

УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной
и исследовательской работе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»,
кандидат физико-математических наук,
доцент

А.А. Алиханов

«14» мая 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Рыбина Вячеслава Геннадьевича,
выполненную на тему

«Математическое и компьютерное моделирование генераторов хаотических колебаний на основе численных методов с управляемой симметрией»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1. Актуальность темы диссертационной работы

Одним из быстроразвивающихся направлений науки и техники, в котором применяются генераторы хаотических сигналов, являются когерентные хаотические системы связи. Применение хаотической динамики для генерации несущих сигналов позволяет получить сигналы, сходные с шумом по спектральным и статистическим характеристикам, что обеспечивает высокую скрытность передачи данных, а детерминизм порождающей их системы повышает устойчивость к перекрестной помехе в случае передачи сигнала в средах с множественным отражением сигнала, например, в звукоподводной связи или гидролокации.

Тем не менее, распространение технических решений, основанных на динамическом хаосе, ограничено ввиду недостатка специализированных инструментов моделирования, а также отсутствия аппаратно-ориентированных численных моделей генераторов хаоса с высокой степенью адекватности непрерывным прототипам. Отсутствие специализированных инструментов моделирования и четких критериев оценки хаотических сигналов может привести к

ошибкам при компьютерном моделировании и снижению производительности проектируемых технических систем. Так, в случае когерентных систем связи, основанных на хаосе, предъявляются повышенные требования к скорости и точности синхронизации генераторов. Все это требует создания новых процедур оптимизации параметров синхронизации как с точки зрения скорости синхронизации, так и с точки зрения минимизации процента битовых ошибок.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно утверждать, что тема и результаты диссертационной работы Рыбина Вячеслава Геннадьевича являются **актуальными**.

Объектом исследования являются цифровые генераторы хаотических сигналов, **предметом исследования** выступают математическое и программное обеспечение систем компьютерного моделирования генераторов хаотических сигналов в приложении к хаотическим системам связи.

Целью работы является повышение адекватности математического и компьютерного моделирования, а также основных характеристик цифровых генераторов хаотических сигналов, применяемых в хаотических системах связи.

Научная задача, решаемая в диссертационной работе, определена автором как разработка математического и программного обеспечения генераторов хаотических сигналов на основе полуявных численных методов интегрирования с управляемой симметрией.

2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа Рыбина Вячеслава Геннадьевича обладает научной новизной, заключающейся в адаптации нового класса полуявных численных методов интегрирования для решения задач моделирования генераторов хаотических сигналов. Применение полуявных методов позволяет повысить адекватность моделирования и снизить аппаратные затраты по сравнению с неявными методами. Управляемые свойства полуявного композиционного метода интегрирования автор использовал для создания нового способа модуляции хаотических сигналов. Предложенные автором алгоритмы оптимизации коэффициентов синхронизации позволяют повысить качество проектных решений в области когерентных хаотических систем связи как с точки зрения скорости

синхронизации, так и с точки зрения минимизации процента битовых ошибок. Описанная в диссертации новая модификация метода возвратных преобразований обладает большей чувствительностью по сравнению с методами спектрального анализа и методами рекуррентного анализа, что позволяет более точно оценивать различимость хаотических сигналов при относительно небольших изменениях параметров генераторов хаотических сигналов.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Разработан новый способ модуляции хаотических сигналов, использующий особые свойства полуявных симметричных численных методов интегрирования.

2. Предложены математические и исполняемые модели хаотических генераторов широкополосных сигналов, реализующие новый способ модуляции хаотических сигналов с управлением симметрией дискретных конечно-разностных схем и обладающие большей адекватностью непрерывным прототипам, чем решения, полученные с помощью явных и неявных методов численного интегрирования.

3. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для оптимизации коэффициентов синхронизации при разработке приемников и передатчиков хаотического сигнала, применяемых в когерентных ХСС, а также предложен новый способ оценки различимости сигналов на основе модифицированного метода возвратных преобразований.

Научная новизна диссертационного исследования подтверждается тем, что основные результаты опубликованы в журналах из перечня ВАК, зарубежных журналах из перечня Scopus и Web of Science, а также регистрацией объектов интеллектуальной собственности.

3. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Из анализа диссертационной работы можно сделать вывод, что основные научные результаты, выносимые на защиту, сформулированы четко и обоснованно, обладают научной новизной и отражают оригинальность предложенных решений. К основным результатам диссертации следует отнести:

1. Новый способ модуляции хаотических сигналов на основе управляемых свойств полуявных симметричных численных методов интегрирования.

2. Математические и исполняемые модели хаотических генераторов хаотических сигналов, реализующие предложенный авторский способ модуляции хаотических сигналов.

3. Алгоритмы и программное обеспечение для оптимизации коэффициентов синхронизации при разработке приемников и передатчиков хаотического сигнала, применяемых в когерентных хаотических системах связи, а также новый способ оценки различимости сигналов при модуляции для когерентных хаотических систем связи на основе модифицированного метода возвратных преобразований.

