

## ОТЗЫВ

официального оппонента Астахова Владимира Владимировича  
на диссертацию Андреева Юрия Вениаминовича «НЕЛИНЕЙНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ  
ДИНАМИКА В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ»,  
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности 01.04.03 – Радиофизика

В эпоху, когда информация является одной из основных движущих сил, актуальными являются исследования, направленные на увеличение эффективности решений в области хранения, обработки и передачи информации.

В настоящее время для обработки информации, в основном, используются подходы, связанные со структурированными базами данных. С растущим потоком информации пока позволяет справляться рост производительности компьютеров, однако уже сейчас становятся актуальными поиски новых путей обработки информации. Как показано в диссертационной работе Ю.В. Андреева, существенную роль в этом играет хаотическая динамика. Как известно, уже на ранних этапах развития теории динамического хаоса были обнаружены её глубокие взаимосвязи с теорией информации. Поэтому логичной и актуальной представляется идея использования хаотической, а в более общем смысле нелинейной динамики для разработки новых принципов и методов хранения и обработки информации.

Актуальной является также проблематика использования хаотической динамики в задачах передачи информации. Так, в силу ограниченности частотного ресурса активно развивается направление сверхширокополосной (СШП) связи, в которой радиоресурс используется повторно. Благодаря естественной широкополосности, хаотические колебания оказались удачным вариантом сигналов для СШП связи, поэтому они нашли применение в так называемой прямохаотической радиосвязи. Использование хаотических колебаний в практических приложениях передачи информации требует решения широкого круга задач, включая исследование особенностей распространения сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов, разработки новых принципов разделения сигналов и т.д.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы и круг исследуемых проблем представляются актуальными.

Диссертационная работа Ю.В. Андреева состоит из 6 глав, которые тематически делятся на две части, одна из которых посвящена обработке информации, а другая – различным аспектам передачи информации с помощью хаотической динамики.

В диссертационной работе предложена и развита теория обработки информации с помощью нелинейных динамических систем, в основе которой лежит идея сопоставления информации с динамическими, а не статическими многообразиями в фазовом пространстве динамической системы. Использование динамических аттракторов позволило достичь огромной емкости и плотности записи. Динамическая природа носителя информации обеспечила такой записи свойство ассоциативности, т.е. возможность извлечения информационного блока по фрагменту, причем поиск информации осуществляется эффективно, практически мгновенно, без перебора.

На основе теоретической модели ассоциативной «динамической» памяти реализованы базовые функции обработки информации, включая поиск, фильтр новизны, распознавание, хаотическое сканирование памяти, модели долговременной и кратковременной памяти и т.д., а также разработаны прототипы информационно-поисковых приложений.

Во второй части диссертации, посвященной вопросам передачи информации с помощью хаотической динамики, следует отметить метод разделения хаотических колебаний, в котором инвертируется ключевой механизм образования хаоса через «растяжение и складывание» фазового пространства. Благодаря привлечению теории информации получены оценки требуемой пропускной способности канала, через который наблюдателю поступает сумма хаотических колебаний, и объяснено существование порога разделения по уровню отношения сигнал/шум. Автор полагает, что такой подход к разделению сигналов может найти применение при организации множественного доступа в системах передачи информации на хаотических сигналах.

Также в этой части диссертации выполнены исследования характеристик прямохаотических систем передачи, связанных с одним из ключевых свойств хаотических колебаний – быстроспадающей автокорреляционной функцией. Автор показал, что эта характеристика ставит системы связи на СШП хаотических сигналах в уникальное положение по сравнению со всеми другими применяемыми в настоящее время видами сигналов, как узкополосных, так и сверхширокополосных. Благодаря этому свойству, сигналы на входе приемника, приходящие с разных направлений, оказываются некогерентными (некоррелированными) и складываются по мощности. Это приводит к таким неожиданным явлениям, как практически полное подавление интерференции при многолучевом распространении и появление эффекта многолучевого усиления. Как известно, многолучевое распространение вызывает много проблем в задачах передачи информации, и проблема замираний, т.е. резких изменений на десятки децибел условий приема при незначительных относитель-

ных перемещениях передатчика и приемника, является одной из самых серьезных. Поэтому практическое отсутствие интерференции при многолучевом распространении хаотических радиоимпульсов является существенным достоинством этого информационного носителя.

Особый интерес для радиофизики и радиотехники представляет обнаружение эффекта многолучевого усиления мощности СШП хаотических радиоимпульсов. Он показывает, что при выборе этого типа сигналов для кодирования информации многолучевая среда не только не ухудшает характеристики передачи, но и способна (при определенных условиях) улучшить отношение сигнал/шум на входе приемника на 5-15 дБ.

