

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Сидак Елены Владимировны
«МЕТОДЫ ИНТЕРВАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК СВЯЗИ МЕЖДУ ОСЦИЛЛЯТОРАМИ
ПО ВРЕМЕННЫМ РЕАЛИЗАЦИЯМ ФАЗ КОЛЕБАНИЙ»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 –«Радиофизика»

Изучение коллективной динамики сетей связанных активных элементов является одним из центральных направлений современной радиофизики. В последнее время наблюдается тенденция к переносу фокуса внимания на все большие и все более сложные системы, такие как нейронные сети головного мозга и макроклиматические системы. По мере роста сложности сети и числа составляющих элементов прямое измерение характеристик межэлементных связей становится все более трудным и зачастую принципиально невозможным. В этой связи все большую актуальность приобретает разработка методов определения характеристик связей по наблюдаемому коллективному поведению сети.

Диссертация Е.В. Сидак посвящена именно этой актуальной проблеме. Целью работы является разработка новых методов определения наличия связи между колебательными системами по наблюдаемым временным реализациям, а также методов оценки величины запаздывания связи. Известные в настоящее время подходы к данным задачам, как правило, либо ориентированы на узкие классы систем, либо требуют достаточно строгих предположений об их свойствах. Научная новизна настоящей работы заключается в разработке методов, применимых для более широкого класса колебательных систем, дающих удовлетворительные результаты для коротких и зашумленных временных рядов. Также отличительной чертой и важным преимуществом разрабатываемых методов является то, что они опираются на фазовую, то есть маломерную динамику, и позволяют сделать аналитические оценки статистической значимости выводов.

Таким образом, проведенные в работе исследования представляют существенный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Соответствие содержания работы паспорту специальности 01.04.03 - Радиофизика не вызывает сомнений.

Работа состоит из Введения, трех Глав и Заключения.

Во Введении обоснована актуальность работы, определены цели и основные задачи исследования, приведен обзор основных используемых подходов, кратко описано содержание глав работы, сформулированы результаты и положения, выносимые на защиту, раскрыта научная новизна, значимость и достоверность результатов, указан личный вклад автора.

В первой главе рассматривается вопрос выявления связи между двумя осцилляторными системами путем анализа их фазовой динамики. Проводится детальный анализ базовой модели - системы двух несвязанных нелинейных фазовых осцилляторов, результатом которого являются зависимости распределения эмпирического коэффициента фазовой когерентности (КФК) от параметров: частотной расстройки, уровня шума, длины временного ряда и т.п. Оценивается область применимости метода выявления связи на основе КФК. С помощью различных методов приготовления суррогатных данных решается задача о выявлении связи между двумя осцилляторами на примере систем Ван-дер-Поля. Предлагается новый авторский метод выявления связи, базирующийся на связи не между значениями самих фаз колебательных систем, а между значениями их приращений за некоторый интервал времени - так называемый метод ККПФ. Для несвязанных систем данные приращения должны быть независимы, наличие корреляции говорит о вероятности присутствия связи. Проведен глубокий анализ применимости предлагаемого метода и особенностей получаемых результатов, рассмотрены ситуации различных колебательных систем, различных видов связи и типов шумов. Показано, что метод ККПФ дополняет возможности известного метода КФК и оказывается более чувствительным и точным в ряде случаев, например, при несинхронизирующих связях или при сильных синхронизирующих.

Во второй и третьей главах рассматривается задача выявления запаздывающей связи и оценки времени ее запаздывания по временным рядам фаз, причем вторая глава посвящена случаю слабо возмущенных предельных циклов. Произведено обобщение ранее известного метода выявления связей на основе наблюдаемой фазовой динамики на случай запаздывающих связей. Предложен метод интервальной оценки времени запаздывания связи на основе метода минимизации остаточных ошибок, получены выражения для смещения и дисперсии получаемых величин в зависимости от параметров метода. Применимость метода показана на ансамблях временных реализаций связанных фазовых осцилляторов и осцилляторов Ван-дер-Поля, причем рассматривалось действие как белого, так и цветного шума. Предложен эмпирический критерий для диагностики адекватности работы метода.

