

**Компьютерная модель  
межнейронных взаимодействий**

**В.А. Антошкин**

**В.Ф. Сазонов**

**Computer model of interneural  
interactions**

**V.A. Antoshkin**

**V.F. Sazonov**

*РГУ имени С.А. Есенина*

*г. Рязань*

*Ryazan State University*

*v.antoshkin@rsu.edu.ru*

*v.sazonov@rsu.edu.ru*

*Аннотация.* Рассматривается компьютерная модель динамики нейронов и нейронных сетей мозга для решения задач сетевого моделирования межнейронных взаимодействий, связанных с кооперативными эффектами сигнализации в ансамблях нелинейных взаимодействующих элементов

*Ключевые слова:* нейрон, моделирование, компьютерная программа, UML-модель

*Annotation.* We consider an interactive computer model of the dynamics of neurons and neural networks of the brain to solve problems of network modeling interneuron interactions associated with the cooperative effects signaling in ensembles of interacting nonlinear elements

*Keywords:* *neuron, modeling, computer software, UML-model*

Современный этап развития науки и техники сопровождается интенсивным внедрением новых информационных технологий во все сферы человеческой деятельности, и на сегодняшний день невозможно представить себе исследования в различных областях науки без использования передовых компьютерных систем.

Компьютерное моделирование в исследованиях функционирования головного мозга и нервной системы позволяет преодолеть ограничения и трудности, возникающие при постановке лабораторного эксперимента, благодаря возможности проведения численных опытов, и исследовать отклик изучаемой системы на изменения ее параметров и начальных условий.

Для изучения феноменов, наблюдаемых в нейронных структурах мозга, необходимо понимание динамических принципов работы отдельных клеток – нейронов – во взаимодействии с другими нейронами.

Процесс возбуждения нейрона имеет электрохимическую природу, которая в основном проявляется в динамике трансмембранных ионных токов натрия ( $\text{Na}^+$ ) и калия ( $\text{K}^+$ ), изменяющих электрический потенциал мембраны нейрона. При достижении порогового уровня локального потенциала, возникающего в ответ на химические воздействия, на мембране генерируется электрический импульс, который называется потенциалом действия или «спайком» (Рисунок 1). Местом генерации потенциала действия в большинстве случаев является аксонный холмик – структурное образование в месте отхождения аксона от тела клетки. Аксонный холмик имеет пониженный порог возбуждения, поэтому нервный импульс рождается именно на нем. Таким образом, аксонный холмик является интегративной зоной на мембране, он интегрирует все возникающие на нейроне локальные потенциалы (возбуждающие и тормозные) – и первый срабатывает на

достижение критического уровня деполяризации, порождая нервный импульс [3].



Рисунок 1 – Изменение потенциала мембраны нейрона

Ранее нами были сформулированы общие нейрофизиологические принципы (постулаты) в качестве требований к модели, имитирующей межнейронные взаимодействия [5].

В данной работе для создания компьютерной модели межнейронных взаимодействий было предложено использовать компонентно-ориентированный подход. Для этого были разработаны четыре компонента, наследники от класса TPaintBox (Рисунок 2):

- TNeuron – для представления тела нейрона.
- TAxon – для представления аксона нейрона.
- TTelodendria – для соединения аксона с другими нейронами.
- TSynaps – для хранения параметров передачи воздействия от одного нейрона другим нейронам.

