

ОТЗЫВ

научного руководителя

на диссертацию П.А. Аринушкина «Эффекты синхронизации в неоднородных сетях фазовых осцилляторов с инерцией», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. - Радиофизика

Диссертация П.А. Аринушкина посвящена актуальной проблеме радиофизики и теории колебаний, состоящей в исследовании динамики ансамблей фазовых осцилляторов второго порядка (с инерцией). Модели фазовой динамики второго порядка, учитывающие инерционное поведение динамической переменной (фазы), которую можно трактовать, как угол вращения фазового осциллятора с инерцией (ротатора), широко используются при моделировании многих реальных систем различной природы, таких как ансамбли контактов Джозефсона, системы фазовой автоподстройки, взаимодействующие маятники, вибрационные машины и электрогенераторы. Особенно широко применение ансамбли фазовых осцилляторов с инерцией нашли в задачах моделирования работы энергосетей с различной топологией и учетом нагрузок. Таким образом, исследование сложной динамики подобных ансамблей является важным с практической точки зрения. Кроме того, поведение ансамблей фазовых осцилляторов второго порядка является более сложным и разнообразным с точки зрения развития представлений нелинейной динамики, чем поведение ансамблей фазовых осцилляторов первого порядка (осцилляторов Курамото), которым посвящено огромное количество научных публикаций. Так, в ансамблях фазовых осцилляторов с инерцией, при нелокальном взаимодействии наблюдаются не только химерные состояния, типичные для ансамбля фазовых осцилляторов первого порядка с нелокальной связью, но и

так называемые уединенные состояния, свойства которых еще достаточно мало изучены.

Поведение ансамблей фазовых осцилляторов с инерцией и, особенно, условия синхронизации частот вращений элементов в таких ансамблях активно исследуются. В то же время остается еще много неизученных вопросов, касающихся как задачи моделирования работы энергосети, так и развития представлений о поведении и эффектах синхронизации в сложных ансамблях и сетях осцилляторов в рамках теоретических концепций нелинейной динамики.

В диссертационной работе П.А. Аринушкина рассмотрены две модели, использующие в качестве базового элемента фазовый осциллятор с инерцией. Первая из этих моделей имитирует работу простой энергосети с кольцевой топологией. Метод «эффективной сети», предложенный в работе Nishikawa T., Motter A.E (New Journal of Physics. 2015. Vol. 17(1). 015012), позволяет трансформировать ее в сеть фазовых осцилляторов с инерцией с глобальными связями, учитывающими влияние нагрузок. Вторая модель не связана непосредственно с моделированием энергосети и представляет собой мультиплексную двухслойную сеть фазовых осцилляторов с нелокальными внутрислойными связями.

Применительно к первой рассмотренной модели ансамбля в диссертационной работе решались задачи устойчивости синхронного режима ансамбля при наличии неоднородности, связанной с отличием параметров одного из генераторов моделируемой энергосети от параметров остальных генераторов, полагавшихся идентичными. Исследовалось влияние активной и реактивной мощности этого «особого» генератора, а также инерционности генераторов на режим синхронной работы сети, соответствующий синхронному поведению всех осцилляторов модельного ансамбля. Были построены карты режимов сети при вариации активной и реактивной

мощности «особого» генератора и параметра инерционности, одинакового для всех генераторов. Для стабилизации синхронного режима в присутствии неоднородности и внешних воздействий было предложено использовать нелинейную диссипацию. Было исследовано влияние нелинейной диссипации на устойчивость синхронного режима в случае различных внешних воздействий на выбранный осциллятор ансамбля: периодических импульсов, шума и обрыва связей.

В работе получены новые интересные результаты:

- Показано, что неоднородность сети приводит не только к появлению асинхронного поведения, но также к образованию широкой области значений параметров, в которой реализация синхронного или несинхронного поведения зависит от выбора начальных условий.
- Показано, что инерционность фазовых осцилляторов в ансамбле, моделирующем работу энергогенераторов, значительно влияет на установившийся режим функционирования сети, в том числе на устойчивость синхронного режима к внешним воздействиям.
- Впервые показано, что введение нелинейной диссипации в некотором интервале значений параметров, действительно, позволяет стабилизировать синхронный режим работы сети в широкой области значений параметров и сделать его более устойчивым к различным внешним воздействиям.

