

Научная статья

УДК 621.382+ 612 + 159.922

DOI: <https://doi.org/10.18127/j22250980-202501-02>

Теоретические аспекты функционирования мозга человека – объекта органической гибридной наноэлектроники

И.И. Абрамов¹

¹ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Республика Беларусь)

¹ nanodev@bsuir.edu.by

Аннотация

Постановка проблемы. Человек – суперсложная динамическая самоорганизующаяся система. Строгое детальное исследование ее, в том числе математическое моделирование, например, на клеточном уровне, в данный момент не представляется возможным. Ситуация еще более усложняется тем, что вследствие открытости системы необходимо учитывать взаимодействие человека с окружающей средой и обществом, поэтому анализ должен осуществляться на различных уровнях исследования с привлечением широкого спектра дисциплин, их разделов, начиная с физики, химии, биологии, медицины и др., заканчивая философией.

Цель. Представить обзор работ автора по функционированию мозга человека, включая теорию сознания.

Результаты. Определены ключевые положения для разработанной теории функционирования мозга: полная электронная интерпретация функционирования (в ее основе лежит гипотеза 1); комплексный иерархический подход исследования мозга (в его основе лежат гипотезы 2 и 3). Установлено, что полная электронная интерпретация позволила рассматривать мозг как объект органической гибридной наноэлектроники с уровнем интеграции M в диапазоне активных элементов 10^{17} – 10^{21} . Отмечено, что потребляемая мозгом мощность около 20 Вт стала убедительным аргументом в справедливости предложенной интерпретации. На разработанной теоретической основе построена теория функционирования мозга, включая сознание и квалиа. Подчеркнуто, что очень важен при этом сформулированный главный принцип функционирования мозга – преобразования сигналов и энергетических реконструкций.

Практическая значимость. Предложенная теория может использоваться в качестве основы для разработки методов восстановления сознания при его потере. На разработанной теоретической основе сформулирована четвертая гипотеза о возможности искусственной реализации сознания – одна из основных проблем в области искусственного интеллекта.

Статья подготовлена на основе пленарного доклада, прочитанного на международной конференции [35].

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю признательность своей ученице Н.В. Коломейцевой за подготовку рукописи к печати.

Ключевые слова

Мозг человека, электронная интерпретация, теория функционирования мозга, сознание, искусственный интеллект

Для цитирования

Абрамов И.И. Теоретические аспекты функционирования мозга человека – объекта органической гибридной наноэлектроники // Нанотехнологии: разработка, применение – XXI век. 2025. Т. 17. № 1. С. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.18127/j22250980-202501-02>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Человек – суперсложная динамическая самоорганизующаяся система. Строгое детальное исследование ее, в том числе математическое моделирование, например, на клеточном уровне, к сожалению, не представляется возможным. Так, число клеток у взрослого человека оценивается приблизительно в $3 \cdot 10^{13}$. Ситуация еще более усложняется тем, что вследствие открытости системы необходимо в общем случае учитывать взаимодействие человека с окружающей средой и обществом, поэтому анализ должен осуществляться на различных уровнях рассмотрения с привлечением широкого спектра дисциплин, их разделов, начиная с физики, химии, биологии, медицины и других, заканчивая философией. Понятно, что в общем случае это тем более невозможно.

Известно, что управляет человеком нервная система, главный интегрирующий информационный центр которого – мозг. В то же время мозг человека – фантастический по сложности объект. Многие ученые считают его самым сложным из известных во Вселенной. Так, число нервных клеток в нем около 10^{11} , число синапсов 10^{14} – 10^{15} , а число молекул около 10^{22} на 1 см^3 . Сложность проблемы рассмотрения функционирования мозга очень хорошо характеризует оценка общего количества информации по числу возможных нейронных состояний S книги [1]: $S = 2^{NK}$, где N – число нейронов; K – число поколений срабатывания ($K \gg 1$). Так как $N \approx 10^{11}$, то S – просто астрономическое число. Следовательно, исследование даже только мозга – по-прежнему грандиозной сложности задача. Результатом функционирования этой фантастической сложности информационной системы стало сознание, которое считается многими специалистами главной загадкой Природы.

Ц е л ь р а б о т ы – представить обзор работ автора по функционированию мозга человека, включая теорию сознания.

В основе проведенных работ лежат предложенные полная электронная интерпретация функционирования мозга и комплексный иерархический подход его исследования.

Полная электронная интерпретация

«Мозг может интерпретироваться в качестве объекта органической гибридной наноэлектроники, созданного Природой» [2]. Интерпретация впервые озвучена в ответе автора на вопрос о достижениях в области наноэлектроники на 11-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Крым, 2001, г. Севастополь, 10–14 сентября 2001 г. В дальнейшем в докладах автора на международных конференциях [3–5], монографиях [6, 7] и цикле статей [8–11] описаны детально полная электронная интерпретация функционирования мозга и комплексный иерархический подход его исследования.

Рассмотрим ключевые моменты полной электронной интерпретации.

Главная проблема анализа функционирования мозга связана с тем, что его работа основана на «запутанном клубке» различных физико-химических процессов. В то же время на работу мозга могут оказывать влияние процессы: электрические, химические, механические, тепловые и др. Традиционно в нейробиологии выделяются химические и электрические процессы. Предпочтение, как правило, отдается химическим. Из отмеченного ранее ясно, что эти процессы могут рассматриваться только в качестве доминирующих.

С целью попытки «распутать» указанный «клубок» автором была предложена полная электронная интерпретация функционирования мозга, основанная на следующей гипотезе.

Гипотеза 1: предполагается, что доминирующее влияние на функционирование мозга оказывают электрические процессы.

Следовательно, обработка информации в мозге идет в основном на уровне электрических процессов. Химические процессы обеспечивают питание нейронных (электрических) цепей мозга и их модификацию, т.е. являются важными для действия электрических процессов. Таким образом, можно говорить о гибридной электронике.

