

**И. И. Абрамов**, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, 220013, Республика Беларусь, e-mail: nanodev@bsuir.edu.by

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СВЕРХРАЗУМА. ЧАСТЬ I

*Поступила в редакцию 08.11.2019*

*Оценены перспективы и проблемы создания сверхразума. Методологической основой рассмотрения являются предложенные ранее полная электронная интерпретация функционирования мозга и теория сознания человека.*

*В части I работы выделены основные свойства мозга человека, представляющие интерес для разработки сверхразума, и проведено их сравнение со свойствами ИС твердотельной электроники. Рассмотрены перспективы и проблемы создания сверхразума в рамках выделенных материалистического и идеалистического направлений его разработки.*

**Ключевые слова:** *сверхразум, мозг, полная электронная интерпретация, сознание человека, наноэлектроника, математическое моделирование, искусственный интеллект*

*Посвящаю светлой памяти моего сына Константина.*

"Разве машина не может выполнять нечто такое, что следовало бы характеризовать как мышление, но что было бы весьма отлично от того, что делает человек?"

А. Тьюринг [1]

"Есть искушение отмахнуться от образа высокоинтеллектуальных машин как плода воображения писателей-фантастов, но это будет ошибкой — и, в принципе, нашей самой худшей ошибкой в жизни".

С. Хокинг [2]

### Введение

Возможны два качественно различных подхода к рассмотрению перспектив и проблем, связанных с развитием искусственного интеллекта (ИИ). Первый подход исходит из утверждения: "человек — машина, а точнее биологическая машина". Второй основывается на аксиоме: "человек не является машиной".

Инициаторами первой точки зрения являются два выдающихся француза: Рене Декарт (1596—1650 гг.) и Жюльен Офре де Ламеттри

(1709—1751 гг.). Первый утверждал, что животные являются автоматами, а второй пошел еще дальше и в явном виде сформулировал, что "человек — машина" в своей ставшей легендарной книге с этим же названием. В настоящее время данная точка зрения становится все более популярной, прежде всего в среде ученых.

Тем не менее, второй точки зрения придерживается, по-видимому, большинство людей. Автор с уважением относится к вере этих людей, если она искренна, однако считает эту точ-

ку зрения фактически догматизмом (аксиомой), за которой зачастую неявно скрывается мнение о сверхпревосходстве *Homo sapiens*, а в явном виде — понимание о машине в узком смысле этого слова.

Таким образом, *рассмотрение проблем и перспектив создания сверхразума в работе будет проводиться исходя из точки зрения, что человек — биологическая машина*. Методологической основой этого рассмотрения будут являться полная электронная интерпретация функционирования мозга и теория сознания человека, предложенные автором ранее [3—11]. Однако сразу же замечу, что для того чтобы рассмотреть перспективы и проблемы развития ИИ, строго говоря, необходимо предсказать развитие полной системы, а именно: "общество — человек — системы ИИ — окружающая среда". Вряд ли кто-то в состоянии сделать это в настоящее время в полном объеме даже на ближайшее десятилетие, учитывая бурное развитие систем ИИ. В связи с этим, с одной стороны, в работе рассматривается частный, однако фактически главный вопрос о сверхразуме, образно говоря, о "вершине" ИИ, а с другой стороны, — часто, к сожалению, возможно говорить только о вероятностях развития соответствующих событий, и не более того.

### Свойства мозга

Для начала процитирую двух известных специалистов. Первый — когнитивный психолог Дж. Андерсон, а второй — изобретатель и аналитик в области ИИ Р. Курцвейл.

"Исследователи в области... ИИ... пытались создать программы, которые позволяют компьютерам проявлять интеллектуальное поведение. Хотя в этой области в течение сорока лет велась активная работа и были достигнуты значительные успехи, исследователи ИИ все еще не знают, как создать программу, которая соответствовала бы человеческому интеллекту... Это объясняется не тем, что способности компьютеров ниже, чем у человека, а скорее тем, что мы еще недостаточно хорошо знаем, как организована обработка информации в мозге" [12].

"Создатели искусственного интеллекта не пытаются воспроизвести человеческий мозг в буквальном смысле, однако неизбежно приходят к тем же самым принципам" [13].

Хотя первая цитата слегка устарела, обе цитаты в целом верно отражают состояние дел и

сегодня. Действительно, прежде чем создавать сверхразум, целесообразно хотя бы ответить на вопрос: "Чем отличается мозг человека в качестве информационной системы?" Попытаемся на него ответить, используя по максимуму известные данные, так как все может быть важным, даже казалось бы на первый взгляд незначительное!

В работах автора [3—11] были предложены полная электронная интерпретация функционирования мозга, а также теория сознания человека, при этом в них же указывались ряд важных свойств, характерных для мозга. Для начала выделим эти свойства.

