

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВПО «Ярославский  
государственный университет имени  
П.Г. Демидова»

д.х.н., профессор

А.И. Русаков

«   » апреля 2015 года

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования «Ярославский государственный  
университет имени П.Г. Демидова»

на диссертационную работу Корнилова Максима Вячеславовича «Оценка  
связанности колебательных систем методом причинности по Грейнджеру при  
использовании моделей с полиномиальной нелинейностью», представленную  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.03 — Радиофизика

Диссертационная работа Корнилова М.В. посвящена оценке  
направленной связи систем по дискретным записям их колебаний (временным  
рядам). Соответствие ее тематики специальности, как и практическая  
значимость, не вызывает сомнения. Рассматриваемая задача актуальна не только  
для радиофизики, но и для многих других областей знания: техники передачи  
информации, биомедицинских приложений, климатологии и др. В работе  
рассматривается способ оценки влияния одной системы на другую по записям  
их колебаний, предложенный Кл. Грейнджером (нобелевским лауреатом 2003 г.  
по экономике) и известный широкой аудитории как «оценка причинности по  
Грейнджеру». Согласно этому методу степень влияния одной системы на

другую оценивается по изменению точности прогноза поведения первой системы при введении в прогностическую математическую модель данных о колебаниях второй системы. На практике обычно не удаётся построить математическую модель поведения объекта из первых принципов, поэтому в качестве упомянутых прогностических моделей приходится использовать эмпирические конструкции — реконструируемые по рядам отображения последования. При этом возникает необходимость исследования работоспособность подобранных моделей применительно к решаемой задаче. В диссертации исследуются особенности реализации метода причинности по Грейнджеру применительно к однонаправленно связанным системам, когда прогностическая модель в виде отображения последования с полиномиальными функциями качественно не воспроизводит характер наблюдаемого временного ряда, при наличии скрытых переменных, а также в случае фазовой синхронизации взаимодействующих систем.

Диссертация состоит из введения, трех глав, приложения, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 107 страниц, включая 26 рисунков и библиографию из 93 наименований. Остановимся на анализе содержания работы и выделении наиболее интересных ее результатов.

Во **введении** обосновывается актуальность тематики работы, определяются цели исследования, ставятся основные задачи, раскрывается научная новизна и значимость полученных результатов, а также формулируются положения и результаты, выносимые на защиту.

В **первой** главе на ряде последовательно усложняющихся эталонных однонаправленно связанных систем, содержащих сложные нелинейные функции и скрытые переменные, проведено исследование работоспособности метода причинности по Грейнджеру в случае, когда прогностическая модель в виде отображений последования с полиномиальными функциями качественно не воспроизводит динамику исследуемого объекта (например, исходный временной ряд хаотический, а аттрактор в фазовом пространстве реконструированной модели — регулярный). В результате численного

эксперимента продемонстрировано, что при достаточно высоких степенях полинома и размерностях модели метод верно диагностирует направленную связь для всех выбранных классов систем.

**Вторая** глава диссертации посвящена оптимальному подбору параметров прогностических моделей метода нелинейной причинности по Грейнджеру в приложении к сигналам, обладающим хорошо выраженными временными масштабами. Для этой цели были разработаны два критерия, позволяющие, соблюдая баланс между чувствительностью и специфичностью, а также учитывая значимость результатов, подбирать параметры прогностической модели (лаг и дальность прогноза).

Разработанные критерии позволили выработать рекомендации к выбору параметров прогностической модели в виде отображения последования с полиномиальными функциями. На основе разработанных критериев было проведено исследование зависимости работоспособности метода причинности по Грейнджеру от значения старшего ляпуновского показателя ведомой системы. Было показано, что с увеличением значения старшего ляпуновского показателя системы, зависимость критериев от лага модели становится менее выраженной. Однако и в этом случае критерии позволяют подобрать оптимальные параметры модели, при которых метод причинности по Грейнджеру эффективен.

