

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный  
исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского»

Чумаченко А.Н.

« 20 »

2017 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Москаленко Ольги Игоревны** «Хаотическая синхронизация и перемежающееся поведение в неавтономных и связанных системах с малым числом степеней свободы, пространственно-распределенных средах и сетях связанных нелинейных элементов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «01.04.03 – Радиофизика», выполненной на кафедре физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (СГУ).

Тема диссертационной работы утверждена на заседании Ученого совета факультета нелинейных процессов и отделения физики нелинейных систем научно-исследовательского института естественных наук СГУ 13 октября 2014 года (протокол № 124).

Соискатель **Москаленко Ольга Игоревна** в 2006 году окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по специальности «Физика» с присвоением квалификации «физик». В 2008 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.04.03 – Радиофизика» на тему «Хаотическая синхронизация (различные механизмы и применение для скрытой передачи информации)» в диссертационном совете Д 212.243.01, созданном на базе ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». В 2012 году приказом Министерства образования и науки Российской Федерации присвоено ученое звание доцента по кафедре физики открытых систем.

В период подготовки диссертации соискатель обучалась в докторантуре ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по специальности «01.04.03 - Радиофизика» и работала в должности доцента кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный консультант – **Короновский Алексей Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики открытых систем ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на заседании объединенного научного семинара кафедры физики открытых систем, кафедры электроники, колебаний и волн и кафедры нелинейной физики СГУ с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ и других образовательных учреждений высшего образования и научных учреждений. На заседании присутствовали:

1. Анищенко Вадим Семенович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
2. Безручко Борис Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
3. Дмитриев Борис Савельевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры нелинейной физики факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
4. Калинин Юрий Александрович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отделения физики нелинейных систем научно-исследовательского института естественных наук ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
5. Короновский Алексей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики открытых систем ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
6. Кузнецов Сергей Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией теоретической нелинейной динамики Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» РАН, профессор кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ имени В.А. Котельникова РАН факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
7. Павлов Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», заведующий кафедрой «Электротехника и электроника» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»;
8. Пономаренко Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», ведущий научный сотрудник Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» РАН;
9. Постнов Дмитрий Энгелевич, доктор физико-математических наук, профессор, начальник отдела научных исследований № 2 управления научной деятельности, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
10. Прохоров Михаил Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, заведующий лабораторией моделирования в нелинейной динамике Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» РАН;
11. Рыскин Никита Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой нелинейной физики факультета нелинейных процессов

- ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
12. Трубецков Дмитрий Иванович, член-корр. РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники колебаний и волн факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  13. Шараевский Юрий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры нелинейной физики факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  14. Вдовина Галина Михайловна, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры электроники, колебаний и волн факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  15. Гришин Сергей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электроники, колебаний и волн факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  16. Журавлев Максим Олегович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ОФНС НИИ ЕН СГУ, доцент кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  17. Караваев Анатолий Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  18. Куровская Мария Константиновна, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  19. Левин Юрий Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета нелинейных процессов, профессор кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  20. Ремпен Ирина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электроники, колебаний и волн факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  21. Савин Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры нелинейной физики факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  22. Савин Дмитрий Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
  23. Садовников Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Метаматериалы» НИИ МФ СГУ, доцент кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

24. Сатаев Игорь Рустамович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» РАН;
25. Сельский Антон Олегович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ОФНС НИИ ЕН СГУ, ассистент кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
26. Сысоев Илья Вячеславович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
27. Сысоева Марина Вячеславовна, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Рецензенты диссертации:

**Трубецков Дмитрий Иванович**, член-корр. РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники, колебаний и волн факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв.

**Анищенко Вадим Семенович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв.

**Пономаренко Владимир Иванович**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», ведущий научный сотрудник Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» РАН представил положительный отзыв.

После доклада соискателя в процессе обсуждения работы соискателю были заданы следующие вопросы:

**Анищенко В.С.** В каких единицах задан шум, воздействующий на однонаправленно связанные системы Ресслера?

**Москаленко О.И.** Шум задан в абсолютных единицах.

**Анищенко В.С.** Насколько амплитуда шума больше собственной амплитуды колебаний системы? Это уже не Ресслер?

**Москаленко О.И.** Амплитуда шума значительно (более чем в 2 раза) превышает амплитуду собственных колебаний системы Ресслера, при этом режим обобщенной синхронизации остается устойчивым по отношению к шумам. Шум приводит к небольшому зашумлению режима, наблюдающегося в системе (см. бифуркационные диаграммы), но не изменяет в целом сам режим.

**Кузнецов С.П.** У меня вопрос про скрытую передачу информации. Как я понял из доклада, у Вас системы на выходе либо синхронизированы, либо нет. Для них рассматривается установившееся состояние? Или Вы наблюдаете переходные процессы перед установлением синхронизации? Как учитываются переходные процессы в данном способе?

**Москаленко О.И.** Да, действительно, в предложенных способах скрытой передачи информации наблюдаются переходные процессы при переключении режимов. Чтобы они не оказывали деструктивного влияния на работоспособность данных способов, продолжительность передаваемых битов информации должна быть достаточно большой. Понятно, что это снижает скорость передачи информации. Но это цена, которую следует

заплатить за высокую устойчивость способа по отношению к шумам и повышение конфиденциальности передачи информации.

**Анищенко В.С.** Можно ли говорить, что классическая хаотическая синхронизация является частным случаем обобщенной синхронизации?

**Москаленко О.И.** Можно говорить, что режимы полной синхронизации и синхронизации с запаздыванием являются частными случаями обобщенной синхронизации. Фазовая синхронизация не является частным случаем обобщенной синхронизации.

**Анищенко В.С.** Почему?

**Москаленко О.И.** Если сопоставить границы режима фазовой синхронизации и обобщенной синхронизации, то в случае относительно слабой расстройки параметров взаимодействующих систем режим обобщенной синхронизации наступает после фазовой.

**Анищенко В.С.** Нет, я имею в виду другое. Речь идет об эффекте. Если добиться эффекта фазово-частотной синхронизации, то колебания либо идентичны, либо отличаются линейным образом. А обобщенная синхронизация – это функциональная связь. Можно сказать, что функция линейная – это частный случай. В этом смысле можно говорить?

