«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
к.т.н., с.н.с.
_____ Добросердов О.Г.
«19» мая 2016 г.

О Т З Ы В

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», на диссертацию Мохаммада Ясира Халафа Мохаммада «Анализ хаотических и гиперхаотических режимов колебаний по точечным процессам на основе показателей Ляпунова», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

В диссертационной работе Мохаммада Ясира Халафа Мохаммада решается задача диагностики хаотических и гиперхаотических режимов колебаний по точечным процессам. Несмотря на то, что исследования в этой области проводятся около 20 лет, и к настоящему времени получен ряд важных научных результатов, многие аспекты проблемы реконструкции динамических систем по точеным процессам остаются неизученными. Прежде всего, это относится к задаче диагностики режимов сложных колебаний по зашумленным точечным процессам и к анализу переходов «хаос-гиперхаос» в условиях небольшой выборки. Особенностью данной диссертационной работы является акцент на установление общих закономерностей при анализе зашумленных точечных процессов, генерируемых разными моделями пороговых устройств, а также на уменьшение объема экспериментальных данных, необходимого для правильной идентификации режима динамики. Последнее, в частности, является важным при разработке систем связи, применяющих хаотические и гиперхаотические режимы колебаний в качестве несущих сигналов в целях повышения защищенности передаваемых сообщений. Таким образом, тема диссертационной работы Мохаммада Я.Х.М. является актуальной и практически значимой.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы.

Во **введении** обсуждается актуальность темы диссертации, приводятся формулировки цели и задач выполненного исследования, изложены научная новизна и научно-практическое значение результатов диссертации, сформулированы положения и результаты, выносимые на защиту.

В **первой** главе рассматривается задача расчета динамических характеристик сложных режимов колебаний на входе пороговых устройств, описываемых моделью «накопление-сброс», по выходным последовательностям межимпульсных интервалов. Обсуждается приближение высокой частоты генерации импульсов, при котором справедлива теорема Зауэра. Анализируется точность проводимых оценок с уменьшением частоты генерации. Отмечается, что при выполнении достаточно общих ограничений на значения параметров реконструкции (размерности пространства вложения и временной задержки) алгоритм расчета двух старших показателей Ляпунова по временным рядам обеспечивает сравнительно небольшие вариации вычисляемых величин. Существенно более сильная зависимость наблюдается от максимально допустимого расстояния между фазовыми траекториями, то есть от верхней границы линейного приближения. Показано, что соответствующая зависимость характеризуется спаданием оцениваемых характеристик в области малых и больших расстояний между траекториями, и приведены объяснения наблюдаемых закономерностей. Сделан вывод о том, что максимальная точность проводимых расчетов достигается в окрестности максимума зависимости старшего показателя Ляпунова от верхней границы линейного приближения. Исследован вопрос о влиянии объема выборки на погрешность вычислений. Показано, что используемый метод диагностики режима динамики позволяет ограничиться несколькими сотнями базовых периодов колебаний сигнала на входе порогового устройства, описываемого моделью «накопление-сброс». Сделанные выводы подтверждены на нескольких базовых моделях хаотических осцилляторов.

Во **второй** главе диссертационной работы решается задача диагностики хаотических и гиперхаотических режимов колебаний по последовательностям времен возврата в секущую Пуанкаре. Рассматривается подход, основанный на аппроксимации усредненной мгновенной частоты хаотических/гиперхаотических колебаний. Данный подход ранее применялся к анализу режимов динамического хаоса и позволял обеспечивать погрешность расчета старшего показателя Ляпунова, составляющую около 10%. В данной диссертации решена задача диагностики гиперхаотических режимов динамики связанных автоколебательных систем с помощью данного метода. Показано, что результаты диагностики существенно зависят от выбора секущей плоскости. Если она выбирается таким образом, что анализируемые последовательности времен возврата отражают сопоставимый вклад

динамики каждой системы, то выходной точечный процесс позволяет правильно диагностировать режим динамики. Точность проводимых оценок зависит от степени близости двух старших показателей Ляпунова: если второй показатель приближается к первому, точность его вычисления уменьшается, но при этом правильно диагностируются переходы между режимами хаотических и гиперхаотических колебаний при изменении управляющих параметров. Предложена модификация алгоритма расчета показателей Ляпунова, включающая проверку точечного процесса на наличие артефактов и оценку погрешности вычислений для разных методов интерполяции. Исследована зависимость проводимых оценок от объема выборки. Также как и в случае точечных процессов модели «накопление-сброс», проведение достоверных расчетов ляпуновских показателей возможно по последовательностям, содержащим несколько сотен времен возврата.

