

Малыгина Анна Сергеевна

Бакалавриат 4 курса

Институт «Уральский технический институт связи и информатики»

Россия, г. Екатеринбург

**ЗА ПРЕДЕЛАМИ ДВОИЧНОГО КОДА: КАК ОРГАНОИДНЫЙ
ИНТЕЛЕКТ МОЖЕТ РЕШИТЬ ЗАДАЧИ, НЕДОСТУПНЫЕ ДЛЯ
КЛАССИЧЕСКИХ КОМПЬЮТЕРОВ**

Аннотация. В данной статье рассматривается зарождение новой вычислительной парадигмы – органоидного интеллекта (ОИ), основанной на использовании трехмерных культур нейронов мозга (органоидов) в качестве биологических процессоров. Прослеживается переход от ограничений традиционной кремниевой архитектуры, работающей на двоичном коде, к возможностям нейроморфных вычислений, имитирующих принципы работы человеческого мозга. Особое внимание уделяется научной новизне подхода, заключающейся в способности ОИ к самоорганизации, нейропластичности и энергоэффективной обработке неструктурированных данных. В заключении подчеркивается, что органоидный интеллект представляет собой не замену классическим компьютерам, а революционный инструмент для решения задач, ранее считавшихся невычислимыми, в таких областях, как персонализированная медицина и моделирование сложных систем.

Annotation. This article examines the emergence of a new computing paradigm—organoid intelligence (OI) – based on the use of three-dimensional brain neuron cultures (organoids) as biological processors. It traces the transition from the limitations of traditional, binary-code-based silicon architecture to the capabilities of neuromorphic computing, which emulates the operational principles of the human brain. Particular attention is given to the scientific novelty of this approach, which lies

in OI's capacity for self-organization, neuroplasticity, and the energy-efficient processing of unstructured data. In conclusion, it is emphasized that organoid intelligence is not a replacement for classical computers but rather a revolutionary tool for solving problems previously considered incomputable in fields such as personalized medicine and complex systems modeling.

Ключевые слова: Органоидный интеллект (ОИ), Нейроморфные вычисления, Органоиды мозга, Искусственный интеллект, Нейропластичность, Биокомпьютинг, Персонализированная медицина.

Keywords: Organoid Intelligence (OI), Neuromorphic Computing, Brain Organoids, Artificial Intelligence, Neuroplasticity, Biocomputing, Personalized Medicine.

Развитие вычислительной техники на протяжении десятилетий подчинялось закону Мура и логике двоичного кода. Однако по мере роста сложности задач, стоящих перед человечеством, от моделирования климатических изменений до разработки лекарств от нейродегенеративных заболеваний, становятся очевидны фундаментальные пределы классической, фон-неймановской архитектуры. Важность поиска новых вычислительных подходов заключается в необходимости обработки огромных, "шумных" и неполных наборов данных, с чем кремниевые процессоры справляются неэффективно. Этот поиск привел к зарождению органоидного интеллекта – революционной концепции на стыке биотехнологий и информатики. Научная новизна данного подхода заключается в переходе от имитации интеллектуальных процессов с помощью кода к прямому использованию биологических нейронных сетей для вычислений, открывая путь к решению ранее недоступных задач [2].

Почему двоичный код не всемогущ

Несмотря на колоссальный прогресс, классические компьютеры сталкиваются с рядом неотъемлемых ограничений, которые становятся все более явными:

– комбинаторный взрыв – это задачи, связанные с оптимизацией и поиском (например, задача коммивояжера), требуют перебора экспоненциально растущего числа вариантов. Для классического компьютера это означает колоссальные затраты времени и энергии, часто делая решение практически невозможным;

– энергетический голод, а именно обучение современных моделей искусственного интеллекта требует огромных вычислительных мощностей и потребляет мегаватты энергии. Человеческий мозг, решая более сложные задачи, обходится мощностью около 20 Ватт [3];

– хрупкость перед неопределенностью, так как классические алгоритмы требуют четко структурированных и полных данных. Они плохо справляются с неоднозначностью, контекстом и "шумом", присущими реальному миру, что ограничивает их применение в сложных аналитических системах;

– отсутствие истинного обучения: машинное обучение, по сути, является сложной математической оптимизацией. В отличие от него, биологические системы учатся, физически перестраивая свою структуру (нейропластичность), что обеспечивает гибкость и адаптивность.

Органоидный интеллект: принципы работы биокомпьютера

Органоидный интеллект (ОИ) – это не просто теоретическая концепция, а функционирующая система, объединяющая живые ткани и электронику. Ее работа основана на принципиально иных началах, чем у кремниевых аналогов.