Прежде всего, было показано [3, 4, 6], что *вся* нейронная цепь мозга может интерпретироваться в качестве нелинейной электрической цепи (первый тип), а следовательно, мозг допустимо рассматривать как объект электроники. Наиболее близкий искусственный аналог — интегральная схема (ИС) твердотельной электроники — электрическая цепь второго типа. Сравнение цепей первого и второго типов позволило выделить следующие важные отличия [3, 4, 6, 14]: 1) нейронная цепь реализована на органических материалах, а ИС — на неорганических; 2) в цепи первого типа имеет место ионная проводимость (основными являются ионы калия, натрия, кальция и хлора), а второго типа — электронная и дырочная проводимости; 3) нейронная цепь — сначала растущая, а затем постоянно модифицируемая цепь, что достигается в результате взаимодействия электрических и химических процессов, и является, пожалуй, наиболее важным отличием и преимуществом цепей первого типа; 4) нелинейная электрическая цепь первого типа характеризуется не только крайне сложной топологией, но и вариацией свойств составляющих ее казалось бы однотипных элементов (тела клеток, аксоны, дендриты, шипики, синапсы и др.), которые к тому же могут изменяться во времени; 5) основными, активными элементами в цепях первого типа являются каналы (ионные каналы, ионные насосы и др.) — сложные наноэлектромеханические системы (НЭМС), в отличие от ИС, где активными элементами являются диоды и транзисторы. Отмечу, что типов, видов и разновидностей каналов неизмеримо больше, чем диодов и транзисторов; 6) с точки зрения электроники мозг человека — это, прежде всего, набор нелинейных электрических цепей двух видов, которые не должны модифицироваться и которые могут модифицироваться.

Отмеченные свойства позволили автору интерпретировать мозг не просто как объект электроники, а как объект органической гибридной наноэлектроники [3—5, 15]. Поэтому в работе [9] отмечалось, что корректнее оценивать уровень интеграции мозга человека как объекта наноэлектроники не по числу нейронов (около  $10^{11}$ ), а по числу каналов  $M$ , которых по оценке автора около  $10^{19} \dots 10^{21}$ .

В результате, кроме фантастического уровня интеграции, для мозга как объекта наноэлектроники важнейшее значение имеют, по крайней мере, следующие свойства [10]: 1) гибридизация (принципиальную роль играют как минимум два типа процессов — электрические и химические); 2) гибкая системная организация (архитектура), обеспечивающая обработку разнообразных входящих внешних и внутренних сигналов (информации); 3) индивидуальность нейронных (нелинейных электрических) цепей у каждого человека, которые к тому же постоянно изменяются (пластичность) под влиянием внешних и внутренних воздействий; 4) большое разнообразие элементов (многие из них просто индивидуальные) электрических (нейронных) цепей, включая активные элементы, т. е. отмеченные НЭМС.

Все это характеризует мозг человека как очень мощную и гибкую информационную систему, обладающую не только количественными, но и качественными отличиями от ИС, в частности, важнейшим свойством — сознанием, предназначенным, прежде всего, для более качественной обработки информации [10]. Хорошо известно, что именно это свойство пока недостижимо в области ИИ.

Что же характерно для сознания человека? Оно было подробно рассмотрено в работах [9—11], поэтому здесь выделю лишь наиболее важную для дальнейшего информацию.

Строго говоря, для детального анализа сознания необходимо рассмотреть полную систему [9, 16]: мозг — другие составляющие нервной системы — тело — окружающая среда. Было отмечено, что, к сожалению, это невозможно, так как строгое математическое моделирование такой задачи, и даже просто мозга, которым, главным образом, определяется сознание и квалиа (идея интернализма) относятся к труднорешаемым задачам класса NP [3—11]. Так, достаточно отметить, что общее количество информации по числу возможных состояний активных элементов мозга, т. е. каналов (открыт — закрыт),  $2^{MK}$ , где

$M$  — число каналов;  $K$  — число поколений срабатывания ( $K \gg 1$ ). Взяв даже указанный нижний предел, т. е.  $M = 10^{19}$ , получаем еще более фантастическое по сравнению с уровнем интеграции число. А все это означает, что как сознание, так и квалиа могут быть описаны только приближенно, причем, судя по грандиозности задачи, с достаточно серьезными аппроксимациями.

Предложенная монистическая материалистическая теория сознания эмерджентного типа позволяет более глубоко понять такие сложные феномены, как творческое мышление, самоизлечение и измененные состояния сознания [10]. Более детальное рассмотрение процесса осознанной обработки сенсорной информации позволило также сформулировать главный принцип функционирования мозга — принцип преобразований сигналов и энергетических реконструкций [11]. Отмечу, что под преобразованием сигналов и энергетическими реконструкциями подразумеваются не только электрические, но и, как минимум, химические процессы [11]. А это означает, что мозг качественно отличается от объектов твердотельной электроники, в частности ИС, в которых, как правило, наиболее важны электрические (рабочие) процессы\*. Привлечение принципа позволило прийти к заключению, что "осознание человека — главный доминирующий процесс энергетической реконструкции в соответствующей коалиции нейронов в оптимальном диапазоне активации бодрствующего состояния нормального человека" [11]. Показано, что и квалиа, т. е. чувственные ощущения, могут быть также поняты в соответствии со сформулированным принципом функционирования мозга человека [11].

Были также приведены аргументы о том, что характер как обработки информации в мозге, так и природы жизни — аналого-цифровой, т. е. общий [11]. Отмечено, что достоинством и одновременно недостатком мозга является то, что он приближенно отражает действительность.

Таким образом, Природой была решена суперсложная оптимизационная комплексная проблема, а именно [10]: 1) взаимодействие различных сигналов (механических, оптических, тепловых,

\* Рассматривая некоторые вопросы, например надежности ИС, конечно же, может быть необходимым анализировать влияние всего комплекса важных из возможных процессов и воздействий, а именно: механических, химических, радиационных, тепловых и др.

химических, электрических и др.) при обработке информации, что дополнительно обеспечивается сенсорными системами; 2) гибкость связей; 3) малые размеры (объем мозга, а, строго говоря, всего тела человека); 4) малые энергетические затраты (потребляемая мозгом мощность в состоянии бодрствования составляет всего около 20 Вт) и др. К сожалению, аналогичные проблемы в твердотельной электронике еще очень далеки от действительно оптимальных решений даже по отмеченному комплексу вопросов.

