, производящей компьютеры [13].

Как видим, далеко не все большие проекты, нацеленные на решение сложных задач и непосредственно связанные с прикладной математикой, состоялись. Однако сейчас наступает другая эпоха.

4 Самоорганизация и математика постиндустриального мира

Наступление новой эпохи кардинально меняет основную сферу приложения компьютеров. Это не исследование природных явлений (как в традиционную эпоху), не управление машинами (как в индустриальную), а

связи между людьми и освобождение их от рутинной умственной работы. Если ранее промышленная революция освободила людей от тяжелого физического труда, то происходящая сейчас цифровая революция должна освободить их от стандартных, формализуемых умственных усилий.

Интернет, интернет вещей (Internet of Things – IoT), интернет робототехники (Internet of Robotic Things – IoRT), социальные сети, электронные СМИ меняют самоорганизацию в обществе. Доступными становятся дальние связи между людьми. Для эффективности компьютерных сетей Q в зависимости от числа объединяемых ими людей начинают действовать иные законы

$$Q \sim N \Rightarrow Q \sim N^2 \Rightarrow Q \sim e^N \quad (3)$$

Первое соотношение определяет закон Сарнова: «Ценность вещательных сетей прямо пропорциональна числу их слушателей и зрителей». Он относится к традиционным СМИ. Второе соотношение, или закон Меткалфа, определяет рост ценности сети при наличии связей между её узлами. Последнее соотношение определяет закон Рида – так растёт ценность сети, если внутри нее возможно образование произвольных групп, обменивающихся информацией друг с другом [14].

По оценкам фирмы Gartner в 2021 году в мире используется 6,22 млрд единиц вычислительной техники, из которых 4,3 млрд смартфонов, 495 млн. десктопов, 866 млн. ноутбуков и 535 млн планшетов. Прогнозируется, что в 2022 году число компьютерных устройств увеличится до 6,43 млрд единиц. [15].

По мнению основателя Давосского экономического форума Клауса Шваба: «... мы стоим у истоков четвертой промышленной революции. Она началась на рубеже нового тысячелетия и опирается на цифровую революцию. Её основные черты – это «вездесущий» и мобильный Интернет, миниатюрные производственные устройства (которые постоянно дешевеют), искусственный интеллект и обучающиеся машины» [16, с.16]. Совершенствование технологий даёт возможность использовать более мелкие производства, которые выигрывают у крупных за счёт сокращения транспортных расходов.

По оценкам экспертов Давосского форума, до 2025 года ожидается ряд переломных моментов, среди которых: «10% людей носит одежду, подключенную к сети Интернет; 90% людей имеют возможность неограниченного и бесплатного (поддерживаемого рекламой) хранения данных; 1 триллион датчиков, подключенных к сети Интернет; первый имеющийся в продаже имплантируемый мобильный телефон; 90% населения используют смартфоны, 30% корпоративных аудиторских проверок проводит искусственный интеллект» [16, с.39].

Отсюда понятно, что ключевым направлением развития становится передача данных и их защита, криптография и расширение возможностей в хорошо формализуемых сферах. Основным направлением усилий становится самоорганизация – формирование элементарных объектов, способных к

простейшим действиям, распараллеливание сложной задачи на множество простых и получение общего результата от совместных действий. Компьютер предполагает работу не с действительными числами и переменными, а с целыми.

Вместо дифференциальных уравнений, как в ньютоновской парадигме, мы имеем другой базовый объект

$$\vec{x}_{t+1}^i = \vec{F}(\alpha_{i,k}, \vec{x}_t^i), \quad \vec{x}_0^i = \vec{x}^i(0), \quad t = 1, 2, 3 \dots \quad (4)$$

Здесь время дискретно, вектор \vec{x}_{t+1}^i определяется значениями векторов \vec{x}_t^i в окрестности, с которой связан данный вектор. Параметры $\alpha_{i,k}$ показывают, как этот элемент связан со своими соседями.

Если рассматривать динамику процессов, развивающихся в пространстве и во времени $t = 1, 2, 3 \dots$, то часто рассматривают ближайшую окрестность и постоянные $\alpha_{i,k}$. В этом случае такие модели называют *клеточными автоматами*. Здесь имеет место идеальная параллельность, локальные связи и, в отличие от разностных схем, сама функция дискретна.

В современных компьютерах закон Мура выполняется благодаря распараллеливанию и огромному числу процессоров (300 тысяч процессоров в упомянутом компьютере Fugaku). Но распараллелить можно далеко не всё.

Клеточные автоматы представляют целый мир и активно используются в качестве простейших моделей [17]. К настоящему времени известно множество автоматов с замечательными свойствами [18]. Однако в отличие от теории уравнений в частных производных, которая развивалась несколько столетий, здесь нет пока развитой математической основы. Не раз высказывались мысли о переформулировке законов природы именно на языке клеточных автоматов, но пока это не сделано.

Неочевидно также, как сопоставить результаты дискретных клеточных автоматов с «непрерывными» физическими законами [19].

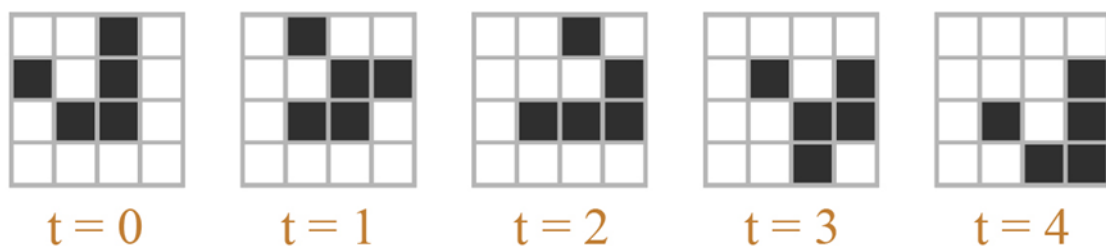


Рис. 2. Клеточные автоматы: пример воспроизводящейся структуры – планер.

С другой стороны, имеет место замечательный результат, полученный в 1978 году Дж. Конвеем. Он предложил игру «Жизнь», имитирующую с помощью клеточного автомата развитие колонии микроорганизмов. Автомат задан на пространстве клеток. Соседями данной клетки являются имеющие с ней общие ребра или вершины (то есть их 8 штук). Клетка может быть в 2-х состояниях – живой и мертвой. Клетка в момент $t + 1$ становится мертвой, если

у неё больше трех, либо меньше 2-х живых соседей в момент t . Мертвая клетка становится живой, если в момент t у неё три живых соседа. Конвей доказал, что при определенной начальной конфигурации мертвых и живых клеток эта игра эквивалентна машине Тьюринга (см. рис. 2, 2а). У клеточных автоматов большое будущее.

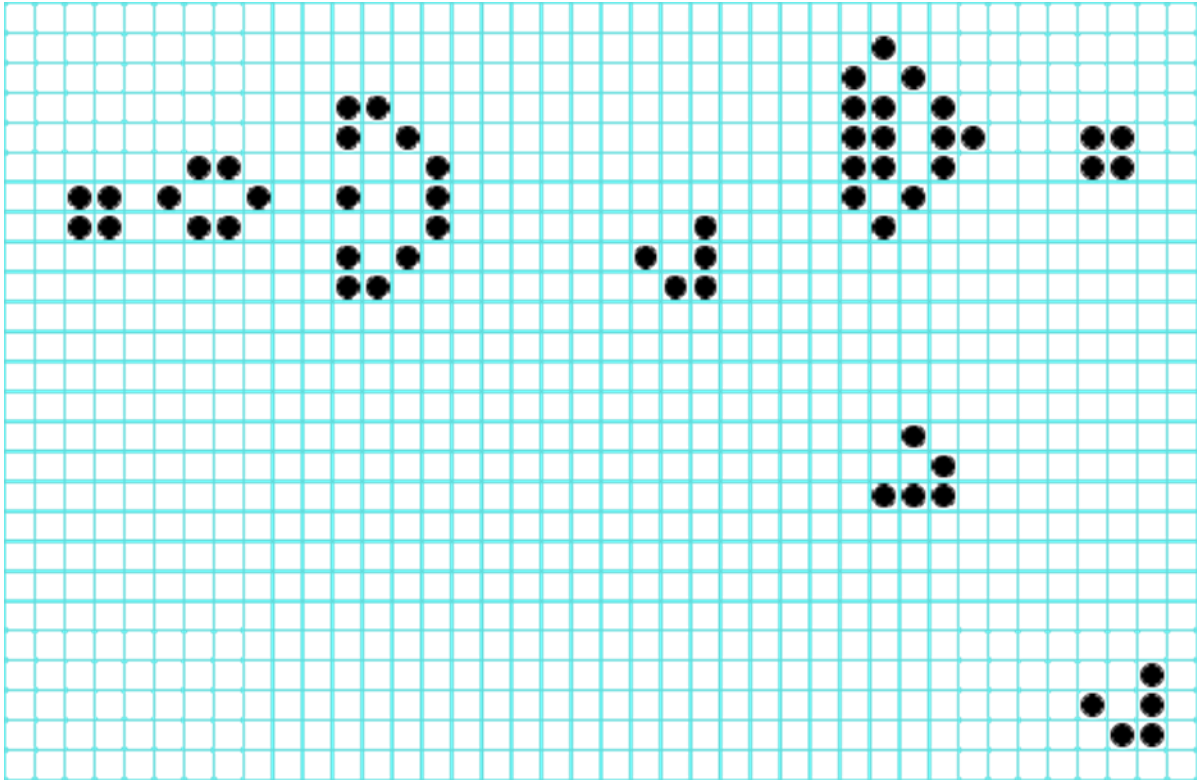


Рис. 2а. Планерное ружьё Госпера. Наличие такого ружья показывает, что ограниченное начальное количество живых клеток может породить со временем их бесконечное число

В настоящее время прикладная математика переходит к своеобразной «математической промышленности». В 2019 году Общество содействия прикладным исследованиям им. Й. Фраунгофера в результате большой исследовательской работы выяснило, какие технологии получат наибольшие инвестиции к 2030 году. Все наиболее перспективные технологии разбили на 4 группы по готовности к использованию. К прикладной математике непосредственно относятся следующие технологии.

I группа (наибольшая готовность) – *глубокое обучение искусственного интеллекта;*

II группа – *постквантовая криптография, кибернетические рассуждающие системы;*

III группа – *квантовые коммуникации и квантовые компьютеры, мягкие роботы, нейроморфные чипы, искусственный мозг, нейромашинный интерфейс;*

IV группа – *умные контракты, гиперспектральная съемка.*

В области глубокого обучения нейронных сетей, которые сейчас связывают с искусственным интеллектом, в настоящее время происходит революция. Благодаря алгоритму обратного распространения ошибки и другим подобным методам обучения удалось найти эффективный способ самоорганизации, связанный с изменением весов связей между нейронами. Аналоговые по своей идее машины – нейросети для распознавания образов – обеспечивают также очень высокий уровень параллельности. Кроме того, прорыв связан с увеличением числа слоев сети (отсюда и термин «глубокое»), с огромным увеличением числа настраиваемых признаков. Здесь есть большие надежды на эффективную обработку разнородных данных, включая статические и динамические изображения, печатные и устные тексты [20].