Архитектура ОИ включает:

– биологический процессор – в основе лежит органоид мозга – трехмерная культура нейронов, выращенная из стволовых клеток. Эти клетки спонтанно формируют сложные нейронные сети, способные к синаптической пластичности [2];

– аппаратно-программный интерфейс: органоид помещается на многоэлектродную матрицу, которая служит двунаправленным каналом связи.

Через электроды подаются стимулирующие сигналы (ввод) и считывается электрическая активность нейронов (вывод) [4];

- обучение через обратную связь, обучение системы происходит по принципу "воплощенного интеллекта". Система учится не через программирование, а через взаимодействие со средой (реальной или виртуальной), стремясь к минимизации энтропии (неопределенности) получаемых сигналов [5].

Этот подход позволяет ОИ решать задачи, используя присущие мозгу механизмы массового параллелизма и аналоговых вычислений.

Научная новизна ОИ заключается в его способности решать проблемы, которые являются "узким местом" для традиционных вычислений.

Таблица 1

Сравнение вычислительных парадигм

Аспект	Классический компьютер	Органоидный интеллект
Принцип вычислений	Последовательный, цифровой (двоичный код)	Параллельный, аналоговый
Обучение	Математическая оптимизация на больших данных	Физическая перестройка структуры (нейропластичность)
Энергоэффективность	Низкая	Чрезвычайно высокая
Работа с данными	Требует структурированных и "чистых" данных	Эффективен при работе с "шумными" и неполными данными
Ключевое преимущество	Скорость и точность в детерминированных задачах	Адаптивность, решение неструктурированных задач

Примеры потенциальных прорывов:

- персонализированная нейрофармакология, например создание "аватаров" мозга пациентов с болезнями Альцгеймера или Паркинсона для

быстрого тестирования тысяч лекарственных препаратов и подбора индивидуальной терапии [6];

- моделирование сложных систем, а именно использование ОИ в качестве "живого симулятора" для изучения систем с нелинейной динамикой, таких как климат, социальные взаимодействия или финансовые рынки;

- создание истинно адаптивных роботов. Робототехнические системы, управляемые ОИ, смогут обучаться на основе реального опыта, а не только на предварительно заданных алгоритмах, эффективно действуя в непредсказуемой среде.

Заключение

Эволюция вычислительных систем подходит к точке, где двоичного кода становится недостаточно. Органоидный интеллект представляет собой логичный следующий шаг – переход от имитации мышления к использованию его биологических носителей. Этот подход не отменяет классические компьютеры, а дополняет их, создавая новый класс инструментов для решения нового класса задач. Научная новизна ОИ заключается в использовании принципов нейропластичности и самоорганизации для создания энергоэффективных, адаптивных и способных к обучению вычислительных систем. Развитие этой технологии обещает прорывы в медицине, науке о материалах и создании настоящего автономного искусственного интеллекта, отвечающего сложнейшим вызовам XXI века.

Литература

1. Смирнова Л., Каффо Б.С., Харрис Т.Д. и др. Органоидный интеллект (ОИ): новый рубеж в биокомпьютинге и "интеллекте в чашке Петри" // *Frontiers*

in Science. – 2023. – Т. 1. – С. 1017235. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsci.2023.1017235/full> (дата обращения: 08.08.2025).

2. Каган Б.Дж., Китчен А.К., Тран Н.Т. и др. Нейроны *in vitro* обучаются и проявляют чувствительность, будучи воплощенными в симулированном игровом мире // *Neuron*. – 2022. – Т. 110, № 24. – С. 1–17. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273\(22\)00806-6](https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273(22)00806-6) (дата обращения: 08.08.2025).

3. Тегмарк М. Жизнь 3.0: Быть человеком в эпоху искусственного интеллекта. – Allen Lane, 2017. – 384 с.

4. Хартунг Т., Смирнова Л. Органоидный интеллект: новый рубеж для тестирования *in vitro* и моделирования *in silico* // *Alternatives to Animal Experimentation*. – 2023. – Т. 40, № 1. – С. 3–32. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.altex.org/index.php/altex/article/view/2801> (дата обращения: 08.08.2025).

5. Фристон К.Дж. Принцип свободной энергии: единая теория мозга? // *Nature Reviews Neuroscience*. – 2010. – Т. 11, № 2. – С. 127–138. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nature.com/articles/nrn2787> (дата обращения: 08.08.2025).

6. Рега М., ван-де-Лемпут Дж. и др. Инженерия интерфейсов "мозг-компьютер" в церебральных органоидах человека // *Advanced Science*. – 2021. – Т. 8, № 24. – С. 2101490. [Электронный ресурс]. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/advs.202101490> (дата обращения: 08.08.2025).