

Численное моделирование динамики нейронных импульсов в модели Хиндмарша-Роуза при вариациях параметров

Кутыркина Мария Андреевна

Аспирант

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Факультет математики и информационных технологий, Саранск, Россия

E-mail: mariahkutyrkina@yandex.ru

Кутыркина Мария Андреевна

Аспирант

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
факультет математики и информационных технологий, Саранск, Россия*

E-mail: mariahkutyrkina@yandex.ru

В последние десятилетия достижения в математическом моделировании позволили глубже понять процессы, лежащие в основе передачи информации в мозге человека и других живых организмов. Одной из таких многообещающих моделей является модель Хиндмарша-Роуза [2], которая, хотя изначально была разработана для описания динамики векторных полей, продемонстрировала свою способность воспроизводить различные типы нейронной активности.

В работе [1] был проведен анализ модели на устойчивость и сделан вывод, что модель устойчива по всем переменным при $a = 1,0$, $b = 3,0$, что делает ее применимой для дальнейшего прогнозирования. Однако для более глубокого понимания динамических свойств системы необходимо провести дополнительные исследования, касающиеся влияния внешних факторов на поведение нейронной сети. В частности, важно изучить, как вариации в параметрах модели могут вызывать изменения в режиме активности нейронов, а также как эти изменения могут отражаться на синхронизации нейронных импульсов в сети.

Для реализации модели использовался язык программирования Python с библиотеками NumPy и Matplotlib. Численные расчеты были произведены методом Эйлера при $t \in [0, 100]$ и начальных условиях: $x = -1,6$; $y = 0$, $z = 0$.

Из экспериментов известно, что параметр a , влияющий на порог активации нейрона, находится в диапазоне от 0 до 2. Параметр b определяет положительное отклонение мембранных потенциала от равновесия, он может принимать значения от 0 до 5. Остальные параметры берутся фиксированными, а именно: $c=1$, $d=5$, $r = 10^{-3}$, $s = 4$, $x_r = -1,6$. Значение входного тока обычно берется равным 1.

Было установлено, что при $a=0,5$, $b=3,0$ система находится в состоянии, близком к стационарному, без регулярной генерации импульсов. При увеличении параметра a до 1,5 и уменьшении параметра b до 2,0 наблюдается нестабильность или переход в другое состояние нейрона. При $a=1,5$, $b=4,0$ снижается частота генерации нервных импульсов по сравнению с предыдущим набором параметров.

Полученные результаты показывают, что изменение параметров модели существенно влияет на динамику мембранных потенциала нейронов. Например, увеличение параметра a приводит к более выраженным колебаниям мембранных потенциала, что может быть связано с изменениями в процессе восстановления. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение модели путем включения дополнительных факторов, таких как взаимодействие между нейронами или влияние внешних стимулов.

Источники и литература

- 1) 1. Мамедова Т. Ф., Кутыркина М. А. Анализ устойчивости модели Хиндмарша-Роуза по части переменных // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: Сборник материалов XI Международной научной молодежной школы-семинара имени Е.В. Воскресенского (Саранск, 26-28 июля 2024 г.) / редкол.: В. Ф. Тишкун (отв. ред.) [и др.]. — Саранск: СВМО, 2024. — С. 119–124.
- 2) 2. Hindmarsh J. L., Rose R. M. A model of neuronal bursting using three coupled first-order differential equations // Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences. 1984. Vol. 221, No. 1222. P. 87–102.