В работах [6, 7, 9] показано, что *всю* нейронную цепь мозга можно интерпретировать в качестве нелинейной электрической цепи первого типа, самым близким аналогом которой в твердотельной электронике стала интегральная схема (ИС) – электрическая цепь второго типа. Сравнительный анализ цепей первого и второго типов позволил установить следующие важные отличия [6, 7, 9, 12]:

- 1) нейронная цепь первого типа на органических материалах, ИС – на неорганических;
- 2) в нейронных цепях основной является ионная проводимость, в ИС – электронная и дырочная;
- 3) активные элементы в нейронных цепях – каналы (ионные каналы, ионные насосы и др.) – сложные наноэлектромеханические системы (НЭМС) с характеристическими размерами в нанометровом диапазоне. Поэтому речь идет об органической гибридной наноэлектронике. В ИС основные активные элементы – диоды и транзисторы. Видов и разновидностей каналов существенно больше, чем диодов и транзисторов;
- 4) нейронная цепь очень сложной топологии, с различием в свойствах даже однотипных элементов (тела клеток, аксоны, дендриты, шипики, синапсы и др.);

5) нейронная цепь – сначала растущая, а затем обычно регулярно модифицируемая цепь, что достигается в основном в результате взаимодействия электрических и химических процессов приводит к свойству пластичности – важнейшему отличию и преимуществу цепей данного типа;

6) если рассматривать мозг в качестве информационной системы, то это, прежде всего, нелинейные электрические цепи двух видов, которые не должны модифицироваться и которые могут модифицироваться.

Цепи первого типа могут демонстрировать большое разнообразие в поведении в зависимости как от входящих, так и от проходящих по ним сигналов. Это пока не достигнуто в ИС. Полная электронная интерпретация позволила рассмотреть, как приблизительно функционирует мозг [6–11].

Было выделено *три типа режима функционирования мозга* [6–11]:

- 1) при внешнем воздействии;
- 2) без внешнего воздействия (внутренний);
- 3) смешанный.

Все конкретные режимы функционирования мозга (восприятие, воспоминание, мышление и другие психические функции) относятся к одному из отмеченных. Любой режим работы мозга – результат прохождения электрических сигналов по соответствующему набору нейронных цепей.

Существенен вопрос об уровне интеграции *М* мозга человека как объекта электроники. В микро- и наноэлектронике оценка, как известно, осуществляется по числу активных элементов. В мозге человека ими являются каналы. По оценке автора [13], уточненной в статьях [14, 15], *М* лежит в диапазоне 10^{17} – 10^{21} . Потребляемая мозгом мощность около 20 Вт с отмеченным фантастическим уровнем интеграции усиливает аргумент того, что мы имеем дело не просто с электроникой, а именно с наноэлектроникой.

С точки зрения автора, уникальность мозга человека в первую очередь определяется именно уровнем интеграции. Особенным результатом функционирования такой грандиозной сложности системы и стало сознание. В связи с этим становится очевидной справедливость диалектического закона о переходе количества в качество.

Комплексный иерархический подход

В результате исследований автор пришел к выводу, что характер обработки информации в мозге человека и в жизни природы общий – аналого-цифровой [16]. Возникает важный вопрос: как анализировать устройство (мозг) аналого-цифровой электроники такого фантастического уровня интеграции? Известно, что ИС твердотельной электроники всего лишь превзошли рубеж в 10^9 активных элементов на кристалле. Для разработки подхода к анализу в рамках полной электронной интерпретации функционирования мозга было принято еще две гипотезы [10].

Гипотеза 2. Функционирование мозга может быть в принципе описано с высокой степенью точности (достаточной) с применением квантовой механики на современном уровне развития. Таким образом, принимается достаточная основа, на которой может быть проведен анализ мозга.

Гипотеза 3. Строгое математическое описание работы мозга с помощью квантовой механики относится к труднорешаемым задачам класса NP. Это означает, что даже строгое моделирование функционирования мозга на уровне квантовой механики в принципе невозможно. Приближения необходимы, причем серьезные.

В создавшейся ситуации перспективным стал предложенный комплексный иерархический подход на основе многоуровневого моделирования в сочетании с экспериментальными методами, описанными в [6, 7, 10, 12]. В связи с этим приведем лишь *основные идеи такого подхода*:

1) так как мозг человека допустимо интерпретировать как набор нелинейных электрических цепей, то для его исследования могут использоваться подобные принципы многоуровневого моделирования, как и для ИС;

2) проведенный анализ приводит к выводу, что моделирование должно быть иерархическим не только между уровнями, но и, учитывая исключительную сложность задачи, в рамках отдельных уровней. При этом необходимо применять экспериментальные методы с целью задания исходных данных, корректировки возможных погрешностей результатов моделирования, создания различных моделей и др.;

3) согласно принятой гипотезе 3, задача относится к труднорешаемым класса NP, поэтому разбиение на уровни не однозначно и будет зависеть от моделируемой функции.

Одна из возможных схем реализации подхода обоснована в [6, 7, 10]. Было предложено использовать разбиение на уровни организации нервной системы учебника [17]: ионы; молекулы; органеллы клетки; клетка; локальные сети (зоны); проекционные сети (системы); многочисленные перекрывающиеся сети (поведение животного).

Так как принципиально важным при анализе ИС является этап схемотехнического проектирования, то аналогично при исследовании мозга будет схемотехническое моделирование нейронных нелинейных электрических цепей. С этой целью потребуются разработать многочисленные электрические модели элементов нейронных цепей: ионных каналов, ионных насосов, аксонов, дендритов, шипиков, синапсов, тел клеток и др. Для генерации электрических моделей разнообразных и многочисленных элементов автор считает целесообразным использование систем искусственного интеллекта (ИИ). Учет других факторов может осуществляться с помощью токов утечки, паразитных элементов в моделях электрических цепей первого типа.

После схемотехнического моделирования строится макромодель локальной цепи и переходят на следующий уровень моделирования, т.е. проекционной сети и т.д. В то же время при моделировании каналов потребуются использование элементов квантовой механики, и, скорее всего, будет также иерархическим [6, 7, 10].

На основании [6, 7, 10] делаем вывод, что предложенный подход даст положительные результаты при моделировании психических функций, включая мыслительную деятельность.