## Перспективы и проблемы

Исходя из отмеченной выше информации\*, рассмотрим перспективы создания сверхразума и связанные с этим проблемы.

Сначала приведу два необходимых определения. ИИ человеческого уровня (ИИЧУ) — это "способность освоить большинство профессий, по крайней мере тех, которыми мог бы владеть среднестатистический человек" [17]. Сверхразум — "это любой интеллект, значительно превосходящий когнитивные возможности человека фактически в любых областях" [17]. Нетрудно заметить уязвимость этих определений в виде хотя бы следующих во многом неопределенных выражений: "среднестатистический человек", "значительно превосходящий", да, и собственно, "интеллект", т. е. фактически основное в нашем случае понятие. Очень просто и убедительно о рассматриваемом феномене написал один из классиков в области ИИ — М. Минский [18]: "Интеллектом мы называем те процессы, сути которых еще не понимаем".

В связи с этим не могу не привести весьма поучительное, оригинальное и эмоциональное недавнее высказывание известного немецкого психолога и нейробиолога Э. Пеппеля, а именно [19]: "Люди даже не знают, что имеют в виду, когда говорят о разуме. В действительности довольно забавно, что они хотят сконструировать системы с искусственным интеллектом, сравнимым с их собственным, поскольку совсем непонятно, что они имеют в виду, когда говорят о своем интеллекте. Это одна из многих глупостей, которые преследуют человечество уже много веков.

\* Замечу, что мною отмечены далеко не все свойства мозга. Например, известно, что имеет место постоянное обновление различных молекул мозга (и всего тела), хотя сами нейроны, образно говоря, "долгожители". Каково влияние этого обновления? В ИС подобного как раз избегают.

Если люди хотят смоделировать свои мыслительные инструменты в неких артефактах как репрезентацию собственного интеллекта, то первое, что им следует сделать, — это выяснить, что именно требуется смоделировать. На данный момент проделать такое невозможно, поскольку не существует даже таксономии или классификации функций, которые позволили бы осуществить этот проект в виде действительно научного или технологического начинания. Есть только умные слова, с помощью которых люди лишь создают видимость понимания.

Как это ни странно, отсутствие подобной таксономии, по-видимому, не очень волнует людей; довольно часто они очаровываются изображениями (цветастыми картинками, создаваемыми машинами), которые замещают мышление. В сравнении с классической биологией, химией или физикой, нейробиологии и физиологии недостает классификации. Люди заблудились в концептуальных джунглях. Что они имеют в виду, когда говорят о сознании, разуме, интеллекте, личности, субъективности или даже о более простых понятиях вроде памяти, восприятия, эмоций или внимания? Отсутствие таксономии проявляется в различии мнений и систем взглядов, которые их "ученые" выражают в своих эмпирических потугах и теоретических измышлениях, продираясь через мир неизведанного".

Несмотря на эти в целом пессимистические высказывания, отмечу следующее. Во-первых, подобные неопределенности в понятиях встречаются не только в общественных и гуманитарных науках, где их действительно много, но и в естественных и технических науках. В связи с этим, по-видимому, по аналогии с математикой, в которой введено понятие "труднорешаемые задачи", целесообразно ввести понятие "трудноформулируемые термины". "Сознание", "интеллект" бесспорно относятся к таким трудноформулируемым терминам (понятиям). Во-вторых, рассматриваемый вопрос находится на "пересечении" многих областей из общественных, гуманитарных, естественных и технических наук, а следовательно, характеризуется исключительной степенью сложности. В-третьих, без должного понимания функционирования мозга, убедительной теории сознания весьма проблематично добиться существенного прогресса в понимании рассматриваемого вопроса, т. е. должной и указанной таксономии или классификации задач. В-четвертых, мозг человека часто работает при

решении задач со значительными неопределенностями, т. е. для него это обычное явление. В-пятых, согласно отмеченному мнению выдающегося английского ученого С. Хокинга (см. эпиграф) рассматриваемый вопрос исключительной степени важности, и это действительно так.

Трудности количественной характеристики человеческого интеллекта привели к созданию ряда его теорий. В 1993 г. американский психолог Дж. Кэрролл предложил трехуровневую теорию интеллекта, находящую все большее число сторонников. "Трехуровневая теория интеллекта признает существование единой общей познавательной способности (g), дополненной спектром широких и ограниченных способностей" [20]. Замечу, что число широких способностей равно 8, а ограниченных способностей — 64 [20]. Даже указанные цифры способностей являются отражением очень широкого диапазона вариаций человеческого интеллекта, особой сложности феномена.

Хотя и существует много определений понятия "интеллект", мы будем придерживаться достаточно простого и емкого, приведенного в блестящем учебнике [21]: "интеллект — способность к целенаправленному адаптивному поведению, в том числе умение извлекать пользу из опыта, решать задачи и логически рассуждать".

По изложенным причинам продолжим рассмотрение проблем и перспектив создания сверхразума, однако, учитывая отмеченное выше, т. е. то, что мы имеем дело с областью со значительными неопределенностями, высочайшей степени сложности.

*Проведенный анализ позволил условно выделить всего лишь три направления создания ИИЧУ и сверхразума, а именно: 1) материалистическое; 2) идеалистическое; 3) гибридное.* Они разбиты и кратко названы в соответствии с той основой, на которой будут реализовываться. Рассмотрим их последовательно.

**Материалистическое направление.** К этому направлению автор относит следующие виды: 1) биологический интеллект; 2) электронный интеллект. Основой и того и другого является материя.

