

УДК 621.382:612.82

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

МОЗГ — ОБЪЕКТ ОРГАНИЧЕСКОЙ ГИБРИДНОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ, ИЛИ ВЗГЛЯД СО СТОРОНЫ. ЧАСТЬ IV

Поступила в редакцию 24.07.2012

Приводится новая интерпретация функционирования мозга — объекта органической гибридной наноэлектроники, созданного Природой. Наиболее близкий аналог искусственной электроники — интегральная схема микро- и наноэлектроники. Проводится сопоставление нейронных цепей мозга и интегральных схем и устанавливаются их основные различия. Показывается, что предложенная интерпретация и ее следствия позволяют не только более глубоко разобраться в принципах функционирования мозга, но и предложить перспективный комплексный подход его дальнейшего исследования, основанный на многоуровневом моделировании в сочетании с экспериментальными методами. В части IV дается ответ на вопрос: "А что же дальше?"

Ключевые слова: мозг, наноэлектроника, электронная интерпретация

А что же дальше?

Можно выделить очень много интересных проблем и задач, связанных с мозгом. Здесь их все рассмотреть просто невозможно. Поэтому остановимся кратко лишь на некоторых комплексах таких проблем и задач.

О непосредственном исследовании самого мозга. Ключевые проблемы такого исследования выделяли многие специалисты. Отмечу лишь "две центральные задачи физиологии" В. Маунткастла [1]. Следуя этому выдающемуся нейрофизиологу, на основе анализа литературы и проведенного рассмотрения также выделю два главных направления (проблемы) дальнейшего изучения самого мозга:

1) необходимо разобраться с основными деталями формирования и функционирования локаль-

ных нейронных цепей (условно *микроуровень* исследования);

2) необходимо понять как происходит инициация и управление различных мыслительных процессов, какие при этом структуры мозга функционируют и в какой последовательности (условно *макроуровень* исследования).

Говоря о первой проблеме, конечно же, сделано немало, однако, как свидетельствуют современные данные нейрофизиологии, остается еще очень много неясностей [2]. Вторая проблема не менее захватывающая, так как необходимо разобраться в сложнейшей кооперативной деятельности различных подсистем мозга и в то же время самостоятельности их функционирования, т. е. в этом своеобразном "великом оркестре", включая, конечно же, "дирижера". В свете рассмотренного многоуровневого подхода к моделированию мозга в рамках предложенной электронной интерпретации его работы первая проблема связана с нижними иерархическими уровнями, а вторая — с верхними.

О контактных системах "мозг — искусственный объект", "мозг — искусственный объект — мозг". Данному, по сути дела, вопросу посвящено большое число публикаций, включая научно-фантастические и серьезные научные работы. Достаточно отметить фундаментальные учения великих русских физиологов Ивана Михайловича Сеченова и Ивана Петровича Павлова о безусловном и условном рефлексах [3, 4]. В связи с этим остановимся лишь на наиболее важных для последующего результатах.

Прежде всего вспомним исследования по электрическому раздражению мозга (ЭРМ) с помощью техники вживленных электродов [5–7]. Уже отмечалось, что с помощью ЭРМ можно вызвать самые различные реакции, в том числе психические.

Большой эффект в свое время вызвали пионерские опыты Х. Дельгадо с коллегами, основанные на методе ЭРМ, с помощью "стимосиверов" — миниатюрных радиоэлектронных устройств "для передачи и приема радиосигналов, направленных к мозгу и от него" [5]. Опыты проводили в основном на обезьянах, причем и с применением ЭВМ. Эксперименты подтвердили "возможность установления прямой связи между мозгом и вычислительной

машиной, минуя органы чувств, а также возможность автоматического обучения путем прямой подачи сигналов на определенные структуры мозга без участия сознания" [5]. Не меньшее впечатление в свое время вызвали кадры, на которых "удалось неоднократно продемонстрировать, что раздражение мозга подавляет агрессивность быка¹... и его можно внезапно остановить в самый разгар атаки" [5].