Преимуществом предложенного подхода и схемы реализации стало свойство их открытости. В результате можно учесть влияние различных химических, тепловых и других более или менее значимых процессов, воздействий и факторов, в частности, глиальных клеток, объемных токов, возможных модификаций в нейронных цепях. Допустима комбинация с другими подходами, например, коннектомикой.

Проведенное исследование подтверждает, что очень детальное моделирование функционирования мозга вряд ли возможно. Тем не менее в наиболее важных механизмах работы мозга все же удастся разобраться.

Теория сознания человека

При создании теории сознания и квалиа автор использовал известные принципы [13]:

- 1) «центральную догму» нейробиологии;
- 2) закон экономии «бритвы Оккама».

Первый принцип заключается в следующем: «все нормальные функции здорового мозга и все их патологические нарушения, какими бы сложными они ни были, можно в конечном счете объяснять исходя из свойств основных структурных компонентов мозга» [18]. Таким образом, автор придерживается идеи интернализма, согласно которой «сознание и квалиа – это особенности мозговой активности, и поэтому они в буквальном смысле находятся в мозге» [19]. Применение закона экономии означает, что автором использованы только научные достоверные данные физики, нейробиологии, нейропсихологии, медицины и других наук. Кроме того, важными будут также изложенные в предыдущих разделах положения.

К сожалению, в современной литературе отсутствует общепринятое определение понятия «сознание». Автор относит данное понятие к трудноформулируемым [20]. Тем не менее будем использовать следующее определение [19]: «Внутренний поток субъективных переживаний, непосредственно присутствующий в нас и постоянно обнаруживающий себя нам, и есть сознание».

При строгом анализе феномена «сознание», как отмечалось в [13, 21], необходимо анализировать полную систему, а именно: мозг – другие составляющие нервной системы – тело – окружающая среда. Причина в том, что мозг, как и человек, является открытой, динамической и самоорганизующейся, но уже подсистемой. Несмотря на то, что сознание в соответствии с идеей интернализма считается продуктом мозга, на него влияют и другие компоненты полной системы. Это влияние может быть взаимным, и, более того, существенным. Проблемы возникают и при задании исходных данных. В связи с этим единственный путь – переход к приближенному описанию функционирования мозга, и, следовательно, сознания.

Разработанная теория сознания человека подробно описана в [13, 16, 22], а квалиа – в [16], в связи с этим здесь отмечены лишь основные моменты. Суть теории была рассмотрена на примере осознанной

обработки сенсорной информации. Согласно изложенному ранее, это смешанный тип, достаточно сложный режим работы мозга.

Расположение рецепторов в теле человека не непрерывно, а дискретно. Обычно они предназначены для обработки одного вида сигналов. Таким образом, преобразования информации начинаются сразу же после их попадания на соответствующие рецепторы. Сигналы могут быть самыми разными: механическими, оптическими, химическим, тепловыми и другими. Следовательно, сразу происходит редуцирование и декомпозиция поступающей информации. Влияет на эти процессы, конечно же, не только окружающая среда, но и тело человека.

В дальнейшем входящая информация разделяется (декомпозиция) по внешним и внутренним системам организма. Вслед за первичной обработкой происходит конвертация в электрические сигналы, после чего они распространяются по нервной системе с регулярными преобразованиями из электрических в химические сигналы, и наоборот, т.е. происходит трансформация сигналов. При этом влияние могут оказывать и другие процессы: механические (в синапсах), тепловые, электромагнитные и другие. После поступления в мозг разобранной информации ее реконструкция возможна лишь в нем же. Другого места просто нет, и не может быть!

Далее, для простоты, будем рассматривать процессы в мозге согласно полной электронной интерпретации, т.е. нейронные цепи – электрические цепи, а распространяющиеся по ним сигналы – электрические. Было проанализировано несколько вариантов обработки сенсорной информации для того, чтобы определить ключевые закономерности.

Разобранная сенсорная информация, поступившая ранее в мозг, переправляется таламусом, исключая запахи, на карты областей коры мозга. В них уже хранится соответствующая информация в разобранном виде и поступившая ранее в результате иерархической обработки, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, а также заложенная частично генетически. При этом в случае необходимости (новизны) происходят модификации в соответствующих картах мозга.

При обработке вновь поступившей сенсорной информации идет также иерархическая сборка в результате прохождения электрических сигналов по нейронным цепям соответствующих областей коры, в которых хранится ранее заложенная информация, как описано выше. Таким образом, осуществляется гибкая сборка воспроизводимой информации из различных фрагментов. Процесс похож на применение пикселей при воспроизведении информации на экранах телевизоров. Описанная реконструированная информация распределена по картам мозга. В связи с этим надо продолжить ее объединение в единое целое.

В результате реактивации соответствующих нейронных цепей карт сенсорных систем формируются коалиции нейронов, реконструирующих воспоминания и/или действительность. В дальнейшем информация из сенсорных карт переходит в лобные доли для объединения в единое целое. Так как возможно большое число вариантов, то рассмотрим лишь характерные.

Выделяются две системы мышления в психологии [23]: автоматическая система 1 и произвольная система 2.

«Система 1 срабатывает автоматически и очень быстро, не требуя или почти не требуя усилий и не давая ощущения намеренного контроля. Система 2 выделяет внимание, необходимое для сознательных умственных усилий, в том числе для сложных вычислений. Действия системы 2 часто связаны с субъективным ощущением деятельности, выбора и концентрации... Система 1 импульсивна и интуитивна, а система 2 способна к рассуждениям...» [23].

Мыслительная деятельность была представлена происходящей по «спирали» [13]. Виток спирали автоматической системы 1 показан на рис. 1. Вначале идет планирование (моделирование или прогноз) ситуации, впоследствии – действие (управление им). Данный процесс может продолжаться многократно.

