

МОЗГ — ОБЪЕКТ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Абрамов И. И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Беларусь
тел.: +375-17-293-88-77, e-mail: nanodev@bsuir.edu.by

Аннотация — Приведена новая интерпретация функционирования мозга — объекта органической гибридной наноэлектроники. Показано, что она 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.

I. Введение

В работе автора [1] было отмечено, что «мозг может интерпретироваться в качестве объекта органической гибридной наноэлектроники, созданного Природой». При этом наиболее близкий аналог искусственной электроники — интегральная схема (ИС) микро- и наноэлектроники. Впервые данная интерпретация прозвучала на 11-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», КрыМиКо'2001 (10—14 сентября 2001 г., г. Севастополь) в ответе автора на вопрос о достижениях в области наноэлектроники.

Целью работы является более глубокое обоснование указанных положений, а также попытка ответить на следующие вопросы: 1). Почему мозг может интерпретироваться как объект органической гибридной наноэлектроники? 2). Как приблизительно функционирует мозг с точки зрения специалиста в области электроники? 3). Достаточно ли для описания работы мозга, включая сознание, мысль, другие психические функции, квантовой механики? 4). Как далее исследовать мозг?

II. Гипотезы

При ответах на указанные вопросы формулируются следующие важные гипотезы: 1) о доминирующем влиянии на функционирование мозга электрических процессов; 2) о достаточности квантовой механики, как базы исследования мозга; 3) строгое математическое моделирование работы мозга относится к классу труднорешаемых задач класса NP (NP — полная задача).

В докладе показывается, что данные гипотезы позволяют вполне удовлетворительно ответить на поставленные вопросы.

III. Краткие ответы на вопросы

Вопрос 1. Почему мозг может интерпретироваться как объект органической гибридной наноэлектроники?

Для ответа на этот вопрос приводятся известные данные нейрофизиологии и нейропсихологии, подтверждающие принципиальную важность электрических процессов в мозге. Показано, что этих данных достаточно, чтобы интерпретировать мозг в качестве объекта естественной электроники, созданного Природой. Так как ключевыми структурами в мозге являются органические молекулы — объекты с характерными размерами в нанометровом диапазоне, то, следовательно, речь идет об органической наноэлектронике. Согласно данным нейрофизиологии и нейропсихологии очень важны для функционирования

мозга, по крайней мере, еще и химические процессы [2], поэтому в конечном итоге мы имеем дело с мозгом — объектом органической гибридной наноэлектроники.

Вопрос 2. Как приблизительно функционирует мозг с точки зрения специалиста в области электроники?

Итак, данные нейрофизиологии свидетельствуют о том, что наиболее важными для работы мозга являются электрические и химические процессы. При этом обработка информации в мозге, а также различные психические функции связываются с работой нейронных ансамблей или цепей [3]. Важность для понимания психических функций мозга электрических процессов отмечалась многими исследователями, однако традиционно в специальных дисциплинах о мозге предпочтение отдается химическим сигналам, а не электрическим.

Тем не менее, в докладе показывается, что все основные элементы нейронных цепей (первый тип) мозга могут рассматриваться в качестве элементов электрических цепей, т.е. нейронная цепь — своеобразная электрическая цепь. Учитывая это, проведено сравнение цепей первого типа с ИС микро- и наноэлектроники (второй тип) и установлены их основные различия. Так, нейронная цепь — это сначала растущая, а затем возможно модифицируемая электрическая цепь. И в этом, пожалуй, самое главное и принципиальное ее отличие от ИС, которое и приводит к наиболее существенным преимуществам цепей первого типа над цепями второго.

В соответствии с проведенным анализом обосновывается гипотеза о доминирующем влиянии на функционирование мозга элиментарных процессов. Химические процессы обеспечивают питание электрических цепей мозга, а также их возможную модификацию. В первую очередь именно поэтому Природа не пошла по чисто «электронному пути», а пошла по «гибридному пути», т.е. элегантно взаимодействия (преобразования) электрических и химических процессов.