И, тем не менее, некоторые поведенческие акты не удалось получить [5–7]. Пионеры данных исследований связывали это с грубостью метода. Так, Х. Дельгадо писал [5]: "Электрическое раздражение мозга — это, по сути дела, довольно грубый метод". Действительно, если придерживаться принятой интерпретации, то для того, чтобы возникли некоторые сложные поведенческие акты необходимо, по-видимому, два условия. Во-первых, воздействие на строго определенную точку (место) нейронной цепи, а возможно и на комбинацию точек в пространстве и во времени, причем сигналом (сигналами) определенной формы (сила тока, частота и т. п.). Во-вторых, использование более совершенных электродов, например в виде нанопроволок, так как с их помощью можно будет подключиться даже к определенной точке отдельного нейрона, т. е. к требуемому месту элемента электрической цепи² первого типа (см. ранее). Во всяком случае реальный прогресс может быть достигнут в этих направлениях. В то же время известно [7], что в применяемой микроэлектродной технике, как правило, одновременно возбуждаются большие массивы нейронов. В связи с этим удивление вызывает другое. Как вообще были получены достаточно сложные поведенческие акты? То, что они наблюдались в эксперименте, свидетельствует в пользу того, что, с одной стороны, мозг не столь "утонченное устройство" как считается многими³, а с другой, — скорее всего схемы многоуровневого моделирования, основанные даже на не очень детальных моделях, включая описанную выше схему, позволят получить весьма убедительные результаты.

Несмотря на относительную грубость метода ЭРМ на основе микроэлектродной техники, с его помощью уже достигнуты существенные результа-

¹ Речь идет о "быках торо — животных, злобность которых специально повышали с помощью отбора на протяжении многих поколений" [5].

² Очевидно, что более или менее строгая электрическая модель даже отдельного нейрона будет представляться достаточно сложной распределенной эквивалентной электрической схемой. Поэтому речь и идет об определенной точке нейронной цепи.

³ Вероятно в таких исследованиях реализуется хорошо известное явление доминанты [8].

ты в медицине. Достаточно отметить кохлеарные импланты у потерявшего слух человека, которые с успехом используют в целях его восстановления и "представляют собой неопровержимое свидетельство, живой пример интеграции людей и компьютеров" [9]. Данный успех связан с заменой утраченных сенсорных волосковых клеток кохлеарными имплантами, т. е. достаточно высокой степенью локализации воздействия в этом случае, что косвенно подтверждает целесообразность выполнения отмеченных двух условий.

В связи с изложенным выше, автор полагает, что со временем будет возможным считать мысль человека и воспринимать ее людьми с применением искусственных объектов (устройств). Тут, конечно же, встретится немало проблем. Одна из очень интересных будет связана с отличиями в кодировании информации в мозге у различных людей, которые определяются спецификой (индивидуальностью) нейронных цепей (см. ранее). Это проблема совместимости, которая подобна и для подчерка людей⁴. Думаю, что "помощь" в рассматриваемом случае окажут не только искусственные устройства, но и непосредственно мозг принимающего информацию человека вследствие его важнейшего свойства — пластичности, т. е. потребуются определенный период освоения, адаптации, научения к ее восприятию таким образом. По-видимому, не менее сложной проблемой по сравнению с передачей и восприятием информации от мозга к мозгу будет проблема ее прямой записи в мозг. Для этого потребуются создание устройств, преобразующих различные сигналы (оптические, звуковые, химические и др.) сразу в коды мозга. И, тем не менее, автор считает, что и эти проблемы будут решены. По изложенным причинам создание Всемирной сети разума [9] мне не кажется фантастикой, а вполне реальным проектом. И здесь значительный прогресс может быть достигнут с применением нанoeлектроники, нанофотоники, наноматериалов и нанотехнологий. Началом этого процесса можно считать использование нанопроволок и оптогенетики [9].

В заключение краткого рассмотрения выделенных двух комплексов проблем и задач отмечу, что это разделение весьма условно, так как настоящий успех в исследовании мозга невозможен без учета его взаимодействия с другими объектами.

О создании искусственных объектов, эквивалентных мозгу. Этот вопрос наиболее популярен в литературе по кибернетике, искусственному ин-

⁴ Не исключено, что различие в кодировании как раз наглядно проявляется в подчерке людей.