Для произвольной системы характерна более сложная работа. Различные варианты ее функционирования (спирали) данной системы приведены на рис. 2. В первом варианте (рис. 2,а) сначала осуществляется планирование (моделирование или прогноз) ситуации, затем – действие, а потом – осознание. Допустим и простой вариант (рис. 2,б). Сначала идет планирование (моделирование или прогноз) ситуации, а потом – осознание. Только из данных вариантов можно сформировать очень сложные варианты мыслительной деятельности. В то же время разбиение на составляющие (части) ситуаций может далее усложнять рассмотрение процесса мышления.

С целью анализа детально рассматривался случай пешего передвижения человека по улице [16]. Традиционно все осуществляется в автоматическом режиме (работает система I). Сигналы, которые проходят по объединенной коалиции нейронов, являются коалицией планирования или прогнозирования. В дальнейшем осуществляется действие (рис. 1), т.е. передача информации соответствующим системам для исполнения. Согласно известным сведениям из нейробиологии, задержка при этом составляет приблизительно 100 мс [24].

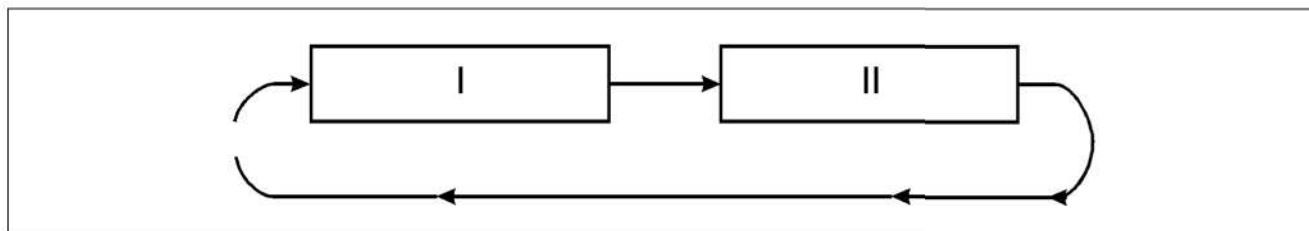


Рис. 1. Виток «спирали» автоматической системы I: I – планирование; II – действие

Fig. 1. Turn of the spiral of an automatic system I: I – planning; II – action

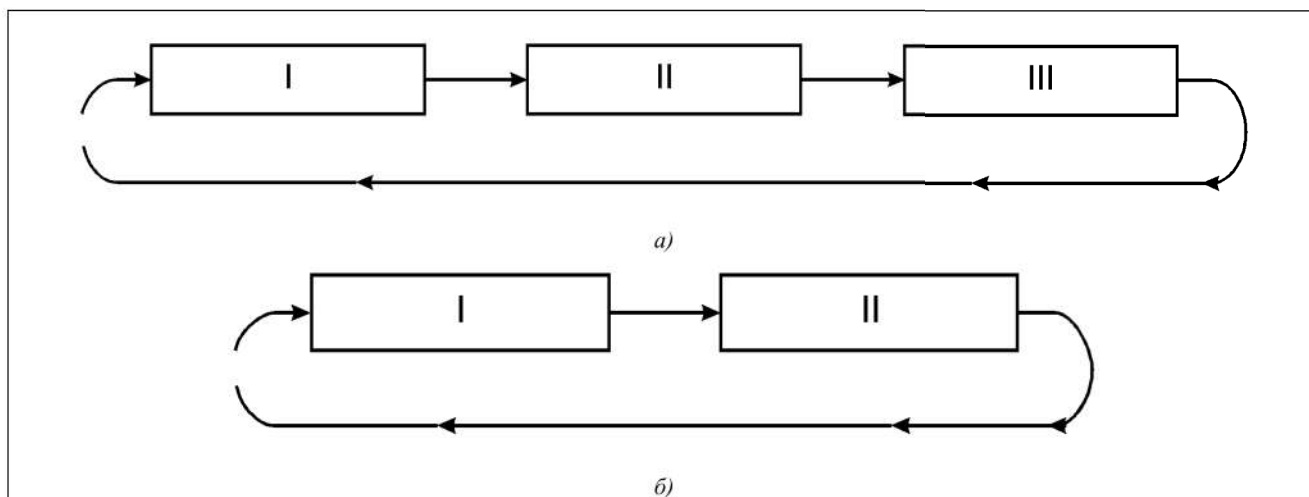


Рис. 2. Возможные варианты витка «спирали» произвольной системы: а – с участием «действия»: I – планирование, II – действие, III – осознание; б – без участия «действия»: I – планирование, II – осознание

Fig. 2. Possible variants of a turn of the spiral in an arbitrary system: а – involving the action: I – planning, II – action, III – awareness; б – without involving the action: I – planning, II – awareness

В другом, наиболее интересном случае (рис. 2,а), когда коалиция хотя бы одной из сенсорных систем сообщает об опасности, происходит превышение порога осознания и своеобразный резонанс с картами целей, смыслов в лобных долях. Возможна и дополнительная активация из таламуса, подготавливая прием сигналов из сенсорных карт. Результатом такого взаимодействия становится обратная (отраженная) волна повышенной активации из лобных долей в сенсорные карты. В данном случае задержка уже составляет около 300–500 мс [25]. Энергетический поток, прохшщлюдящий по выделенной объединенной коалиции нейронов в этом случае (рис. 2,а), автор и считает осознанием [13, 16]. Коалиция нейронов осознания может не совпадать с коалицией прогнозирования, так как происходит при измененной активации.

Принципиально важно отметить [16], что так как сознание – это системное свойство всего мозга человека, то на осознание могут влиять не только ствол, таламус и соответствующие области коры, но и структуры, ответственные за эмоции, речь, и другие. Так, эмоции важны не только для влияния на другие системные свойства мозга, в частности память, но и для решения вопроса об остановке. Последнее имеет также принципиальное значение в решении проблемы остановки компьютеров [20]. Поэтому не случайно в последнее время серьезно прорабатывается вопрос о включении эмоциональных элементов в системы ИИ [26].

Особый вариант осознания – самосознание. В данном случае прохождение энергетических потоков осуществляется по определенным нейронным цепям, причем сейчас в нейробиологии особая роль в самосознании обычно приписывается префронтальной коре, лобным долям [27, 28].