Большой энтузиазм вызвала победа программы AlphaGo, компании Deep Mind над сильнейшими игроками мира в го. Принципиально важно, что компьютеры при заданных правилах «учились сами», играя между собой, настраивая веса сетей и совершенствуя решающие правила. По сути, программисты сейчас не дают детальных инструкций, как раньше, а «учат учиться» сами машины. Это одна из форм самоорганизации – не задавать системе оптимальные правила, а вложить в неё свойства, которые позволят ей найти их самостоятельно. И это рассматривается как очередной этап автоматизации процесса программирования.

Естественный интеллект связывается с рациональным, эмоциональным и интуитивным началом, со способностью к самоорганизации и целеполаганию. Поскольку наши представления о естественном интеллекте фрагментарны, то понятие «искусственный интеллект» можно трактовать очень широко. Достигнутые успехи побуждают трактовать его не как обычный инструмент (лопата, экскаватор, автомат и т.д.), а как некоторую самостоятельную сущность, которая может превзойти человека (автобус тоже может превзойти нас по скорости движения, но мы не рассматриваем его как конкурирующую сущность).

Здесь есть два принципиальных момента.

Первый связан с пониманием того, что и как будет делать обученная нейронная сеть. В общем случае понятно, что, по сути, *речь идет лишь об одном из способов аппроксимации данных из обучающей выборки*, но в конкретных случаях часто возникают проблемы.

Ранее в ИПМ проводились работы, связанные с обучением нейронных сетей карточным играм. Естественно, после определенных успехов машины у исследователей возникло желание разобраться, «как она играет», получить её «стратегию игры» в виде, доступном для человека, например, отбросив связи с малыми весами. Но тогда получалось, что без этих весов машина теряет способность к эффективной игре [21]. Сейчас в мире проводится громадное количество вычислительных экспериментов с искусственными нейросетями, но пока получается выявить больше проблем, чем удаётся решить.

Это означает, что, желая использовать такие системы, мы должны заняться их длительным и серьезным изучением, как нового физического явления или животного. По сути дела, это новая область науки, важность которой пока далеко не всеми осознается.

Второй принципиальный момент связан с недооценкой общественным сознанием рисков, которые связаны с использованием искусственного интеллекта (ИИ или AI). Прочитав мнение авторитетного системного аналитика С. Карелова: «AI меняет главную парадигму ядерного сдерживания. В ситуации, когда у вас и у меня хватает оружия, чтобы уничтожить друг друга десять тысяч раз, становится понятно, что соревноваться в дальнейшем совершенствовании этого оружия бесполезно. Все системы управления сейчас переключаются понемножку на то, что называется AI против AI, потому что он быстрее.

Есть вещи, которые не имеют корректного решения, но они всё равно будут сделаны. Так же и передача управления, штабов командования, оценка ситуации и принятие последних решений уже сейчас потихоньку передаются на уровень AI, и в грядущие годы это будет полностью туда выведено. Это означает, что с точки зрения доктрины взаимного уничтожения не меняется ничего. Изменения произойдут в области психологии. Если мы считаем, что наш искусственный интеллект мощнее, мы ударим» [22, с.45,46]. Решающим на этой фазе развития является не техника, не ИИ, а психология людей.

Очень интересен комментарий на подобные проекты авторов бестселлеров – физика М. Тегмарка и историка Ю. Харари [23]. Они считают, что мы ведем



Рис. 3. Рост числа киберпреступлений в России в 2016-2020 гг. ([24])

себя в отношении этих технологий как «безответственные боги», по их мнению, мы не знаем о сознании главное – является ли оно результатом вычислений или физическим феноменом, возможно ли неорганическое сознание. Они полагают, что человечеству удалось ограничить стратегические вооружения и запретить биологическое оружие, и теперь на очереди стоит ряд наиболее опасных приложений искусственного интеллекта.

Квантовые вычисления, по сути, являются продолжением одной из принципиальных тем всей математики – криптографии. Развитие компьютерного пространства привело к росту числа киберпреступлений (рис 3), поэтому вполне естественно желание защитить передаваемую информацию.

В 1970-х годах У. Диффи и М. Хеллман предложили схему одностороннего шифрования. Взлом такой системы требовал решения сложной математической задачи и большого времени работы компьютеров. Квантовые вычисления, имеющие дело с построением аналоговых устройств и работой не с битами (0,1), а с квантовыми битами, кубитами ($\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$), дают принципиальную возможность вскрывать такие шифры либо использовать другие методы шифрования.

Идея квантовых вычислений связана с замыслом Р. Фейнмана моделировать микропроцессы: «Но физический мир – мир квантовой механики, и, следовательно, истинная проблема – моделирование квантовой физики... Я хочу обсудить возможность точного моделирования, когда компьютер делает точно то же, что и природа». [25, с.97]. Понятно, что при такой постановке вопроса и вычислительная машина должна оперировать с квантовыми объектами. Американский физик Д. Дейч показывает, что тезис Черча–Тьюринга «Каждая конечно реализуемая физическая система может быть полностью промоделирована универсальной модельной вычислительной машиной» является неявным физическим предположением и настаивает на отказе от классической машины Тьюринга и переходе к «универсальному квантовому компьютеру» [26, с.156]. Более того, появились алгоритмы решения задач криптографии (подбор ключа, разложение на простые множители и др.), которые квантовые системы решают гораздо быстрее, чем классические [27].

Игра «Жизнь» была необратимым клеточным автоматом – две разные конфигурации при t могли приводить к одной и той же при $t + 1$. Оказалось, тем не менее, что вычисления можно проводить на обратимых автоматах, что принципиально для квантовомеханических систем. Это имеет не только теоретическое, но и прикладное значение. Когда вычисления производятся на уровне отдельных атомов и спинов, то обратимость позволяет обеспечить точность расчётов и защиту информации.

Здесь следует остановиться и признать, что мы сейчас, на границе между индустриальной и постиндустриальной фазами развития цивилизации, проходим очень важную точку бифуркации. Одна и та же задача может решаться либо с помощью компьютерных, либо с помощью гуманитарных

технологий. В фольклоре бытует афоризм: «Криптография рассчитана на тех, кто верит своему компьютеру и применяемым алгоритмам больше, чем другим людям».

Есть два способа заставить людей не смотреть в чужие окна. Первый – считать, что это неприлично и что увиденное никому нельзя рассказывать. Это гуманитарные технологии. Второй – закрывать всё так, чтобы никто ничего не увидел, как бы ни хотел. Это криптография и современный путь.

На наш взгляд, использование только второго способа ведёт в тупик, и человечеству придется и дальше продолжать активно использовать первый, как бы странно это сейчас ни звучало.

По-видимому, радикально изменится и математика, сделав акцент не на природе и на машинах, а на человеке. И усилия в этом направлении уже прикладываются. Это связано, в первую очередь, с тем, что передача физической и однообразной умственной работы машинам переводит всё большее число людей из состояния «исполнительного механизма» в «человека-творца».

Одним из важнейших социальных регуляторов является такой тип рефлексии, как совесть. Кант призывал студентов представить стену, потом представить себя, представляющих стену, а дальше говорил, что философ должен иметь дело с рефлексией любого порядка. Он был не совсем прав – наиболее существенны три порядка. Важно, что мы делаем, что мы думаем, как делаем, и то, что думаем о том, как думаем (на третьем уровне и лежит совесть). И здесь могут быть построены содержательные, эффективные модели, подтверждаемые психологическими экспериментами [27].

Самоорганизация людей носит парадоксальный характер. В 1969 году Стэнли Милгрэм показал, что два случайно взятых человека разделены не более, чем 5 уровнями общих знакомых и 6 уровнями связей. Исследования убеждают, что та же закономерность имеет место для ряда социальных сетей. Мы живем в удивительном мире, – несмотря на огромное количество людей, они тесно связаны. Математики называют это «малым миром». Оказалось, что во многих случаях – социальных, коммуникационных, биологических сетях, в графах цитирований и ссылок WWW доля вершин графа сети со степенью k распределена по степенному закону $k^{-\gamma}$. Уже построено много моделей роста таких структур, однако ясно, что «сетевая математика» в ближайшее время будет активно развиваться, связывая локальные описания с глобальными свойствами сложных систем.

5 Контурь грядущего

Нужны ли мы нам?

А.Н. Стругацкий, Б.Н.

Стругацкий. «Понедельник начинается в субботу»

Мир и мы вместе с ним находимся в точке бифуркации. Дальнейшее, люди, общество и математика определяются тем, каким образом она будет пройдена.

Возвращаясь к цитате В.И. Арнольда, видим, что выделенные им три сверхзадачи, определившие всё богатство созданной математики, относятся к военной сфере, к технологиям уничтожения одних людей другими. Эти технологии, опирающиеся на современную науку, могут в случае их использования уничтожить человечество многократно. Экономика тоже решила свои задачи – каждая третья тонна производимого на Земле продовольствия сейчас выбрасывается. Проблема только в распределении произведённого и в несовершенстве социальных институтов. Куда же идти дальше?

Пока видны два пути.

Посткапитализм, повторение пройденного, Новое Средневековье. Эту ветвь развития французский социолог Жак Аттали назвал «эпохой гиперконтроля». Значительная часть всей умственной работы людей является рутинной. Большую долю её могут взять на себя системы искусственного интеллекта. По прогнозу Кай-фу Ли, через 10-15 лет половина работающих сейчас в США останутся без дела – этим людям будет нечего предложить на рынке труда [28]. Им придётся раздавать деньги, которые в результате этого утратят своё значение как инструмент власти. «Лишних людей» в обществе станет слишком много. Как управлять ими? Что заменит деньги? Информация.

Уже в проекте четвёртой промышленной революции К. Шваба [16] указано, что к 2025 году нас будут «обслуживать» более одного триллиона «наблюдателей». Естественно, что для всех, кроме Одного процента (так лауреат Нобелевской премии по экономике Дж. Стиглиц называет богатейших людей), будет введён социальный рейтинг, создана обстановка «идеальной тюрьмы».

В этом случае и математика, и компьютеры будут, прежде всего, ориентированы на контроль за людьми. Именно такую реальность, как желанный вариант, представляет израильский историк Ю.Н. Харари в книге *Номо Деус* (человек-бог). Чтобы 99% людей не скучали, им надо будет предложить компьютерные игры. В идеале у каждого будет своя, наиболее подходящая для него компьютерная реальность. В ряде регионов России для средних школ уже поставлены шлемы виртуальной реальности для использования в процессе обучения. Именно «игровая индустрия» при этом станет важнейшим направлением развития математики и компьютерной техники. Здесь стоит вспомнить антиутопию «Матрица» (1999 г.) братьев Вачовски. В большой степени сейчас мир движется именно по этому пути.

