

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Корнилова Максима Вячеславовича

*«Оценка связности колебательных систем методом причинности по
Грейнджеру при использовании моделей с полиномиальной
нелинейностью»*,

представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 — радиопизика.

За последние годы в радиопизике был накоплен значительный объём знаний о сложной динамике нелинейных системы. Обнаружены и классифицированы режимы различного типа, выявлена универсальность поведения, демонстрируемая системами разной природы, разработаны мощные аналитические и численные инструменты анализа. Список этих достижений может быть продолжен. Однако в последнее время возникла некоторая диспропорция: массив теоретических результатов растёт быстрее количества их прикладных воплощений. В такой ситуации большое значение приобретают работы, в которых теоретический аппарат применяется не к абстрактным, зачастую далёким от реальности, моделям, а к системам непосредственно наблюдаемым в окружающем мире. Диссертация Корнилова М. В. относится к числу таких исследований и по этой причине *актуальность её темы не вызывает сомнения*.

При изучении динамики реальных систем большое значение имеет построение их математических моделей. Однако очень часто необходимая информация о внутреннем устройстве системы отсутствует и поэтому традиционный способ построения модели на основе выделения существенных функциональных элементов и значимых связей между ними не может быть применим. Но даже если такая информация доступна, нередкой является ситуация, когда структура оказывается настолько сложной, что непосредственное построение математической модели на основе информации о ней не представляется возможной. В этом случае применяют подход, получивший название динамическим моделированием. В его рамках изучаемая система рассматривается как чёрный ящик, сигнал (или сигналы) которого регистрируется. На его (их) основе конструируется динамическая система таким образом, что бы она максимально точно воспроизводила необходимые характеристики этого сигнал на как

можно более длинном интервале времени.

При наличии нескольких сигналов, регистрируемых от одной и той же системы, адекватность конструируемой модели существенным образом зависит от правильного учёта воздействия одного сигнала на другой. Кроме того, правильный учёт влияния сигналов имеет и самостоятельное значение, так как позволяет судить о внутренней структуре изучаемой реальной системы. Для выявления направления связи между сигналами традиционно применяется метод нелинейной причинности по Грейнджеру. Идея метода очень проста — нужно построить две модели, одна из которых воспроизводит изучаемый сигнал без учёта предположительно влияющего сигнала, а вторая — с его учётом. Если учёт второго сигнала улучшает качество модели, то влияние есть. Однако этот метод на сегодняшний день нельзя считать в полной мере формализованным, поэтому при его применении возможны ошибки. Не ясно, возможно ли в принципе сформулировать строгие алгоритмы, тем не менее более или менее общие закономерности существуют. Диссертация Корнилова М. В. делает вклад в их выявление, что даёт возможность автору работы сформулировать несколько практических рекомендаций по использованию метода причинности по Грейнджеру в тех или иных ситуациях.

Одним из ценных результатов диссертации является проведение исследования работоспособности метода нелинейной причинности по Грейнджеру в случае, когда эмпирическая модель качественно не воспроизводит динамику исследуемого объекта. Рассмотрен ряд последовательно усложняющихся эталонных систем с однонаправленной связью. Подборка систем максимально приближена к реальным ситуациям, возникающим при динамическом моделировании: системы содержат нелинейности сложной природы, описываемые неполиномиальными функциями и скрытые переменные, значения которых не привлекались во внимание при построении модели. В работе показано, что даже в таких сложных случаях модель, построенная на основе полиномов с достаточно высоким порядком, может правильно выявлять направление связи. При этом качественно поведение модели не обязательно должно соответствовать моделируемому сигналу. По всей видимости, этот результат кроме практической ценности имеет также и определённое фундаментальное значение, так как показывает, что свойство сигналов быть связанными обладает неким подобием самостоятельной универсальности, не зависящей от качественного характера этих сигналов.

Достаточно часто на практике возникает ситуация когда моделируемый сигнал имеет чётко выраженный временной масштаб. Очевидно, что это обстоятельство должно быть учтено при моделировании и в частности при выявлении наличия взаимовлияния таких сигналов. Для того, чтобы выполнить калибровку параметров прогностической модели в диссертации были разработаны два численных критерия, позволяющие количественно охарактеризовать качество работы метода диагностирования направленности связи. Эти критерии были применены при моделировании сигналов от серии эталонных систем. На основе этого выработаны практические рекомендации по выбору параметров модели, позволяющей надёжно идентифицировать наличие связи между изучаемыми сигналами с временными масштабами.