В целом, для сознательной деятельности требуется определенный уровень активации в оптимальном диапазоне для каждого конкретного человека. Кроме уровня активации, для прохождения отмеченной волны по коалиции нейронов осознания необходима также определенная степень синхронизации взаимодействия нейронных цепей. В результате был сделан важный вывод [16]: осознание человека – главный доминирующий процесс энергетической реконструкции в соответствующей коалиции нейронов в оптимальном диапазоне активации бодрствующего состояния человека. Коалиция осознания в каждый конкретный момент времени только одна, т.е. имеет место феномен «бутылочного горлышка» [25].

Изложенное ранее позволило выделить основные процессы «спирали» мыслительной деятельности в случае работы систем 1 и 2 (см. рис. 2,а). Для внутреннего режима работы системы 2 возможно исключение управления действием. В результате идет передача работы коалиций нейронов прогнозирования и осознания, как показано на рис. 2,б.

В [13, 16, 22] рассматривались другие возможные варианты мышления. Большое разнообразие реализуется вследствие обмена сигналами между различными областями и системами мозга. Возможен также выход некоторых подсознательных процессов на сознательный уровень, и наоборот. Многое, конечно же, определяется и индивидуальностью нейронных областей и цепей мозга.

Несмотря на огромное разнообразие функционирования систем 1 и 2, при обработке информации в центральной нервной системе главным принципом, как считает автор, являются преобразования сигналов и энергетические реконструкции [16]. Необходимо заметить, что в настоящее время выделяются различные принципы функционирования мозга [28–30].

Энергетический поток, проходящий по нейронным цепям, будучи предметом нашего осознания, – основное содержание и рабочей памяти. Что происходит в дальнейшем, хорошо описано в нейробиологии [24]. Для более длительного хранения информации она через гиппокамп направляется для корректировки сенсорных карт и префронтальной коры головного мозга. Необходимое условие корректировки – новизна поступающей информации.

Известно, что с сознанием связана проблема «квалиа» (qualia), т.е. чувственных переживаний, которая была рассмотрена в статье [16]. Детально был проанализирован пример ощущения «красного», которое происходит согласно с сформулированным главным принципом функционирования мозга, т.е. преобразований сигналов и энергетических реконструкций. Эти реконструкции не будут полностью соответствовать действительности, так как они копии, а следовательно, не соответствуют полностью оригиналу.

Описанная теория была отнесена автором к монистической материалистической теории сознания эмерджентного типа [2, 12, 16].

Искусственная реализация сознания

Разработанная теория функционирования мозга может найти практическое применение для искусственной реализации сознания, т.е. в наиболее сложном вопросе ИИ. Детально он рассматривался в статье [31]. Отметим лишь основные положения.

В статьях [20, 32] было выделено и проанализировано *три направления создания искусственного интеллекта человеческого уровня (ИИЧУ) и сверхразума:*

- 1) материалистическое;
- 2) идеалистическое;
- 3) гибридное.

К материалистическому направлению отнесены биологический интеллект и электронный интеллект.

Рассмотрение *биологического интеллекта* позволяет сделать вывод, что ИИЧУ достижим [20], так как Природа его реализовала в виде человека. Было выделено два пути: первый путь – реализация сознания на базе других животных, что неизбежно приведет к этическим проблемам; второй путь – восстановление сознания при его потере. В данном случае может использоваться электроника, а также идеалистическое и гибридное направления.

Было показано [20], что *электронный интеллект*, иногда называемый кремниевый интеллект, кремниевое сознание, в принципе, реализуем. Несмотря на этот оптимистический вывод, необходимо отметить, что для создания искусственного электронного аналога мозга необходимо будет воспроизвести многие, а возможно, и все отличительные черты, отмеченные ранее для мозга.

Перечислим *наиболее важные отличия* [20]:

- 1) уровень интеграции;
- 2) аналогово-цифровой характер обработки информации;
- 3) малые энергетические затраты;
- 4) относительно малые размеры;
- 5) гибридизация (пластичность);
- 6) индивидуальность нейронных цепей.

При детальном сравнении с твердотельными ИС было показано, что мозг пока вне конкуренции, и является очень мощной и гибкой информационной системой. Мозг обладает не только количественным, но и качественным отличием от ИС, в частности сознанием, которое предназначено в первую очередь для более качественной обработки информации. Именно данное важнейшее свойство человека не достигнуто в области ИИ.

Главный принцип функционирования мозга, как отмечалось ранее, – преобразования сигналов и энергетические реконструкции. Легко заметить, что многие электронные устройства работают по подобному принципу. Так, грубой имитацией функционирования зрительной и слуховой систем мозга может считаться работа видеокамеры. В этом случае на экране с использованием пикселей, т.е. фрагментов, осуществляется реконструкция изображения, которая дополняется соответствующими звуковыми сигналами. Что надо сделать, чтобы улучшить данную имитацию? Очевидно, необходимо воспроизводить многие отмеченные ранее отличия мозга, а возможно, и все. Что же наиболее важно? По-видимому, это грандиозный уровень интеграции мозга, пластичность, аналогово-цифровой характер обработки информации.

Проведенный анализ [20] позволил сделать выводы:

- 1) реализация ИИЧУ в полном объеме на основе электроники вряд ли произойдет в ближайшее время;
- 2) с учетом сформулированного главного принципа функционирования мозга воспроизведение, хотя бы приближенное, сознания с использованием электроники допустимо. При этом может быть важна описанная ранее теория сознания.

В рамках идеалистического направления выделено два вида [20]:

- 1) на основе полномасштабного моделирования (полной эмуляции мозга);
- 2) создание систем, реализующих ИИЧУ.

Направление полной эмуляции мозга многими считается достаточно перспективным. Для этого будет необходимо создать, прежде всего, удовлетворительную теорию работы мозга. Автор считает перспективным в этом случае использование предложенных теории функционирования мозга и комплексного иерархического подхода. В то же время проведенная оценка привела автора к выводу, что самых мощных современных суперкомпьютеров может быть недостаточно для полной эмуляции мозга человека. Тем не менее, даже в случае создания подходящей теории, сознание, к сожалению, может быть описано лишь с приближениями, причем серьезными.