**Москаленко О.И.** Можно.

**Анищенко В.С.** В связи с этим такой вопрос. Вы показываете много результатов о конструктивном влиянии шума на обобщенную синхронизацию. Как соотносятся Ваши результаты с первым классическим результатом, полученным Р.Л. Стратоновичем для генератора Ван дер Поля с шумом? Суть этой работы заключается в том, что он показывает, что вообще нет синхронизации, когда есть шум. И он вводит понятие эффективной синхронизации.

**Москаленко О.И.** Да, согласна.

**Анищенко В.С.** Казалось бы, в более сложной ситуации, как у Вас, шум должен разрушать синхронный режим.

**Москаленко О.И.** Да, если говорить о фазовой синхронизации хаотических систем, шум действительно разрушает синхронизацию. Режим обобщенной синхронизации остается устойчивым по отношению к шумам в диссипативной связанных динамических системах.

**Анищенко В.С.** Давайте перейдем теперь к скрытой передаче информации. Если брать не обобщенную хаотическую синхронизацию, а просто хаотическую синхронизацию, можно использовать этот режим для скрытой передачи информации?

**Москаленко О.И.** Да, существует достаточно большое число способов скрытой передачи информации на основе режимов полной и фазовой синхронизации, но они характеризуются существенными недостатками по сравнению с предложенными способами.

**Анищенко В.С.** Хорошо, главный вопрос у меня следующий. Во всех схемах есть канал связи.

**Москаленко О.И.** Да.

**Анищенко В.С.** Вот я хочу использовать передачу сигнала в атмосфере. Но шумовой сигнала будет занимать огромную полосу частот. И реальное использование таких систем в передаче информации нецелесообразно: никто не позволит занимать такую полосу частот, т.к. этот способ поглотит все, что можно. Но можно поставить фильтры и обрезать полосу до разрешенной. Сохранится ли эффект обобщенной синхронизации в обрезанном участке частот?

**Москаленко О.И.** Да, сохранится.

**Анищенко В.С.** Тогда можно говорить, что этот метод найдет применение на практике. Следующий вопрос касается приложения полученных результатов к сетям. Под сетью обычно понимается ансамбль взаимодействующих осцилляторов с определенной топологией связей. Какую топологию связей Вы использовали при анализе ансамблей взаимодействующих систем?

**Москаленко О.И.** Рассматривались регулярные сети, случайные сети и сети с топологией связей «малый мир».

**Анищенко В.С.** Классические вещи здесь – это кластерная синхронизация и переход от режима кластерной синхронизации к режиму полной синхронизации или полной десинхронизации. Наблюдаются ли эффекты кластерной синхронизации при переходе к обобщенной синхронизации?

**Москаленко О.И.** Да, кластерная обобщенная синхронизация действительно может наблюдаться в сетях связанных нелинейных элементов, но в данной работе рассматривалась именно полная обобщенная синхронизация, когда все элементы ансамбля находятся в синхронном режиме.

**Анищенко В.С.** Понятно, меня это интересует еще вот почему. Покажите, пожалуйста, последний слайд, где представлены медико-биологические результаты. Здесь можно говорить о том, что первый тип кластеров во времени характеризуется одной перемежаемостью, второй тип кластеров – другой перемежаемостью. Аналогичные результаты у нас получаются при рассмотрении ансамбля нелокально связанных осцилляторов, только в одном случае химера одного класса, в другом – химера другого класса. Это, наверное, типичные вещи, которые наблюдаются именно в ансамблях связанных осцилляторов.

**Москаленко О.И.** Да, фактически это интегральный сигнал, полученный от различных элементов ансамбля.

**Анищенко В.С.** Еще один вопрос. Вы говорите о «перемежаемости перемежаемостей». В свое время мы занимались перемежаемостью «хаос-хаос». Как Вы считаете, есть ли какая-то связь между «перемежаемостью перемежаемостей» и перемежаемостью «хаос-хаос»?

**Москаленко О.И.** Да, только там два режима, а тут несколько.

**Анищенко В.С.** Я тоже так считаю. И последний вопрос. Когда Вы начали учитывать предысторию, я не совсем понимаю. Здесь Вы рассматриваете детерминированные системы. Известно, что предысторию нужно учитывать в классических задачах случайных процессов. А в чем необходимость применения этого метода к детерминированным системам?

**Москаленко О.И.** Дело в том, что состояния взаимодействующих систем, находящихся в режиме обобщенной синхронизации, как было установлено в диссертационной работе, оказываются связанными между собой функционалом, а не функциональным соотношением, что говорит о необходимости учета предыстории данного состояния.

**Кузнецов С.П.** Действительно, есть же взаимосвязь между марковскими процессами и хаотическими системами, особенно с гиперболическими аттракторами. Поэтому все нормально.

**Постнов Д.Э.** Поскольку представляется докторская диссертация, у меня чисто формальный вопрос. По требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, докторская диссертация должна иметь своим главным итогом либо совокупность разработанных теоретических положений, которые можно классифицировать как крупное научное достижение, либо решение какой-то крупной важной научной задачи. Не могли бы Вы спозиционировать свою работу в ключе формальных требований Положения.

**Москаленко О.И.** На мой взгляд, в диссертационной работе содержатся теоретические положения, совокупность которых можно классифицировать как крупное научное достижение. Здесь первостепенную роль играют именно фундаментальные научные результаты, хотя практические приложения тоже затрагиваются в диссертационной работе.

**Постнов Д.Э.** Спасибо!

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

**Общая оценка работы.** Диссертационная работа Москаленко О.И. представляет собой законченное научное исследование и содержит решение крупной научной задачи в области радиофизики, связанной с выявлением общих закономерностей различных типов хаотической синхронизации (преимущественно обобщенной синхронизации) и перемежающегося поведения, имеющего место на границах различных типов синхронного

поведения в неавтономных и связанных системах и сетях нелинейных элементов. Тема и содержание диссертации полностью соответствует специальности 01.04.03 – «Радиофизика» (пп. 1,4 паспорта специальности). Основные положения диссертации полно отражены в научных публикациях. Диссертация удовлетворяет всем требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям.

**Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов.** Результаты, вошедшие в диссертационную работу, получены соискателем лично, либо под его научным руководством. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертационную работу включены результаты и положения, выносимые на защиту, принадлежащие самому автору лично, либо полученные при его непосредственном участии. Выбор направления исследования, формулировка и постановка задач, проведение теоретических и численных исследований и расчетов, обработка и интерпретация полученных результатов осуществлены лично соискателем. Ряд работ, опубликованных в соавторстве с профессорами А.А. Короновским и А.Е. Храмовым, выполнены в равных долях, работы в соавторстве с к.ф.-м.н. С.А. Шурыгиной, к.ф.-м.н. А.С. Павловым, А.А. Косицыным, А.Д. Колосковой и часть работ в соавторстве с к.ф.-м.н. М.О. Журавлевым выполнены под научным руководством автора. Постановка и эксперимента и получение экспериментальных временных реализаций при изучении влияния шума на обобщенную синхронизацию и определении характеристик перемежающегося поведения на граничных временных масштабах наблюдения осуществлены к.ф.-м.н. А.А. Овчинниковым. Записи сигналов дыхания и электрокардиограммы человека были получены в Саратовском отделении ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН» в научной группе под руководством д.ф.-м.н. В.И. Пономаренко и д.ф.-м.н. М.Д. Прохорова, а данные сигналов электроэнцефалограмм крыс линии WAG/Rij — в Радбаут университете Наймегена (Нидерланды) в лаборатории профессора Ж. ван Люжетаалара. Временные реализации легированного эрбием оптоволоконного лазера, находящегося под внешним шумовым воздействием, были получены в центре оптических исследований (Centro de Investigaciones en Optica), Гуанахуато (Мексика) в научной группе под руководством профессора А.Н. Писарчика. Обработка предоставленных экспериментальных сигналов осуществлялась автором лично.

**Достоверность результатов проведенных соискателем ученой степени исследований** обеспечивается использованием строгих математических процедур, общеизвестных и общепринятых уравнений, описывающих динамику нелинейных систем, методов и подходов, строго обоснованных в научной литературе и хорошо зарекомендовавших себя при проведении научных исследований, обоснованным выбором параметров численных методов. Достоверность полученных результатов подтверждается их верификацией при сопоставлении результатов, полученных при помощи различных методов и подходов, друг с другом, включая аналитически, численно и экспериментально полученные данные, совпадением результатов при использовании различных методов диагностики колебательных режимов, воспроизводимостью результатов, а также отсутствием противоречий с известными в научной литературе достоверными общепризнанными результатами.

**Научная новизна результатов исследования.** Диссертационная работа содержит принципиально новые научные результаты в области исследования хаотической синхронизации и ее возможных практических приложений. Результаты, изложенные в диссертационной работе, позволяют существенно продвинуться в понимании глубинных механизмов изучаемой проблемы, заполняя существующие пробелы в теории хаотической синхронизации для систем с малым числом степеней свободы, пространственно-

распределенных сред и сетей связанных нелинейных элементов. В то же самое время, результаты диссертационной работы находятся в хорошем соответствии с уже существующими знаниями в этой области науки, гармонично расширяя и дополняя их. Впервые получены следующие научные результаты:

- Исследовано влияние шума на установление обобщенной синхронизации в одинаправленно связанных хаотических системах. Показана высокая степень устойчивости этого режима по отношению к шумам.
- Обнаружена обобщенная синхронизация в случае воздействия внешнего хаотического сигнала на систему с периодической динамикой. Показана возможность использования этого режима для скрытой передачи информации.
- Предложены способы скрытой передачи информации на основе обобщенной синхронизации в присутствии шума. Установлено, что они позволяют повысить конфиденциальность передачи информации и упростить возможность технической реализации таких схем и устройств.
- Обнаружены режимы обобщенной синхронизации и синхронизации, индуцированной шумом, в бинарных системах, выявлена взаимосвязь между ними.
- Обнаружена обобщенная синхронизация в системах с взаимным типом связи: двух взаимно связанных системах и сетях связанных нелинейных элементов. Построена теория обобщенной синхронизации в данном случае и проведена ее численная верификация.
- Показано, что традиционная концепция обобщенной синхронизации нуждается в корректировке и уточнении. Предложен новый подход к анализу обобщенной синхронизации, основанный на рассмотрении трубок траекторий в фазовом пространстве взаимодействующих систем (метод фазовых трубок) и показана его эффективность на системах с малым числом степеней свободы, пространственно-распределенных средах и сетях нелинейных элементов.
- Установлено, что на границе синхронизации, индуцированной шумом имеет место перемежаемость типа «on-off», а в режиме фазовой синхронизации на граничных временных масштабах наблюдается перемежаемость «кольца».
- Исследована взаимосвязь режимов перемежаемости «игольного ушка» и типа I с шумом в закритической области значений управляющих параметров. Установлено, что эти режимы являются проявлениями одного и того же типа перемежаемости.
- Предложен метод оценки степени синхронности режима перемежающейся фазовой синхронизации по временным рядам, основанный на расчете нулевого условного показателя Ляпунова. Его эффективность проверена на модельных системах с малым числом степеней свободы. Применение метода к данным электроэнцефалограмм крыс линии WAG/Rij позволило выявить различную степень синхронности разных областей головного мозга крысы по отношению друг к другу.
- Обнаружен принципиально новый тип поведения взаимодействующих систем, при котором два и более типа перемежаемости наблюдаются одновременно (так называемый режим «перемежаемости перемежаемостей»). Построена теория «перемежаемости перемежаемостей» в нелинейных системах. Показано, что этот режим имеет место как в модельных системах с малым числом степеней свободы и пространственно-распределенных средах, в том числе вблизи границ возникновения синхронных режимов, так и наблюдается в реальных физиологических и физических системах.

**Научная и практическая значимость работы.** Результаты, изложенные в диссертационной работе, являются, прежде всего, фундаментальными. Они оказали и будут оказывать существенное влияние на дальнейшее развитие научного направления, связанного с изучением сложной динамики систем с малым числом степеней свободы и пространственно-распределенных сред, в том числе хаотической синхронизации и



перемежающегося поведения в таких системах. В частности, разработанная и уточненная в рамках выполнения диссертационной работы концепция обобщенной синхронизации в системах с однонаправленным и взаимным типами связи, а также сетях нелинейных элементов существенным образом изменила существующую теорию обобщенной синхронизации, что имеет чрезвычайно важное значение для развития науки, поскольку именно на теории основаны все возможные методы, подходы и практические приложения. Например, разработанные в рамках диссертационной работы новые методы анализа поведения сложных систем такие, как, например, метод фазовых трубок и метод выделения характерных фаз поведения систем по временным рядам, смогут в перспективе найти применение при обработке экспериментальных данных радиофизических и физиологических систем.