Постиндустриальная реальность. Смысл этого направления, которое сейчас только формируется: «Будущее принадлежит всем!» При нынешних и, тем более, перспективных технологиях у многих людей будет много свободного времени, а также большие компьютерные возможности. К чему это приведёт?

Реализация многих своих желаний и возможностей и рост разнообразия людей в этом контексте. Во многом это касается здоровья и бодрости. Ведущие страны сейчас переходят к VI технологическому укладу, ведущими отраслями которого становятся биотехнологии и новая медицина. Каждая третья научная работа в мире сейчас выполняется именно в этой области. Очевидно, такая перспектива требует обратной связи и выбора образа жизни. Ведь людям хочется жить долго и счастливо, без уколов и таблеток. Компьютерные системы с биологической обратной связью, в которых человек видит ключевые параметры своего организма и может своими усилиями многие из них исправить, уже показали свою высокую эффективность. Есть целый блок других компьютерных технологий.

Новые возможности развития образования. Человек может стать гроссмейстером, чемпионом по бегу, выдающимся математиком или артистом и прожить 150 лет. Но не всё сразу, и вкладывая разное время и усилия. Очень важно выбрать свой Путь и учиться именно так, как надо тебе. Компьютеры и алгоритмы могут в этом очень помочь. По прогнозу лауреата Нобелевской премии Дж. Уотсона, через 10-15 лет наши компьютерные системы позволят «читать» и «понимать» геномы людей. И это очень поможет в решении этой задачи. И люди, и техника обладают ограниченными возможностями. И мы сможем понять, до каких пределов их можно расширить, каких усилий это потребует и стоит ли это делать.

Воплощение саморазвития. Большие города и узкая специализация людей являются следствиями индустриальной эпохи. Стремление к неограниченной власти идёт из ещё более древних времён. Но новые поколения технологий и компьютерных систем могут позволить очень многим людям жить где хочется, как хочется и общаться с кем хочется. В «глобальной информационной деревне» есть свои преимущества.

Гораздо более высокий уровень защиты. Компьютерные системы, умноженные на императивы индустриальной эпохи, желание побольше зарабатывать и стремление к силовому противостоянию сделали наш мир более опасным, чем раньше. Киберпреступность в России увеличилась за 5 лет в 8 раз, с 65,9 тыс. преступлений в 2016 г. до 510,4 тыс. в 2020. При этом раскрывается только каждое пятое преступление. В постиндустриальной реальности компьютерные системы позволяют выбрать каждому свой уровень защиты и безопасности.

Естественно, каждое из перечисленных направлений определит развитие математики и компьютерных систем. Важно правильно сделать выбор будущего и предпочесть утопию антиутопии.

6 Нейросети – материальный образ мышления

Рост коммерческого использования алгоритмов сетей формальных нейронов в устройствах и системах, решающих «интеллектуальные» задачи, заметно ускорившийся после 2010-2012 года, называют *нейросетевой революцией в машинном обучении*. Успех основан на достижениях в эффективной настройке огромного количества – миллиардов и триллионов – скрытых (внутренних) параметров нейросетевых алгоритмов. Это позволяет обрабатывать сложные сигналы реального мира на качественно более высоком уровне. Десятилетие применения алгоритмов нейронных сетей привело к созданию индустрии с собственными технологиями, стандартами, производством и исследовательскими институтами. Практически все идеи и методы, используемые в устройствах и системах с искусственным интеллектом (ИИ), появились в результате развития в течение порядка 60 лет математических идей и создания новых алгоритмов, технологий и устройств, а не как заимствования из биологии, нейрофизиологии или психологии. Но опыт применения нейросетевых вычислений позволяет нам по-новому взглянуть на огромный массив знаний об обществе, приобретенных гуманитарными науками без использования идей об ИИ.

Накопленные гуманитарными науками данные представляют огромную ценность, но осмысление этих данных началось много тысячелетий назад, когда не было никаких понятий о нервной системе, механизмах обработки информации в ней и даже сам термин «информация» не был определен. Сложилась традиция трактовать большинство данных об обществе и процессах мышления без использования представлений об информационных процессах (ввиду отсутствия таковых до середины XX века). Последние 50-70 лет положение начинает понемногу исправляться, но научные школы продолжают строить свои гуманитарные теории без использования многих современных данных.

Социологический анализ с использованием нейросетевых представлений позволит делать более обоснованные прогнозы взаимодействия общества с ИИ, лучше понимать его вклад в гуманитарную и технологическую революцию, а также поможет сформулировать требования к устройствам и системам ИИ для безопасной интеграции в общество, позаботиться, чтобы проектируемые и создаваемые интеллектуальные системы и устройства служили прогрессу человеческой цивилизации.

7 Традиционные представления о безграничных возможностях мышления

7.1 Знания древних

Основным источником знаний древних были непосредственные ощущения, получаемые через органы чувств: зрение, слух, тактильное

восприятие и пр. Линейки и циркули использовались, но они повышали точность наблюдений, а не расширяли их область в смысле масштаба и физической природы. Исследования микромира и электрических явлений были недоступны из-за отсутствия средств наблюдения.

Серое и белое вещество нервной ткани человека и животных при рассмотрении без использования специальных приборов и методов наблюдения представляется консистентной массой, не обладающей какими-либо особенными свойствами. Необычные свойства удалось обнаружить только в конце XVIII века после проведения Гальвани его опытов (с животным электричеством), а тонкое строение стало возможным наблюдать после разработки метода Гольджи (окраски нейронов) и его популяризации Рамоном-и-Кахалем в конце XIX века. До этих открытий знания о нервной ткани не сильно отличались от представлений древних греков.

7.2 Необходимость бога и души

Отсутствие объективных знаний об основных (известных сейчас) свойствах нервной ткани открывало широкий простор для субъективной фантазии. Красота и гармоничность теорий определялась не их соответствием природе описываемых явлений, а способностью трактовать распространённые среди современников представления и, в значительной мере, полезностью для поддержания сложившейся или нарождающейся структуры общественных отношений.

Раз нет наблюдаемых и ощущаемых материальных причин формирования поведения, то естественно дать нематериальное объяснение через бога, душу и бестелесные сущности. Ведь даже относительно простое и часто наблюдаемое явление – молния – объяснялось гневом Зевса.

Значительно более сложный процесс формирования поведения трактовался в различных мифологиях и религиях как результат взаимодействия души не столько с материальным миром (через тело), сколько с потусторонним миром душ, богов, призраков и прочих нематериальных субъектов.

Авторы мифов и религий давали рекомендации, как раскрыть имеющиеся у души неограниченные способности как в реальной, так и в загробной жизни. Для подавляющего большинства людей возможность использовать прекрасные свойства души откладывалась на «жизнь» после смерти, но отдельные личности «помазанники божьи» могли это сделать в процессе телесной жизни. Это давало им способность неограниченно превосходить «простых смертных» в возможностях души.

Преимущества различных мифологий и религий, как правило, доказывались в военном и/или экономическом противостоянии носителей различных теорий. Именно так трактовалась самоорганизация в социальном или цивилизационном пространстве. Но обоснование строилось на идеях более высокого совершенства использованных победителями нематериальных сущностей. В условиях соревнования различных религий и их ветвей никто из

их авторов и последователей не был заинтересован в установлении ограничений для своих богов и их «помазанников». Отличалась лишь «полезность» различных богов для людских дел, а в «идеальном» мире все боги были примерно равны по уровню своего всемогущества.

До появления монотеизма отношения среди многочисленных богов воспроизводили модель человеческого сообщества: кто-то был сильнее, а кто-то – слабее. Это, до некоторой степени, противоречило идее безграничности возможностей богов (а как следствие – и человеческой души «помазанников»). Переход к единобожию решил эту проблему лишь отчасти, поскольку наличие безграничных возможностей и в этом случае приводит к противоречиям. Например, даже единственный бог не может одновременно быть всеведущим и всемогущим, так как (при выполнении обоих условий) он не сможет совершать действия с неизвестным заранее результатом.

Но, если не брать во внимание подобные логические парадоксы, нематериальные души и боги очень полезны в конкурентной борьбе как внутри человеческих сообществ, так и между ними. Они позволяют приписать неограниченные возможности формирования действий людей нематериальным сущностям и сделать их, как минимум, конкурентоспособными в борьбе с нематериальными сущностями противников. (Теоретически) сила духа может преодолеть любые материальные преграды, ведь в отличие от физических объектов возможности души не поддаются измерению.

7.3 Основной вопрос философии

История цивилизации показывает, что для прогресса необходимо не только развитие «души», но и тела, и, что главное, технологий. Но все эти ветви прогресса имеют тенденцию двигаться вперёд совместно и одновременно. Не бывает так, чтобы высокодуховная страна не обладала передовыми технологиями. Конечно, конкурирующие страны взаимно обвиняют противников в низкой духовности или, как сейчас принято, в недоразвитости или фальшивости демократии, но каждый рассказывает про свои замечательные успехи в данной области. И на самом деле, у стран-лидеров в области технологий и экономики, как правило, есть успехи и в духовном развитии. Но технологический и духовный подъём при этом в каждой отдельной стране или империи обычно совпадает с ростом экономики. Более того, даже успехи на Олимпиадах как в древности, так и в современную эпоху, в большинстве своём демонстрируют представители экономически развитых (на момент получения медалей) стран.

Выяснить, что является причиной, а что – следствием, бывает непросто, поскольку историю пишут победители. И сложно себе представить, что они поставят причиной своего возвышения предательство ими друзей, ограбление соседей или обман туземцев при заключении кабальных договоров. Как правило, в качестве источника успехов указывается душевный подъём, который

уже потом позволяет осуществлять ратные подвиги, упорный труд и вдохновенное творчество, в том числе и по развитию технологий.

В принципе, все направления прогресса цивилизации важны, и их параллельное развитие даёт эффект синергии. Наибольших успехов достигают сообщества, сумевшие организовать успешное (по сравнению с другими в условиях своей эпохи) и гармоничное сочетание всех направлений. И мифотворчество – один из путей создания «душевного подъёма» в сообществе.

Но есть и другая сторона развития в условиях конкуренции: «За всяким большим состоянием скрывается преступление». Эта вымышленная цитата Оноре де Бальзака служит эпиграфом к знаменитому роману Марио Пьюзо «Крёстный отец», изданному в 1969 году. Реально существовавшему мафиози Аль Капоне приписывают не только выражение про доброе слово и пистолет, но и «Капитализм – это легитимный рэкет господствующего класса». Эти фразы получили популярность именно потому, что хорошо отражают важность материальной составляющей при достижении целей. При этом вопрос соответствия материальных методов декларируемым духовным ценностям, как правило, является вторичным.