Направление создания систем, реализующих ИИЧУ, в настоящее время развивается интенсивно. В качестве прообраза таких систем можно рассматривать поисковые системы Google, Amazon, разработки компаний IBM, Apple, DeepMind, Microsoft, Facebook, Baidu, Alibaba, Tencent. Как правило, в их основу положены принципы машинного обучения: глубинное (глубокое) обучение с применением многоуровневых нейронных сетей. Главная здесь проблема так называемого «черного ящика», так как мы не знаем, как был получен тот или иной результат. К сожалению, даже самые передовые системы не могут сравниться в целом с человеком по широте спектра и гибкости решения интеллектуальных задач, потому что, как правило, это узкоспециализированные системы [33, 34], и они пока не обладают сознанием и квалиа. Несмотря на это, данное направление очень важное.

Самым перспективным стало гибридное направление реализации ИИЧУ, сочетающее элементы материалистического и идеалистического направлений [32]. Это направление обычно основывается на применении электронного аппаратного обеспечения (hardware) и программного обеспечения (software). В принципе, здесь возможно большое число вариантов, некоторые из которых были подробно рассмотрены в работе [32], отметим следующие:

идеалистическое направление, по существу, можно отнести к гибриднему, так как требует использования компьютеров, т.е. применения материалистической составляющей;

интерфейсы «человек-машина» или «человек-компьютер»;

метод обратного проектирования мозга, считающийся наиболее перспективным, результат иногда называют «кремниевым интеллектом», «кремниевым сознанием» (см. ранее);

различные нейроморфные решения;

создание разнообразных когнитивных вычислительных систем;

разработка смесей (wetware) аппаратного обеспечения (hardware), программного обеспечения (software) и биологии (различных систем человека, включая мозг) и др.

Создание компактных систем ИИЧУ, скорее всего, произойдет именно в рамках гибридного направления.

Проведенный анализ направлений создания ИИЧУ позволил автору сформулировать *гипотезу 4*, а именно: искусственная реализация сознания человека, судя по всему, будет возможна, но приближенно, не в полном объеме. Из рассмотрения каждого направления также следует, что все они могут привести к созданию более или менее удачных моделей, копий сознания человека.

Заключение

В статье сделан обзор работ автора, связанных с функционированием мозга человека, включая теорию сознания. В их основе лежат предложенные ключевые положения: 1) полная электронная интерпретация функционирования мозга; 2) комплексный иерархический подход исследования мозга, основанный на многоуровневом моделировании в сочетании с экспериментальными методами.

Для их обоснования сформулировано три гипотезы. Было показано, что мозг может интерпретироваться в качестве объекта органической гибридной наноэлектроники. При этом в качестве активных элементов в нейронных (нелинейных электрических) цепях предложено считать каналы (ионные каналы, ионные насосы и др.). По оценке автора, уровень интеграции мозга M , как объект электроники, лежит в диапазоне активных элементов 10^{17} – 10^{21} . Именно уровень интеграции стал основой уникальности мозга человека. Было подчеркнуто, что потребляемая мозгом мощность около 20 Вт с указанным фантастическим уровнем интеграции – убедительный аргументом в пользу того, что мы имеем дело именно с наноэлектроникой. Характер обработки информации в мозге – аналого-цифровой. Как анализировать аналого-цифровое устройство (мозг) такого грандиозного уровня интеграции M ? Для этих целей был предложен комплексный иерархический подход, основанный на многоуровневом моделировании в сочетании с экспериментальными методами его исследования. На его основе построена теория функционирования мозга человека, включая сознание и квалиа. Принципиально важным при этом стал сформулированный главный принцип функционирования мозга – преобразований сигналов и энергетических реконструкций. Анализ литературных источников приводит автора к выводу, что предложенная теория сознания наиболее адекватная из известных на настоящий момент. Рассмотрен также один из наиболее важных вопросов в области ИИ о возможности искусственной реализации сознания. В результате анализа была сформулирована четвертая гипотеза о возможности искусственной реализации сознания, но не в полном объеме.

Список источников

1. Kaku M. The future of the mind: the scientific quest to understand, enhance, and empower the mind. New York: Doubleday Publishers. 2014. 400 p.
2. 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.
3. Абрамов И.И. Мозг – объект органической гибридной наноэлектроники // Нанотехнологии – 2012: Труды Междунар. науч.-техн. конф. г. Таганрог. Ростовская область. Россия. 25–29 июня. 2012. С. 17–18.
4. Абрамов И.И. Мозг – объект наноэлектроники // 22-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Материалы конференции. Крым, Севастополь. 2012. Т. 1. С. 17–19.