*Биологический интеллект*, а можно, в принципе, говорить о его многих уровнях, достигает человеческого уровня, но реализован не искусственно, а естественным путем. Отсюда следует очевидный и очень важный для нас вывод о том, что ИИЧУ, в принципе, достигим. Ведь Природа

это сделала! Вопрос о создании сверхразума на этой основе был рассмотрен в важной книге [17]. Приведу несколько выдержек из нее. "Потенциал биологического совершенствования в перспективе так высок, что, возможно, его вполне хватит для появления человека сверхразумного — по крайней мере в его начальной стадии. В этом нет ничего удивительного. В конечном счете именно так возник человек разумный... Явно решаемая задача биологического улучшения интеллектуальных способностей, особенно основанного на генетической селекции... В лучшем случае они\* приведут к возникновению сравнительно слабой формы сверхразума".

*В свое время подход биологического усовершенствования автор назвал "от имеющегося" [22]. И хотя на настоящий момент времени этот путь, действительно выглядит медленным и, возможно, приводящим к "сравнительно слабой форме сверхразума", однако, с точки зрения автора, — это все же вполне реальный путь достижения сверхразума.* В случае глубокой модернизации принципиально важными здесь будут этические проблемы.

*Электронный интеллект* означает путь создания ИИЧУ и сверхразума на основе электроники. Согласно предложенной полной электронной интерпретации функционирования мозга можно сделать вывод о том, что *создание, по крайней мере, ИИЧУ на основе электроники, в принципе, возможно!* Однако, несмотря на этот в целом оптимистический вывод, необходимо иметь в виду следующее.

Для создания искусственного электронного аналога мозга необходимо будет воспроизвести многие (а возможно и все) из характерных черт, отмеченных в разделе "Свойства мозга", что представляет собой грандиозной сложности задачу. К наиболее важным из свойств, прежде всего, отнесу следующие: 1) уровень интеграции, т. е. около  $10^{19} \dots 10^{21}$  активных элементов; 2) аналого-цифровой характер обработки информации; 3) малые энергетические затраты; 4) малые размеры; 5) гибридизация; 6) индивидуальность нейронных цепей. Здесь более детально сопоставим свойства 1—4 с возможностями наиболее продвинутых объектов твердотельной электроники, в частности ИС, так как это можно сделать количественно.

\* Имеются в виду методы биологического улучшения.

Сравнение по уровню интеграции было проведено в работе [10]. Предположив, что уровень интеграции нанозлектронных ИС в настоящее время около  $5 \cdot 10^9$  активных элементов, приходим к выводу, что только для достижения уровня интеграции мозга в области твердотельной микро- и нанозлектроники потребуется около 60 лет [10], если ее развитие будет продолжаться согласно закону Мура, что сомнительно. Попытка же сегодня воспроизвести уровень интеграции мозга потребует более  $10^{10}$  ИС?! Оценив массу ИС с уровнем интеграции  $10^9$  в 1 г, получаем итоговый объект с массой  $10^7$  кг. Что, говоря образно, небоскребы\* строить будем? Автор уже не говорит о надежности и энергопотреблении такого твердотельного "монстра". Для сравнения: средняя масса мозга человека около 1,5 кг, а масса тела — 60...70 кг.

Интересная сравнительная оценка функционального быстродействия мозга (даже без учета параллельной обработки информации) с возможными ИС нанозлектроники будущего с уровнем интеграции около  $10^{12}$  была проведена в работе [23] и привела авторов к выводу о преимуществе мозга по этому параметру приблизительно на два порядка. Замечу, что, к сожалению, неясно, когда реально будет достигнут взятый за ориентир уровень интеграции.

Проанализируем далее вопрос по важнейшему фактору — энергопотреблению. Первым кто это сделал был Дж. фон Нейман, а именно [24]: "Рассеяние энергии в центральной нервной системе человека (в мозгу) достигает примерно 10 ватт. Поскольку, как указывалось выше, речь идет о  $10^{10}$  нейронов, это означает рассеяние энергии  $10^{-9}$  ватта на нейрон. В электронной лампе рассеяние энергии имеет порядок (в типичном случае) от 5 до 10 ватт, для полупроводникового триода эта величина имеет порядок  $10^{-1}$  ватта. Следовательно, в отношении рассеяния энергии естественные органы превосходят искусственные примерно в  $10^8$ — $10^9$  раз."

Уточним оценку великого ученого, сделанную более 60 лет тому назад (!), в соответствии с современными данными. Автор встречал в литературе оценки рассеиваемой энергии (точнее потребляемой мощности  $P$ ) в мозгу человека в состоянии бодрствования от 10 до 25 Вт\*\*, т. е.

\* Масса самого высокого небоскреба "Бурдж—Халифа" около  $5 \cdot 10^8$  кг.

\*\* Эти цифры являются ярким свидетельством в пользу того, что мы имеем дело с нанозлектроникой.

порядок величины верный. Число же нейронов сейчас оценивается в диапазоне  $(86,1 \pm 8,1) \cdot 10^9$ , т. е. около  $10^{11}$  (на порядок больше). Таким образом, уточненная оценка будет еще ниже — около  $10^{-10}$  Вт на нейрон.

А сейчас сделаем другую оценку, но уже на активный элемент, как это принято в микро- и нанозлектронике [25], а в данном случае для мозга — это каналы, т. е. НЭМС (см. ранее). Так, проходящий ток  $I$  через канал в открытом состоянии — единицы пикоампер, при изменении напряжения  $V$  несколько десятков милливольт, а среднее время открытия канала  $\tau = 1...2$  мс [26]. Для оценки работы  $A$  на одно переключение используем известную формулу [25]:

$$A = P\tau = IV\tau. \quad (1)$$

В результате получим  $A$ , равную в диапазоне ( $10^{-16}...10^{-17}$ ) Дж на переключение.