Также в диссертационной работе показано, что некогерентность хаотических колебаний применительно к ансамблям независимых хаотических излучателей приводит к появлению необычных характеристик, например, к формированию ненаправленной диаграммы излучения при использовании ненаправленных антенн излучателей.

Таким образом, автор показал, что использование хаотической динамики и хаотических колебаний в задачах обработки и передачи информации обеспечивает характеристики и возможности, недостижимые для традиционных систем.

В работе получен ряд новых научных результатов, в том числе:

1. Создана теория записи, хранения и обработки информации с помощью динамических аттракторов отображений. Этот результат можно считать безусловным научным достижением, решающим проблему увеличения эффективности обработки информации.

2. Предложен и исследован метод разделения зашумленной суммы хаотических сигналов на компоненты, открывающий новые подходы к проблеме разделения сигналов.

3. Исследованы особенности распространения сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов в многолучевой среде, связанные с быстроспадающей автокорреляционной функцией хаотических колебаний, в том числе обнаружен эффект многолучевого усиления хаотических радиоимпульсов. Это также можно считать научным достижением и говорить об открытии нового радиофизического эффекта.

4. Исследованы энергетические характеристики излучения ансамбля некогерентных сверхширокополосных хаотических излучателей, включая структуру поля мощности излучения.

Указанные научные результаты получены впервые. Вообще, следует отметить комплексный характер работы – в ней отражены теоретические аспекты рассматриваемых проблем, предложены и исследованы математические модели, методы и алгоритмы, а тео-

ретические выводы подтверждены численными и физическими экспериментами. Достоверность результатов не вызывает сомнений.

Полученные результаты имеют большое научно-практическое значение. Так, органичными областями применения метода записи и хранения информации на предельных циклах и хаотических аттракторах одномерных и многомерных отображений являются информационно-поисковые системы различного назначения, рубрикаторы (классификаторы), системы поиска плагиата, цифровые архивы неструктурированной информации и т.п.

Результаты, полученные в части применения хаотической динамики и хаотических колебаний в задачах передачи информации, вносят значительный вклад в решение проблемы создания сверхширокополосной беспроводной инфраструктуры связи локального и более широкого уровня. Например, информация об отсутствии замираний при многолучевом распространении хаотических радиоимпульсов позволит разработчику СШП аппаратуры заметно (на десятки децибел) уменьшить запас мощности передачи, который был бы необходим для компенсации замираний системам связи на узкополосных несущих, а эффект многолучевого усиления позволит увеличить дальность связи.

Также полученные в диссертации результаты могут быть использованы при проведении исследований в организациях, занимающихся теоретическими и прикладными исследованиями хаотической динамики, а также в учебном процессе ВУЗов радиофизического и радиотехнического профиля.

Диссертационная работа написана ясно и достаточно подробно. Тем не менее, при изучении диссертации возникли следующие вопросы.

1. Если следовать логике главы 5, то эффект многолучевого усиления должен действовать и при прохождении хаотических сигналов через препятствия, поскольку в этом случае также происходит суммирование множества дифрагировавших лучей. Проявляется ли этот эффект?

2. В главе 6 указывается, что с помощью ансамблей хаотических излучателей возможно формирование произвольной ЭДН (с некоторыми ограничениями). Каков характер этих ограничений?

По итогам рассмотрения можно заключить, что диссертационная работа Ю.В. Андреева «Нелинейная и хаотическая динамика в задачах обработки и передачи информации» выполнена на высоком уровне. Это законченная научная работа, в которой решена научная проблема записи и обработки информации с использованием хаотической динамики нелинейных динамических систем, обнаружен эффект многолучевого усиления хао-

тических радиоимпульсов и внесен значительный вклад в решение насущной проблемы создания сверхширокополосной беспроводной инфраструктуры передачи информации.

Диссертация оформлена в соответствии с правилами ВАК. Содержание диссертации соответствует специальности. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Материалы работы докладывались на целом ряде международных конференций и получили высокую оценку специалистов. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в 76 научных работах, в том числе в 24 статьях в изданиях, входящих в Перечень, определенный ВАК Минобрнауки.

По мнению оппонента, представленная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Юрий Вениаминович Андреев заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

#### Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор  
заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, тел. +7(927)278-95-32, [astakhovvv@sstu.ru](mailto:astakhovvv@sstu.ru)

25.01.2019

В.В. Астахов

Подпись д.ф.-м.н., профессора Астахова Владимира Владимировича заверяю



начальника управления  
обеспечения и кадров

Тарасова Т.А.

25.01.2019 г.