Таким образом, в рамках предложенной интерпретации мозг зрелого человека — это, прежде всего, набор нелинейных электрических (нейронных) цепей двух видов, которые не должны модифицироваться и которые должны модифицироваться. И в том и в другом случаях — это память.

В докладе подробно анализируется стадия модификации нейронных цепей в процессе получения сенсорной информации после ее конвертирования в электрические сигналы. Показывается, что нейронные цепи мозга характеризуются крайне сложной топологической (морфологической) структурой, фактически индивидуальной, несмотря на, казалось бы, однотипность основных элементов (тела клеток, аксоны, дендриты, шипики, синапсы, ионные каналы). Подробно проанализированы изменения, которые могут влиять на характеристики электрических (кодирующих информацию) цепей первого типа, а следовательно, их функционирование.

Так как мозг является полифункциональным устройством, то в докладе рассматриваются различные режимы его работы. При этом выделено три типа режимов работы мозга, как набора нелинейных электрических цепей, а именно: 1) при внешнем воздействии; 2) без внешнего воздействия (внутренний); 3) смешанный. Все отдельные режимы работы мозга, включая восприятие, мышление и другие психические функции, относятся к одному из указанных типов. Показано, что любой специфический режим работы мозга является результатом прохождения электрического сигнала (сигналов) по соответствующему набору электрических цепей первого типа, причем основными возможными операциями являются: сравнение, кодирование, декодирование, команда к действию, модификация нейронных цепей.

Рассмотрены такие важные режимы функционирования мозга, как обработка сенсорной информации, распознавание образов, воспоминания, мышление, управление систем жизнедеятельности организма, сновидения и др. В частности, мысль — это декодирование (внутреннее воспроизведение) электрического сигнала (сигналов) инициированного самим мозгом, проходящим по различным нейронным цепям мозга соответствующей пространственно-временной конфигурации. Итак, человек в основном мыслит на базе сформированных «шаблонов». Рассмотрены и более сложные мыслительные процессы, например озарение (инсайт). Однако обычно мышление — внутреннее восприятие человеком закодированной в самом мозге информации.

Так как многие рассматриваемые режимы могут реализовываться параллельно, то, строго говоря, типичный режим функционирования мозга — смешанный. Например, мыслительная деятельность часто происходит при поступлении внешней информации, т.е. в смешанном режиме. Отмечу также взаимодействие или взаимовлияние различных специфических режимов работы мозга.

Таким образом, приведенная в докладе интерпретация и ее следствия позволяют более глубоко разобраться в принципах функционирования мозга.

Как же исследовать объект электроники такой потрясающей сложности? Для этого необходимо ответить на два следующих вопроса.

Вопрос 3. Достаточно ли для описания работы мозга, включая сознание, мысль, другие психические функции, квантовой механики?

Детальный анализ этого вопроса позволил сформулировать следующую точку зрения. С одной стороны, психические функции мозга не могут быть описаны точно с помощью квантовой механики в принципе. Это связано с тем, что математические модели квантовой механики являются идеализациями, а, следовательно, не могут полностью соответствовать даже более или менее сложному изучаемому объекту. Автор в статье [1] назвал эту проблему — проблемой «первого шага» (начало идеализации) и, по видимому, она в общем случае неустранима в науке, основанной на математических моделях. Отмечаются и другие проблемы. С другой стороны, анализ истории вопроса, а также приводимые автором аргументы приводят к выводу о том, что функционирование мозга может быть в принципе описано с высокой степенью точности (достаточной) с применением формализма квантовой механики (вторая гипотеза о достаточности).

Для детального исследования мозга необходимо учесть не только колоссальное количество элемен-

тов нейронных цепей (число нейронов — $(10^{10} \dots 10^{12})$, синапсов — $(10^{14} \dots 10^{15})$, еще большее число ионных каналов и молекул, являющихся ключевыми структурами), полифункциональность этих нелинейных цепей, но и то что они могут регулярно модифицироваться в процессе функционирования.

В связи с этим, к сожалению, строгое решение задачи на уровне квантовой механики практически невозможно. Необходимы последующие шаги идеализации.

Вопрос 4. Как далее исследовать мозг?