Следует подчеркнуть, что полученный результат не нарушает фундаментальные ограничения, и в частности, накладываемое соотношением неопределенности для энергии [27]. И это принципиально важно. Для сравнения по прогнозу [28] энергия переключения для транзисторов в 2030 г. достигнет около  $0,5 \cdot 10^{-15}$  Дж на элемент. Таким образом, мозг по энергопотреблению пока вне конкуренции.

Важным, с точки зрения автора, является и характер обработки информации в мозгу человека, т. е. аналого-цифровой. И тут, вообще говоря, возможны три разновидности электронного интеллекта, а именно: 1) аналоговый; 2) цифровой; 3) аналого-цифровой. "Цифровой интеллект" был рассмотрен в работе [17] и считается одним из перспективных для создания сверхразума. На первый взгляд может показаться, что разница между цифровой (она, как известно, основная для ИС) и аналого-цифровой реализацией не существенна, так как в схемотехнике хорошо известно, что аналоговые функции могут быть реализованы на цифровой основе. Так то оно так, но ведь за это придется опять же "заплатить" увеличением объема устройства. И автор не исключает, что, говоря метафорически, нам придется строить уже не один "небоскреб", а "города небоскребов".

Из проведенного ранее рассмотрения (см. "Свойства мозга") и детализации в виде количественных оценок лишь по некоторым свойствам можно сделать вывод о том, что *электронная ре-*

ализация ИИЧУ, т. е. в полном объеме, в ближайшее время вряд ли возможна\*.

Важно отметить, что, как следует из формулы (1), Природа "пожертвовала" при фиксированном значении работы переключения активных элементов их быстродействием, что и позволило в сочетании с другими свойствами в конечном итоге провести отмеченную ранее *супероптимизацию* в относительно малых объемах, достичь высочайшей экономичности и эффективности системы в целом в обработке самой разнообразной информации.

Основное преимущество твердотельной электроники, как известно, в высоком быстродействии переключения активных элементов (гораздо меньшими значениями  $\tau$ ), что в конечном итоге и позволило создать компьютеры, некоторые гаджеты и т. п., которые по множеству характеристик (вычислениям, обработке больших массивов данных и т. п.) уже превосходят мозг человека (см. также далее).

Допускаю, что более полная искусственная реализация аналога мозга человека будет также возможна на основе органических материалов, так как, в принципе, Природа нам показала успешное направление работ. Однако, к сожалению, органическая электроника развита в настоящий момент времени крайне слабо.

Тем не менее, *учитывая главный принцип функционирования мозга — принцип преобразования сигналов и энергетических реконструкций* (см. раздел "Свойства мозга") *воспроизведение, по крайней мере приближенное, сознания и квалиа в рамках электронного интеллекта, в принципе, теоретически возможно. Именно в этом, пожалуй, главное преимущество материалистического направления в целом.*

Возможны ли другие виды интеллекта в рамках данного направления? Не исключаю, однако здесь рассмотрены наиболее реальные и перспективные на ближайшее (обозримое) будущее. Необходимо при этом подчеркнуть, что пределы на рост возможностей сверхразума будут накладываться такими известными физическими ограничениями, как скорость света, принцип неопределенности Гейзенберга и т. п., т. е. главное при этом, чтобы законы Природы не запрещали

\* Если возможна искусственно в полном объеме вообще? Автор уже отмечал, что, в принципе, обхитрить Природу можно — это клонирование человека [22], но это не будет по-настоящему искусственный объект.

такой рост. Дополнительные, кроме фундаментальных физических, и весьма существенные ограничения могут и будут накладываться в результате попытки провести оптимизацию по множеству, зачастую противоречивых, характеристик и параметров. Как мы видим, Природа весьма успешно справилась с этой суперзадачей в рамках биологического интеллекта, "отбраковав" при совершенствовании множество других вариантов. Именно поэтому становится понятным отмеченный Р. Курцвейлом факт (см. ранее). По мнению автора, *материалистическое направление также перспективно для создания роботов с высоким уровнем ИИ, а также нейрокомпьютеров.*

**Идеалистическое направление.** Это направление связано с математическим моделированием ИИЧУ и сверхразума. Здесь условно можно выделить два пути (соответственно вида): 1) на основе полномасштабного моделирования (полная эмуляция) мозга; 2) попытка создания систем моделирования, реализующих ИИЧУ и сверхразум.

Первый путь полной эмуляции мозга человека многими специалистами считается одним из самых перспективных (см., например, [3, 4, 7, 13, 17, 29, 30]). Что касается ИИЧУ, то здесь, по крайней мере, понятно основное направление работ. Необходимо, прежде всего, создать более или менее удовлетворительную теорию функционирования мозга, включая сознание, на основе которой и будет осуществлена полная эмуляция мозга. В то же время в работе [17], ввиду отсутствия полной модели мозга, делается неутешительный вывод, что такая модель "вряд ли будет осуществима в ближайшем будущем".

Автор видит определенные перспективы использования для полной эмуляции мозга предложенных теории сознания и комплексного иерархического подхода исследования мозга, основанного на многоуровневом моделировании в сочетании с экспериментальными методами, подробно описанных в работах [3, 4, 7, 9—11]. К сожалению, для их практической реализации потребуется также немалое время.

