

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Слепухиной Евдокии Сергеевны

«Математическое моделирование и анализ стохастических феноменов нейронной динамики»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Слепухиной Евдокии Сергеевны посвящена исследованию вероятностных механизмов стохастических феноменов в моделях нейронной активности.

Известно, что функционирование живых систем, таких как нервная клетка, сопровождается воздействием случайных возмущений различной природы. Поэтому для изучения физиологических процессов, происходящих в нейроне, необходимо учитывать фактор шума. В силу сложности этих процессов, математическое моделирование является одним из наиболее эффективных инструментов для их исследования. Методами нелинейной динамики, теории динамических систем и бифуркаций удалось выяснить, что шум в нелинейных системах может иметь не только негативный эффект, приводящий к разрушению структуры и нарушению функции, но и положительный, конструктивный. Известно много примеров того, что случайные возмущения в нелинейных системах (в том числе и в нейронных моделях) приводят к возникновению новых режимов динамики, невозможных в исходных детерминированных системах. Выявление и анализ явлений, связанных с воздействием шума на динамические системы, моделирующие нейронную активность, несомненно является актуальным на сегодняшний день.

В диссертационной работе Слепухиной Е. С. решены важные задачи, связанные с исследованием стохастических феноменов в моделях нейронной активности, а именно: разработаны новые методы анализа вероятностных механизмов возникновения таких явлений, предложенные методы и алгоритмы реализованы в виде готового программного обеспечения и опробованы при исследовании различных индуцированных шумом явлений в рассмотренных моделях нейронной активности.

Первая глава диссертации Слепухиной Е. С. посвящена методам вероятностного анализа стохастических феноменов. Изложена техника функции стохастической чувствительности и доверительных областей. Предложены новые методы и алгоритмы анализа стохастических явлений в моделях нейронной активности, учитывающие геометрические особенности фазового портрета системы вблизи аттракторов и их стохастическую чувствительность. В следующих четырех главах разработанные методы анализа использованы для исследования разнообразных стохастических феноменов в четырех моделях нейронной активности с различными типами детерминированных бифуркаций. Вторая глава посвящена двумерной модели Моррис-Лекара, третья глава – двумерной модели Хиндмарш-Роуз, четвертая – трёхмерная модель Хиндмарш-Роуз, пятая – двумерная модель ФитцХью-Нагумо. Автор связывает типы бифуркаций и динамических режимов в детерминированных системах со стохастическими феноменами, которые трактуются как стохастические бифуркации. В рассматриваемых моделях обнаружены и изучены: стохастическая генерация мультимодальных колебаний в моностабильных системах с устойчивым равновесием, индуцированные шумом переходы между

аттракторами в бистабильных системах, стохастическая трансформация колебаний из унимодальных в мультимодальные в моностабильных системах с устойчивым предельным циклом, индуцированная шумом хаотизация различных типов. Особо отмечу такие новые и необычные феномены, как расщепление стохастических циклов в модели ФитцХью-Нагумо и стохастическая генерация торов в трёхмерной модели Хиндмарш-Роуз, приводящая к переходу в режим бёрстинга (*bursting*) из режима тонического спайкинга или состояния покоя. В процессе изучения стохастических феноменов в нейронных моделях автор в комплексе применяет новые разработанные аналитические методы, прямое численное моделирование и различные статистические характеристики (плотность распределения стохастических траекторий, спектральную плотность мощности), широко используемые в анализе нейронной активности статистики межспайковых интервалов и другие. Важно отметить, что результаты, полученные с помощью аналитических методов, хорошо согласуются с данными прямого численного моделирования, что, в свою очередь, указывает на высокую эффективность разработанных методов. Заключительная шестая глава посвящена описанию структуры, функций и примеров работы четырех программных комплексов, разработанных автором для решения поставленных в диссертации задач. Комплекс программ, реализованный для системы ФитцХью-Нагумо, прошел процедуру государственной регистрации в Роспатенте.

По содержанию диссертации имеются некоторые замечания.

1. Детерминированная модель Хиндмарш-Роуз в классическом варианте (раздел 4.1) имеет достаточно сложную бифуркационную диаграмму и демонстрирует много различных типов динамических режимов. В работе рассматривается воздействие шума на систему в параметрической зоне моностабильности с устойчивым равновесием, в зоне бистабильности с сосуществующими циклом и равновесием, в зоне моностабильности с предельным циклом спайкового типа. Было бы интересно расширить исследования на другие параметрические зоны, например, на зону пачечных циклов вблизи бифуркаций добавления периода и области перехода к хаосу.

2. Бифуркационная диаграмма детерминированной модели Хиндмарш-Роуз с тороидальными решениями в разделе 4.3 описана недостаточно детально. В работе сказано: «Предельный цикл остается устойчивым в очень узкой области параметров: вблизи бифуркации Андронова-Хопфа происходит бифуркация Неймарка-Сакера с генерацией инвариантного тора». Для большей точности изложения следовало бы указать конкретное значение параметра, при котором происходит бифуркация Неймарка-Сакера.

3. В тексте диссертации имеются незначительные стилистические ошибки, например: - стр. 53 "... В данной главе изучались ..." и далее по тексту использовано прошедшее время, несовершенный вид. Т.к. работа завершена, правильно использовать совершенный вид: *изучены*.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают значения диссертационной работы.

В целом, диссертация Слепухиной Е.С. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, содержит новые оригинальные результаты, имеющие высокую теоретическую и практическую значимость. Результаты диссертации с достаточной полнотой опубликованы в 33 печатных работах, из которых 11 – статьи в

высокорейтинговых рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и проиндексированных международными базами Scopus и Web of Science, что говорит о признании на мировом уровне.

Материалы диссертации успешно прошли апробацию на российских и международных конференциях.

Тема и содержание работы соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Автореферат и опубликованные работы правильно и полно отражают содержание диссертации. Достоверность и новизна полученных результатов хорошо обоснованы, личный вклад автора ясно определен.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9-14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Слепухина Евдокия Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,

старший научный сотрудник
Лаборатории биологической подвижности
ФГБУН Институт иммунологии и физиологии
Уральского отделения Российской академии наук,

кандидат физико-математических наук

 Смолюк Леонид Тимофеевич

«21» мая 2018 г.

Почтовый адрес:

Институт иммунологии и физиологии УрО РАН,
620049, г. Екатеринбург ул. Первомайская, д.106
e-mail: justgazer@gmail.com
тел.: (343) 374-00-70

Подпись Л. Т. Смолюка заверяю

*Ученый секретарь
ЦНИР УрО РАН,
К. М. Крайцова Ю. С.*

