

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по НИР ФГБОУ ВО
«Саратовский национальный
исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук
профессор


Алексей Александрович Короновский

«19» марта 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по диссертации Боровковой Екатерины Игоревны «Разработка и апробация методов определения границ интервалов синхронизации по нестационарным временным рядам» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика», выполненной на кафедре динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» и в Саратовском филиале ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН».

В 2012 году Боровкова Е.И. окончила ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению «Биомедицинская инженерия» с присуждением квалификации «Магистра техники и технологии». Диплом ОН №00028 регистрационный номер 606, дата выдачи 02.07.2012 года.

Боровкова Е.И. являлась аспирантом очной формы обучения по специальности «Радиофизика» с 01.10.2012 г. по 01.10.2016 г. Справка об обучении № 93-2017 выдана 08.11.2017 г. ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

С 2012 года по настоящее время Боровкова Екатерина Игоревна работает ассистентом на кафедре динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель: Караваев Анатолий Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» и из других организаций.

На заседании присутствовали:

1. Селезнёв Евгений Петрович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и

биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

2. Безручко Борис Петрович, д.ф.-м.н., профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

3. Астахов Владимир Владимирович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникаций института электронной техники и машиностроения ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»;

4. Шабунин Алексей Владимирович, д.ф.-м.н., профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

5. Куркин Семен Андреевич, д.ф.-м.н., доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

6. Шараевский Юрий Павлович, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры нелинейной физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

7. Москаленко Ольга Игоревна, д.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

8. Пономаренко Владимир Иванович, д.ф.-м.н., профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

9. Сысоев Илья Вячеславович, к.ф.-м.н., доцент кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

10. Караваев Анатолий Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

11. Сагайдачный Андрей Александрович, к.ф.-м.н., доцент кафедры медицинской физики факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

12. Сидак Елена Владимировна, к.ф.-м.н., доцент кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

Слушали доклад Боровковой Е.И., изложившей основное содержание и результаты диссертационной работы.

Докладчику были заданы вопросы от Астахова Владимира Владимировича, Безручко Бориса Петровича, Шабунина Алексея Владимировича, Астахова Олега Владимировича, Селезнёва Евгения Петровича, Сагайдачного Андрея Александровича, Сысоева Ильи Вячеславовича.

Рецензенты диссертации:

Астахов Владимир Владимирович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникаций института электронной техники и машиностроения ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А».

Шабунин Алексей Владимирович, д.ф.-м.н., профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Безручко Борис Петрович, д.ф.-м.н., профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

По итогам обсуждения диссертации единогласно принято следующее

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Боровковой Е.И. посвящена разработке метода определения границ интервалов синхронизации нелинейных колебательных систем, а также апробации методов диагностики синхронизации при анализе нестационарных экспериментальных временных реализаций систем различной природы.

Тема диссертации и научный руководитель утверждены Учёным советом факультета нано- и биомедицинских технологий Саратовского государственного университета 12 ноября 2015 года (протокол №3).

Научная новизна работы

1. Проведено сопоставление ряда известных методов определения границ интервалов синхронизации при анализе временных реализаций неавтономного нелинейного осциллятора, находящегося под воздействием линейно-частотно-модулированного гармонического сигнала, а также временных реализаций автономного осциллятора, к которым линейно подмешивался такой линейно-частотно-модулированный сигнал.
2. С помощью комплекса методов определения границ интервалов захвата фаз и частот на примере анализа временных реализаций, полученных в натуральных экспериментах, диагностированы границы синхронизации элементов регуляции кровообращения человека при воздействии линейно-частотно-модулированного внешнего сигнала.
3. Разработан метод определения границ интервалов фазовой синхронизации, основанный на кусочно-линейной аппроксимации разности мгновенных фаз в скользящем окне и контроле угла наклона аппроксимирующей прямой, позволяющий определить границы интервалов синхронизации по нестационарным сигналам взаимодействующих автогенераторов, для которых характерна динамика с чередованием интервалов синхронизации и несинхронного поведения.
4. Предложен метод формирования искусственных нестационарных временных реализаций мгновенных фаз взаимодействующих автогенераторов различной природы, включающих чередующиеся интервалы с синхронным и несинхронным поведением мгновенных фаз, воспроизводящих статистические свойства экспериментальных сигналов.
5. Проведено сопоставление предложенного метода определения границ интервалов синхронизации, основанного на кусочно-линейной аппроксимации разности мгновенных фаз в скользящем окне с контролем угла наклона аппроксимирующей прямой, с известными методами, основанными на оценке коэффициента фазовой когерентности и коэффициента диффузии фазы.