Но даже, если такие более или менее адекватные теория, модели будут созданы, ранее отмечалось (см. раздел "Свойства мозга"), что сознание и квалиа могут быть описаны, судя по всему, с достаточно серьезными приближениями. Добавим сюда и то, что программирование основывается на языке, т. е. достаточно абстрактных конструкциях, а также неполноту информации о

самом мозге. А все это означает, что реализация искусственного бессмертия путем "заливки" полной эмуляции мозга соответствующего человека в компьютер может не привести к ожидаемому результату. Кроме того, экспериментальные данные все больше свидетельствуют о том, что процессы, происходящие в мозгу, находятся на грани хаоса [20], а это означает, что в этом случае очень важны начальные условия. Достаточно небольшого отклонения от них и в конечном итоге могут быть получены качественно отличающиеся результаты работы искусственного мозга (хорошо известный "эффект бабочки") от настоящего мозга. В этом же плане интерес представляет и известное доказательство А. Тьюринга и А. Черча о существовании невычислимых функций, но которые можно описать [31]. Не исключено, что именно это мы имеем в случае хотя бы некоторых качественных понятий, действенный мозг.

И тем не менее, автор считает, что приближенная и даже грубая эмуляция мозга может быть полезна в медицине, например, с целью "реставрации сознания" у человека, теряющего его в результате надвигающейся деменции. Очевидно, что чем раньше будет осуществлена такая эмуляция (до серьезного прогрессирования деменции), тем лучше может быть результат последующей "реставрации". Помощником в этом случае может оказаться сам мозг ввиду его невероятной пластичности. Важным будет также создание соответствующих интерфейсов "мозг — машина" (см. далее).

Несмотря на условность оценок, интересен также вопрос о том, сколько приблизительно необходимо флопсов\*, чтобы моделировать функционирование мозга человека? Одна из оценок приведена в работе [31]: "Перемножение примерно  $10^{11}$  нейронов, примерно  $10^4$  синапсов на нейрон и одного ( $10^0$ ) возбуждения нейрона в секунду дает примерно  $10^{15}$  флопс — такого быстрого действия достаточно для симуляции человеческого мозга". Приведу свою оценку. Так как число активных элементов, т. е. каналов,  $10^{19}$  с временем открытия канала  $10^{-3}$  с и с одним возбуждением нейрона в 1 с, то оценка будет в диапазоне от  $10^{16}$  до  $10^{19}$  флопс. Оценки двух известных специалистов [31]: Д. Модхи (IBM) —  $38 \cdot 10^{15}$  флопс; нейробиолога Г. Маркрама —

\* Число операций компьютера с числами с плавающей запятой в секунду.

около  $10^{18}$  флопс. Для функциональной симуляции головного мозга по оценке Р. Курцвейла потребуется от  $10^{14}$  до  $10^{16}$  флопс, а подобной оценке Г. Моравика —  $10^{14}$  флопс [13]. В то же время возможности самого мощного современного суперкомпьютера Summit — около  $2 \cdot 10^{17}$  флопс. Таким образом, по оценке автора *производительности самого мощного суперкомпьютера может быть недостаточно для детального моделирования (полной эмуляции) мозга человека.*

Более простыми, т. е. осуществимыми на современных компьютерах, могут быть различные (промежуточные) варианты имитационного моделирования мозга с привлечением экспериментальных данных по его исследованию. Однако и здесь, скорее всего, предстоит огромная, серьезная работа.

Предположим, что ИИЧУ создан. Далее рядом специалистов разделяется точка зрения, впервые высказанная И. Гудом, о "рекурсивном саморазвитии (самосовершенствовании)", в результате чего ИИ совершит "гигантский скачок в уровне интеллекта после достижения некоего критического порога" [29] ("интеллектуальный взрыв") и будет доведен до сверхразума. Хотя автор и не исключает возможность такого развития событий, однако все же отмечу следующее: 1) бесконечное, как считают некоторые сторонники этой гипотезы\*\*, самосовершенствование невозможно ввиду отмеченных физических ограничений, а практическая реализация сверхразума все равно будет осуществлена на физическом объекте (носителе), т. е. компьютере и т. п. (см. далее), а следовательно, не исключены традиционные вопросы о заикливании, остановке; 2) неясен вопрос о возможности значительного превосходства (см. ранее) сверхразума над ИИЧУ. Что это такое? Если речь идет о скоростном сверхразуме (ИИЧУ, но намного быстрее [17]), то это, в принципе, ясно, если о качественном сверхразуме (превосходящем качественно интеллект человека), то это неясно (см. ранее); 3) для меня очевидно, что сверхразум, если его создадут, будет также допускать ошибки, как и обычный человек, хотя бы при отсутствии полных у него данных об анализируемом процессе (задаче), т. е. его возможности не будут безграничны. В то же

\*\* Некоторые [29] считают, что И. Гуд представил доказательство реальности "интеллектуального взрыва". Автор так не считает ввиду наличия расплывчатых формулировок в "доказательстве".



время некоторые считают, что это будет "бог в ящике". По-моему, это наивность! В качестве примера. Не думаю, что даже сверхразум будет в состоянии ответить однозначно на вопрос: "Как возникла Вселенная?"