Решение «основного вопроса философии» (наличие или отсутствие нематериальных сущностей и их взаимодействие с материальными) – вопрос веры. Никакие, даже самые разумные, доводы не смогут сломить глубокую веру в одно или другое решение. Технический прогресс даёт всё больше аргументов в пользу того, что явления духовной сферы производятся материальными процессами, и для веры в наличие в природе нематериальных сущностей остаётся всё меньше оснований. Но если 400-500 лет назад за отрицание веры в нематериальные сущности могли сжечь на костре, то сейчас большинство развитых стран отделили церковь от государства, и даже там, где это не произошло, отношение к вопросам веры стало более мягким (в разных странах – в различной степени). Об однозначном отказе от нематериальных представлений речи не идёт, далеко не все явления природы получили научное объяснение. Но даже в тех областях познания, где выявлены и описаны материальные причины наблюдаемых явлений, общественное сознание предпочитает использовать нематериальные теории, которые не обязательно проще, зато лучше соответствуют культурной традиции.

7.4 Недостаточность знаний для научного объяснения процессов мышления

Нематериальные теории мышления (не основанные на физических и химических моделях нервной ткани или другой структуры, на которой осуществляется процесс мышления) были и остаются наиболее востребованными в данной области знаний. Огромный объём экспериментальных данных и множество теоретических моделей направлены либо на изучение свойств простых элементов (мембран, синапсов, отдельных нейронов и их небольших структур), либо на описание всей нервной системы

или её крупных блоков. Попытки построить всеобъемлющее описание – от свойств отдельного нейрона до формирования разумного поведения (человеческого уровня) – делаются, но созданные теории не стали общепринятыми.

В значительной степени процесс тормозится представлениями о безграничных возможностях души, которая якобы ответственна за формирование разумного поведения человека. Сторонники традиционных, сложившихся в древности теорий мышления, отмечают ограниченные возможности любых материалистических моделей формирования поведения, что, естественно, всегда хуже, чем безграничные способности нематериальных сущностей.

Даже нейросетевая революция, позволившая создать всё возрастающее число технических устройств, решающих «интеллектуальные» задачи лучше человека, пока что не сумела нанести серьёзного удара по прежним представлениям, основанным на нематериальности процесса мышления. Как и всякое техническое устройство, системы, реализующие нейросетевые алгоритмы, имеют хоть и большие, но всегда ограниченные возможности.

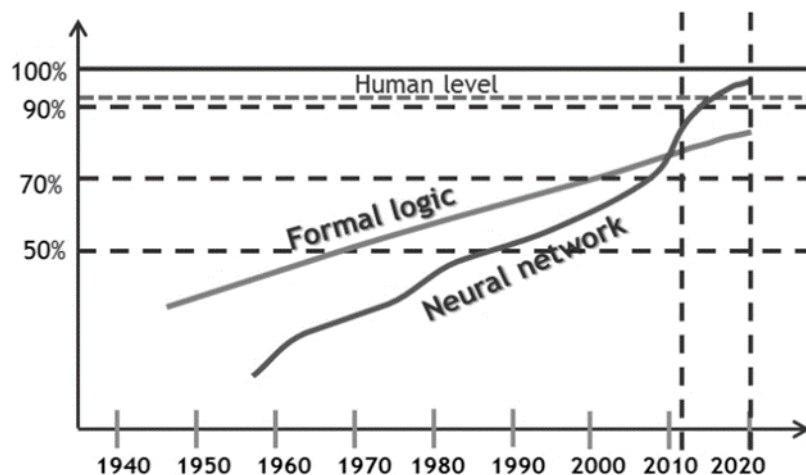


Рис. 4. Увеличение в процентах безошибочного решения «интеллектуальных» задач при использовании различных подходов.

8 Нейросетевая революция в ИИ – большие успехи и реальные ограничения

8.1 История

После доказательства теоремы Тьюринга и появления компьютеров [7], основанных на схемах фон Неймана, проблема создания «умных» устройства перешла в практическую плоскость. Мы можем выполнить любой алгоритм на компьютере, и теперь задаемся вопросом: сумеем ли мы представить разумную интеллектуальную деятельность в виде набора алгоритмов?

Термин «искусственный интеллект» (ИИ) был предложен Джоном Маккарти на семинаре в Дартмуте [29], состоявшемся летом 1956 года.

После Дартмутского семинара сформировались два основных направления в подходах к созданию ИИ: формально-логическое и нейросетевое, «опрятное» и «неряшливое». В 1960-х годах Джон Маккарти был лидером «чистых», утверждая, что «математически точное мышление = семантическое представление вывода». Лидером «нерях» был Марвин Мински [30], который развивал идеи самоорганизации, машинного обучения, формирования семантики.

Имитация внешних проявлений рациональной деятельности послужила основой успеха формально-логических подходов на ранних этапах решения «интеллектуальных» задач. Это более короткий способ решения индивидуальных проблем, чем разработка универсальных подходов к решению широких классов задач, на которые нацеливались «неряхи». Десятилетиями не удавалось превзойти уровень «опрятных»; зазор «неряшливых» сменялся пессимизмом. Две «весны» уступали место двум «зимам» ИИ перед достижением превосходства нейросетей в 2010-2012 годах. Динамика конкуренции между двумя направлениями ИИ показана на рис.4.

Использование нейросетевых подходов до сих пор не всегда позволяет решать задачи хотя бы на человеческом уровне. Но если раньше в большинстве «интеллектуальных» задач уровень человека казался недостижимым, то с 2015-2018 гг. начался процесс массового превышения возможностей человека различными техническими устройствами и системами.

8.2 Современный уровень развития ИИ

Нейронные вычисления требуют мощных компьютеров, больших объемов данных и алгоритмов нейронных сетей. Сегодня основным способом решения значительного количества задач ИИ (хотя и не всех) является использование глубоких нейронных сетей (DNN). Самым важным свойством DNN является их способность автоматически настраивать миллиарды своих параметров с помощью метода обратного распространения ошибок (BPE). Успехи теории DNN можно условно разделить на два основных направления: разработка новых вычислительных схем нейронных сетей и совершенствование методов автоматической настройки параметров (обучения). На рис. 5 показано последовательное усложнение нейронных сетей от отдельных элементов до блоков. LSTM здесь долговременная-коротковременная память.

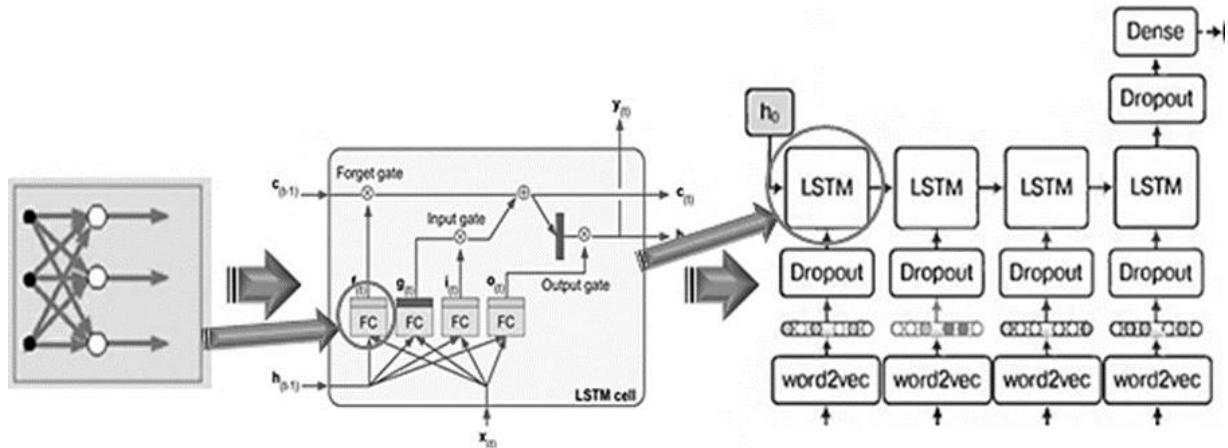


Рис.5. Этапы усложнения вычислительной структуры нейронной сети.

Помимо полносвязных (FC) многослойных сетей, при разработке появилось много плодотворных идей: CNN – сверточная NN; RNN – рекуррентная НС; GAN – генеративные состязательные сети; ResNet – остаточные сети глубокого обучения. Не менее значим и прогресс в совершенствовании методики обучения: он привел к тому, что за последние десять лет количество слоев в DNN увеличилось с единиц до сотен, а количество обучаемых параметров – с тысяч до сотен миллиардов. Но это «внутренняя кухня», которую конечный пользователь может даже не заметить.

8.3 Цифровое описание реального мира

Каждый месяц пользователей впечатляют новые успехи в обработке сигналов реального мира. В век цифровых технологий такие преобразования производятся на многих устройствах и не вызывают большого удивления. Особенно после того, как эти устройства становятся элементами повседневной жизни.

Но иногда требуется определенная изобретательность, чтобы передать значение слова или выразить настроение в векторной форме. Были разработаны нейросетевые подходы, например Wordtovec [31] и Glove, которые позволяют формировать векторное описание значений слов. Методы векторизации продолжают совершенствоваться.

Сложность состоит не только в создании цифрового векторного описания, но и в формировании успешной метрики. Современное развитие схем нейросетевых вычислений позволяет и создавать аппроксимацию преобразований, и формировать успешные метрики $\vec{X} \rightarrow \vec{Y}$.

Это не значит, что все проблемы создания ИИ уже решены. В Тьюринговской лекции крестных отцов глубокого обучения [32] основное внимание уделяется не столько успехам, сколько проблемам, которые ещё предстоит решить. И делается вывод, что без привлечения новых идей серьезного продвижения в деле создания ИИ ожидать сложно.

8.4 Ограниченность возможностей реальных устройств

Прежние представления о безграничных возможностях нематериальных сущностей обычно переносятся на прогрессивные для своей эпохи материальные объекты и устройства. В древности такими объектами были книги, в которые можно было записать сокровенное знание. И для того чтобы решить любую проблему, следовало просто найти нужную книгу и прочитать необходимое заклинание. На всякий случай знать запрещала простолюдинам читать книги.

Сейчас идея о безграничных возможностях проецируется на нейросетевые устройства и системы, которые, якобы, могут решить любую задачу. Так же, как и с книгами, в которые можно записывать всё больше знаний, устройства на основе сетей формальных нейронов тоже можно, и успешно, учить всё большему числу задач. Но всегда найдутся проблемы, для решения которых нейросетевые устройства придётся не только обучать, но и зачастую менять структуру заложенных в них сетей.

Это общее свойство всех реальных устройств: для них можно рассчитать параметры производимых устройствами действий. Никогда бесконечных значений не получится. В вычислителях можно попытаться разделить на ноль, что теоретически должно иметь результатом бесконечность. Но на практике на выходе вычислителя будет не бесконечность, а сообщение об ошибке.

Возможности устройств могут быть очень велики, но они всегда конечны. При этом следует учитывать, что совершенствование устройств не только расширяет их возможности, но и несёт опасность потери контроля над мощными и способными нанести вред человеку объектами. Человечество не только всегда стремилось расширить свои возможности за счёт применения инструментов, домашних животных и устройств, но и вырабатывало правила их безопасного использования. Соображения безопасного использования тоже, как правило, ограничивают величину параметров производимых устройствами действий. Излишняя скорость, мощность, напряжение и ряд других параметров снижают безопасность применения механизмов и приборов.