В связи с изложенным выше формулируется третья гипотеза о том, что строгое математическое моделирование работы мозга относится к классу труднорешаемых задач класса NP (NP — полная задача).

Отмеченные гипотезы, проведенный анализ, определенная аналогия с ИС микро- и нанозлектроникой позволяют рассматривать многоуровневое моделирование в сочетании с экспериментальными методами в качестве перспективного подхода к более детальному исследованию мозга, т.е. решению этой грандиозной по сложности проблемы. Замечу, что подобный подход себя полностью оправдал при исследовании ИС микроэлектроники [4, 5].

В докладе предлагается конкретная схема многоуровневого моделирования мозга, основанная на отмеченных ключевых идеях.

III. Заключение

Приведенная интерпретация и ее следствия позволяют, с одной стороны, более глубоко разобраться в принципах функционирования мозга, а, с другой, — предположить перспективный комплексный подход исследования мозга, основанный на схемах многоуровневого моделирования в сочетании с экспериментальными методами.

IV. Список литературы

- [1] *Абрамов И. И.* Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и нанозлектроники. I. Основные положения // *Нано- и микросистемная техника*. 2006. № 8. С. 34—37.
- [2] *От нейрона к мозгу* / Дж. Г. Николлс, А. Р. Мартин, Б. Дж. Валлас, П. А. Фукс. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 672 с.
- [3] *Бехтерева Н. П.* Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1988. 262 с.
- [4] *Абрамов И. И.* Лекции по моделированию элементов интегральных схем. Москва—Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 152 с.
- [5] *Абрамов И. И.* Лекции по моделированию элементов интегральных схем микроэлектроники. Учеб. пособие. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 116 с.

THE HUMAN BRAIN AS AN OBJECT OF NANOELECTRONICS

Abramov I. I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

6, P. Brovki str., Minsk, 220013, Belarus

Ph.: +375-17-293-8877, e-mail: nanodev@bsuir.edu.by

Abstract — The interpretation of the human brain as an organic hybrid object of nanoelectronics is presented. The interpretation and its consequences are used for more accurate understanding of main functions of the brain. Complex multilevel approach to simulation of these functions is developed.

I. Introduction

It was noted that «the brain can be interpreted as an object of organic hybrid nanoelectronics created by the Nature» [1].

Therefore the nearest analogue in artificial electronics is an integrated circuit (IC) of micro- and nanoelectronics.

The aim of this work is a deeper argumentation of these statements, as well as an attempt to answer the following questions: 1). Why can the brain be interpreted as an object of organic hybrid nanoelectronics? 2). How does the brain function from the point of view of a specialist in electronics? 3). Is quantum mechanics enough for description of the brain functioning, including consciousness, thought, and its other mental functions? 4). How to investigate the brain further?

II. Hypotheses

The following hypotheses are formulated: 1) the hypothesis of the dominant influence of electrical processes on brain function; 2) the hypothesis of the adequacy of quantum mechanics as a base for the study of the brain; 3) the hypothesis that rigorous mathematical simulation of the brain functioning is referred to NP class problems.

The hypotheses allow satisfactorily answering these questions as shown in the paper.

III. Brief Answers to the Questions

Question 1: Why can the brain be interpreted as an object of organic hybrid nanoelectronics?

The known data of neurophysiology and psychology confirm the importance of electrical processes in the brain. It is shown that these data are sufficient to interpret the brain as an object of natural electronics created by the Nature. Since the key structures in the brain are organic molecules it follows that we are talking about organic nanoelectronics. According to the neurophysiology and psychology data chemical processes are very important too for the functioning of the brain [2], so we have to deal with the brain – an object of organic hybrid nanoelectronics.

Question 2: How does the brain function from the point of view of a specialist in electronics?

Thus, the data of neurophysiology suggests that electrical and chemical processes are the most important for the brain functioning. In this connection processing of information in the brain, as well as different mental functions, is associated with the work of neuronal ensembles or populations [3]. The importance of electrical processes for understanding the mental functions of the brain was noted by many researchers, however, chemical signals, but not electrical ones, are traditionally preferred in the neurophysiology.