В связи с изложенным выше и ранее *вопрос о качественном сверхразуме, т. е. значительном превосходстве над ИИЧУ в результате рекурсивного самосовершенствования (интеллектуального взрыва), с точки зрения автора, открыт: "Возможно ли это?"*

Рассмотрим вопрос о создании систем моделирования, реализующих ИИЧУ и сверхразум. Уже отмечалось, что быстроедействие активных элементов современных ИС намного превосходит быстроедействие активных элементов мозга, поэтому, в принципе, возможна реализация различных систем, превосходящих мозг человека. И это направление уже развивается. В качестве таких систем с высоким уровнем ИИ (своеобразных прообразов ИИЧУ) можно привести: поисковые системы Google, Amazon, некоторые разработки компаний IBM, Apple, DeepMind, Microsoft и др. Отмечу также программу AlphaGo, которая была разработана компанией Google-DeepMind и выиграла матч в го у профессионала высшего дана. Программа AlphaGo, в отличие от Deep Blue и Watson (см. далее), не ориентирована на особое специально разработанное аппаратное обеспечение. В основу AlphaGo положены общие принципы машинного обучения, в частности глубинное обучение с использованием многоуровневых нейронных сетей, и является важным шагом в развитии ИИ.

Несмотря на эти очевидные успехи, *даже самые продвинутые (передовые) системы ИИ пока не могут сравниться с интеллектуальными возможностями человека по широте спектра и гибкости, способности к развитию, потому что, как правило, являются узкоспециализированными (специальными) системами, не обладают сознанием и квалиа! И тем не менее, это очень важное, реальное и перспективное направление развития ИИ.*

### Список литературы

1. **Тьюринг А.** Может ли машина мыслить? М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. 112 с.
2. **Хокинг С.** Краткие ответы на большие вопросы. М.: Эксмо, 2019. 256 с.
3. **Абрамов И. И.** Мозг как объект электроники. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 80 с.

4. **Абрамов И. И.** Brain as an object of electronics. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 76 p.
5. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 1. С. 52—54.
6. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть II // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 3. С. 45—53.
7. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть III // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 5. С. 45—54.
8. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть IV // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 6. С. 49—53.
9. **Абрамов И. И.** Сознание человека, или возможности электроники. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2018. № 5. С. 308—320.
10. **Абрамов И. И.** Сознание человека, или возможности электроники. Часть II // Нано- и микросистемная техника. 2018. № 6. С. 368—384.
11. **Абрамов И. И.** Сознание человека, или возможности электроники. Часть III // Нано- и микросистемная техника. 2019. № 9. С. 555—574.
12. **Андерсон Дж.** Когнитивная психология. 5-е изд. СПб.: Питер, 2002. 496 с.
13. **Курцвейл Р.** Эволюция разума. М.: Изд-во "Э", 2015. 352 с.
14. **Абрамов И. И.** Перспективы использования наноэлектроники, наноматериалов и нанотехнологий в исследовании и медицине мозга человека // Нано- и микросистемная техника. 2016. № 1. С. 49—64.
15. **Абрамов И. И.** Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и наноэлектроники. I. Основные положения // Нано- и микросистемная техника. 2006. № 8. С. 34—37.
16. **Абрамов И. И.** Мозг человека — шедевр естественной электроники. Проблемы и перспективы исследования // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. "Актуальные проблемы радио- и нанотехнологий", 2017, Россия, Санкт-Петербург. — С. 79—86.
17. **Бостром Н.** Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 496 с.
18. **Минский М.** Сообщество разума. М.: Изд-во АСТ, 2018. 592 с.
19. **Что мы думаем** о машинах, которые думают: Ведущие мировые ученые об искусственном интеллекте / Д. Брокман. М.: Альпина нон-фикшн, 2017. 549 с.
20. **Как работает** ваш мозг. Внутри самого сложного объекта во Вселенной / под. ред. К. Уильямс. М.: Изд-во АСТ, 2019. 256 с.
21. **Майерс Д.** Психология. Мн.: Попурри, 2006. 848 с.
22. **Абрамов И. И.** Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и наноэлектроники. IV. Квантовомеханические формализмы // Нано- и микросистемная техника. 2007. № 2. С. 24—32.
23. **Карушкин Н. Ф., Обухов И. А., Смирнова Е. А.** Полупроводниковые компоненты и устройства электронной техники в коротковолновой части СВЧ диапазона.

Часть III // Нано- и микросистемная техника. 2019. Т. 21, № 5. С. 288—297.

24. **Нейман Дж.** Вычислительная машина и мозг / Кибернетический сб. Вып. 1. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. С. 11—60.

25. **Валиев К. А.** Микроэлектроника: достижения и пути развития. М.: Наука, 1986. 144 с.

26. **Николлс Дж. Г., Мартин А. Р., Валлас Б. Дж., Фукс П. А.** От нейрона к мозгу. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 672 с.

27. **Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.** Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Наука, 1974. 752 с.

28. **International** technology roadmap for semiconductors 2.0: 2015 Edition. Executive report.

29. **Баррат Дж.** Последнее изобретение человечества: Искусственный интеллект и конец эры Homo sapiens. М.: Альпина нон-фикшн, 2019. 396 с.

30. **Kaku M.** The future of the mind: the scientific quest to understand, enhance, and empower the mind. New York: Doubleday Publishers, 2014. 400 p.

31. **Тегмарк М.** Жизнь 3.0. Быть человеком в эпоху искусственного интеллекта. М.: Изд-во АСТ: CORPUS, 2019. 560 с.