В **третьей** главе диссертационной работы приводятся результаты расчета старшего показателя Ляпунова хаотических режимов автоколебаний по зашумленным точечным процессам. Рассматривается случай аддитивного (измерительного) шума, который не влияет на динамику системы. В работе установлено, что для разных моделей пороговых устройств величина старшего показателя Ляпунова демонстрирует общие закономерности зависимости от максимально допустимой ошибки ориентации. Для повышения точности расчетов целесообразно проводить оценки в окрестности максимума соответствующей зависимости. Рассмотрение больших ошибок ориентации позволяет диагностировать наличие шума в точечном процессе и проводить сравнение присутствующих помех по интенсивности. Установлено, что в присутствии аддитивного шума наклон зависимости старшего показателя Ляпунова от максимально допустимой ошибки ориентации становится положительным, и с ростом интенсивности шума пропадает максимум в области сравнительно небольших углов между векторами возмущения до и после перенормировки. Исчезновение данного максимума свидетельствует о недостоверности проводимых расчетов. Отмечены общие закономерности для зашумленных точечных процессов и случая детерминированной динамики, соответствующего низкой частоте генерации импульсов.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

Новизна научных результатов диссертационной работы состоит в следующем:

1. Исследована возможность диагностики режимов гиперхаотических колебаний по последовательности времен возврата в секущую Пуанкаре при наличии сравнительно небольшого объема выборки.
2. Предложен критерий достоверности оценки старшего показателя Ляпунова хаотического режима колебаний по зашумленным точечным процессам.

3. Установлены закономерности зависимости величины старшего показателя Ляпунова от задания верхней границы линейного приближения.
4. Изучены различия точности вычисления двух старших показателей Ляпунова по последовательностям времен возврата хаотических и гиперхаотических режимов колебаний в зависимости от задания секущей Пуанкаре.

Научно-практическая значимость работы состоит в совершенствовании методов диагностики сложных режимов колебаний по точечным процессам на основе показателей Ляпунова, а также в разработке подходов, позволяющих повысить точность их вычисления и предложить критерии достоверности проводимых расчетов.

Предложенный в диссертации модифицированный метод расчета старшего показателя Ляпунова по точечным процессам, предусматривающий построение зависимости оцениваемой величины от ошибки ориентации, может применяться при проведении научных исследований в области анализа структуры сигналов в Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Московском, Нижегородском, Казанском, Волгоградском, Томском и Юго-Западном государственных университетах.

Методика расчета старшего показателя Ляпунова по точечным процессам, основанная на построении зависимости величины показателя от верхней границы линейного приближения, может быть рекомендована для внедрения в учебный процесс в вузах, ведущих подготовку специалистов в области радиофизики.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на соответствии аналитических оценок и результатов численных расчетов, а также на отсутствии противоречий выводов диссертационной работы известным теоретическим данным.

По диссертационной работе есть ряд замечаний:

1) В тексте диссертации не обсуждается, каким образом проводится проверка на наличие артефактов последовательностей межимпульсных интервалов в режимах развитого хаоса, когда в спектре мощности отсутствует базовая частота колебаний. Для этого случая необходимо более детальное тестирование предложенной модернизации метода расчета показателей Ляпунова (§ 2.2, стр. 59– 77).
2) В третьей главе диссертации тестируется метод расчета старшего показателя Ляпунова по зашумленным точечным процессам. Однако, не приводится анализ вопроса расчета второго показателя и, соответственно, проблемы диагностики гиперхаотических режимов колебаний при наличии аддитивного

шума. Сохраняются ли при расчете второго показателя те же закономерности, что и для старшего?

3) Как следует из рисунка 2.9 (§ 2.3, стр. 78), второй показатель Ляпунова демонстрирует более сильную зависимость от выбора секущей плоскости по сравнению со старшим показателем. Несмотря на то, что этот результат является в значительной степени ожидаемым, приведенная зависимость от выбора параметра β требует более детального изучения и объяснения (стр.77–82).
4) В работе встречается неудачно используемая терминология. В частности, правильнее говорить о точности расчетов показателей Ляпунова или об ошибке вычислений, а не о «корректности расчетов».

Однако, отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Мохаммада Я.Х.М.

Заключение

Диссертационная работа Мохаммада Я.Х.М. является законченным научным исследованием. Диссертация выполнена на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Работа соответствует паспорту специальности 01.04.03 – радиофизика.

По результатам диссертационного исследования опубликовано 8 статей, включая 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: «Physical Review E», «CHAOS», «Письма в Журнал технической физики» (2 статьи), «Proceedings of SPIE». Работа хорошо апробирована на отечественных и международных научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Московском, Нижегородском, Казанском, Волгоградском, Томском, Юго-Западном государственных университетах, а также могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Московском физико-техническом институте, Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Воронежском государственном университете, Томском государственном университете и других вузах, ведущих подготовку специалистов по радиофизическим направлениям.

Диссертационная работа Мохаммада Ясира Халафа Мохаммада вносит заметный вклад в развитие радиофизических методов обработки зашумленных сигналов. Работа удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Отзыв составил:
Профессор кафедры вычислительной техники
Юго-Западного государственного
университета,
д.т.н., профессор Жусубалиев Жаныбай Турсунбаевич

Почтовый адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»,
кафедра вычислительной техники,
тел.: 8 (4712) 22-26-65, e-mail: zhanybai@gmail.com

Отзыв утвержден на заседании кафедры вычислительной техники Юго-Западного государственного университета. Протокол № 13 от «17» мая 2016 года.

Заведующий кафедрой
вычислительной техники Юго-Западного государственного
университета,
заслуженный деятель науки РФ,
д.т.н., профессор Титов Виталий Семенович

Секретарь,
профессор кафедры
вычислительной техники Юго-Западного государственного
университета,
д.т.н. Чернецкая Ирина Евгеньевна