Достоверность основных выводов и результатов диссертации подтверждается:

1. Результатами компьютерного и полунатурного моделирования;
2. Численными экспериментами с исполняемыми моделями генераторов хаоса и имитационным моделированием;
3. Применением полученных результатов в тематических НИР, а также полученными реализациями и апробациями

4. Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость полученных результатов обусловлена их научной новизной для предметной области и заключается в том, что автором работы:

– сделан вклад в развитие теории численного моделирования нелинейных динамических систем через создание новых математических моделей хаотических осцилляторов с управляемой симметрией конечно-разностной схемы;

– предложен новый способ управления фазовым пространством дискретных хаотических отображений при проектировании генераторов хаотических колебаний с заданными характеристиками;

– получены новые знания о влиянии коэффициента симметрии на динамику дискретных хаотических осцилляторов.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенный способ модуляции хаотических сигналов превосходит по соотношению «различимость-скорость передачи» способы, применяемые в настоящее время для модуляции хаотических сигналов. Предложенные в диссертации алгоритмы оценки

свойств генераторов хаотических сигналов позволяют повысить характеристики проектируемых устройств на основе теории хаоса. Также практическая значимость определяется доведением полученных решений до уровня программных реализаций, что подтверждается наличием девяти зарегистрированных программ для ЭВМ.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Предложенный способ модуляции может использоваться в технических системах, основанных на хаотических сигналах. Использование полуявных методов численного интегрирования для создания моделей генераторов хаотических сигналов позволяет повысить адекватность моделирования, а также обеспечить устойчивость к деградации хаотических колебаний при долгосрочном моделировании. Предложенный способ оценки различимости сигналов позволяет численно оценить разницу между динамикой хаотических колебаний при наличии как амплитудных, так и фазовых изменений.

Предложенное программное обеспечение внедрено в научно-производственный процесс ООО «НПФ «Модем» и используется при подготовке бакалавров по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» в рамках учебного процесса кафедры САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Также, результаты диссертационного исследования использовались при выполнении гранта Российского научного фонда, договор №20-79-10334 от 27.07.2020, НИР «Защищенные системы связи на основе хаотических отображений с управляемой симметрией».

Дальнейшими направлениями исследований могут являться создание новых способов модуляции хаотических сигналов, основанных на управляемых свойствах других численных методов, а также разработка перспективных способов синхронизации хаотических систем, использующих обратимость численного решения во времени.

6. Общая оценка диссертационной работы

Структура диссертации характеризуется внутренним единством и логической связностью. Диссертация состоит из содержания, введения, четырех глав с выводами, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы и

приложений. По содержанию диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, по оформлению – соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам, направляемым в печать.

Во введении автор диссертации обосновывает актуальность темы диссертационной работы, определяет цели и задачи исследования, предмет и объект исследования, новизну и практическую значимость результатов, выносимых на защиту.

В первой главе диссертации автор описывает особенности математического и компьютерного моделирования генераторов хаотических сигналов в контексте задач моделирования когерентных хаотических систем связи. В главе сформулированы требования к математическому аппарату, который используется при синтезе цифровых моделей генераторов хаотических колебаний.

Вторая глава диссертационной работы посвящена математическим моделям генераторов хаотических колебаний на основе конечно-разностных схем с управляемой симметрией, включая математические модели приемника и передатчика хаотических сигналов, реализующие предложенный автором способ модуляции.

В третьей главе представлено описание алгоритмов и программного обеспечения для компьютерного моделирования и исследования генераторов хаотических колебаний. Описаны инструменты для оценки характеристик хаотических сигналов, включая новый способ оценки различимости между двумя сигналами с использованием модификации метода возвратных преобразований.

В четвертой главе исследуется эффективность разработанных методов и средств моделирования генераторов хаотических сигналов. Эксперименты включают в себя имитационное моделирование генераторов хаотических сигналов, а также исследование характеристик моделей элементов когерентной хаотической системы связи, основанных на предложенных генераторах хаотических сигналов.

В заключении автор обобщает полученные новые знания, формулирует основные результаты работы, определяет их соответствие поставленным задачам диссертационного исследования и делает выводы об их достижении. Диссертация написана грамотным языком, хорошо иллюстрирована, содержит детальный обзор

современной литературы в заданной предметной области. Используемые термины и аббревиатуры расшифрованы в специальном разделе диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

В диссертационной работе выявлены следующие недостатки:

1. Полуявный метод интегрирования, используемый в данной диссертации, предназначен для численного решения систем уравнений непрерывных хаотических моделей. К тому же, в моделировании динамических систем присутствует зашумление. Непонятно, как соискатель с помощью данного подхода интегрирования вывел численные решения дискретных и зашумленных хаотических моделей? Как исследовалась сходимость и устойчивость процесса решения систем уравнений в явной и неявной схемах?

2. В работе сказано о детерминированности задачи основанной на исследовании хаоса, однако, не приводится никаких обоснований по этому вопросу.

3. В исследовании не ясно, к какому из известных типов модуляции сигнала можно отнести предлагаемый автором метод.

4. Диссертационное исследование не раскрывает ответ на вопрос о противоречии в науке и практике в области исследований, заявленной в работе.

5. Отсутствует формулировка общей научной задачи, однако, присутствует декомпозиция на ряд частных задач.

Перечисленные замечания не влияют на полученные в работе результаты, ее теоретическую и практическую значимость. Поставленные задачи в работе выполнены в полном объеме, цель исследования достигнута.

7. Заключение

Диссертация Рыбина Вячеслава Геннадьевича на тему «Математическое и компьютерное моделирование генераторов хаотических колебаний на основе численных методов с управляемой симметрией» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки математического и программного обеспечения генераторов хаотических сигналов на основе полуявных численных методов интегрирования с управляемой симметрией, а также ряда методов анализа и сравнения нелинейных сигналов.