теллекту. Очень хорошо динамику взглядов по данному вопросу отражает следующая фраза М. Арбиба [10]: "... многие различия между человеком и машиной, которые до последнего времени казались очень существенными, являются только количественными". Хотя это в целом и так, однако, как было показано выше, между ИС и мозгом все же существуют весьма серьезные, качественные отличия. Одно из самых существенных — возможность гибкой модификации электрических цепей первого типа. Природа создала очень "хитрую" электронику — оригинальное приемно-передающее¹ устройство в одном объекте — шедевр на основе взаимодействия электрических и химических процессов. Следует признать, что, к сожалению, строго доказать возможность создания аналогичных искусственных объектов сейчас просто невозможно.

И тем не менее можно привести следующие дополнительные аргументы к сказанному многими оптимистами в рассматриваемой области (см., например, [9, 11, 12]). В соответствии с изложенным ранее мыслительная деятельность, судя по всему, — суть макроскопические коллективные явления в нелинейных электрических цепях первого типа. Если это так, то уместно вспомнить слова одного из основателей синергетики — выдающегося немецкого ученого Г. Хакена, а именно [13]: "...с абстрактной точки зрения синергетики кооперативные эффекты могут приводить к такому же макроскопическому поведению систем с совершенно различными макроскопическими компонентами. Существенны лишь параметры порядка". На основе этих двух посылок можно сделать далеко идущий вывод о том, что системы типа мозга могут быть реализованы и искусственно! Не исключено, что это допустимо осуществить необязательно на элементах, подобных выбранным Природой, но и на других. Возможно, что отмеченные в работе отличия между электрическими цепями первого и второго типов помогут прогрессу в данной области.

Рассмотренное направление создания искусственных объектов будет связано с технологиями, основанными на процессах типа "сверху-вниз" и "снизу-вверх" или их комбинации. Во всяком случае об этом свидетельствует положительный опыт в области микро- и нанoeлектроники, нанотехнологий (см., например, [14, 15]).

Возможен, однако, и качественно иной, гораздо более эффективный подход, который автор в работе [14] назвал "от имеющегося". Сущность его за-

¹ Как и в известных приемных устройствах (радиоприемнике, телевизоре и т. п.), здесь, кроме приема, конечно же, важна обработка и воспроизведение информации.

ключается в модернизации или модификации естественных биологических процессов. Необходимо отметить, что данный подход с успехом неявно и давно используется в медицине. Примерами могут служить многочисленные лекарства, улучшающие работу мозга, кохлеарные импланты, возвращающие слух человеку, и др. Можно в определенном смысле и повторить (точнее обхитрить) то, что сделала Природа, т. е. сделать такую же точно систему как человек, включая, естественно, мозг. Это клонирование человека. Но надо ли это? (см. далее).

Здесь уместно кратко остановиться на другой грандиозной проблеме — квантовых компьютерах. Динамику отношения к ней можно кратко охарактеризовать так: "от эйфории к нарастающему пессимизму". Детально проблема рассмотрена в статьях выдающегося советского и российского ученого в области микро- и нанoeлектроники — академика К. А. Валиева и его коллег [16, 17]. Поэтому здесь обращу внимание на одну серьезную проблему, которую упускают из виду. Так, рассматривая баллистический транспорт в нанотранзисторах [14], автор отмечал, что любое взаимодействие микрочастицы в соответствии с квантовой механикой можно интерпретировать как столкновение и оно будет иметь место даже в вакууме с постоянно рождаемыми и уничтожаемыми микрочастицами, т. е. фактически такой транспорт — полезная идеализация. Конечно же, это не является доказательством нереализуемости квантовых компьютеров в принципе, однако добавляет "ложку дегтя в бочку с медом". И тем не менее работы в этом направлении должны продолжаться. Тут я полностью согласен с профессором М. Б. Менским [18]. С одной стороны, из истории известно, что строгое доказательство невозможности вечного двигателя второго рода привело к созданию термодинамики — мощного раздела физики. С другой стороны, работа в этой области уже привела к очень интересным результатам в физике, математике, электронике и др. [16, 17]. Судя по всему, это еще одна, как минимум, "марафонская задача", т. е. просто не надо надеяться на быстрый успех.