Nevertheless, it is shown that all the basic elements of neuronal sets of the brain can be considered as elements of electrical circuits, i.e. neuronal circuit (first type) is a peculiar kind of electrical circuit. Therefore the comparison of the first type circuits with ICs of micro- and nanoelectronics (second type) was made and their basic differences were determined. Thus, the neuronal circuit is firstly growing, and then possibly modified electrical circuit. In addition, this is perhaps the most important and fundamental its difference from the IC, which leads to the most significant advantages of first type circuits over the second type ones.

In accordance with the carried out analysis the hypothesis of the dominant influence of electrical processes on the functioning of the brain is stated. Chemical processes provide a supply for the electrical circuits of the brain, as well as their possible modification. First of all this is why the Nature did not follow a purely «electronic way», but followed the «hybrid way», i.e. the way of elegant interaction (transformation) of electrical and chemical processes.

Thus, according to the proposed interpretation, the human brain is a set of nonlinear electrical (neuronal) circuits of the two kinds that should not be modified and which should be modified. In all cases it is memory.

Since the brain is a multifunctional device the various modes of its operation are discussed in the paper. Three types of operation modes of the brain as a set of nonlinear electrical circuits are realized, namely: 1) with external influence; 2) without external influence (internal), and 3) mixed. All the individual modes of the brain, including perception, thinking, and other mental functions, are related to one of these types. It is shown that any particular operation mode of the brain is the result of the passage of an electrical signal (or signals) across a corresponding set of electrical circuits of the first type, besides basic possible operations are following: comparison, encoding, decoding, action command, modification of neuronal circuits.

Such important modes of functioning of the brain as processing of sensory information, image recognition, thinking, dreams, etc. are discussed. In particular, thought is a decoding (internal reproduction) of electrical signal (or signals) initiated by the brain itself, passing by the brains' neuronal circuits of corresponding spatial-temporal configuration. The more complex mental processes are considered, for example insight. Usually, however, thinking is the internal perception of the earlier coded information in the brain.

How can we analyze the object of electronics of such complexity? We must answer the following two questions.

Question 3: Is quantum mechanics enough for description of the brain functioning, including consciousness, thought, and its other mental functions?

A detailed analysis of this problem has allowed formulating the following point of view. On the one hand, the mental functions of the brain can not be described accurately by quantum mechanics in principle. This is due to the fact that the mathematical models of quantum mechanics are idealizations, and therefore can not fully coincide with even less complex objects that are being studied. The author called this problem – the problem of «first step» (the beginning of idealization) in the paper [1]. On the other hand, analysis of the history of the issue, as well as arguments of the author, lead to the conclusion that the functioning of the brain can in principle be described with a high degree of accuracy using the formalism of quantum mechanics (the second hypothesis about the adequacy).

For a detailed study of the brain one should take into account not only the enormous number of elements of neuronal circuits (the number of neurons - 10^{10} - 10^{12} , synapses - 10^{14} - 10^{15} , an even greater number of ion channels and molecules that are key structures), polyfunctionality of these nonlinear electrical circuits, and also that they can be modified.

In this regard, unfortunately, the exact solution of the problem at the quantum mechanics level is impossible. Further steps of idealization are needed.

Question 4: How to investigate the brain further?

In connection with the above mentioned the third hypothesis is stated that rigorous mathematical simulation of the brain functioning is referred to NP class problems.

Three hypotheses, carried out analysis, defined analogy with the IC of micro- and nanoelectronics allow us to consider multilevel simulation combined with experimental methods as a promising approach to a more detailed study of the brain, i.e. a solution of this problem of enormous complexity. Note that a similar approach has been completely justified while investigating ICs of microelectronics [4, 5].

In the paper the scheme of a multilevel simulation of the brain based on the noted key ideas is presented.

IV. Conclusion

The above mentioned interpretation and its consequences allow, on the one hand, to analyze the principles of the brain functioning more deeply, and, on the other – to suggest a complex approach of brain investigation, based on a multilevel simulation combined with experimental methods.