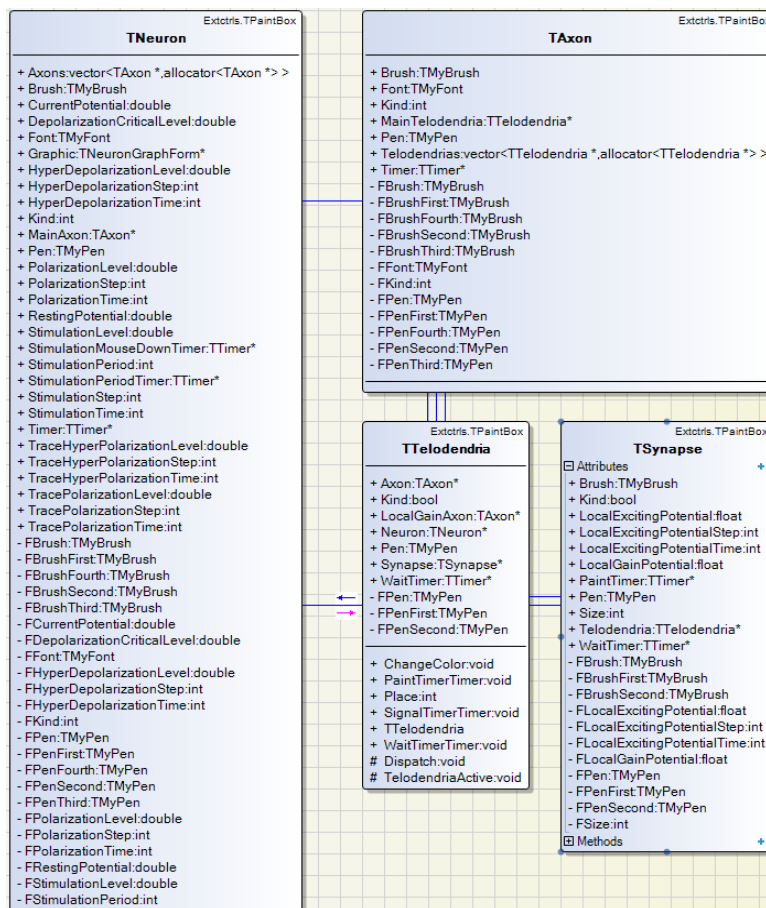


Рисунок 2 – UML-модель компонентов нейрона

В этой модели компонент для представления нейрона содержит динамический массив связанных с ним аксонов (Axons), один из которых является основным (MainAxon). Основной аксон определяет направление передачи возбуждения.

У каждого аксона хранится список связанных с ним коннекторов с другими телами нейронов (Telodendrias), один из которых является основным (MainTelodendria). Основной коннектор связан с телом нейрона, передающего возбуждающий импульс, а остальные коннекторы – с телами нейронов, принимающих внешнее воздействие. Каждый компонент TTelodendria содержит ссылку на его нейрон и аксон, а также на связанный с ним синаптический выход, выполненный в виде отдельного компонента TSynapse.

Такая иерархия компонентов позволяет для каждого нейрона определить наличие связи и ее параметры со всеми остальными нейронами.

С помощью этой UML-модели было разработано программное обеспечение «Нейроимпульсация 1.0» (Рисунок 3).

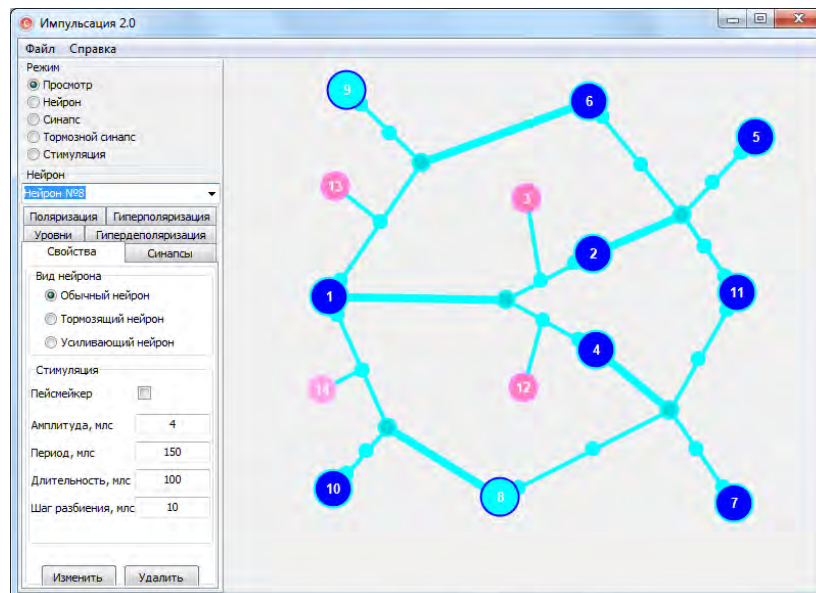


Рисунок 3. Интерфейс программы «Нейроимпульсация 1.0»

Оно позволяет пользователю создать структуру нейронной сети в графическом режиме и определить параметры отдельных нейронов и их связей.