Третья глава посвящена оценке запаздывания связи для более сложных случаев: систем со значительными амплитудными флуктуациями и систем без фазово-когерентных аттракторов. Предложены огрубленные оценки времени запаздывания, позволяющие применять развитые методы и в данных случаях. Работоспособность подхода на основе огрубленных оценок проверена на ряде примеров: стохастические линейные осцилляторы с диссипацией, систем Лоренца и Ресслера. Также разработанные методы оценки времени запаздывания связи применены для практически важной макроклиматической системы взаимодействующих Южного и Северо-Атлантического колебаний.

Оценивая всю работу, следует отметить её целостность, логичность структуры и полноту рассмотрения проблем обнаружения связи между колебательными системами и оценки величины ее запаздывания. Полученные автором результаты демонстрируют академическую ценность и практическую значимость предложенных методов выявления и характеристики возможных связей по временным рядам.

По работе имеются следующие замечания.

1. В первой главе рассматриваются два различных случая фазовой динамики двух осцилляторов - с наличием так называемой собственной фазовой нелинейности и без таковой. В обоих случаях динамика осциллятора в отсутствие шума определяется одномерным уравнением на окружности, не имеющим (при достаточно малых значениях параметра b) состояний равновесия. Легко показать, что две системы с различными значениями параметра b могут быть сведены друг к другу путем нелинейного преобразования величины фазы. Вероятно, именно этим фактом объясняется отсутствие зависимости квантиля $\rho_{0.95}$ от параметра b , если последний не слишком велик (см. Рис. 1.3). На мой взгляд, данный вопрос требует осмысления и обсуждения, что украсило бы соответствующую часть работы и увеличило глубину понимания полученных результатов. С практической точки зрения, возможно, подходящее нелинейное преобразование фазы позволило бы сводить неблагоприятные случаи с сильной собственной нелинейностью к случаям со слабой нелинейностью, что расширило бы области применения разрабатываемых методов.

2. Во второй и третьей главах в качестве примеров применения метода оценки запаздывания рассматриваются только системы с однонаправленной связью, тогда как общая постановка задачи предполагает возможность рассмотрения и двунаправленных связей. С одной стороны ясно, что полное

исследование применимости предлагаемого метода в случае двунаправленных связей чрезвычайно трудоемко хотя бы в силу большого числа возможных ситуаций и варьируемых параметров. Однако считаю, что следовало бы проиллюстрировать применимость метода хотя бы для одного примера системы с двунаправленной связью, так как в теоретической части возможность такого применения заявлена.

Приведенные замечания ни в коей мере не снижают общего положительного впечатления от работы. Диссертация Е.В. Сидак является целостным и законченным исследованием, в котором решены важные задачи, связанные с разработкой и исследованием методов выявления и оценки параметров связи между колебательными системами. Диссертация хорошо оформлена и проиллюстрирована, автореферат правильно отражает ее содержание. Материалы диссертационной работы опубликованы в профильных научных отечественных и зарубежных периодических изданиях и достаточно полно отражены в ряде выступлений на ведущих международных конференциях. Результаты диссертации могут быть использованы при проведении научных исследований в академических НИИ, в том числе в Институте Прикладной Физики РАН, а также при преподавании теории колебаний и нелинейной динамики в Нижегородском Государственном Университете и других вузах.

Можно заключить, что диссертационная работа Е.В. Сидак «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».

31.08.2016

Клиньшов Владимир Викторович,
к.ф.-м.н., с.н.с. Института Прикладной Физики РАН _____ /Клиньшов В. В./

Подпись В.В. Клиньшова заверил
Ученый секретарь ИПФ РАН _____ /Корюкин И. В./

