

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ННГУ им. Н.И. Лобачевского

м.н., профессор Казанцев В.Б.

«12» сентября 2016 г.



Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Сидак Елены Владимировны

**«Методы интервального оценивания характеристик связи между осцилляторами по временным реализациям фаз колебаний»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

В диссертации Е.В. Сидак рассматривается актуальная задача радиофизики и нелинейной динамики – разработка методов выявления и количественной оценки связи между колебательными системами по временным рядам. Эта задача важна и в других областях науки, от нейрофизиологии до геофизики. Для выявления связей и оценки их характеристик существует ряд подходов, такие как взаимная корреляционная функция, функция когерентности, различные меры синхронизации, теоретико-информационные характеристики условных распределений вероятностей будущих состояний и т.д. Часть из этих характеристик используется и развивается в диссертационной работе. На практике при работе с относительно короткими и зашумленными временными рядами помимо получения численных значений характеристик связи (точечных оценок) важно иметь обоснованные оценки их погрешностей, чтобы отличать надежные выводы наличия связи от случайных флуктуаций. В диссертационной работе предложены новые методы выявления связи и оценки времени ее запаздывания, основанные на анализе фазовой динамики исследуемых систем с аналитической оценкой статистической значимости выводов для колебательных систем с различными свойствами динамики. При этом в работе активно

используется математический аппарат статистической радиофизики, теории колебаний и математической статистики. Тема работы полностью соответствует специальности 01.04.03 – “радиофизика”.

Диссертация состоит из трех глав.

**В первой главе** предложен метод для оценки связи между осцилляторами, основанный на расчете коэффициента корреляции между приращениями фаз колебаний (ККПФ). Выведен формализм для получения доверительного интервала ККПФ. Эффективность и преимущества предложенного подхода по сравнению с известным методом, основанным на оценке коэффициента фазовой когерентности хорошо проиллюстрированы на эталонных осцилляторах с различными свойствами динамики (фазовые осцилляторы, осцилляторы Ресслера).

**Во второй главе** рассматривается задача выявления запаздывающей связи и интервальной оценки времени ее запаздывания по временным рядам фаз. На основе известной точечной оценки времени запаздывания, основанной на моделировании фазовой динамики, предложена интервальная оценка, позволяющая выявлять запаздывание с заданной достоверностью. Применимость интервальной оценки проиллюстрирована в численном эксперименте на фазовых осцилляторах и осцилляторах Ван-дер-Поля при различных корреляционных свойствах шумов. Основным содержательным условием применимости метода является адекватность модели в виде стохастических фазовых осцилляторов первого порядка.

**В третьей главе** исследуется применимость предложенной интервальной оценки при нарушении указанных условий. Были рассмотрены хаотические и сильно возмущенные периодические режимы динамики низкоразмерных нелинейных систем, когда значительные амплитудные флуктуации влияют на фазовую динамику. Показаны случаи, когда предложенная интервальная оценка может приводить к ошибочным выводам о величине запаздывания, предложен диагностический критерий проблемных ситуаций и огрубленная оценка времени запаздывания, позволяющая избежать ошибочных выводов за счет уширения



доверительного интервала. Эффективность предложенного диагностического критерия и огрубленной поправки проиллюстрирована на эталонных колебательных системах с различными свойствами динамики (линейных стохастических осцилляторах, системах Ресслера и Лоренца в различных режимах динамики). В качестве приложения развитые подходы применены для анализа взаимодействия крупномасштабных климатических процессов - подтверждено предположение о запаздывающем характере воздействия процесса Эль-Ниньо – Южное колебание на Северо-Атлантическое колебание и получена интервальная оценка времени запаздывания, согласно которой оно должно составлять не менее 8 месяцев.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

- 1) Эффективность предложенных подходов исследуется на различных эталонных системах при варьировании параметров в широком диапазоне, однако мало иллюстраций, поясняющих колебательный режим динамики тестовой системы, что затрудняет оценку универсальности выводов.
- 2) В первой главе используются термины «синхронизирующая» и «несинхронизирующая» связь. Данные термины не являются общепринятыми, поэтому стоило большее внимание уделить их пояснению.

Указанные замечания не принципиальны и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. К достоинствам работы следует отнести то, что она производит впечатление цельного исследования, в каждой главе рассматривается последовательно усложняемая задача оценки характеристик связи между осцилляторами по временным рядам. Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на соответствии аналитических и численных оценок, использовании апробированных численных методов, объяснением наблюдаемых эффектов с точки зрения теории колебаний и математической статистики.

**Научная и практическая значимость** результатов работы состоит в том, что в работе получены новые знания о возможностях выяснения количественных

свойств колебательной динамики связанных нелинейных систем по временным рядам. Показаны принципиальные возможности достоверного выявления связей и оценки времени ее запаздывания по фазовой динамике для широкого круга колебательных систем; предложены конкретные методы для получения количественных оценок характера связи с аналитической оценкой статистической значимости. За счет использования аналитических формул для проверки достоверности, предложенные методы позволяют получать надежные выводы о связях между колебательными процессами различной физической природы в условиях дефицита данных (коротких временных рядов длиной несколько десятков характерных периодов) с минимальным объемом расчетов, что позволяет проводить анализ больших объемов данных за умеренное время. Эти результаты востребованы как в радиофизике, так и в других научных дисциплинах, например, в гео- и биофизике.

Результаты работы рекомендуются к использованию в организациях, занимающихся проблемами нелинейных колебаний и волн, обработки сигналов и анализа временных рядов (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ИПФ РАН, ФИ им. П.Н. Лебедева РАН), а также в учебном процессе на соответствующих специальностях (МГУ, МФТИ, ННГУ, Саратовский госуниверситет, Владимирский госуниверситет и др.).

Основные результаты работы являются новыми, что подтверждает и их публикация в престижных изданиях. Они хорошо апробированы на известных российских и международных научных конференциях и в полной мере опубликованы в 10 статьях в российских и международных журналах (Известия ВУЗов. Радиофизика, Радиотехники и электроника, European Physical Journal и др.), входящих в список ВАК. Диссертация хорошо оформлена и проиллюстрирована. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Таким образом, диссертационная работа представляет собой научное исследование, выполненное на высоком уровне научной квалификации, содержащее ряд ценных в научном и практическом плане результатов.



На основании сказанного можно заключить, что диссертационная работа Сидак Елены Владимировны «**Методы интервального оценивания характеристик связи между осцилляторами по временным реализациям фаз колебаний**» соответствует всем требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Сидак Елена Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Отзыв составил:

профессор, д.ф.-м.н.,  
зав. кафедрой теории колебаний и  
автоматического регулирования  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Матросов В.В.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Почтовый адрес: 603950, Н. Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 1, к. 435

E-mail: [matrosov@rf.unn.ru](mailto:matrosov@rf.unn.ru)

Диссертация заслушана и отзыв утвержден на заседании научного семинара кафедры теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского, протокол №2 от «09» сентября 2016 г.

Секретарь семинара

Баженова Г.А.