Несколько слов о тайнах мозга мифических, мистических и реальных, которые производят красивый эффект (см., например [19—24]). Действительно, автор в целом согласен с Д. Майерсом [20] в том, что в подавляющем числе случаев при более или менее детальном рассмотрении (проверке и т. п.) большинство этих "феноменов" оказывается просто "мыльными пузырями", т. е. некорректными сведениями, или объясняются случайными совпадениями. И тем не менее есть серьезные вопросы, связанные с экстрасенсорикой (см., например [23]),

на которые даже удовлетворительных ответов пока нет. К этим вопросам наука должна относиться более аккуратно, хотя бы потому, что в противном случае число ее оппонентов увеличивается. Тем более, как уже отмечалось, при исследовании мозга есть объективная основа для спекуляций. И в то же время у автора не вызывает сомнения, что многие явления могут быть объяснены в рамках предложенной электронной интерпретации работы мозга, спецификой функционирования электрических (нейронных) цепей первого типа.

Заключение

Ранее отмечалось, что для строгого рассмотрения функционирования мозга необходимо анализировать очень сложный и своеобразный "запутанный клубок" большого числа физико-химических процессов, часто взаимосвязанных. Для того, чтобы попытаться его "распутать" и была предложена описанная последовательная электронная интерпретация. Насколько это удалось — судить читателю. Так же, как известные компьютерная [25, 26] и голографическая [27] метафоры¹ [26], предложенная интерпретация может быть в принципе названа электронной метафорой. В связи с этим необходимо также особо подчеркнуть, что автор не питает иллюзий. Мозг, конечно же, гораздо сложнее. Он просто архисложен. Рассмотренная проблема — это бесспорно, говоря образно, "Эверест науки". При его "штурме" могут быть важны любые, казалось бы на первый взгляд, детали. Поэтому уместно вспомнить следующие слова выдающегося английского физиолога Грея Уолтера [29]: "Когда говоришь о мозге, лучше исходить из положения, что незначущих явлений не существует". Подобной точки зрения придерживались многие исследователи мозга.

Хотя ряд воздействий на мозг может быть в принципе учтен в рамках предложенной интерпретации, например, температура, ионизирующее излучение, освещение, механическая перегрузка, атмосферное давление, однако предстоит сделать немало по разработке соответствующих моделей, так как тут еще очень много неясностей. Существуют значительные неясности и в самой нейрофизиологии, в частности, роли клеток нейроглии, которых гораздо больше (приблизительно на порядок), чем нейронов [30].

И тем не менее автор верит в полезность электронной метафоры, кроме уже отмеченного, по следующим причинам. Во-первых, она позволяет

¹ Критика компьютерной и голографической метафор дана в книгах [28] и [26] соответственно.

продвинуться вперед в понимании мозга. Задача становится более понятной хотя бы в целом. Во-вторых, с ее помощью перебрасывается вполне "естественный мост" к другим важным дисциплинам, в частности кибернетике (искусственный интеллект и др.) и искусственной электронике. А в них немало выдающихся достижений, имеющих огромную практическую ценность, которые могут быть полезны. И, наконец, в-третьих, возможно метафора позволяет наметить не самый прямой и простой, но на настоящий момент времени вполне реальный "маршрут штурма Эвереста науки". Ведь и штурм Эвереста, как известно, проводится поэтапно, т. е. многоуровнево.

В заключение необходимо сделать замечание об этических проблемах исследования мозга. Об этом писали очень многие ученые (см., например, [5, 7, 19, 31]). В связи с развитием наноэлектроники, нанопластики, наноматериалов, нанотехнологий и нанонаук в целом эта проблема приобретает очень серьезный, международный характер¹. Ведь даже атомное оружие может показаться "семечками" по сравнению с возможным "вторжением" в самую интимную сферу человека — его мозг. Ясно, что такого рода исследования по мозгу должны находиться под очень жестким международным контролем.

И все же хотелось бы закончить работу на оптимистической ноте словами выдающегося исследователя мозга — Х. Дельгадо, а именно [5]: "Но существует один аспект исследований на человеке, о котором обычно забывают, — это наш моральный и общественный долг развивать науку на благо человека".