Ряд объектов исследования представляет собой модели реальных систем СВЧ электроники (например, низковольтные виркаторы), что делает возможным применение полученных результатов в высокотехнологичных отраслях экономики. В частности, полученные результаты по исследованию хаотической синхронизации в системах СВЧ диапазона могут быть использованы при разработке информационно-телекоммуникационных систем, а разработанные компьютерные программы могут найти применение при автоматизированном проектировании на предприятиях, специализирующемся на проектировании, разработке и выпуске электронных компонент для информационно-телекоммуникационных систем и устройств.

Кроме того, выявленные фундаментальные аспекты явления обобщенной синхронизации в однонаправленно связанных системах (высокая устойчивость к шумам, возможность диагностирования этого режима при взаимодействии периодических и хаотических систем и др.) позволили предложить на основе этого явления ряд способов скрытой передачи информации, позволяющих наряду с высокой устойчивостью к шумам преодолеть еще два недостатка, свойственных схемам и устройствам аналогичного назначения: низкую степень конфиденциальности передачи информации и трудности технической реализации. На предложенные способы скрытой передачи данных получено 3 патента Российской Федерации на изобретения.

Результаты исследования перемежающегося поведения в модельных системах с малым числом степеней свободы, пространственно-распределенных средах и реальных системах радиофизической и физиологической природы также вносят существенный вклад в развитие современной радиофизики (в части теории нелинейных колебаний) и биофизики как с фундаментальной, так и практической точек зрения. В частности, полученные результаты по исследованию характеристик «перемежаемости перемежаемостей» в физиологических системах смогут найти практическое применение в клинической практике для диагностики различных заболеваний, в частности, эпилепсии. Необходимо также подчеркнуть, что предложенный метод оценки степени синхронности поведения взаимодействующих систем по временным рядам является более быстрым и эффективным по сравнению с известными аналогами. Он позволяет определить степень синхронности поведения взаимодействующих систем по достаточно коротким временным рядам, что позволит в перспективе более эффективно осуществлять обработку экспериментальных данных и диагностировать наличие и степень синхронного режима по нейрофизиологическим данным, что, в свою очередь, может быть полезно при обнаружении/использовании данного эффекта в практических приложениях, в частности, при осуществлении медицинской диагностики. Разработанные методы анализа физиологических систем защищены 4 патентами Российской Федерации на изобретения. На разработанные в рамках диссертационной работы методы обработки данных получено 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Результаты, изложенные в диссертационной работе, внедрены в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров, обучающихся на факультете нелинейных процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (СГУ), по направлениям подготовки «Прикладные математика и физика», «Радиофизика», «Информационные системы и технологии», а также при подготовке кадров высшей квалификации (аспирантов) по направлению «Физика и астрономия» (направленности «Радиофизика», «Биофизика», «Физическая электроника»). Результаты, полученные в рамках выполнения настоящей диссертационной работы, частично вошли в материалы двух монографий.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы использовались при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в Отделении физики нелинейных систем НИИ Естественных наук СГУ и других организациях Российской Федерации, среди которых гранты Российского научного фонда (проекты №№ 14-12-00224, 14-12-00222, 14-12-00324), Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№ 07-02-00044-а, 08-02-00102-а, 09-02-92421-КЭ\_а, 09-02-00255-а, 10-02-90002-Бел\_а, 11-02-00047-а, 12-02-33071-мол\_а\_вед, 12-02-90022-Бел\_а, 12-02-00345-а, 12-02-00221-а, 13-02-90406-Укр\_ф\_а, 14-02-00329-а, 15-32-20299-мол\_а\_вед, 15-52-45003-ИНД\_а, 15-02-00624-а), Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых кандидатов (проекты №№ МК-672.2012.2, МК-807.2014.2, МК-4574.2016.2) и докторов (проект № МД-345.2013.2) наук, а также для государственной поддержки ведущих научных школ (проекты №№ НШ-355.2008.2, НШ-3407.2010.2, НШ-1430.2012.2, НШ-828.2014.2), Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (государственные контракты №№ 02.740.11.5068 от 20 июля 2009 г., П451 от 31 июля 2009 г., П1136 от 27 августа 2009 г., П1194 от 27 августа 2009 г., П1466 от 3 сентября 2009 г., П2492 от 20 ноября 2009 г., П586 от 18 мая 2010 г., соглашения №№ 14.V37.21.0059 от 16 июля 2012 г., 14.V37.21.0569 от 10 августа 2012 г., 14.V37.21.0751 от 27 августа 2012 г., 14.V37.21.0576 от 10 августа 2012 г., 14.V37.21.1289 от 21 сентября 2012 г., 14.V37.21.1207 от 18 сентября 2012 г.), Программ Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой (проекты №№ 01201153911, 5.8146.2013, 1045) и конкурсной (проект № 23) частей Государственного задания, а также аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/235).

Результаты, представленные в диссертационной работе, неоднократно докладывались на Всероссийских и Международных научных конференциях и семинарах и отражены в тезисах докладов: 18-ой Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 8-12 сентября 2008 г., Севастополь, Украина (устный доклад), 12-ой Всероссийской школе-семинаре «Физика и применение микроволн (Волны-2009)», 25-30 мая 2009 г., Москва, Российская Федерация (приглашенный доклад), 17th International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, June 21-24, 2009, Rapperswil, Switzerland (oral report), 2nd International Symposium «Topical problems of biophotonics», July 19-24, 2009, Nizhny Novgorod, Russian Federation (poster), 19-ой Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 14-18 сентября 2009 г., Севастополь, Украина (устный доклад), International Workshop «Delayed Complex Systems», October, 5-9, 2009, Max Planck Institute for Physics of Complex Systems, Dresden, Germany (устный доклад), 15-ой научной школе «Нелинейные волны - 2010», 6-12 марта 2010 г., Нижний Новгород, Российская Федерация (устный доклад), 18th IEEE Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, Dresden University of Technology, May, 26-28, 2010, Dresden, Germany (устные доклады), 3rd Chaotic Modeling and Simulation International Conference, June, 1-4, 2010, Chania, Crete Greece (устные доклады), 20-ой Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 13-17 сентября 2010 г., Севастополь, Украина (устные доклады), 9-ой Международной школе «Хаотические автоколебания и образования структур (ХАОС-2010)», 4-9 октября 2010 г., Саратов,