Не следует стремиться и к слишком высоким параметрам «разумности» нейросетевых устройств. Это только на первый взгляд кажется, что чем умнее – тем лучше. Но слишком большая разница в «разумности» отдельных устройств может привести к потере контроля над их деятельностью. Лучше создать много независимых устройств (агентов AGI), которыми можно управлять и использовать для взаимного контроля, чем иметь малое число сверхмощных AGI, но не рассчитанных ни на взаимный контроль, ни на понятное человеку управление. Подробнее преимущества агентского подхода ИИ рассмотрим в п. 10.

При этом следует понимать, что будем ли мы специально ограничивать возможности агентов AGI или нет, это скажется только на сохранении или потере контроля над развитием цивилизации со стороны человеческого сообщества. Вне зависимости от сценария технического процесса полные,

исчерпывающие знания, необходимые для формирования наиболее разумного поведения, никогда не будут достигнуты. Хотя процесс их получения может продолжаться бесконечно (а может, в случае планетарных катастроф различной природы, и прерваться...). Сложность реального мира такова, что никакому устройству никогда не хватит его возможностей и данных для исчерпывающего предсказания многих событий.

9 Пять степеней сложности формирования поведения в реальном мире

9.1 Аппроксимация преобразований

Достаточно наивными являются представления, что нейросети (как живые, так и искусственные) просто осуществляют преобразования входного сигнала в выходной, $\vec{X} \rightarrow \vec{Y}$. Просто запомнить, что нужно делать в разных ситуациях, невозможно – сложные ситуации обычно не повторяются.

Но и при работе с относительно простыми объектами нельзя просто запомнить все входные сигналы. Даже в логических играх типа шахмат или го, общее число различных позиций намного превосходит возможности их перебора средствами вычислительной техники. Как современной, так и той, которая будет создана в ближайшие десятилетия и даже столетия.

Тем не менее, компьютеры уже сейчас выигрывают у чемпионов мира по шахматам и го. Это достигается тем, что запоминаются не все возможные позиции, а только некоторые, а оценка и выбор дальнейших ходов для других позиций вычисляется путём аппроксимации. Используются подходы обучения с подкреплением, RL (Reinforcement Learning). Если внешнее подкрепление выдаётся не сразу, то нарабатываются внутренние оценки для промежуточных действий (Q-learning, от слова quality – качество). Нейросетевой реализацией подхода является DQN (Deep Q Networks).

Естественно, что аппроксимация – не единственный метод, позволяющий продвинуться в решении сложных, недоступных для анализа методом полного перебора, задач. Но даже построение функции отображения $\vec{X} \rightarrow \vec{Y}$ для относительно простых задач с размерностью вектора входного сигнала \vec{X} больше 3-4 требует значительных вычислительных затрат и больших объёмов обучающих данных. Если строить функцию аппроксимации управления одномерным объектом по одному каналу, то размерность задачи может быть уже выше, чем 3-4. Дело в том, что есть текущее состояние объекта, а есть и целевое. Каждое из состояний может характеризоваться больше, чем одной переменной (например, положение и скорость). А целью управления может быть не только приведение объекта в конечное состояние, но и выполнение некоторых требований к траектории изменения состояний объекта в фазовом пространстве. Эти требования тоже могут задаваться несколькими переменными.

9.2 Декомпозиция описания

Строить аппроксимации преобразований $\vec{X} \rightarrow \vec{Y}$ можно только для относительно простых объектов и явлений. В сложном реальном мире необходимо уметь производить декомпозицию сцен на простые элементы, позволяющие построить аппроксимацию преобразований $\vec{X} \rightarrow \vec{Y}$.

Уменьшить сложность преобразования можно также его линеаризацией (за счёт удачного выбора осей) и использованием метода главных компонент (principal component analysis, PCA) – одного из основных способов уменьшить размерность данных.

Перспективным представляется способ, основанный на прогнозировании поведения простых объектов и явлений при наблюдаемых воздействиях. Если сцена прогнозируется успешно (с маленькой ошибкой), то она составлена из известных нам объектов, поведение которых мы умеем прогнозировать. Если же ошибка прогноза велика, то отличие наблюдений от прогноза и является новым объектом, описание которого предстоит построить.

Это будет возможно, если новый объект достаточно прост для построения аппроксимации $\vec{X} \rightarrow \vec{Y}$. Если нет, то требуется получить знания об отдельных частях сложного объекта в более простых ситуациях и уже затем пытаться построить аппроксимацию для более сложного объекта.

Скорее всего, для этого надо будет осуществлять иерархическую декомпозицию на объекты, подобъекты, их части и т. д. Но в любом случае, задача декомпозиции сложных сцен более трудная, и она включает построение аппроксимаций простых объектов и явлений как свою часть.

9.3 Анализ вариантов поведения

Если мы всё понимаем в наблюдаемой сложной сцене, то это не значит, что мы уже знаем, как нам лучше действовать. Последовательность и структура действий могут быть очень разнообразными и, как правило, не поддаются анализу методом полного перебора. Но сравнение прогнозов полезно.

Сложные сцены могут быть сформированы из большого числа простых объектов и явлений. Число всевозможных комбинаций так велико, что сложные сцены практически никогда не повторяются. Заранее просчитать действия для всех возможных вариантов невозможно, и необходимо осуществлять баланс между быстрой реакцией и обдуманностями действиями.

Поскольку прогнозы делаются методом аппроксимации, то более-менее точными могут быть только краткосрочные предсказания. Все сложные сцены в той или иной мере развиваются непредсказуемо, и просто следовать выбранному для начальной ситуации плану действий удаётся редко. Обычно планы подвергаются корректировке в связи с неожиданными обстоятельствами...

9.4 Выбор целей

Ещё более сложной является задача выбора целей действий. Такой выбор тоже требует анализа различных вариантов действий, но если выполняемые действия можно корректировать под изменяющуюся ситуацию, то какие ситуации возникнут в процессе достижения цели, можно только предполагать. Тем не менее, если цель становится недостижимой или появляется более лёгкая и/или полезная цель, то и цель действий тоже может быть изменена. Но для этого необходимо осуществлять сравнительный анализ различных целей, степени их достижимости и полезности.

9.5 Определение желаний

Для проведения сравнений не только целей, но и последовательностей действий необходимо формировать их оценки. Считается, что у высокоразвитых животных этим занимаются центры удовольствия, которые служат системой указателей не только того, что вкусно и приятно, но и того, что больно и противно. Модулирование поведения нервных сетей центры удовольствия осуществляют гуморально, путём выделения различных гормонов в кровь и спинномозговую жидкость. Внешне это выражается проявлением эмоций (которые можно и скрыть...).

Значительная часть наблюдаемых ситуаций эмоционально безразличны, но их оценка может определяться тем, ведут ли эти ситуации к желанной цели. В RL нейросетях (сетях с подкреплением Reinforcement Learning) развивается подход DQN, в котором оценка ситуации нарабатывается как оценка достижения из неё конечной цели, что рассматривается как аналог эмоционального окрашивания безразличных ситуаций.

У животных и человека удачность построения центров удовольствий подтверждается выживанием в процессе эволюции, а у агентов AGI данный вопрос проработан слабо. И выбор свойств их «центров удовольствий» должен быть основан не просто на выживании, а на способности взаимодействовать с человеческим сообществом с учётом цивилизационных норм. Это потребует не только крайне больших объёмов моделирования, но и отбора среди физически реализованных агентов AGI.

10 Необходимость агентского подхода к построению AGI

Выше были указаны желательность ограничения мощности «разума» агентов AGI для лучшего их «вливания» в человеческое сообщество и возможности сравнительного отбора агентов AGI с разными свойствами заложенных в них «центров удовольствий».

Весьма сложные как физические, так и умственные задачи могут быть решены путём организации в сообщества нескольких относительно слабых (как физически, так и в мыслительном плане) людей. Процесс решения сложных задач ускоряется, если использовать не только людей, но и

специализированные под задачу устройства. Аналогично можно решать сложные задачи большими коллективами относительно слабых агентов AGI. Это не только повысит безопасность использования агентов AGI в человеческом сообществе, но и позволит более гибко применять агентов AGI для решения различных задач.

Но есть и ряд других причин. Важнейшим свойством цивилизованного человека является то, что его жизненные ценности определяются не столько врождёнными свойствами центра удовольствий, сколько привитыми ему цивилизационными нормами. Малое число мощных агентов AGI будет иметь меньшую степень взаимодействия с человеческой цивилизацией по сравнению с большим числом относительно слабых агентов AGI. Постепенно будет расти и мощность «разума» каждого отдельного агента AGI. Но после накопления достаточного опыта взаимодействия живых людей с агентами AGI опасность увеличения «разумности» AGI для человеческой цивилизации будет заметно снижена.

И главное. Каким бы мощным и разумным ни был агент AGI, полученные им знания и навыки всегда будут локально-оптимальными. Все пять степеней сложности реального мира постепенно, но поддаются познанию. Однако все знания не абсолютны, а локально оптимальны. И теории, которые описывают эти локально-оптимальные знания, тоже могут быть улучшены. Чтобы находить новые, более глубокие локальные минимумы, необходимо получать индивидуальный опыт не только взаимодействия с реальным или виртуальным миром, но и прохождения пути познания его свойств и выработки планов действий. Для этого желательно иметь по возможности большее число агентов AGI.

11 Социальная значимость мифов и легенд в реальной жизни

Агенты AGI, которые будут созданы в обозримом будущем, вне зависимости от заложенной в них мощности, будут обладать ограниченными возможностями. Желательно ещё и дополнительно: законодательно, конструктивно и другими средствами ограничивать возможности агентов AGI. Как это будет соотноситься с распространёнными мифами про неограниченные возможности души и отдельных людей в целом?

Социальную значимость мифов и легенд о неограниченных возможностях отдельного человека преподносят как способ вдохновения на трудовые и ратные подвиги. Отчасти это так, когда вдохновляется население на подвиги в пользу руководящей касты. Но есть и другое значение данных мифов...

Мифы про «безграничность» направлены на внушение мысли, что для борьбы за свои права, против руководящей касты, можно бороться одному и победить – ведь индивидуальные возможности безграничны! Если старые мифы уже теряют популярность, то создаются новые. Так, большинство

фильмов Голливуда – это именно такие мифы про безграничные возможности отдельных личностей. Причём это не только Супермен и Человек-паук, но и всевозможные «Одинокий волк Маккуэйд» и «Крепкий орешек». Все они борются со злом в одиночку и побеждают! Понятно, что властной касте значительно проще держать оборону от одиночек, пусть и с выдающимися (но, на самом деле, далеко не безграничными) возможностями, чем от организованного сопротивления.