В **третьей** главе диссертации рассматривается важный вопрос работоспособности метода нелинейной причинности по Грейнджеру в случае исследования связанности между системами, находящимися в режиме частичной фазовой синхронизации. А также рассматриваются различные методы создания суррогатных временных рядов. На тестовых системах было показано, что метод позволяет выявить направленную связь в случае сильной синхронизованности систем - вплоть до значения коэффициента фазовой синхронизации равного 0.95.

В «**Приложении**» приводится пример возможного использования сформулированных в основных главах рекомендаций в диагностической

практике – проведено исследование изменения направления связей между отведениями поверхностной электроэнцефалограммы головного мозга детей, страдающих детским церебральным параличом.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы работы.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту обоснованы достаточно хорошо и являются достоверными. Они логически следуют из проведенного в диссертации анализа.

При анализе диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. В первой главе недостаточно раскрыт вопрос о влиянии способа введения связи на результаты применения метода причинности по Грейнджеру. Например, для связанных отображений окружности связь вводилась только в виде  $k\sin(y_n)$ , для связанных отображений Икеды —  $k\cos(y_n^2 - x_n^2)$ , для связанных отображений Заславского и систем Лоренца —  $ky_n$ . При этом выводы, сформулированные в главе, сделаны не взирая на способ связи.
2. Во второй главе заявляется о возможности применимости критериев и для других классов моделей, однако свойства классов систем, для которых методика могла бы быть работоспособна, не приводятся.
3. В третьей главе в численных примерах зависимость показателя улучшения прогноза от значения коэффициента фазовой синхронизации является не эквидистантной, при этом рассмотрение в одних диапазонах значений коэффициента связи проведено очень подробно, в то время как в других диапазонах авторы ограничились редкими значениями.
4. Основные рекомендации по практическому приложению метода причинности по Грейнджеру с полиномиальными моделями сформулированы для случая, когда исходные временные ряды обладают ярко выраженным временным масштабом и их старший ляпуновский показатель принимает небольшие значения. При этом для записей ЭЭГ детей, рассматриваемых в приложении, не ясно, проводился ли расчёт

старшего ляпуновского показателя, а также насколько можно судить о наличии основного временного масштаба.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы М.В. Корнилова.

В целом, можно сказать, что в диссертации М.В. Корнилова был освоен большой теоретический материал по методам обработки сигналов, произведена существенная экспериментальная работа, разработаны компьютерные программы, реализующие описанные в работе методы.

Основные результаты диссертационной работы доложены на всероссийских и международных научных конференциях. Высокий уровень работы подтверждается и хорошими публикациями по результатам диссертации.

Полученные в диссертации научные результаты рекомендуется использовать в исследованиях, связанных с обработкой экспериментальных временных рядов в приложении к задачам радиофизики, медицины и др. Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в научных исследованиях и в прикладных разработках в исследовательских институтах: Институте радиотехники и электроники РАН, Институте прикладной физики РАН, в ВУЗах, ведущих подготовку по направлениям радиофизического профиля: Ярославском государственном университете, Нижегородском государственном университете, Московском физико-техническом институте, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете ЛЭТИ, Саратовском государственном университете.

Диссертационная работа Корнилова Максима Вячеславовича на тему «Оценка связанности колебательных систем методом причинности по Грейнджеру при использовании моделей с полиномиальной нелинейностью» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-практической задачи — исследования условий применимости метода нелинейной причинности по Грейнджеру применительно к однонаправленно связанным системам в случае, когда прогностическая

модель в виде отображения последования с полиномиальными функциями качественно не воспроизводит характер наблюдаемого временного ряда.

Диссертация Корнилова М.В. удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Корнилов Максим Вячеславович, достоин присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — Радиофизика.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры математического моделирования математического факультета Ярославского государственного университета имени П.Г. Демидова (протокол № 9 от 08 апреля 2015).

#### Отзыв составил

Заведующий кафедрой математического моделирования математического факультета Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова доктор ф.-м. наук, профессор



Кащенко Сергей Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова» (150000 г. Ярославль, ул. Советская, д. 14. Тел. 8 (485) 279-77-94. e-mail: rectorat@uniyar.ac.ru)