Российская Федерация (устные и стендовые доклады), 13-ой Всероссийской школе-семинаре “Физика и применение микроволн (Волны-2011)”, 23-28 мая 2011 г., Москва, Российская Федерация (устный доклад), 15-ой Международной зимней школе-семинаре по электронике сверхвысоких частот и радиофизике, 6–11 февраля 2012 г., Саратов, Российская Федерация (устный доклад), 13-ой Всероссийской школе-семинаре “Волновые явления в неоднородных средах (Волны-2012)”, 21-26 мая 2012 г., Москва, Российская Федерация (устные доклады), 22-ой Международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”, 10-14 сентября 2012 г., Севастополь, Украина (устные доклады), 3-м Всероссийском научно-практическом форуме “Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания”, 10–12 октября 2012 г., Саратов, Российская Федерация (устные доклады), 14-ой Всероссийской школе-семинаре “Физика и применение микроволн (Волны-2013)”, 20-25 мая 2013 г., Москва, Российская Федерация (стендовые доклады), 23th International Conference on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, July 10-12, 2013, Bari, Italy (устные доклады), 10-ой Международной школе “Хаотические автоколебания и образование структур (ХАОС-2013)”, 7-12 октября 2013 г., Саратов, Российская Федерация (устные и стендовые доклады), Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР, 18-19 марта 2014 г., Минск, Беларусь (пленарный и устный доклады), 14-ой Всероссийской школе-семинаре “Волновые явления в неоднородных средах (Волны-2014)”, 26-31 мая 2014 г., Москва, Российская Федерация (устные и стендовые доклады), 8th European Nonlinear Dynamics Conference ENOC 2014, July 6-11, 2014, Vienna, Austria (устные доклады), 9-ой Всероссийской научной конференции “Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика”, 2-4 сентября 2014 г., Саратов, Российская Федерация (устный доклад), 24-ой Международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”, 7–13 сентября 2014 г., Севастополь, Российская Федерация (устный доклад), 15-ой Всероссийской школе-семинаре “Физика и применение микроволн” имени А.П. Сухорукова (Волны-2015), 1-6 июня 2015 г., Москва, Российская Федерация (стендовые доклады), UPM-BBVA Workshop “Recent Advances in Bioinformatics and Neuroscience”, June, 9-11, 2015, Madrid, Spain (устный доклад), 17th International Conference on Nonlinear Dynamics and Control, August, 6-7, 2015, Amsterdam, The Netherlands (устный доклад), X Всероссийской конференции “Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика”, 8-10 сентября 2015, Саратов, Российская Федерация (устный доклад), International Symposium Optics and Biophotonics-III “Saratov Fall Meeting 2015”, September 21-25, 2015, Saratov, Russian Federation (устный доклад), International Russian-Indian Workshop, November 2-5, 2015, Saratov, Russian Federation (приглашенная лекция и устные доклады), International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA-2015), December 1-4, 2015, Hong Kong, China (устный доклад), 17-ой научной школе Нелинейные волны - 2016”, 27 февраля - 4 марта 2016 г., Нижний Новгород, Российская Федерация (стендовый доклад), 15-ой Всероссийской школе-семинаре “Волновые явления в неоднородных средах” имени профессора А.П. Сухорукова, 5-10 июня 2016 г., Москва, Российская Федерация (стендовые доклады), International Symposium Optics and Biophotonics-IV “Saratov Fall Meeting 2016”, September 27-30, 2016, Saratov, Russian Federation (устные доклады), International Workshop “Multistability and Tipping: From Mathematics and Physics to Climate and Brain”, October, 4-8, 2016, Max Planck Institute for Physics of Complex Systems, Dresden, Germany (устный доклад), 11-ой Международной школе “Хаотические автоколебания и образование структур” (ХАОС-2016)”, 3-8 октября 2016 г., Саратов, Российская Федерация (стендовые доклады), всего 59 тезисов докладов или статей в материалах конференций. Результаты, изложенные в диссертационной работе, неоднократно обсуждались на научных семинарах кафедры электроники, колебаний и волн и факультета нелинейных процессов СГУ.

**Публикации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 2 монографии:

1. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, В. И. Пономаренко, М. Д. Прохоров, А. Е. Храмов, Синхронизация хаоса: фундаментальные подходы и практические приложения, Саратов: Издательство Саратовского университета, 2015.
2. Ю. П. Блюх, С. В. Гришин, Б. С. Дмитриев, Е. Н. Егоров, Ю. Д. Жарков, Ю. А. Калинин, А. А. Короновский, А. А. Кураев, М. А. Малюгина, А. Б. Маненков, И. А. Молотков, О. И. Москаленко, Г. С. Нусинович, П. В. Попов, И. С. Ремпен, А. В. Стародубов, Д. И. Трубецков, Р. А. Филатов, А. Е. Филатова, А. Е. Храмов, Ю. П. Шараевский, Методы нелинейной динамики и хаоса в задачах электроники сверхвысоких частот. Т. 2. Нестационарные и хаотические процессы, М.: Физматлит, 2009.

76 статей в центральных реферируемых научных журналах, входящих в системы цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук:

1. D. D. Kulminskiy, A. A. Koronovskii, O. I. Moskalenko, A. E. Hramov, Resistant to noise chaotic communication scheme exploiting the regime of generalized synchronization, *Nonlinear Dynamics* 87 (3) (2017) 2039–2050.
2. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. А. Пивоваров, А. Е. Храмов, Метод выделения характерных фаз поведения в сложных сетях, находящихся в режиме перемежающейся обобщенной синхронизации, *Письма в ЖТФ* 43 (7) (2017) 10–16.
3. А. Д. Колоскова, О. И. Москаленко, Определение степени синхронности перемежающейся фазовой синхронизации по данным электроэнцефалограмм человека, *Письма в ЖТФ* 43 (10) (2017) 102–110.
4. O. I. Moskalenko, A. D. Koloskova, M. O. Zhuravlev, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, Intermittent phase synchronization in human epileptic brain, *Proc. SPIE* 10063 (2017) 1006316–1006316.
5. A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, O. I. Moskalenko, M. O. Zhuravlev, R. Jaimes-Reategui, A. N. Pisarchik, Separation of coexisting dynamical regimes in multistate intermittency based on wavelet spectrum energies in an erbium-doped fiber laser, *Phys. Rev. E* 93 (2016) 052218.
6. A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, V. V. Grubov, O. I. Moskalenko, E. Sitnikova, A. N. Pavlov, Coexistence of intermittencies in the neuronal network of the epileptic brain, *Phys. Rev. E* 93 (2016) 032220.
7. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, М. О. Журавлев, Оценка степени синхронности режима перемежающейся фазовой синхронизации по временному ряду (модельные системы и нейрофизиологические данные), *Письма в ЖЭТФ* 103 (8) (2016) 606–610.
8. M. Danziger, O. I. Moskalenko, S. A. Kurkin, X. Zhang, S. Havlin, S. Boccaletti, Explosive synchronization coexists with classical synchronization in the kuramoto model, *Chaos* 26 (6) (2016) 065307.
9. O. I. Moskalenko, M. O. Zhuravlev, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, Manifestations of intermittency in unidirectionally coupled pierce diodes on different time scales, *Nonlinear Dynamics* 83 (1) (2016) 433–439.
10. А. О. Сельский, А. Е. Храмов, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Г. Баланов, Bifurcation phenomena in a semiconductor superlattice subject to a tilted magnetic field, *Phys. Lett. A* 380 (1-2) (2016) 98–105.
11. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, В. И. Пономаренко, М. Д. Прохоров, А. Е. Храмов, Binary generalized synchronization, *Chaos, Solitons & Fractals* 83 (2016) 133–139.
12. V. V. Makarov, A. A. Koronovskii, V. A. Maksimenko, A. E. Hramov, O. I. Moskalenko, J. M. Buldu, S. Boccaletti, Emergence of a multilayer structure in adaptive networks of phase oscillators, *Chaos, Solitons & Fractals* 84 (2016) 23–30.

13. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Индуцированная шумом бинарная синхронизация в нелинейных системах, Письма в ЖТФ 42 (14) (2016) 45–51.
14. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. А. Пивоваров, А. Е. Храмов, Установление обобщенной синхронизации в сети осцилляторов ресслера, Известия РАН. Серия физическая 80 (2) (2016) 208–211.
15. O. I. Moskalenko, A. Pivovarov, A. N. Pavlov, A. A. Koronovskii, M. Khramova, A. E. Hramov, Generalized synchronization in the complex network: theory and applications to epileptic brain, Proc. SPIE 9917 (2016) 991723–991723.
16. O. I. Moskalenko, A. A. Koronovskii, A. N. Pavlov, A. E. Hramov, M. O. Zhuravlev, Estimation of degree of synchronization in epileptic brain, Proc. SPIE 9707 (2016) 970710.
17. V. V. Makarov, A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, K. N. Alekseev, V. A. Maksimenko, M. T. Greenaway, T. M. Fromhold, O. I. Moskalenko, A. G. Balanov, Sub-terahertz amplification in a semiconductor superlattice with moving charge domains, Applied physics letters 106 (2015) 043503–1–043503–4.
18. O. I. Moskalenko, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, Lyapunov exponent corresponding to enslaved phase dynamics: Estimation from time series, Phys. Rev. E 92 (2015) 012913.
19. A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, M. K. Kurovskaya, O. I. Moskalenko, Analytical expression for zero Lyapunov exponent of chaotic noised oscillators, Chaos, Solitons & Fractals 78 (2015) 118–123.
20. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, М. О. Журавлев, А. Е. Храмов, Модельная система с дискретным временем, демонстрирующая “перемежаемость перемежаемостей”, Письма в ЖТФ 41 (1) (2015) 36–42.
21. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. О. Сельский, А. Е. Храмов, О границе обобщенной синхронизации в сложных динамических системах, Письма в ЖТФ 41 (14) (2015) 39–46.
22. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. А. Пивоваров, А. Е. Храмов, Установление обобщенной синхронизации в сети логистических отображений, Письма в ЖТФ 41 (16) (2015) 1–7.
23. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, М. О. Журавлев, Перемежаемость перемежаемостей на границе фазовой синхронизации в присутствии шума, Журнал технической физики 85 (6) (2015) 148–151.
24. М. О. Журавлев, А. О. Сельский, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Фильтрация как способ изменения свойств перемежающегося поведения в системе двух однонаправленно связанных генераторов, Известия РАН. Серия физическая 79 (12) (2015) 1715–1718.
25. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Н. Писарчик, Д. Р. Ридер, А. Е. Храмов, Выделение характерных колебательных режимов в динамике легированного эрбием оптоволоконного лазера, Известия РАН. Серия физическая 79 (12) (2015) 1711–1714.
26. В. И. Пономаренко, М. Д. Прохоров, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Метод диагностики обобщенной синхронизации и его приложение к системам передачи информации, Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика 23 (6) (2015) 4–15.
27. A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, S. A. Kurkin, V. V. Makarov, M. B. Gaifullin, K. N. Alekseev, N. Alexeeva, M. T. Greenaway, T. M. Fromhold, A. Patane, F. Kusmartsev, V. A. Maximenko, O. I. Moskalenko, A. G. Balanov, Subterahertz chaos generation by coupling a superlattice to a linear resonator, Phys.Rev.Lett. 112 (2014) 116603.
28. O. I. Moskalenko, A. Koronovskii, A. Hramov, M. Zhuravlev, Y. Levin, Cooperation of deterministic and stochastic mechanisms resulting in the intermittent behavior, Chaos, Solitons & Fractals 68 (2014) 58–64.