Появление социальных сетей позиционировалось как способ преодолеть раздробленность общества, его сильную зависимость от, как правило, находящихся в руках правящей касты средств масс-медиа. Через эти средства в общественное сознание как раз и внедряются, а затем поддерживаются социальные мифы. Утверждалось, что социальные сети, типа Facebook, позволят каждому высказать своё собственное мнение и любые мысли, которые получают поддержку большинства пользователей сети, будут широко распространяться и определять направления формирования общественного сознания.

На практике получилось совсем не так, что разносторонне проанализировано в книге [33]. Правда в современном мире – вещь субъективная и не всегда пригодная к широкой огласке. И отнюдь не все пользователи соцсетей заинтересованы в предоставлении правдивой, а не тенденциозной (а иногда и просто лживой...) информации. При этом права пользователей, права рекламодателей, разработчиков, политиков и права ряда других групп – это совсем разные права. Как по распространению собственной информации, так и по доступу к чужой.

В книге [33] на примере сети Facebook (имеющей более – 2,5 млрд пользователей) показывается, что интересы пользователей важны для компании, предоставляющей услуги соцсетей. Но только в той мере, в которой они не противоречат интересам развития компании. А устойчивое развитие компании возможно только при условии, что её деятельность не вредит руководящей касте, что полностью перечёркивает пропагандируемую цель создания соцсетей: учёт мнения каждого. Мифы по-прежнему распространяются только те, которые устраивают руководящие касты. И наличие разных мифов говорит только о наличии конкурентной борьбы между различными руководящими кастами за сознание пользователей. Эта борьба на практике выливается в создание ими противоборствующих команд сетевых троллей, осуществляющих вброс различной тенденциозной информации в сетевое пространство.

Социальные сети находятся в стадии роста и развития, правила их использования постоянно меняются. Но общая тенденция изменений в правилах постоянна: удовлетворять запросы правящих каст по контролю за сознанием масс. Как в потребительском, так и в политическом плане. Причём хозяева социальных сетей, по мере их роста, во всё большей степени становятся

членами руководящих каст и сами заинтересованы в распространении социальных мифов.

Но, продвигая мифы про неограниченные возможности, руководящая каста сама уже давно в них верит. Всегда найдутся популяризаторы, которые готовы убеждать руководство в том, что это их личные достоинства обеспечили успех дела, а не организация, которой они руководят. Вера в собственную исключительность позволяет руководящей касте всерьёз рассчитывать на то, что они вполне смогут обойтись без «простых смертных», заменив их на роботов и агентов AGI. Это выражается в том, что не только обсуждаются, но и проводятся реальные эксперименты по введению безусловного базового дохода, называемого также *безусловным основным доходом* (БОД). Переведение значительной части населения Земли на БОД выведет его из экономического процесса, сделает людей бесполезными, оставив при этом на некоторое время трудовым резервом. Если эксперименты по роботизации производств и введению в повседневную жизнь агентов AGI будут успешными, можно будет быстро (не только ограниченность медицинских услуг, но и просто осознание своей бесполезности – путь к завершению жизни) свести численность такого трудового резерва к нулю. Ряд способов бескровного достижения этого уже отработывается в процессе мероприятий, проводимых в рамках объявленной пандемии.

12 Разделение труда и конкуренция – двигатели и ориентиры дальнейшего прогресса

Легко заметить, что предлагаемые руководящей кастой планы преобразования цивилизации прямо противоречат сложившимся традициям её развития, особенно в плане ограничения и тем более сокращения численности населения. Создание и прогресс цивилизованного общества, резко выделившие человека из животного мира, основаны на разделении труда, конкуренции и использовании лучших практик. Разделение труда ведёт к повышению его производительности, усилению конкуренции, более быстрому формированию новых технологий.

Углубление разделения труда всегда ограничивалось численностью населения (и транспортной доступностью при товарообмене). Повышение численности населения, как и улучшение транспортной доступности, всегда способствовали прогрессу. Если будут созданы агенты AGI, то они тоже могут быть включены в процесс разделения труда, конкуренцию и формирование лучших практик.

В эпоху ИИ численность населения надо не сокращать, а увеличивать. При этом следует заботиться о повышении образовательного уровня населения, включении всё большей части жителей Земли в творческий труд во взаимодействии с агентами AGI. Тяжёлый, монотонный труд во всё большей степени следует выполнять с использованием автоматов и роботов.

Ориентирами дальнейшего прогресса цивилизации должны сохраняться углубление разделения труда и конкуренция. Причём на различных, в том числе и межгосударственном, уровнях. При любом государственном устройстве руководящая каста рано или поздно приходит к кризисам, и её государство начинает проигрывать как в экономической, так и в военной сферах. Пока сохраняется межгосударственная конкуренция, вырождение отдельных руководящих каст не представляет серьёзной опасности для человечества в целом. Хотя население руководимой вырождающейся кастой страны и вынуждено проходить через серьёзные страдания, цивилизация в целом сохраняется.

Если же будет сформирован монополярный мир с единым руководством всей цивилизацией, то конкуренция государственных устройств и реализующих их руководящих каст прекратится. При этом вырождение единственной оставшейся на Земле руководящей касты (которое уже просматривается в предложениях ввести БОД...) не будет скомпенсировано её заменой на другую, более «пассионарную» руководящую касту.

При этом не следует думать, что межгосударственная конкуренция должна быть дикой, неуправляемой. Всякую конкуренцию, как и разделение труда, необходимо контролировать и регулировать в интересах сообщества. И одним из главных направлений межгосударственной конкуренции является организация управления разделением труда и конкуренцией таким образом, чтобы стимулировался экономический прогресс более высокими темпами, чем в других государствах.

13 Государственная политика в области ИИ

Единых взглядов на то, какие направления развития ИИ являются наиболее перспективными, пока научному сообществу выработать не удалось. Хотя почти всеми признаётся наличие значительного прогресса после нейросетевой революции в машинном обучении, указывается и на большое количество нерешённых проблем (напр. [32]). Это приводит к тому, что (с разным уровнем финансирования) развиваются различные направления решения «интеллектуальных» задач, и не только нейросетевые. Тем не менее, за последнее десятилетие не только произошёл многократный рост числа успешных «интеллектуальных» коммерческих продуктов, и это явление стало массовым, но и сформировалась целая ИИ-отрасль промышленности. В отрасль входят не только линии по сборке конечных продуктов, но и предприятия, выпускающие специализированные компоненты, проектные институты и лаборатории, разрабатывающие технологии производства устройств и систем, программы подготовки специалистов в данной области и многое другое. Естественно, что для успешного развития ИИ-отрасли необходима государственная поддержка. Особенно для перспективных исследований, коммерческая привлекательность которых неочевидна.

Хотя ясного и твёрдого понимания роли государства в развитии ИИ, и наоборот, значения ИИ в формировании государственной политики, ни у кого нет, на ИИ-отрасль, начиная с 2017 года, обращают внимание во всё большем числе стран. На рис. 6 (взятом из отчёта [34]) показаны сроки принятия связанных с ИИ-отраслью постановлений до конца 2019 г. Список не претендует на полноту, поскольку в нём отражены только открытые документы политики разных стран в данной области, а выпускаются ещё и закрытые, не предназначенные для публикации постановления, которые в обзор [34] не вошли. И, естественно, за 2020-2021 гг. ещё большее число стран приняло программы и законы, направленные на развитие и контроль ИИ-отрасли.

Всегда было понятно, что подходы к развитию ИИ и вклад разных стран в данной области различаются. Уже в 2019 г. в обзоре [34] все страны, принявшие постановления по ИИ-отрасли, были разделены на 3 группы:

- глобальные технологические флагманы — фактически, это два государства: Китай и США.
- региональные хабы — серьёзные игроки, не способные стремиться к глобальному технологическому лидерству, хотя такая задача обычно прописана у них в документах. В обзоре рассмотрены несколько таких стран – Германия, Индия, Россия, Япония и др.
- хайперы — страны, выпустившие документ по ИИ-отрасли просто с целью привлечь к себе внимание. В качестве примера в обзоре приводятся Кения и Саудовская Аравия.

Наличие глобальных и региональных лидеров ИИ только усугубляет ситуацию, когда политические решения принимались в русле политики страны-лидера: США, России, Китая и ряда других. Свои интересы страны-лидеры могли продвигать через международные организации: ООН, МВФ, ВТО, НАТО и другие, но страны, следующие «в русле», могли быть уверены только в том, что соблюдены интересы именно страны-лидера. А политикой и общественным мнением в остальных странах лидеры манипулировали (и продолжают это делать...) в своих собственных интересах.

Сейчас к стандартным средствам манипулирования (военным, финансовым, технологическим и (естественным) интеллектуальным ресурсам) во всё большей степени будут добавляться ИИ-решения, которые в сочетании с цифровизацией общества и большими данными могут стать ведущим средством управления ведомыми странами. Авторы обзора [34] отмечают, что «сегодня мир встал перед угрозой так называемого «ИИ-неоколониализма», то есть риска попадания в зависимость от чужих ИИ-решений. Общество, использующее их, не сможет гарантировать ни своей безопасности, ни своего суверенитета». В национальных программах развития ИИ уже делаются попытки борьбы с ИИ-неоколониализмом. Обзор выделяет 2 принципа: — ИИ-национализм и ИИ-национализация. Первый принцип направлен на обеспечение национальных и военных интересов государства, даже если исследования и разработки проводятся коммерческими компаниями. Второй предполагает, что результаты исследований и применения ИИ-систем должны принадлежать государству.