Научное и практическое значение результатов работы

Результаты развития нового и апробации известных методов определения границ интервалов синхронизации автоколебательных систем при анализе нестационарных

временных реализаций, для которых характерно чередование интервалов фазовой синхронизации и несинхронного поведения, представляют фундаментальный интерес с точки зрения радиофизики, позволяя развить исследовательский инструментарий методов анализа сигналов систем различной природы по временным рядам. Практическое значение работы подчеркивается тем, что результаты работы реализованы в виде комплекса компьютерных программ и в настоящее время используются в ходе исследований на базе Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН», СГУ им. Н.Г. Чернышевского, СГТУ им. Ю.А. Гагарина, ООО "Наука и инновации" и др.

Положения, выносимые на защиту

1. Использование комплекса методов определения границ интервалов синхронизации позволило выявить наличие синхронизации контуров регуляции частоты сердечных сокращений и среднего артериального давления внешним сигналом дыхания, частота которого нарастает около собственной частоты колебаний контуров, позволяя наблюдать интервалы синхронизации длительностью более 100 характерных периодов собственных колебаний.
2. Разработанный метод, основанный на кусочно-линейной аппроксимации мгновенной разности фаз в скользящем окне и оценке углового коэффициента наклона аппроксимирующей прямой, позволяет определять границы интервалов фазовой синхронизации по нестационарным временным реализациям взаимодействующих автоколебательных систем, для которых характерно чередование интервалов синхронизации длительностью более двух характерных периодов и несинхронного поведения.
3. Анализ тестовых разностей мгновенных фаз, приготовленных с помощью специализированного метода, позволяющего воспроизводить статистические свойства нестационарных экспериментальных реализаций, содержащих нерегулярно чередующиеся интервалы фазовой синхронизации и несинхронного поведения, позволил сделать вывод о более высокой чувствительности разработанного метода, основанного на кусочно-линейной аппроксимации мгновенной разности фаз в скользящем окне и оценке углового коэффициента наклона аппроксимирующей прямой по сравнению с известными методами, основанными на оценке коэффициента фазовой когерентности и коэффициента дисперсии фазы.

Личный вклад соискателя

Постановка цели и задач диссертационной работы, интерпретация результатов осуществлялись совместно с научными руководителями. Обзор литературы, разработка метода диагностики фазовой синхронизованности, анализ экспериментальных данных, создание компьютерных программ для обработки и анализа данных, проведение численных экспериментов и сравнительный анализ известных ранее и предложенного методов выполнены непосредственно автором.

Апробация работы и публикации

Результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 18 печатных работах: 6 работ – в реферируемых журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus, 3 работы в списках русскоязычных журналов, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертационных работ. Результаты работ были представлены на 9 международных и всероссийских научных конференциях. Получены 9 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты диссертации были представлены на научных семинарах кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» и на всероссийских школах: «Нелинейные волны», г. Н.Новгород, 2016; «Хаотические автоколебания и образование структур», г. Саратов, 2010; «Нанoeлектроника, нанoфотоника и нелинейная физика», г.

Саратов, 2007-2016; «Нелинейные колебания механических систем», г. Н. Новгород, 2008, 2012; «Волновые явления в неоднородных средах», г. Звенигород, 2010; «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине», г. Саратов, 2008, 2009, 2010, 2014; «Биомедицинская инженерия», г. Пущино, 2007.