Когда одна динамическая системы связана с другой, то типичным является возникновение между ними синхронизации. Полная синхронизация, когда один сигнал точно повторяет другой, очевидно, не позволяет выявить направление связи между подсистемами. Однако существует целый ряд феноменов более «слабой» синхронизации, когда повторение хотя и существует, но оно не полное и следовательно можно рассчитывать на то, что возможность выявления направления связи сохраняется. В диссертации исследуется работоспособность метода нелинейной причинности по Грейнджеру применительно к случаю, когда между моделируемыми системами имеется частичная фазовая синхронизация. Для серии эталонных систем показано, что даже при достаточно сильном проявлении эффектов синхронизации метод оказывается в состоянии правильно определить направление связи.

Кроме теоретических результатов, в диссертации приведены также результаты применения исследуемого метода к медицинским данным. Известно, что у людей, страдающих ДЦП, нарушены связи между отдельными областями головного мозга, что обусловлено наличием в них повреждённых участков. В диссертации показано, что лечение приводит восстановлению нарушенных связей и появлению новых. Таким образом, это исследование может служить основой для разработки новых методов объективного контроля эффективности терапии.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы в достаточной мере и достоверны. Они получены на основе проведённого в диссертации детального анализа поставленных задач. Кроме того, положения логически согласованы с предше-

ствовавшими исследованиями в этой области. *Выполненные исследования и результаты, к которым они привели, являются новыми*, они прошли апробацию на российских и международных конференциях и опубликованы в авторитетных реферируемых журналах. *Полученные в диссертации результаты имеют высокую значимость*. В теоретическую науку работа привносит новые знания способствующие строгой формализации методов динамического моделирования. Кроме того, практические рекомендации, сформулированные в работе, будут полезны для реализации прикладных задач моделирования. Результаты работы могут быть использованы в работе научных групп, занимающихся динамическим моделированием, в работе таких организаций как ИРЭ РАН, СГУ, СГТУ, а также в учебном процессе университетов, в курсах по моделированию динамики сложных систем. *Автореферат точно отражает содержание работы.*

Замечания.

1. Один из главных результатов диссертации, сформулированный в первом положении, выносимом на защиту, состоит в том, что модель, правильно определяющая направление связи в системе, необязательно должна качественно воспроизводить моделируемую динамику. Это утверждение тщательно проверено в работе, так что сомнений в его достоверности не возникает. Однако так как оно является контринтуитивным, то желательно было бы также уделить больше внимания природе этого явления на уровне качественного осмысления. Не исключено, что за этим стоят некоторые до сих пор неизвестные свойства универсальности.

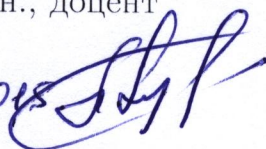
2. Во втором положении выносимом на защиту сказано о предложенных в работе численных критериях оценки эффективности работы метода нелинейной причинности по Грейнджеру. Эти критерии применяются для выработки рекомендаций по оптимальному подбору параметров модели в случае, когда моделируемый сигнал имеет чётко выраженный временной масштаб. Однако сами по себе эти критерии никак не используют информацию о временном масштабе и поэтому область их применения не ограничивается такими сигналами. В связи с этим было бы желательно использовать эти методы и для других задач моделирования, рассмотренных в диссертации.

3. В работе часто упоминаются узкоспециальные термины и методы. Для улучшения восприятия работы, было бы желательно дать им развёрнутые пояснения. В частности, без достаточного обсуждения ши-

роко используется понятие суррогатных временных рядов. Также не дано определения коэффициента фазовой синхронизации, который также упоминается достаточно часто.

Указанные недостатки не снижают впечатления о работе, которая свидетельствует о высокой квалификации автора. В диссертационной работе Корнилова М. В. содержится *новое решение актуальной научной задачи* радиофизики. Она представляет собой *законченное исследование*, выполненное автором самостоятельно. Диссертация Корнилова М. В. *удовлетворяет критериям* п. 9–14, установленными «Положением о присуждении ученых степеней» в редакции Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 для кандидатских диссертаций и соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика. Ее автор, Корнилов Максим Вячеславович, *заслуживает присуждения* ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Профессор кафедры «Приборостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» (Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, Эл. почта: p.kuptsov@rambler.ru, Телефон: 8452-99-88-14), д. ф.-м. н., доцент

22.04.2015 

Купцов Павел Владимирович

Подпись П. В. Купцова заверяю, Учёный секретарь Учёного совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», д. т. н., проф.



Бочкарев Петр Юрьевич
22.04.2015