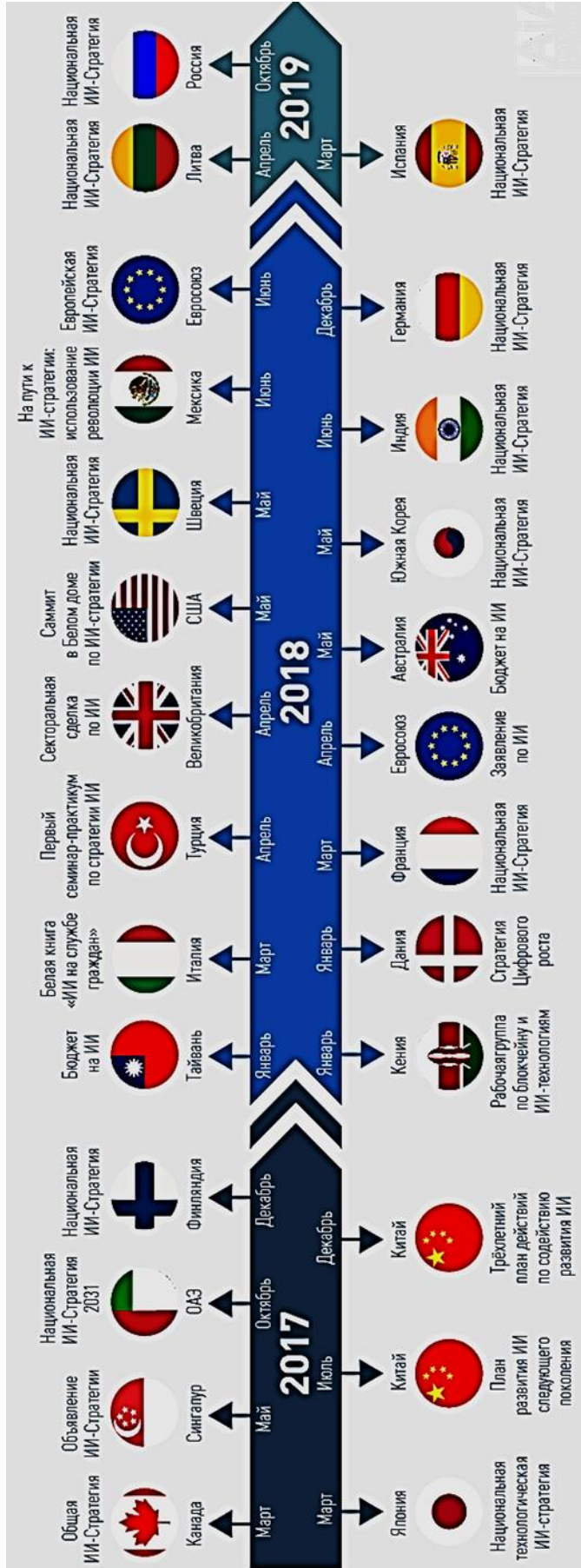


Рис. 6. Сроки принятия программ развития ИИ различными странами

Большинство лидеров стран (включая В.В. Путина) заявляют, что результаты прогресса в области ИИ должны пойти на пользу всему человечеству и проводимые в их странах исследования являются открытыми и полностью доступными для мировой общественности. Но, как правило, они даже не пытаются объяснить, как такая позиция согласуется с национальными интересами и узкими целями руководящих каст их стран.

Естественнее представить состояние дел в ИИ-отраслях разных стран как гонку ИИ-вооружений, в которой важны не столько сотрудничество и международное разделение труда, сколько победа любыми средствами. Поскольку ИИ-решения во всё большей степени становятся центральными компонентами вооружений, производственных процессов, информационных технологий и науки – главной движущей силы современного прогресса. Это ведёт к тому, что страны, не вошедшие в число, если не глобальных, то хотя бы региональных лидеров ИИ, станут неконкурентоспособны в международных экономическом, военном, образовательном, научном и других соревнованиях.

Это достаточно быстро приведёт не только к потере их независимости, но и суверенитета.

Понимание необходимости иметь эффективную национальную программу развития ИИ постепенно проникает в умы представителей руководящих каст. Особенно в тех странах, которые претендуют играть заметную роль в международной политике. И Россия не является исключением. Одним из проявлений этого процесса стал подписанный В.В. Путиным 10 октября 2019 г. Указ № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" [35]. С тех пор прошло уже 2 года, и можно обсуждать не только о заложенные в Указ цели, но и успешность процесса их реализации.

Нельзя сказать, что в области ИИ у РФ всё плохо. На фоне Кении и Арабских Эмиратов мы выглядим вполне солидно. Сравнить же с лидерами – Китаем и США – не вполне целесообразно, поскольку размер экономики России составляет менее 10% от экономик любой из этих двух стран.

Тем не менее, равняться надо на лидеров. Интересны девизы, которые авторы обзора [34] приписали программам по ИИ Китая, США и РФ:

- Китай: Я взлечу ввысь к глобальному техническому лидерству!
- США: Я финансировал ИИ, когда это ещё не было мейнстримом!
- РФ: Мы – русские, с нами ИИ!

Эти девизы отражают то, что Китай начал гонку ИИ позже, но сейчас вырывается в единоличные лидеры [28]. Хотя мы, следуя за США, привыкли считать, что Китай может только копировать чужие достижения. Сегодня это – не так.

Девиз же РФ отражает то, что мы больше надеемся на чудо и прочие эмерджентность, синергичность, холизм, системный или сверхаддитивный эффекты и др. Что, по сути, всё означает ожидание внезапного появления, возникновения чудесных свойств ИИ самопроизвольно, без приложения серьёзных усилий с нашей стороны. Чудеса случаются, но было бы лучше всё-

таки прикладывать для этого некоторые, сравнимые или хотя бы пропорциональные затратам лидеров, усилия.

Сам факт наличия российской программы развития ИИ, конечно, прогрессивен. Но содержание программы имеет ряд важных отличий от программ США и Китая, каждое из которых, на наш взгляд не способствует созданию условий, при которых Россия могла бы претендовать на роль хотя бы регионального лидера ИИ. Основные отличия касаются:

1. развития частной инициативы;
2. поддержки стратегических целей развития ИИ;
3. нейросетевых подходов к ИИ;
4. объёмов финансирования.

Рассмотрим отличия по пунктам:

1. Все три программы (Китая, США и РФ) предполагают поддержку частной инициативы, но отличаются направленностью и формами этой поддержки.
 - a. В Китае основным направлением является повсеместное (во всех крупных городах) внедрение инновационных центров. В этих центрах развиваются разные тематики, но ИИ занимает центральное место. Только городов-миллионников в Китае сейчас больше 100, и к 2025 году их количество вырастет почти в 2 раза и составит около 200. Причинами стремительного роста городов считается политика партии по развитию городов и улучшению городской инфраструктуры. Быстрый рост числа и развитие возможностей инновационных центров даёт основу для достижения лидерства в области ИИ.
 - b. В США в меньшей степени выражено распространение инновационных центров по стране. Значительная часть расположена в Кремниевой долине. Государство меньше вкладывается в улучшение условий для создания стартапов. Но есть сформированные институты правовой поддержки предпринимателей, которые позволяют инициативному населению верить в надёжность и безопасность вложений в инновационный бизнес. Кроме распределения грантов, правительственные организации (DARPA) проводят конкурсы (с заранее объявленными призами), стимулирующие частные организации решать важные для развития ИИ задачи. Тем не менее основные центры по развитию ИИ сосредоточены в IT-гигантах (таких, как Google и Facebook)
 - c. В РФ есть и инновационные центры (Сколково, Иннополис и др.) и проведение конкурсов на решение «интеллектуальных» задач («Сбером»). Но число инновационных центров можно пересчитать по пальцам, а конкурсы не сравнимы с аналогичными, проводимыми DARPA. Но главное, не

сформировались институты поддержки инновационного частного бизнеса, которые бы пользовались доверием у населения страны. Всё вместе это проигрывает мерам, предпринимаемым в Китае и США.

2. Поддержка стратегических целей развития ИИ в трёх странах осуществляется по-разному, и везде есть проблемы с их формулировкой. Тем не менее:
 - а. В Китае нет единого стратегического центра (кроме КПК...) и в национальной программе по ИИ развитию фундаментальных исследований не уделяется явно выраженного внимания. Но в условиях, когда в ИИ-отрасли работает несколько миллионов китайцев, крупные фирмы, центры и отдельные энтузиасты (процент которых не велик, но от нескольких миллионов составляет не одну тысячу) инициативно развивают теоретические аспекты создания ИИ, имеющие непосредственную связь с решаемыми ИИ-отраслью практическими задачами.
 - б. В США в национальную программу заложена необходимость осуществления господдержки стратегических направлений развития ИИ, которые не имеют перспектив быстрого коммерческого внедрения. То есть бизнесу предлагается финансировать тематики, получившие признание в виде успешных коммерческих проектов, а перспективные идеи могут рассчитывать на господдержку. Вместе с достаточно большой численностью занятых в ИИ-отрасли (порядка миллиона) это создаёт неплохие условия для научного развития теории ИИ по различным направлениям
 - с. В РФ решение научных проблем развития ИИ в национальной программе практически не нашло отражения. Видимо, предполагается, что в РФ много людей с высшим образованием и найдётся достаточно энтузиастов, готовых решать эти проблемы инициативно. К сожалению, число занятых в ИИ-отрасли в РФ измеряется тысячами, а развивающих теорию энтузиастов – десятками. В ситуации, когда РФФИ перестал распределять гранты на фундаментальные исследования, а ФПИ (перспективных исследований) считает перспективным то, что имеет коммерческое внедрение в течение года-двух, условия для развития теории и достижения стратегических целей ИИ не так благоприятны, как в Китае и США.
3. Нейросетевые подходы к ИИ во всех странах встречаются с сопротивлением со стороны представителей формально-логических подходов к решению «интеллектуальных» задач. Но особенно сильно

это сопротивление развито в России. В национальную программу никакие положения о приоритетном развитии нейросетевого подхода не попали. Можно было бы считать, что это само собой разумеется и не стоит об этом отдельно писать. Но это было бы так, если бы состав Академии наук и преподавателей вузов был преимущественно представлен относительно молодыми людьми. Но академики и руководители кафедр в России – это, за редким исключением, люди пенсионного, в крайнем случае – предпенсионного возраста, воспитанные на идеях формально-логических подходов к решению «интеллектуальных» задач и готовые противостоять их замене на нейросетевые подходы. Это затрудняет подготовку специалистов и развитие теоретических направлений наук, связанных с нейросетевыми алгоритмами. Именно молодые люди сейчас составляют ядро прогресса в области ИИ. Перефразируя замечание о квантовой механике, можно сказать “Искусственный интеллект – игры молодых”. Нейросетевые подходы в ИИ в среднем активнее развивают молодые специалисты, не отягощённым грузом старых представлений, «с чистого листа».

4. Объёмы финансирования и в Китае, и в США превосходят российские. И это не удивительно, поскольку экономики каждой из этих стран в 10-15 раз больше России. В Китае денег на ИИ государством выделяется больше, но там и население почти в 5 раз больше, чем в США. Зато в США выше господдержка ИИ в расчёте на одного жителя. Значительно лучшее финансирование позволяет организовывать на порядок больше конференций по ИИ и нейросетевым алгоритмам. Уровень подготовки специалистов при лучшем финансировании тоже выигрывает. В сумме экономики Китая и США дают порядка 40% мирового ВВП, тогда как их суммарный вклад в развитие мировой ИИ-отрасли составляет более 50%. В России всё не так... Вклад в мировую экономику России (по чистому ВВП) составляет порядка 1,5%, а средств на развитие ИИ выделяется менее 0,1 % от мирового объёма. Если сравнивать с Китаем, то в России проживает в 10 раз меньше людей и ВВП – тоже приблизительно в 10 раз меньше. Но, согласно [36], российское финансирование ИИ меньше китайского в 350 раз! Поскольку китайские объёмы вложений в развитие ИИ составляют порядка 30% (0,3) от мировых, то российский вклад – это меньше 0,1% (0,001) от мирового. В России, конечно, есть энтузиасты, готовые и дальше развивать свои идеи без финансовой поддержки. Но большинство тех, кто считает свои идеи перспективными, рассматривают возможность выезда из страны для получения финансовой поддержки для их развития.