Проведенные исследования были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, программами РАН и Министерства образования и науки РФ, Российским научным фондом.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Безручко Б.П. Диагностика частотного захвата в условиях воздействия сигналом переменной частоты // Известия РАН. Серия Физическая. 2011. Т. 75. N. 12. С. 1704-1708.
2. Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. Сопоставление методов диагностики фазовой синхронизованности по тестовым данным, моделирующим нестационарные сигналы биологической природы // Известия Саратовского университета Новая серия Серия Физика. 2015. Т. 15. N. 3. С. 36-42.
3. Karavaev A.S., Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Kiselev A.R., Gridnev V.I., Ruban (Borovkova) E.I., Bezruchko B.P. Synchronization of low-frequency oscillations in the human cardiovascular system // CHAOS. 2009. V. 19. P. 33112.
4. Безручко Б.П., Гриднев В.И., Караваев А.С., Киселев А.Р., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Рубан (Боровкова) Е.И. Методика исследования синхронизации колебательных процессов с частотой 0.1 Гц в сердечно-сосудистой системе человека // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2009. Т. 17. N. 6. С. 44-56.
5. В.В. Сказкина, А.Р. Киселев, Е.И. Боровкова, В.И. Пономаренко, М.Д. Прохоров, А.С. Караваев Оценка синхронизованности контуров вегетативной регуляции кровообращения по длительным временным рядам // Нелинейная динамика. 2018. Т. 14. N. 1. С. 17-30.
6. Караваев А.С., Ишбулатов Ю.М., Боровкова Е.И., Кульминский Д.Д., Хорев В.С., Киселев А.Р., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. Реконструкции модельных уравнений систем с запаздыванием по коротким экспериментальным реализациям // Известия Саратовского Университета. Новая серия. Серия Физика. 2016. Т. 16. N. 1. С. 17-24.
7. Караваев А.С., Киселев А.Р., Гриднев В.И., Боровкова Е.И., Прохоров М.Д., Посненкова О.М., Пономаренко В.И., Безручко Б.П., Шварц В.А. Фазовый и частотный захват 0.1 Гц-колебаний в ритме сердца и барорефлекторной регуляции артериального давления дыханием с линейно меняющейся частотой у здоровых лиц // Физиология человека. 2013. Т. 39. N. 4. С. 93-104.
8. Kiselev A.R., Mironov S.A., Karavaev A.S., Kulminsky D.D., Skazkina V.V., Borovkova E.I., Shvartz V.A., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D. A comprehensive assessment of cardiovascular autonomic control using photoplethysmograms recorded from the earlobe and fingers. // Physiological Measurement. 2016. V. 37. N. 4. P. 580-595.
9. Kiselev A.R., Karavaev A.S., Gridnev V.I., Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Borovkova E.I., Shvartz V.A., Ishbulatov Y.M., Posnenkova O.M., Bezruchko B.P. Method of estimation of synchronization strength between low-frequency oscillations in heart rate variability and photoplethysmographic waveform variability // Russian Open Medical Journal. 2016. V. 5. N. 1. P. 101.

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

1. Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Киселев А.Р., Гриднев В.И., Безручко Б.П. Программа для диагностики фазовой синхронизованности систем по нестационарным данным в реальном времени, (Synchro-RT). № 2015662373.

2. Боровкова Е.И., Шварц В.А., Караваев А.С., Киселев А.Р., Бокерия О.Л. Программа для выделения неэквилистантного временного ряда кардиоинтерваллов из реализации фотоплетизмограммы (PPG-RR-extractor Integro). № 2015662811.
3. Боровкова Е.И., Шварц В.А., Караваев А.С., Киселев А.Р., Бокерия О.Л. Программа для выделения неэквилистантного временного ряда RR интервалов из реализации фотоплетизмограммы по максимальным значениям пульсовых волн, реализуемый в реальном времени (PPG-RR-extractor). № 2015662449.
4. Караваев А.С., Киселев А.Р., Кульминский Д.Д., Боровкова Е.И., Прохоров М.Д., Пономаренко В.И., Гриднев В.И., Безручко Б.П., Шварц В.А. Микрокод автономного носимого устройства для длительной регистрации пальцевой фотоплетизмограммы (Микрокод-М 6.0). № 2015662789.
5. Безручко Б.П., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Рубан (Боровкова) Е.И. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ Программа для исследования спектральных свойств сигнала с помощью различных методов оценки спектра мощности (SpectraEstimator). № 2010611341.
6. Безручко Б.П., Гриднев В.И., Караваев А.С., Киселев А.Р., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Рубан (Боровкова) Е.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Программа для выделения последовательности RR-интервалов электрокардиограммы и построения эквидистантной кардиоинтервалограммы (Extracor). № 2010611339.
7. Безручко Б.П., Гриднев В.И., Егоров Д.В., Караваев А.С., Киселев А.Р., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Рубан (Боровкова) Е.И. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ Программа для исследования синхронизованности между ритмами сердечно-сосудистой системы человека с контролем статистической значимости результатов (Синхрокард). № 2008613908.
8. Безручко Б.П., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Рубан (Боровкова) Е.И. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ Программа для исследования спектральных свойств сигнала с помощью различных методов оценки спектра мощности (SpectraEstimator). № 2010611341.