Для осуществления взаимодействия между нейронами предложено использовать механизм обмена сообщениями. Для этого внутри каждого компонента были определены пользовательские события и их обработчики. При возникновении спайка компонент TNeuron передает сообщение его основному аксону, который, в свою очередь, передает свое сообщение всем его неосновным коннекторам. Каждый коннектор, получив это сообщение, формирует задержку его передачи другим нейронам в зависимости от длины и силы связи, хранящихся в его синапсе.

Приходящие сигналы от других нейронов постепенно накапливаются в интегративной зоне воспринимающего нейрона и при превышении порогового уровня формируют возбуждение в виде следующего спайка, сигнал от которого передается другим нейронам. Этот процесс можно наблюдать в режиме реального времени с помощью изменения цвета или графика, построение которого предусмотрено для каждого отдельного нейрона (Рисунок 4).



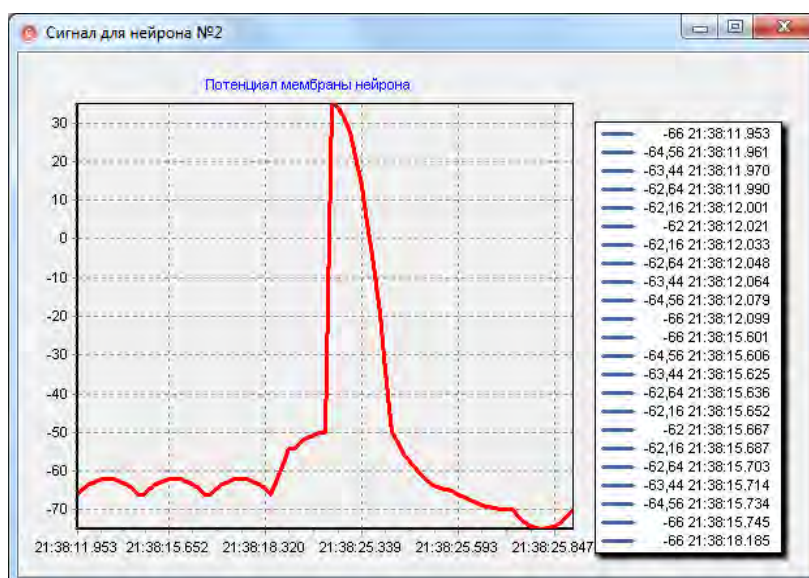


Рисунок 4 – График изменения потенциала на мембране нейрона

Кроме этого, программное обеспечение «Нейроимпульсация 1.0» позволяет пользователю интерактивно взаимодействовать с моделью, формируя внешние воздействия с помощью щелчков мыши на поверхности нейронов в ручном или в автоматическом режиме, а также изменять параметры и виды отдельных нейронов с целью исследования поведения нейронной сети в зависимости от ее параметров и начальных условий.

Таким образом, разработанное программное обеспечение «Нейроимпульсация 1.0» может использоваться не только для моделирования межнейронных взаимодействий в режиме реального времени, но и в учебном процессе при изучении соответствующих тем по физиологии нервной системы, нейрофизиологии и современным методам исследований в биологии и медицине с помощью компьютерного моделирования.

#### Список литературы

1. Антошкин, В.А., Лисов, О.А. Базово-модульная технология разработки информационных систем. Информатика и прикладная математика [Текст]. – Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2012. – С. 3–5.
2. Сазонов, В.Ф. Современная концепция нейрофизиологии [Текст] // Proceedings of 1st European Conference on Biology and Medical Sciences (May 22, 2014). – Vienna, OR: «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Vienna. – 2014. – 208 p.
3. Сазонов, В.Ф. Потенциал действия и нервный импульс [Электронный ресурс] // Кинезиолог, 2009–2014. – Режим доступа: <http://kineziolog.bodhy.ru/content/23-potentsial-deistviya-i-nervnyi-impuls> (дата обращения: 11.11.2014).
4. Сазонов, В.Ф. Импульсация – компьютерная учебная модель

нервного центра (нейросети) [Электронный ресурс] // Кинезиолог. – Режим доступа: <http://kineziolog.bodhy.ru/content/%C2%ABimpulsatsiya%C2%BB-kompyuternaya-uchebnaya-model-nervnogo-tsentra-neiroseti> (дата обращения: 11.11.2014).

5. Сазонов, В.Ф., Сазонов, И.В., Вьяль, Д.В. Нейрофизиологические постулаты для компьютерного моделирования пластичности нервной системы [Текст]// Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – №7. – С. 46–52.