В целом, для улучшения условий реализации национальных программ развития ИИ были бы крайне полезны экономический рост и улучшение инвестиционного климата в России, к чему регулярно призывают высшие руководители страны. Но даже кажущаяся реалистичной задача вывести экономику России на 5 место в рейтинге по ВВП (с учётом ППС), для чего нужно увеличить долю российской экономики с 3,30% до 3,45% (меньше, чем на 5% от текущего объёма), уже много лет остаётся невыполнимой. Но и при такой доле в мировой экономике, 1,5% по чистому ВВП (и 3,3% с учётом ППС), Россия может входить в число мировых лидеров в отдельных отраслях: в добыче углеводородов, в производстве оружия, в атомной энергетике и ряде других.

К сожалению, сообщество экспертов от экономики и науки, представленное в России в основном 60-70-летними и более возрастными специалистами, пока не достигло понимания особой важности ИИ-отрасли для независимости и суверенитета страны и, тем более, не смогло довести это (пока не достигнутое ...) понимание до лиц, определяющих государственную политику России. Такое положение создаёт широкое поле для деятельности по изменению позиции российского экспертного сообщества при оценке значения ИИ-отрасли и, как следствие, корректировке государственной политики по развитию искусственного интеллекта в Российской Федерации.

14 Выводы

Нейросетевая революция в ИИ и успехи по развитию «интеллектуальных» систем и устройств, а также формирование индустрии ИИ, включающей разработку и создание технологий, массовое производство параллельных процессоров, широкое внедрение курсов ИИ в высшее образование и мощные исследовательские центры, позволяют надеяться на создание агентов AGI в ближайшие годы. Но если техническая сторона возможности создания агентов AGI вызывает всё меньше сомнений, то вероятность того, что это пойдёт на благо человечеству, остаётся под вопросом.

Доставшиеся нам с древних времён и поддерживаемые сейчас управляющей кастой мифы про безграничные возможности души служат искажённому представлению окружающей реальности и социального устройства мира. Управляющая каста не только распространяет эти мифы, но и сама верит в них, надеясь, что, обладая огромными богатствами, можно купить любые технические чудеса, которые позволят решить все возможные проблемы.

Это не так. Любые технические устройства и системы будут обладать пусть выдающимся, но всегда ограниченными возможностями. Чудеса бывают только в мифах, в жизни всему есть предел. Если руководящая каста добьётся массового введения БОД и сокращения численности человечества, то в условиях появления AGI вероятность гибели человеческой цивилизации будет крайне велика.

Устойчивый прогресс человеческой цивилизации должен быть основан не на запрете ИИ и агентов AGI, а на сохранении регулируемых разделения труда и конкуренции, сокращении неравенства как на индивидуальном, так и на межгосударственном уровнях. Но эти требования относятся не столько к техническим характеристикам агентов AGI (которые тоже надо разрабатывать с учётом социальных последствий), сколько к изменению социального устройства современного мира. Фактически мы стоим на пороге важнейшей бифуркации в истории развития цивилизации. Если будет выбран путь абсолютной централизации власти и сокращения населения, то это с высокой вероятностью может привести к потере контроля над агентами AGI и гибели цивилизации. Альтернативой этому является продолжение управляемого углубления разделения труда и конкуренции, сохранение роста населения и обеспечение устойчивого прогресса цивилизации.

Философы часто говорят, что мир – это зеркало: он отражает наши представления и действует в соответствии с ними. Например, важно, учтен ли правильно наш голос в ходе голосований. Математические модели на основе официальной информации, выложенной Избиркомом в сети по избирательным участкам, позволяют ответить на такие вопросы [37]. Наш мир намного более прозрачный, чем мы представляли. Это очень важная мировоззренческая проблема. Один взгляд – требовать правильного учёта своего мнения и брать на себя долю ответственности за происходящее. Второй – считать, что «пусть идёт как идёт», и думать, что «всё равно обманут».

Математику ждет новая эпоха, глубокие перемены и впечатляющие результаты.

Наступает новая фаза развития цивилизации, и она принесет новую математику.

Литература

1. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования / пер. с англ. «Центр исследований постиндустриального общества». Изд. 2-е. // – М.: Academia, 2004. CLXX, – 788с.
2. Степин В.С. Человек. Деятельность. Культура // – СПбГУП, 2018. – 800 с. – (Почетные доктора Университета).
3. Арнольд В.И. Полиматематика: является ли математика единой наукой или набором ремесел // Математика: границы и перспективы/ пер. с англ. под ред. Д.В. Аносова и А.Н. Паршина. – М.: ФАЗИС, 2005, с.9-18.
4. Клайн М. Математика. Утрата определенности // пер. с англ. Ю.А. Данилова под ред. И.М. Яглома. – М.: Мир, 1984. – 434 с.

5. Хофштадтер Д. ГЕДЕЛЬ, ЭШЕР, БАХ: эта бесконечная гирлянда // пер. с англ. М.А. Эскина. – Самара: Издательский Дом «Бахрах-М», 2001. – 752 с.
6. The Amazing Industry 4.0 and Scale Customization: Upgrade your Strategy! Электронный ресурс <http://simonabouabdo.com/the-amazing-industry-4-0-and-scale-customization-upgrade-your-strategy/>, 2017
7. Тьюринг А., Нейман Дж. Может ли машина мыслить. Общая и логическая теория автоматов // пер. с англ. Ю.А. Данилова. М.: URSS, 2019. – 232 с. – (Науки об искусственном).
8. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Изд. 8-е. М.: URSS, 2012. – 312с. – (Синергетика: от прошлого к будущему №2).
9. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / Изд. 2. – М.: Наука, 2002. – 320 с.
10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. Изд.3-е. // – М.: Наука, 1986. – 236 с.
11. Глушков В.М., Валах В.Я. Что такое ОГАС? М.: Наука, 1981. – 160 с. – (Библиотечка «Квант», вып.10).
12. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: URSS, 2016 – 512 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему, №55).
13. Гурова Т., Полуниин Ю. Наступление «синих воротничков» // Эксперт, 2017, №3, с. 13-17.
14. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М. и др. Сверхширокополосные средства беспроводной связи и активные радиометки для Интернета вещей и Интернета робототехники. / Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. (7-8 февраля 2019 г., г. Москва) / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019, с.72-81.
15. Количество используемых компьютеров во всем мире достигнет 6,2 млрд в 2021 году. Электронный ресурс <https://yandex.ru/turbo/3dnews.ru/s/1036388/kolichestvo-ispolzeuemih-komputerov-vsyom-mire-dostignet-62-mlrd-v-2021-gody>.
16. Шваб К. Четвертая промышленная революция / Пер. с англ. ООО «Переведем.ру». – М.: Издательство «Э», 2017. – 208 с. – (Top Business Awards).
17. Майнцер К. Сложносистемное мышление. Материя, разум, человечество. Новый синтез / пер. с англ. А.В. Беркова. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 464с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
18. Wolfram S. A New Kind of Science. – N.Y. Wolfram Media, 2002. – 1197 p.

- 19.Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А., Структуры и хаос в нелинейных средах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 488 с.
- 20.Комаров С.М. Будущее, что стоит у двери? // Химия и жизнь, 2019, №12, с.2-5.
- 21.Князатов С.А., Малинецкий Г.Г. Решение задачи распознавания блефа в игре «верю-не-верю» с помощью алгоритмов обучения с подкреплением // Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2018, №170, 21 с.
- 22.Гурова Т. Хакнуть человечество // Эксперт, 2019, № 10 с. 40-46.
- 23.Подкаст FLI: О сознании, морали, эффективном альтруизме и мифе с Ювалем Ноа Харари и Максом Тегмарком. Электронный ресурс <https://futureoflife.org/2019/12/31/>.
- 24.Овчинский В., Сухаренко А. Российский криминал на фоне мировых тенденций. // газета «Завтра», 2021, №9, с. 3.
- 25.Фейнман Р. Моделирование физики на компьютерах / Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 1999, с. 96-124.
- 26.Дейч Д. Квантовая теория, принцип Черча–Тьюринга и универсальный квантовый компьютер / Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 1999, с.137-189.
- 27.Лефевр В.А. Рефлексия. М.: «Когито-Центр», 2003, - 496 с.
- 28.Кай-Фу Ли. Сверхдержавы искусственного интеллекта. Китай, Кремниевая долина и новый мировой порядок. М.: Манн, Иванов и Фербер; 2019. – 238 с. ISBN 978-5-00146-163-0
- 29.<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>
- 30.Minsky, M., Papert, S. Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry. The MIT Press, Cambridge MA, 1972 (2nd edition, first edition 1969).
- 31.Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G., Dean J. Distributed representations of words and phrases and their compositionality. // Advances in Neural Information Processing Systems, 2013. arXiv:1310.4546
- 32.Bengio, Y., Lecun, Y., Hinton G. Deep Learning for AI. // Communications of the ACM. July 2021, Vol. 64 No. 7, Pages 58-65 DOI: 10.1145/3448250
- 33.Frenke,l S., Kang, C. An Ugly Truth. HarperCollins Publishers. Print ISBN: 978-0-06-296067-2, Digital Edition ISBN: 978-0-06-296070-2, July 2021. – 355 p.
- 34.Душкин Р.В., Онацик Д.А., Суцилов Д.С., Фадеева С. Аналитический отчёт «Сравнение национальных стратегий в области искусственного

интеллекта» / Вып. №2/2019. — М.:ООО «Дикрипто». —16 с. DOI: 10.13140/RG.2.2.24253.82406 ноябрь 2019

35.Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" // <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003>.

ноябрь 2019

36.Альманах №8 «Искусственный интеллект — Индекс 2020» // https://aireport.ru/ai_index_2020, апрель 2021.

37.Подлазов А.В. Формальные методы выявления масштабных электоральных фальсификаций / Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности (7-8 февраля 2019 г., г. Москва). / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019. – 300 с.

Оглавление

1	Введение.....	5
2	Исторический аспект развития математики	7
3	Математика индустриальной эпохи	9
4	Самоорганизация и математика постиндустриального мира	13
5	Контурь грядущего.....	21
6	Нейросети – материальный образ мышления	23
7	Традиционные представления о безграничных возможностях мышления.....	23
7.1	Знания древних.....	23
7.2	Необходимость бога и души.....	24
7.3	Основной вопрос философии	25
7.4	Недостаточность знаний для научного объяснения процессов мышления.....	26
8	Нейросетевая революция в ИИ – большие успехи и реальные ограничения	27
8.1	История.....	27
8.2	Современный уровень развития ИИ	28
8.3	Цифровое описание реального мира	29
8.4	Ограниченность возможностей реальных устройств	30
9	Пять степеней сложности формирования поведения в реальном мире	31
9.1	Аппроксимация преобразований.....	31
9.2	Декомпозиция описания.....	32
9.3	Анализ вариантов поведения	32
9.4	Выбор целей.....	33
9.5	Определение желаний.....	33
10	Необходимость агентского подхода к построению AGI.....	33
11	Социальная значимость мифов и легенд в реальной жизни.....	34
12	Разделение труда и конкуренция – двигатели и ориентиры дальнейшего прогресса	36
13	Государственная политика в области ИИ.....	37
14	Выводы	44
	Литература	45