Прочие публикации по теме диссертации

1. Боровкова Е.И., Караваев А.С. Численная мера для оценки степени фазовой синхронизованности // Сборник трудов Всероссийской школы-семинара «Волновые явления в неоднородных средах-2010». 2010. С. 2-6.
2. Боровкова Е.И. Сопоставление методов диагностики синхронизованности нестационарных данных биологической природы // Тезисы докладов молодых ученых XVII научной школы «Нелинейные волны-2016». 2016. С. 37.
3. Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И. Исследование фазовой синхронизации 0.1 Гц ритмов регуляции сердечно-сосудистой системы при воздействии световых и звуковых импульсов записям // Тезисы X Всероссийская научная конференция «Наноэлектроника, Нанофотоника и Нелинейная Физика». 2015. С. 24-25.
4. Боровкова Е.И., Караваев А.С. Диагностика частотного захвата в условиях воздействия сигналом переменной частоты // Материалы XIII Всероссийской школы-семинара «Физика и применение микроволн-2011». 2011. С. 3-6.
5. Боровкова Е.И. Исследование синхронизации 0.1 Гц подсистем регуляции сосудистого тонуса и частоты сердечных сокращений для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека // Сборник трудов участников «Всероссийского молодежного конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области физических наук». 2012. С. 318-322.
6. Боровкова Е.И., Ишбулатов Ю.М., Сказкина В.В., Караваев А.С. Количественная мера диагностики фазовой синхронизованности 0.1 Гц ритмов регуляции сердечно-сосудистой системы по многочасовым записям // Тезисы X Всероссийская научная конференция «Наноэлектроника, Нанофотоника и Нелинейная Физика». 2015. Р. 22-23.

7. Боровкова Е.И., Караваев А.С. Сопоставление методов количественной оценки фазовой синхронизованности на моделях фазовых осцилляторов // Тезисы X Всероссийская научная конференция «Наноэлектроника, Нанофотоника и Нелинейная Физика». 2015. С. 20-21.

8. Рубан (Боровкова) Е.И., Егоров Д.В., Киселев А.Р., Гриднев В.И. Зависимость статистической значимости оценки степени синхронизованности в кардиосистеме от спектральных свойств сигналов // Материалы ежегодной Всероссийской научной школы-семинара «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине-2007». 2007. С. 55-56.

9. Рубан (Боровкова) Е.И., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Караваев А.С. Выбор параметров методики расчета суммарного процента фазовой синхронизации между ритмами сердечно-сосудистой системы // Тезисы докладов VIII научной конференции «Нелинейные колебания механических систем-2008». 2008. Р. 293-295.

Диссертационная работа Боровковой Е.И. представляет собой целостное исследование важных научных проблем и удовлетворяет требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание учёной степени кандидата наук.

Диссертация «Разработка и апробация методов определения границ интервалов синхронизации по нестационарным временным рядам» Боровковой Екатерины Игоревны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Заключение принято расширенном заседании кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». Присутствовало на заседании 12 человек, из них с правом решающего голоса 8 докторов наук и 4 кандидата наук по профилю диссертации. Результаты голосования: «за»- 12 чел.; «против»- 0 чел.; «воздержалось»- 0 чел.; (протокол №1 расширенного заседания кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского от «22» февраля 2018 г.).

Председатель заседания:
заведующий кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, д.ф.-м.н.

Селезнёв Евгений Петрович

