

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Смелова Павла Сергеевича на тему «Изучение динамических режимов малой сети осцилляторов, связанных импульсной ингибирующей связью с временной задержкой», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Изучение коллективного поведения связанных осцилляторов является одной из центральных проблем в радиофизике. Такой интерес объясняется тем, что моделирование нейроподобных осцилляторов может помочь описать динамику взаимодействия нейронов и, тем самым, раскрыть тайны функционирования и принципов работы головного мозга. В диссертационной работе П.С. Смелова исследуются небольшие сети нейроподобных осцилляторов, связанных импульсной связью с задержкой. В последнее время наблюдается резкое увеличение интереса к исследованию динамики спайковых нейронных сетей, что определяет актуальность и значимость работы. В то же время, важным элементом новизны является использование в качестве базового элемента химического осциллятора. Важно, что наряду с результатами численного моделирования работа содержит данные экспериментальных исследований, подтверждающих теоретические наработки. Экспериментальное исследование дает возможность убедиться в реальном существовании описанных в диссертации эффектов.

Диссертационная работа состоит из введения, литературного обзора, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка терминов и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 110 страниц. Работа содержит 34 рисунка и 7 таблиц.

Во введении приведены доводы в пользу актуальности темы работы, поставлены цели и задачи в соответствии с актуальным состоянием проблемы и описаны применённые для их решения методы. Показана научная новизна результатов проделанной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, описаны теоретическая и практическая значимость.

Приведен обзор литературы по теме диссертации. В обзоре содержится анализ развития математических моделей нейроподобных осцилляторов, а также приведены сведения об автоколебательной химической реакции Белоусова-Жаботинского, используемой в экспериментах при работе над

диссертацией. Описан ряд возможных применений осцилляторов для решения практических важных задач.

Первая глава содержит результаты численного исследования динамических режимов сети четырёх релаксационных осцилляторов, связанных импульсной ингибиторной связью с задержкой. Рассмотрены три топологии: односторонняя связь по кругу, двунаправленная по кругу и связь «все со всеми». В качестве моделей осцилляторов применены две разные системы: модель химических осцилляторов Ванага-Лавровой и фазовые осцилляторы. Полученные режимы синхронизации для этих двух моделей хорошо согласуются между собой. Показаны примеры таких режимов, как синфазный (IP), противофазный (AP), ходьба (W), обратная ходьба (WR), двух- и трёхкластерные режимы и более сложные ритмы, когда некоторые осцилляторы полностью подавлены или генерируют меньшее количество спайков, чем другие. Все они суммированы в картах областей динамических режимов при различных значениях параметров сила связи C_{inh} и задержка τ .

Во второй главе представлены результаты экспериментального исследования сети из четырёх химических осцилляторов, односторонне связанных ингибиторной импульсной связью. Доказано существование динамических режимов, предсказанных компьютерным моделированием и полученных в первой главе: синфазные колебания (IP); противофазный режим (AP); режим «ходьба» (W); режим «обратная ходьба» (WR). Кроме основных режимов, также были найдены трёхкластерный режим и режим подавления колебаний хотя бы в одном химическом реакторе. Ввиду того, что разброс частот несвязанных осцилляторов, наблюдаемый в эксперименте, был больше применяемого в моделировании, был проведён численный анализ зависимости установления режимов в сети от разброса собственных частот.

В третьей главе рассмотрены возможные функциональные блоки химического компьютера. Один из них – анализирующий блок, должен распознавать текущее динамическое состояние сети. Предложены и проверены численным моделированием три способа его функционирования: на основе фазового сдвига с учетом разницы в фазах осцилляторов; на основе детектирования кластеров с помощью амплитуд спайков; резонансный метод, основанный на резонансах между частотами режимов генератора и внутренними частотами осцилляторов анализирующего блока. Все эти способы организации работы блока могут быть скомбинированы, чтобы использовать преимущества каждого из них.

В главе 4 рассматривается возможность управления сетью, а именно возможность переключения между режимами синхронизации. Переход от одного режима к другому осуществляется короткими внешними импульсами, применёнными к одному или нескольким осцилляторам. Предложены два метода: «силовое» переключение, когда фазы осцилляторов устанавливаются в желаемом порядке, и «специфическое» переключение, когда внешний импульс влечёт за собой перестроение фаз других связанных осцилляторов. Предлагаемые методы проверены в моделировании, полученные результаты подтверждены лабораторными экспериментами. Примечательно, что результаты качественно совпадают. Амплитуды некоторых внешних импульсов в моделировании на порядки выше, чем в эксперименте, но фазы осцилляторов и логика переключений схожи.

В заключении кратко суммированы основные результаты работы. Кратко описана последовательность исследований и логическая связь между отдельными шагами. Выдвигаемые положения, выводы и рекомендации, предложенные автором, научно обоснованы.

Несмотря на общее положительное впечатление о работе, по тексту диссертации и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. В работе не хватает информации о хаотическом поведении связанных осцилляторов, которые, скорее всего, имели место быть, но не привлекли внимание автора.
2. В главе 2 и автореферате противофазный режим называется «антифазным». Этот термин скорее не принят в русскоязычной литературе, а является прямым переводом с английского.
3. В работе не обсуждается согласование скорости протекания химических процессов со скоростью процессов управления двигательной активности в реальном времени, на что претендует создание центрального генератора ритмов на базе химического реактора.
4. В работе присутствует ряд опечаток. Например, слова «вдобавок» и «немало» написаны вместе.

Отмеченные недостатки и замечания не снижают научной и практической значимость исследования, проведенных в диссертации. Результаты исследований являются новыми и интересными. Их надёжность и достоверность обоснованы. Это подтверждает тот факт, что результаты опубликованы в 6 статьях в научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК, а также в уважаемых высокорейтинговых научных изданиях, таких как Physical Chemistry Chemical Physics, ChemPhysChem, входящих в Web of Science Core Collection и Scopus. Их апробация прошла на известных международных конференциях, близких теме диссертации,

опубликовано 3 тезисов докладов. Кроме того, получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации.

Считаю, что содержание диссертационной работы «Изучение динамических режимов малой сети осцилляторов, связанных импульсной ингибирующей связью с временной задержкой» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Смелов Павел Сергеевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, д.ф.-м.н. (01.04.03 – радиофизика), профессор Пономаренко Владимир Иванович, почтовый адрес: 410019, г. Саратов, ул. Зеленая, д. 38, e-mail: ponomarenkovi@gmail.com, тел: 8(8453)391255

Пономаренко 17.05.2021

Пономаренко Владимир Иванович

Подпись Пономаренко В.И. заверяю: заместитель директора по науке Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, к.ф.-м.н.,



Фатеев Денис Васильевич

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук
E-mail организации: infosbireras@gmail.com
Почтовый адрес организации: 410019, г. Саратов, ул. Зеленая, д. 38
Телефон организации: 8 (845) 27 24 01

Пономаренко

Согласен на обработку персональных данных