

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Плотникова Сергея Александровича по теме «Управление синхронизацией и бифуркации в системах ФитцХью-Нагумо», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 - Дискретная математика и математическая кибернетика.**

*Актуальность темы исследования.* Тема диссертационной работы С.А. Плотникова относится к задачам исследования синхронизации в системах из связанных осцилляторов, которые образуют важный класс математических моделей, широко используемый при исследовании нелинейных динамических систем, сетевых систем и в теории колебаний. Такие модели имеют многочисленные приложения в физике, биологии, технике. Одной из таких прикладных областей является исследование коллективной динамики популяций нейронов.

Известные работы по синхронизации сетей различных моделей нейронов сосредоточены на исследовании сетей с одинаковыми узлами. Однако в реальных сетях параметры различных нейронов различны, т.е. сети являются неоднородными. Известно, что неоднородности мешают синхронизации, и, более того, в большинстве случаев идеальная синхронизация – в том смысле, что состояния всех узлов в одинаковые моменты времени одинаковы – недостижима из-за наличия неоднородностей. Вопросы синхронизации и бифуркаций в подобных сетях мало исследованы даже для простейших моделей нейронов, одной из которых является система ФитцХью-Нагумо (ФХН), описываемая нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка, которая рассматривается в диссертации. На основании изложенного можно заключить, что тема исследования является актуальной.

*Основные научные результаты, их новизна, достоверность и степень обоснованности.* Для исследования синхронизируемости систем ФХН и построения алгоритмов управления синхронизацией автор применяет известные методы функций Ляпунова, функционалов Ляпунова-Красовского, а также неравенство Халана. Рассматриваются различные постановки задач синхронизации систем ФХН: синхронизация систем с различными параметрами, синхронизация систем с переменной или дискретной задержкой в связях.

Основные результаты работы состоят в следующем.

1. Получены неравенства, устанавливающие невозможность бифуркации Андронова-Хопфа, для случая двух систем ФХН и для случая кольца систем ФХН с различными пороговыми параметрами. Показано, что, если неравенства выполнены, то траектории систем стремятся к устойчивой предельной точке.
2. Синтезированы алгоритмы управления синхронизацией двух систем ФХН с различными пороговыми параметрами с помощью внешнего стимула и с помощью настройки силы связи. Сформулированы теоремы о достижении целей управления при управлении с помощью внешнего стимула.
3. Синтезированы алгоритмы управления синхронизацией двух систем ФХН с переменной задержкой при помощи внешнего стимула. Сформулированы теоремы о достижении цели управления.
4. Найдены оценки шага дискретизации, гарантирующие синхронизацию двух систем ФХН, в случае дискретной связи между двумя системами в зависимости от силы связи.
5. Получено условие синхронизации сети систем ФХН со связным неориентированным графом. Предложен алгоритм управления синхронизацией при помощи одинакового для всех узлов внешнего стимула и алгоритмы управления синхронизацией при помощи настройки силы связи.

Судя по анализу литературы и публикациям автора, перечисленные результаты являются новыми и принадлежат соискателю. Среди этих результатов наиболее интересным, на мой взгляд, является исследование синхронизации в случае дискретной связи.

Достоверность положений диссертации подтверждается строгостью приведенных математических доказательств, корректным применением математических методов и компьютерным моделированием.

***Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта.*** В диссертационной работе найдены условия синхронизации в сетях систем ФХН, на основе которых предложен алгоритм управления синхронизацией таких сетей. Показано, как с помощью внешнего стимула можно синхронизировать сеть систем ФХН при начальном отсутствии синхронизации.

В перспективе полученные результаты могут быть использованы при разработке алгоритмов диагностики и лечения расстройств нервной системы.

***Апробация и опубликование основных результатов в научной печати.*** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах кафедры теоретической кибернетики математико-механического факультета СПбГУ, лаборатории управления сложными системами ИПМаш РАН, группы нелинейной динамики технического университета Берлина и на пяти международных конференциях. Исследования проводились в рамках проектов, поддержанных грантами Санкт-Петербургского университета, Российского научного фонда и Правительства Российской Федерации.

Результаты диссертации отражены в десяти публикациях, четыре из которых являются публикациями в ведущих рецензируемых изданиях, индексируемых в реферативных базах Web of Science и Scopus.

***Достоинства и недостатки по содержанию и оформлению.*** Диссертация, объемом 91 стр., логично построена и хорошо организована. Она состоит из введения, четырех глав и заключения, список литературы включает 131 источник. По работе имеются следующие замечания.

1. Изложение результатов чрезмерно лаконично. В обзорной части следовало бы охватить проблему более широко и в главах уделить больше внимания неформальному обсуждению результатов.
2. На стр. 15 теорему 1.3. автор называет теоремой Ляпунова-Красовского. Это название некорректно.
3. Теорема на стр. 19 устанавливает достаточные условия экспоненциальной устойчивости в целом, но разве есть другие типы экспоненциальной устойчивости (в малом, в большом)?
4. Понятие синхронизации в явном виде не определяется. Приходится догадываться по ходу чтения, что под этим автор имеет в виду.
5. Рисунки 4.1 – 4.4 воспринимаются с большим трудом. Следовало бы дать больше разъяснений.
6. Глава 1 носит исключительно справочный характер, и ее материал следовало бы оформить в виде приложения.

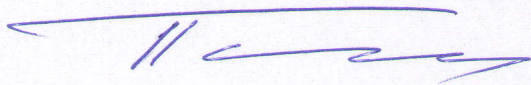
7. Некорректно начинать формулировки теорем с квантора всеобщности, как это сделано в теоремах 3.1 и 3.2.
8. Наличие кратких аннотаций и выводов по главам существенно улучшило бы читаемость работы.

Указанные замечания не являются определяющими в оценке работы и не влияют на общую положительную ее оценку.

**Заключение по работе в целом.** На основе проведенного анализа диссертации можно заключить, что она является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда новых задач, связанных с нахождением условий бифуркаций и исследованием возможностей управления синхронизацией в неоднородных сетях ФитцХью-Нагумо. Таким образом, работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям. Работа соответствует специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика. Автореферат корректно отражает содержание диссертации. Автор диссертации, Плотников Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой прикладной математики  
Арзамасского политехнического института (филиала) Федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Нижегородский государственный технический университет  
им. Р. Е. Алексеева», доктор физико-математических наук, профессор



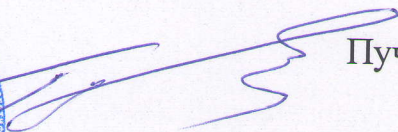
Пакшин Павел Владимирович  
23 ноября 2016 г.

Адрес: 607227, г. Арзамас, ул. Калинина, д. 19,  
Телефон: (83147) 7-37-26, эл. почта: [pakshinpv@gmail.com](mailto:pakshinpv@gmail.com)

Подпись Пакшина Павла Владимировича заверяю:



Зам. директора



Пучков Вячеслав Павлович