5. *Abramov I.I.* The brain is a nanoelectronic object. International Conference “Micro- and Nanoelectronics – 2012”. Book of Abstracts. October 1st-5th, 2012. Moscow-Zvenigorod, Russia. P. 1–10.
6. *Абрамов И.И.* Мозг как объект электроники. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2012. 80 с.
7. *Abramov I.I.* Brain as an Object of Electronics. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2013. 76 p.
8. *Абрамов И.И.* Мозг – объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 1. С. 52–54.
9. *Абрамов И.И.* Мозг – объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть II // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 3. С. 45–53.
10. *Абрамов И.И.* Мозг – объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть III. // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 5. С. 45–54.
11. *Абрамов И.И.* Мозг – объект органической гибридной наноэлектроники, или взгляд со стороны. Часть IV // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 6. С. 49–53.
12. *Абрамов И.И.* Перспективы использования наноэлектроники, наноматериалов и нанотехнологий в исследовании и медицине мозга человека // Нано- и микросистемная техника. 2016. Т. 18. № 1. С. 49–64.
13. *Абрамов И.И.* Сознание человека, или возможности электроники. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2018. Т. 20. № 5. С. 308–320.
14. *Abramov I.I.* Artificial intelligence will never completely replace humans. Russian Microelectronics. 2022. V. 51. № 6. P. 376–386.
15. *Абрамов И.И.* Искусственный интеллект никогда не заменит полностью человека // Микроэлектроника. 2023. Т. 52. № 1. С. 20–31.
16. *Абрамов И.И.* Сознание человека, или возможности электроники. Часть III. // Нано- и микросистемная техника. 2019. Т. 21. № 9. С. 555–574.
17. *Шепард Г.* Нейробиология: в 2-х т. Т. 1. М.: Мир. 1987. 454 с.
18. *Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.* Мозг, разум и поведение. М.: Мир. 1988. 248 с.
19. *Revonsuo A.* Consciousness. The science of subjectivity. Hove and New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group. 2010. 324 p.
20. *Абрамов И.И.* Перспективы и проблемы создания сверхразума. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2020. Т. 22. № 1. С. 46–64.
21. *Абрамов И.И.* Мозг человека – шедевр естественной электроники. Проблемы и перспективы исследования // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий». 2017. Россия. Санкт-Петербург. С. 79–86.
22. *Абрамов И.И.* Сознание человека, или возможности электроники. Часть II // Нано- и микросистемная техника. 2018. Т. 20. № 6. С. 368–384.
23. *Канеман Д.* Думай медленно... решай быстро. М.: АСТ. 2016. 653 с.
24. *Cognition, brain, and consciousness. Introduction to cognitive neuroscience. Second Edition / Ed. by B. J. Baars, N. M. Gage.* Amsterdam: Elsevier, 2010. 658 p.
25. *Деан С.* Сознание и мозг. Как мозг кодирует мысли. М.: Карьера Пресс. 2018. 416 с.
26. *Дозерти П., Уилсон Дж.* Душа машины. Радикальный поворот к человекоподобию систем искусственного интеллекта. М.: МИФ. 2024. 368 с.
27. *Флеминг С.М.* Метамышление. Как нейронауки помогают нам понять себя. М.: Individuum, 2023. 288 с.
28. *Колб Б., Уишоу И.К., Тески Дж.К.* Мозг и поведение. Введение. М.: Лаборатория знаний. 2023. 787 с.
29. *Батуев А.С.* Физиология высшей нервной деятельности и сенсорных систем: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010. 317 с.
30. *Дубынин В.А.* Мозг и его потребности 2.0. От питания до признания. М.: Эксмо, 2024. 448 с.
31. *Абрамов И.И.* Возможна ли искусственная реализация сознания? // Нано- и микросистемная техника. 2023. Т. 25. № 1. С. 42–48.
32. *Абрамов И.И.* Перспективы и проблемы создания сверхразума. Часть II. // Нано- и микросистемная техника. 2020. Т. 22. № 2. С. 112–120.
33. *Форд М.* Архитекторы интеллекта: вся правда об искусственном интеллекте от его создателей. – СПб.: Питер. 2020. 416 с.
34. *Ведяхин А. и др.* Сильный искусственный интеллект: На подступах к сверхразуму. М.: Интеллектуальная Литература. 2021. 232 с.
35. *Абрамов И.И.* Теория функционирования мозга – объект электроники // Материалы и структуры современной электроники: материалы XI Междунар. научн. конф., Минск. 16–18 октября. 2024. Минск. БГУ. 2025. С. 337–342.

Информация об авторе

Игорь Иванович Абрамов – д. ф-м. н., профессор

SPIN-код: 3634-8475

Статья поступила в редакцию 14.01.2025

Одобрена после рецензирования 29.01.2025

Принята к публикации 27.02.2025

Theory of human brain functioning

I.I. Abramov¹

¹ Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Belarus)

¹ nanodev@bsuir.edu.by

Abstract

As many specialists recognize the most difficult problems of modern science are human brain functioning and Universe, its appearance and development. This paper was devoted to the first problem.

In the paper a review of human brain functioning including consciousness theory was presented. Key positions for developed theory of brain functioning are: 1) full electronic interpretation of operation (it is based on hypothesis 1); 2) complex hierarchic approach of brain investigation (it is based on hypothesis 2 and 3). Full electronic interpretation allows to consider brain as object of organic hybrid nanoelectronics with level of integration M within the range of active elements $10^{17} \dots 10^{21}$. Consumed power of brain about 20 W is a convincing analysis of rightness of the proposed interpretation. The theory of brain functioning including consciousness and qualia was formed on developed theoretic basis. Moreover formulated main principle of brain operation – transformation of signals and energy reconstructions is important.

Proposed theory can be used as basis for development of methods of reconstruction of human brain when it was lost. Fourth hypothesis about possibility of artificial consciousness realization – one of main questions in the region of artificial intelligence – was formulated on proposed theoretic basis.

Keywords

Human brain, full electronic interpretation, theory of brain functioning, consciousness, artificial intelligence

For citation

Abramov I.I. Theory of human brain functioning. Nanotechnology: development and applications – XXI century. 2025. V. 17. № 1. P. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.18127/j22250980-202501-02> (in Russian)