Вторая модель ансамбля фазовых осцилляторов с инерцией рассматривалась с точки зрения эффектов синхронизации сложных пространственно-временных режимов, устанавливающихся в слоях сети в отсутствии связи. К таким режимам в исследуемой сети относятся химерные состояния и уединенные состояния. Рассматривался случай как идентичных слоев с установившимися в них различными пространственными структурами, так и случай слоев с частотной расстройкой осцилляторов. На

примере данной модели ансамбля фазовых осцилляторов с инерцией получены следующие новые результаты:

- Был установлен эффект синхронизации не только химерных состояний (который на сегодняшний день достаточно хорошо известен), но и эффект синхронизации уединенных состояний, который наблюдался впервые.
- Показано, что в сети с частотной расстройкой слоев можно наблюдать не только синхронизацию кластерных структур, но и синхронизацию частот попарно взаимодействующих осцилляторов, которая приводит к установлению идентичных пространственных распределений средних частот. Данный эффект также был установлен впервые.

П.А. Аринушкин закончил аспирантуру в 2021 году и продолжил работу над диссертацией в качестве соискателя на кафедре радиофизики и нелинейной динамики СГУ. В течении ряда лет он активно занимается научными исследованиями, связанными с актуальными проблемами теории нелинейных колебаний и волн. В годы обучения в аспирантуре и после, являясь соискателем, он работал инженером учебной лабораторией кафедры. В сентябре этого года П.А. Аринушкин был принят на должность ассистента кафедры радиофизики и нелинейной динамики.

П.А. Аринушкин имеет высокий уровень теоретической подготовки по курсам радиофизической специальности, что позволило ему разобраться в сложных вопросах, связанных с моделированием энергосетей, которые составляют одно из новых направлений научных исследований, проводимых на кафедре радиофизики и нелинейной динамики. Также диссертант показал прекрасное владение компьютерными технологиями и методами компьютерного моделирования в задачах радиофизики и нелинейной динамики. Им разработаны и созданы компьютерные программы, необходимые для численного моделирования динамики различных

ансамблей фазовых осцилляторов с инерцией, в частности пакет специальных программ, позволяющих с применением метода «эффективной сети» и численно исследовать модели энергосетей. Диссертационные исследования П.А. Аринушкина включены в планы исследований, осуществляемых на кафедре радиофизики и нелинейной динамики в рамках научных проектов - Немецкого Физического Общества (проект № 20-52-12004) и гранта Российского научного фонда (проект №20-12-00119), в которых П.А. Аринушкин является исполнителем.

В качестве аспиранта, инженера учебной лаборатории, а в настоящее время ассистента кафедры радиофизики и нелинейной динамики П.А. Аринушкин активно участвовал и участвует в организации учебного процесса. Он приобрел большой опыт педагогической работы и общения со студентами, проводя занятия в практикумах кафедры радиофизики и нелинейной динамики, участвуя в модернизации и разработке новых лабораторных работ, в руководстве курсовых работ и ВКР, являясь куратором.

В диссертации П.А. Аринушкина полно и последовательно изложены задачи и результаты проведенных исследований. Они представлены в 5 статьях, опубликованных в изданиях, входящих в системы Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК РФ для опубликования научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Кроме того, получено свидетельство о государственной регистрации компьютерных программ. Основные результаты работы докладывались на трех международных научных конференциях, на конференции для молодых ученых и научных семинарах кафедры радиофизики и нелинейной динамики СГУ.

Диссертация П.А. Аринушкина является законченным серьезным научным исследованием, свидетельствующим о высокой квалификации автора. Полученные результаты вносят значимый вклад в развитие

радиофизики и теории нелинейных колебаний и волн. Работа полностью соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика и, отвечает всем требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Профессор кафедры радиофизики
и нелинейной динамики,
доктор физ.-мат. наук, профессор
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
г. Саратов, 410012, Астраханская 83
тел. 210-710
vadivasovate@yandex.ru

Вадивасова Татьяна
Евгеньевна

Личную подпись Т.Е. Вадивасовой «ЗАВЕРЯЮ»
Ученый секретарь СГУ
доцент, к.х.н.



И.В. Федусенко

3.10.2022