29. О. И. Москаленко, А. С. Павлов, Способ оценки нулевого условного показателя Ляпунова по временному ряду, Письма в ЖТФ 40 (12) (2014) 66–72.
30. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. С. Павлов, Н. С. Фролов, А. Е. Храмов, Обобщенная синхронизация в случае воздействия хаотического сигнала на периодическую систему, Журнал технической физики 84 (5) (2014) 1–8.
31. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, С. А. Шурыгина, Об особенностях обобщенной синхронизации в однонаправлено и взаимно связанных отображениях и потоках: метод фазовых трубок, Радиотехника и электроника 59 (12) (2014) 1230–1241.
32. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Метод фазовых трубок для анализа обобщенной синхронизации в пространственно-распределенных системах, Вестник ТГУ 19 (3) (2014) 888–891.
33. A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, V. A. Maximenko, O. I. Moskalenko, K. N. Alekseev, M. T. Greenaway, T. M. Fromhold, A. G. Balanov, Lyapunov stability of charge transport in miniband semiconductor superlattices, Phys. Rev. B 88 (2013) 165304.
34. O. I. Moskalenko, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, Inapplicability of an auxiliary-system approach to chaotic oscillators with mutual-type coupling and complex networks, Phys. Rev. E 87 (2013) 064901.
35. A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, O. I. Moskalenko, M. O. Zhuravlev, V. I. Ponomarenko, M. D. Prokhorov, Intermittency of intermittenicies, CHAOS 23 (3) (2013) 033129.
36. A. A. Koronovskii, O. I. Moskalenko, S. A. Shurygina, A. E. Hramov, Generalized synchronization in discrete maps. new point of view on weak and strong synchronization, Chaos, Solitons & Fractals (46) (2013) 12–18.
37. O. I. Moskalenko, N. S. Phrolov, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, Synchronization in the network of chaotic microwave oscillators, Eur. Phys. J. Special Topics 222 (2013) 2571–2582.
38. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Теоретическое и численное исследование “перемежаемости перемежаемостей” в связанных хаотических системах, Письма в ЖТФ 39 (14) (2013) 1–7.
39. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, С. А. Шурыгина, Обобщенная синхронизация в сетях со сложной топологией межэлементных связей, Радиотехника и электроника 58 (5) (2013) 507–517.
40. С. А. Шурыгина, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Исследование поведения локальных показателей ляпунова вблизи границ установления синхронных режимов, Изв. РАН. Сер. физическая 77 (12) (2013) 1765–1769.
41. Д. И. Данилов, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, Перемежаемость вблизи границы фазовой хаотической синхронизации в пространственно-распределенных системах, Изв. РАН. Сер. физическая 77 (12) (2013) 1770–1773.
42. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Метод выделения ламинарных участков поведения в хаотических системах, в которых одновременно реализуется два различных типа перемежаемости, Вестник ННГУ 1 (3) (2013) 196–200.
43. С. А. Шурыгина, О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Обобщенная синхронизация во взаимно связанных системах с дискретным временем, Вестник ННГУ 1 (3) (2013) 201–204.
44. O. I. Moskalenko, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, S. Boccaletti, Generalized synchronization in mutually coupled oscillators and complex networks, Phys. Rev. E 86 (2012) 036216.
45. A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, V. A. Maximenko, O. I. Moskalenko, Computation of the spectrum of spatial Lyapunov exponents for the spatially extended beam-plasma systems and electron-wave devices, Physics of Plasmas 19 (8) (2012) 082302.

46. А. Г. Баланов, М. Т. Гринавей, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. О. Сельский, Т. М. Фромхолд, А. Е. Храмов, Влияние температуры на нелинейную динамику заряда в полупроводниковой сверхрешетке в присутствии магнитного поля, Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики 141 (3) (2012) 960–965.
47. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Обобщенная синхронизация в сложных сетях, Письма в ЖТФ 38 (20) (2012) 21–29.
48. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Исследование на различных временных масштабах поведения неавтономного осциллятора Ван-дер-Поля в присутствии шума вблизи границы синхронизации., Изв. РАН. Сер. физическая 76 (12) (2012) 1503–1506.
49. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, С. А. Шурыгина, А. Е. Храмов, Сильная и слабая обобщенная хаотическая синхронизация, Изв. РАН. Сер. физическая 76 (12) (2012) 1495–1499.
50. A. O. Selskii, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, O. I. Moskalenko, K. N. Alekseev, M. T. Greenaway, F. Wang, T. M. Fromhold, A. V. Shorokhov, N. N. Khvastunov, A. G. Balanov, Effect of temperature on resonant electron transport through stochastic conduction channels in superlattices, Phys. Rev. B 84 (2011) 235311.
51. М. О. Zhuravlev, A. A. Koronovskii, O. I. Moskalenko, A. A. Ovchinnikov, A. E. Hramov, Ring intermittency near the boundary of the synchronous time scales of chaotic oscillators, Phys. Rev. E 83 (2011) 027201.
52. A. A. Koronovskii, O. I. Moskalenko, A. E. Hramov, Nearest neighbors, phase tubes, and generalized synchronization, Phys. Rev. E 84 (3) (2011) 037201.
53. A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, M. K. Kurovskaya, O. I. Moskalenko, Type-I intermittency with noise versus eyelet intermittency, Phys. Lett. A 375 (2011) 1646–1652.
54. O. I. Moskalenko, A. E. Hramov, A. A. Koronovskii, A. A. Ovchinnikov, Effect of noise on generalized synchronization of chaos: theory and experiment, Europhysics Journal B 82 (1) (2011) 69–82.
55. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, В. А. Максименко, А. Е. Храмов, О возникновении обобщенной синхронизации в пучково-плазменных системах, связанных взаимно, Письма в ЖТФ 37 (13) (2011) 40–47.
56. О. И. Москаленко, А. С. Павлов, Граница обобщенной синхронизации в системе двух однонаправленно связанных генераторов на туннельном диоде, Письма в ЖТФ 37 (23) (2011) 45–52.
57. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Перемежающееся поведение на границе синхронизации временных масштабов, ЖТФ 81 (7) (2011) 7–12.
58. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, С. А. Шурыгина, Перемежающееся поведение на границе индуцированной шумом синхронизации, ЖТФ 81 (9) (2011) 150–153.
59. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, С. А. Шурыгина, Влияние степени взаимности связи на установление типов хаотической синхронизации, Радиотехника и электроника 56 (12) (2011) 1490–1500.
60. А. А. Короновский, В. А. Максименко, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, К вопросу о выборе состояния пространственно-распределенной системы для расчета спектра показателей ляпунова, Изв. РАН. Сер. физическая 75 (12) (2011) 1689–1692.
61. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Перемежающееся поведение вблизи границы фазовой хаотической синхронизации на различных временных масштабах, Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика 19 (1) (2011) 109–121.
62. А. А. Короновский, В. А. Максименко, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, К вопросу о расчете спектра пространственных ляпуновских экспонент в пространственно-распределенных пучково-плазменных системах, Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика 18 (2).

63. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, К. Н. Алексеев, А. Г. Баланов, Влияние внешнего периодического воздействия на динамику доменов заряда в полупроводниковой сверхрешетке, Изв. Вузов. Прикладная нелинейная динамика 19 (3) (2011) 143–153.
64. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Влияние шума на обобщенную синхронизацию пространственно-распределенных сред, описываемых уравнениями Гинзбурга-Ландау, Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика 19 (4) (2011) 3–11.
65. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Перемежаемость кольца вблизи границы синхронизации временных масштабов, Изв. Вузов. Прикладная нелинейная динамика. 19 (4) (2011) 12–24.
66. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, С. А. Шурыгина, Поведение нелинейных систем на границе синхронизации, индуцированной шумом, Нелинейная динамика 7 (2) (2011) 197–208.
67. O. I. Moskalenko, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, Generalized synchronization of chaos for secure communication: Remarkable stability to noise, Phys. Lett. A 374 (2010) 2925–2931.
68. А. А. Овчинников, О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Экспериментальное исследование обобщенной синхронизации хаотических колебаний в присутствии шума, Письма в ЖТФ 36 (4) (2010) 1–7.
69. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, Н. С. Фролов, А. Е. Храмов, К вопросу о спектре пространственных ляпуновских показателей нелинейной активной среды, описываемой комплексным уравнением Гинзбурга-Ландау, Письма в ЖТФ 36 (14) (2010) 19–25.
70. М. О. Журавлев, М. К. Куровская, О. И. Москаленко, Метод выделения ламинарных и турбулентных фаз в перемежающихся временных реализациях систем, находящихся вблизи границы фазовой синхронизации, Письма в ЖТФ 36 (10) (2010) 31–38.
71. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Скрытая передача информации на основе режима обобщенной синхронизации в присутствии шумов, Журнал технической физики 80 (4) (2010) 1–8.
72. О. И. Москаленко, А. А. Овчинников, Исследование влияния шума на обобщенную хаотическую синхронизацию в диссипативно связанных динамических системах: устойчивость синхронного режима по отношению к внешним шумам и возможные практические приложения, Радиотехника и электроника 55 (4) (2010) 436–449.
73. А. А. Короновский, М. К. Куровская, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Перемежаемость типа I в присутствии шума и перемежаемость игольного ушка, Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика 18 (1) (2010) 24–36.
74. А. А. Короновский, А. А. Косицын, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Численное моделирование переходных процессов в эволюционирующих по генетическим алгоритмам сетях, Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО 65 (1) (2010) 40–45.
75. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации, Успехи физических наук 179 (12) (2009) 1281–1310.
76. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. А. Овчинников, А. Е. Храмов, Теоретическое исследование обобщенной синхронизации диссипативно связанных хаотических систем в присутствии шума, Известия РАН. Серия физическая 73 (12) (2009) 1723–1727.

7 патентов Российской Федерации на изобретения:

1. А. Н. Павлов, В. А. Макаров, О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Способ выделения сигналов импульсного типа по временным данным. Патент на изобретение № 2552183, Официальный бюллетень Федеральной службы по



интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 10.06.2015. Бюллетень № 16 (2015).

2. А. А. Короновский, А. Е. Храмов, О. И. Москаленко, В. В. Грубов, Способ удаления глазодвигательных артефактов на электроэнцефаллограммах. Патент на изобретение № 25560388, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 20.08.2015. Бюллетень № 23 (2015).
  3. А. Е. Храмов, В. В. Грубов, О. И. Москаленко, А. А. Короновский, Е. Ю. Ситникова, Способ выделения веретеноподобных паттернов по временным данным электроэнцефалограмм. Патент на изобретение № 2565993, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 20.10.2015. Бюллетень № 29 (2015).
  4. О. И. Москаленко, Н. С. Фролов, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Способ скрытой передачи информации. Патент на изобретение № 2509423, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 10.03.2014. Бюллетень № 7. (2014).
  5. М. О. Журавлев, О. И. Москаленко, А. А. Короновский, Способ определения моментов синхронного и асинхронного поведения двух связанных систем. Патент на изобретение № 2431857, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 20.10.2011. Бюллетень № 29. (2011).
  6. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Способ скрытой передачи информации с изменяющимися характеристиками генератора шума. Патент на изобретение № 2421923, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 20.06.2011. Бюллетень № 17. (2011).
  7. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Способ скрытой передачи информации. Патент на изобретение № 2349044, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва: ФИПС. 10.03.2009. Бюллетень № 7. (2009).
- 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ:
1. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, М. О. Журавлев, А. Е. Храмов, Программа выделения различных мультистабильных состояний по экспериментальным временным рядам сигналам оптоволоконного легированного эрбием лазера. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614535, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 26.04.2016.
  2. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Программа для оценки нулевого условного показателя Ляпунова по временному ряду. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616754, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 22.06.2015.
  3. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, А. О. Сельский, Программа для расчета эффекта обобщенной синхронизации в трех однонаправленно связанных хаотических осцилляторах. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616887, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 25.06.2015.
  4. О. И. Москаленко, С. А. Куркин, Программа для аналитической оценки ширины гистерезисной петли в сети фазовых осцилляторов Курамото. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617857, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 23.07.2015.
  5. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Программа для диагностики и анализа обобщенной синхронизации в сложных сетях. Свидетельство о

- государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617858, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 23.07.2015.
6. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, М. О. Журавлев, А. А. Пивоваров, Программа для ЭВМ для моделирования взаимодействия сети из пяти логистических отображений, связанных взаимно. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617904, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. 24.07.2015.
  7. О. И. Москаленко, Программа для исследования взрывной синхронизации в сети фазовых осцилляторов Курамото. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015618337, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 06.08.2015.
  8. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Программа для анализа обобщенной синхронизации в системе связанных генераторов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015618340, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 06.08.2015.
  9. О. И. Москаленко, С. А. Шурыгина, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, М. О. Журавлев, Программа для ЭВМ для расчета локальных нулевых ляпуновских экспонент неавтономных систем, находящихся вблизи границы фазовой синхронизации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610508, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 10.01.2014.
  10. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, Программа для ЭВМ для генетического алгоритма эволюции сложных сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610420, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 09.01.2014.
  11. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, В. А. Макаров, А. Е. Храмов, В. А. Максименко, Программа для моделирования многослойной адаптивной сети осцилляторов Курамото. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617846, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 05.08.2014.
  12. А. А. Короновский, А. Е. Храмов, О. И. Москаленко, Программа для реализации метода фазовых трубок для диагностики обобщенной синхронизации "GStube". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610194, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 09.01.2013.
  13. О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов, М. О. Журавлев, Программа для ЭВМ, позволяющая производить непрерывное вейвлетное преобразование для экспериментальных данных с неэквиливантным шагом по времени. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013661094, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 28.11.2013.
  14. М. О. Журавлев, А. А. Короновский, М. К. Куровская, О. И. Москаленко, Программа для определения длительностей турбулентных и ламинарных фаз поведения систем, находящихся вблизи границы хаотической фазовой синхронизации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012613432, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 11.04.2012.
  15. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, В. А. Максименко, Программа для расчета пространственных ляпуновских экспонент гидродинамической модели диода пирса, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012613430, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 11.04.2012.

Диссертация «Хаотическая синхронизация и перемежающееся поведение в неавтономных и связанных системах с малым числом степеней свободы, пространственно-