References

1. Kaku M. The future of the mind: the scientific quest to understand, enhance, and empower the mind. New York: Doubleday Publishers. 2014. 400 p.
2. Abramov I.I. Problemy i principy fiziki i modelirovaniya pribornih struktur mikro- i nanoelektroniki. I. Osnovnye polozheniya. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2006. № 8. S. 34–37 (in Russian).
3. Abramov I.I. Mozg – ob"ekt organicheskoy gibridnoj nanoelektroniki. Nanotekhnologii – 2012: Trudy Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. g. Taganrog. Rostovskaya oblast'. Rossiya. 25–29 iyunya. 2012. S. 17–18 (in Russian).
4. Abramov I.I. Mozg – ob"ekt nanoelektroniki. 22-ya Mezhdunar. Krymskaya konf. «SVCh-tehnika i telekommunikatsionnye tekhnologii». Materialy konferentsii. Krym, Sevastopol'. 2012. T. 1. S. 17–19 (in Russian).
5. Abramov I.I. The brain is a nanoelectronic object. International Conference "Micro- and Nanoelectronics – 2012". Book of Abstracts. October 1st–5th, 2012. Moscow-Zvenigorod, Russia. P. 1–10.
6. Abramov I.I. Mozg kak ob"ekt elektroniki. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrück-en, Germany, 2012. 80 p.
7. Abramov I.I. Brain as an Object of Electronics. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrück-en, Germany, 2013. 76 p.
8. Abramov I.I. Mozg – ob"ekt organicheskoy gibridnoj nanoelektroniki, ili vzglyad so sto-rony. Chast' I. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2013. № 1. C. 52–54 (in Russian).
9. Abramov I.I. Mozg – ob"ekt organicheskoy gibridnoj nanoelektroniki, ili vzglyad so sto-rony. Chast' II. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2013. № 3. S. 45–53 (in Russian).
10. Abramov I.I. Mozg – ob"ekt organicheskoy gibridnoj nanoelektroniki, ili vzglyad so sto-rony. Chast' III.. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2013. № 5. S. 45–54 (in Russian).
11. Abramov I.I. Mozg – ob"ekt organicheskoy gibridnoj nanoelektroniki, ili vzglyad so sto-rony. Chast' IV. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2013. № 6. S. 49–53 (in Russian).
12. Abramov I.I. Perspektivy ispol'zovaniya nanoelektroniki, nanomaterialov i nanotekhnologii v issledovanii i medicine mozga cheloveka. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2016. T. 18. № 1. C. 49–64 (in Russian).
13. Abramov I.I. Soznanie cheloveka, ili vozmozhnosti elektroniki. Chast' I. Nano- i mikro-sistemnaya tekhnika. 2018. T. 20. № 5. S. 308–320 (in Russian).
14. Abramov I.I. Artificial intelligence will never completely replace humans. Russian Microelectronics. 2022. V. 51. № 6. P. 376–386.
15. Abramov I.I. Iskusstvennyy intellekt nikogda ne zamenit polnost'yu cheloveka. Mikro-elektronika. 2023. T. 52. № 1. S. 20–31 (in Russian).
16. Abramov I.I. Soznanie cheloveka, ili vozmozhnosti elektroniki. Chast' III.. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2019. T. 21. № 9. S. 555–574 (in Russian).
17. Shepard G. Nejrobiologiya: v 2-h t. T. 1. M.: Mir. 1987. 454 s. (in Russian).
18. Blum F., Lejzerson A., Hofstedter L. Mozg, razum i povedenie. M.: Mir. 1988. 248 c. (in Russian).
19. Revonsuo A. Consciousness. The science of subjectivity. Hove and New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group. 2010. 324 p.
20. Abramov I.I. Perspektivy i problemy sozdaniya sverhrazuma. Chast' I. Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2020. T. 22. № 1. S. 46–64 (in Russian).
21. Abramov I.I. Mozg cheloveka – shedevr estestvennoj elektroniki. Problemy i perspektivy issledovaniya. Materialy Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. «Aktual'nye problemy radio- i ki-notekhnologii». 2017. Rossiya. Sankt-Peterburg. S. 79–86 (in Russian).

22. *Abramov I.I.* Soznanie cheloveka, ili vozmozhnosti elektroniki. Chast' II. Nano- i mik-rosternnaya tekhnika. 2018. T. 20. № 6. S. 368–384 (in Russian).
23. *Kaneman D.* Dumaj medlenno... reshaj bystro. M.: AST. 2016. 653 s. (in Russian).
24. Cognition, brain, and consciousness. Introduction to cognitive neuroscience. Second Edition. Ed. by *B.J. Baars, N.M. Gage*. Amsterdam: Elsevier, 2010. 658 p.
25. *Dean S.* Soznanie i mozg. Kak mozg kodiruet mysli. M.: Kar'era Press. 2018. 416 s. (in Russian).
26. *Doerti P., Uilson Dzh.* Dusha mashiny. Radikal'nyj povorot k chelovekopodobiyu sistem iskusstvennogo intellekta. M.: MIF. 2024. 368 s. (in Russian).
27. *Fleming S.M.* Metamyshlenie. Kak nejronauki pomagayut nam ponyat' sebya. M.: Individuum, 2023. 288 s. (in Russian).
28. *Kolb B., Uishou I.K., Teski Dzh.K.* Mozg i povedenie. Vvedenie. M.: Laboratoriya znaniy. 2023. 787 s. (in Russian).
29. *Batuev A.S.* Fiziologiya vysshej nervnoj deyatel'nosti i sensoryh sistem: Uchebnik dlya vuzov. SPb.: Piter, 2010. 317 s. (in Russian).
30. *Dubynin V.A.* Mozg i ego potrebnosti 2.0. Ot pitaniya do priznaniya. M.: Eksmo, 2024. 448 s. (in Russian).
31. *Abramov I.I.* Vozmozhna li iskusstvennaya realizaciya soznaniya?. Nano- i mikrosistem-naya tekhnika. 2023. T. 25. № 1. S. 42–48 (in Russian).
32. *Abramov I.I.* Perspektivy i problemy sozdaniya sverhrazuma. Chast' II.. Nano- i mikro-sistemnaya tekhnika. 2020. T. 22. № 2. S. 112–120 (in Russian).
33. *Ford M.* Arhitektory intellekta: vsya pravda ob iskusstvennom intellekte ot ego sozda-telej. – SPb.: Piter. 2020. 416 s. (in Russian).
34. *Vedyahin A.* i dr. Sil'nyj iskusstvennyj intellekt: Na podstupah k sverhrazumu. M.: In-tellektual'naya Literatura. 2021. 232 s. (in Russian).
35. *Abramov I.I.* Teoriya funkcionirovaniya mozga – ob"ekt elektroniki. Materialy i struktury sovremennoj elektroniki: materialy XI Mezhdunar. nauchn. konf., Minsk. 16–18 oktyab-rya. 2024. Minsk. BGU. 2025. S. 337–342 (in Russian).

Information about the author

Igor I. Abramov – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor

The article was submitted 14.01.2025

Approved after reviewing 24.01.2025

Accepted for publication 27.02.2025