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю признательность моим ученицам Н. В. Колмейцевой, И. А. Романовой и И. Ю. Щербаковой за подготовку рукописей статей к печати.

Список литературы

1. Эделмен Дж., Маунткасл В. Разумный мозг. М.: Мир, 1981. 135 с.
2. Николс Дж. Г., Мартин А. Р., Валлас Б. Дж., Фукс П. А. От нейрона к мозгу. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 672 с.
3. Сеченов И. М. Избранные произведения. М.: Гос. учеб.-педаг. изд-во Минист. просв. РСФСР, 1958. 416 с.
4. Павлов И. П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. М.: Изд-во АМН СССР, 1952. 288 с.
5. Дельгадо Х. Мозг и сознание. М.: Мир, 1971. 264 с.
6. Пенфильд В., Робертс Л. Речь и мозговые механизмы. Л.: Медицина, 1964. 264 с.
7. Бехтерева Н. П., Гоголицын Ю. Л., Кропотов Ю. Д., Медведев С. В. Нейрофизиологические механизмы мышле-

¹ Здесь уместно отметить своевременную книгу по военным нанотехнологиям [32].

ния: Отражение мыслительной деятельности в импульсной активности нейронов. Л.: Наука, 1985. 272 с.

8. **Коган А. Б.** Основы физиологии высшей нервной деятельности: учебник. М.: Высш. шк., 1988. 368 с.

9. **Хорост М.** Всемирный разум. М.: Эксмо, 2011. 288 с.

10. **Арбиб М. А.** Мозг, машина и математика. М.: Наука, 1968. 224 с.

11. **Вулдридж Д.** Механизмы мозга. М.: Мир, 1965. 344 с.

12. **Хокинс Дж., Блейкли С.** Об интеллекте. М.: Вильямс, 2007. 240 с.

13. **Хакен Г.** Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М.: ПЕР СЭ, 2001. 351 с.

14. **Абрамов И. И.** Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и наноэлектроники // Нано- и микросистемная техника. 2006. ч. II. № 9. С. 26–36; 2007. ч. III. № 1. С. 36–47, ч. IV. № 2. С. 24–32, ч. V. № 3. С. 57–70, ч. VI. № 7. С. 10–24; 2009. ч. VII. № 7. С. 14–29, № 8. С. 7–23; 2010. ч. VIII. № 9. С. 27–37, № 10. С. 28–41, № 11. С. 29–42.

15. **Кобаяси Н.** Введение в нанотехнологию. Пер. с японск. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 134 с.

16. **Валиев К. А.** Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // УФН. 2005. Т. 175, № 1. С. 3–39.

17. **Валиев К. А., Вьюрков В. В., Орликовский А. А.** Кремниевая наноэлектроника: проблемы и перспективы // Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 6. С. 7–22.

18. **Менский М. Б.** Человек и квантовый мир. Фрязино: Век 2, 2005. 320 с.

19. **Лурия А. П.** Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1973. 375 с.

20. **Майерс Д.** Психология. Минск: Попурри, 2006. 848 с.

21. **Бернацкий А. С.** Загадочный и парадоксальный мозг. Минск: Нар. асвета, 2011. 176 с.

22. **Каструбин Э. М.** Ключ к тайнам мозга. М.: Триада, 1995. 240 с.

23. **Феномен "Д" и другие** / Сост. Л. Е. Колодный. М.: Политиздат, 1991. 335 с.

24. **100 великих тайн сознания** / Авт.-сост. А. С. Бернацкий. М.: Вече, 2011. 384 с.

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

26. **Арбиб М.** Метафорический мозг. М.: Мир, 1976. 296 с.

27. **Прибрам К.** Языки мозга. М.: Прогресс, 1975. 464 с.

28. **Дрейфус Х.** Чего не могут вычислительные машины. Критика искусственного разума. М.: Прогресс, 1978. 336 с.

29. **Грей Уолгер.** Живой мозг. М.: Мир, 1966. 300 с.

30. **Хомутов А. Е., Кульба С. Н.** Анатомия центральной нервной системы: учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 315 с.

31. **Хомская Е. Д.** Нейропсихология. М.: Изд-во МГУ, 1987. 288 с.

32. **Альтман Ю.** Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений. М.: Техносфера, 2008. 424 с.