---

**I. I. Abramov**, Dr. Sci., Professor, nanodev@bsuir.edu.by,  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, 220013, Belarus

*Corresponding author:*

**Abramov Igor I.**, Dr. Sci., Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, 220013, Belarus,

E-mail: nanodev@bsuir.edu.by

## Prospects and Problems of Supermind Development. Part I

*Received on November 08, 2019*

*Accepted on November 18, 2019*

*The prospects and problems of supermind creation are estimated. The previously proposed full electronic interpretation of brain functioning and the theory of human consciousness are the methodological basis of consideration.*

*Consideration of the problems and prospects of supermind creation in the work is carried out according to the point of view that man is a biological machine. The key properties of the brain as an information system are identified in Part I for this purpose. It is shown that Nature has solved a super difficult optimization complex problem (superoptimization) when creating a human brain. A comparison of the brain and IC leads to the conclusion that similar problems in solid-state electronics are very far from optimal solutions. The conducted analysis made it possible to distinguish conditionally three areas of artificial intelligence of the human level and supermind development, namely: 1) materialistic; 2) idealistic and 3) hybrid.*

*The materialistic and idealistic development areas are analyzed in the first part of the work. The prospects and problems of artificial intelligence of the human level and supermind creation are estimated in the framework of the distinguished development areas.*

**Keywords:** *supermind, brain, full electronic interpretation, human consciousness, nanoelectronics, simulation, artificial intelligence*

*For citation:*

**Abramov I. I.** Prospects and Problems of Supermind Development. Part I, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 46—56.

DOI: 10:175587/nmst.22.46-56

### References

1. **Turing A. M.** Computing machinery and intelligence // *Mind*, 1950, Vol. 49, pp. 433—460.

2. **Hawking S.** Brief answers to the big questions. Space-time Publications Ltd., 2018.

3. **Abramov I. I.** Mozg kak obekt jelektroniki. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 80 p. (In Russian).

4. **Abramov I. I.** Brain as an object of electronics. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 76 p.

5. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoy gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' I, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 1, pp. 52—54 (in Russian).

6. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoy gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' II, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 3, pp. 45—53 (in Russian).

7. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoj gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' III, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 5, pp. 45—54 (in Russian).
8. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoj gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' IV, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 6, pp. 49—53 (in Russian).
9. **Abramov I. I.** Human consciousness, or possibilities of electronics. Part I. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2018, no. 5, pp. 308—320.
10. **Abramov I. I.** Human consciousness, or possibilities of electronics. Part II. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2018, no. 6, pp. 368—384.
11. **Abramov I. I.** Human consciousness, or possibilities of electronics. Part III. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2019, vol. 21, no. 9, pp. 555—574.
12. **Anderson J. R.** Cognitive psychology and its implications. Fifth edition. Worth Publishers and W. H. Freeman, 2000.
13. **Kurzweil R.** How to create a mind: The secret of human thought revealed. Viking, 2012.
14. **Abramov I. I.** Prospects of nanoelectronics, nanomaterials and nanotechnologies in research and medicine of the human brain, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2016, vol. 18, no. 1, pp. 49—64.
15. **Abramov I. I.** Problems and principles of physics and simulation of micro- and nanoelectronics devices. I. Basic positions. *Nano- and microsystemnaya tekhnika*, 2006, no. 8, pp. 34—37 (in Russian).
16. **Abramov I. I.** The human brain — a masterpiece of natural electronics. Problems and research perspectives, *International scientific and technical conference "Actual problems of radio and film technology"*, 2017, Russia, St. Petersburg, pp. 79—86 (in Russian).
17. **Bostrom N.** Superintelligence. Path, dangers, strategies. N. Y.: Oxford University Press, 2014.
18. **Minsky M.** The society of mind. Simon & Schuster, 1988.
19. **What to think** about machines that think. Today's leading thinkers on the age of machine intelligence / Ed. by J. Brockman. New York: Harper Perennial, 2015.
20. **How your brain** works. Inside the most complicated object in the known Universe. Hodder & Stoughton Ltd., 2017.
21. **Myers D. G.** Psychology. 5-th ed. N. Y.: Worth Publishers, 1998.
22. **Abramov I. I.** Problems and principles of physics and simulation of micro- and nanoelectronics devices. IV. Quantum-mechanical formalisms, *Nano- and microsystemnaya tekhnika*, 2007, no. 2, pp. 24—32 (in Russian).
23. **Karushkin N. F., Obukhov I. A., Smirnova E. A.** Semiconductor components and electronic technology devices in the short wave section of the microwave radiation. Part III // *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2019, vol. 21, no. 5, pp. 288—297.
24. **Von Neumann J.** The computer and the brain. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1958.
25. **Valiyev K. A.** Mikroelektronika: dostizheniya i puti razvitiya. Moscow, Nauka, 1986. 144 p. (in Russian).
26. **Nicholls J. G., Martin A. R., Wallace B. G., Fuchs P. A.** From neuron to brain. 4-th ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2001.
27. **Landau L. D., Lifshits Ye. M.** Kvantovaya mekhanika. Nerelyativistskaya teoriya. Moscow, Nauka, 1974. 752 p. (In Russian).
28. **International** technology roadmap for semiconductors 2.0: 2015 Edition. Executive report.
29. **Barrat J.** Our final invention: Artificial intelligence and the end of the human era. New York, Thomas Dunne Books St. Martin's Press, 2013.
30. **Kaku M.** The future of the mind: The scientific quest to understand, enhance, and empower the mind. New York, Doubleday Publishers, 2014. 400 p.
31. **Tegmark M.** Life 3.0: Being human in the age of artificial intelligence. Vintage Books, 2017.

Адрес редакции журнала: 107076, Москва, Стромьинский пер., 4. Телефон редакции журнала (499) 269-5510. E-mail: nmst@novtex.ru  
 Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.  
 Свидетельство о регистрации ПИ № 77-18289 от 06.09.04.

Технический редактор Т. А. Шацкая. Корректор Е. В. Комиссарова.

Сдано в набор 22.11.2019. Подписано в печать 22.12.2019. Формат 60×88 1/8. Заказ МС120. Цена договорная  
 Оригинал-макет ООО «Авансед солюшнз». Отпечатано в ООО «Авансед солюшнз». 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru