

УТВЕРЖДАЮ
Врио директора
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
академик РАН С.А. Никитов
«19» сентября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова
Российской академии наук
(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН)

Диссертация Любченко Дмитрия Олеговича «Сложные динамические режимы, отвечающие концепции грубости и концепции хрупкости, в приложении для средств коммуникации» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика выполнена в лаборатории теоретической нелинейной динамики (СФ-7) Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН).

В 2022 г. **Любченко Дмитрий Олегович** окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» с присвоением квалификации «Магистр».

В период подготовки диссертации и по настоящее время соискатель обучается в аспирантуре Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». С мая 2022 г. по настоящее время работает в лаборатории теоретической нелинейной динамики (СФ-7) СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. Занимал должность инженера, сейчас работает в должности младшего научного сотрудника.

Справка о сданных кандидатских экзаменах по дисциплинам «История и философия науки» и «Иностранный язык (английский)» №89 от 04.09.2025 и справка о сданном кандидатском экзамене по научной специальности 1.3.4. – Радиофизика №90 от 04.09.2025 выданы Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Научный руководитель – Исаева Ольга Борисовна, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории

теоретической нелинейной динамики (СФ-7) Саратовского филиала ФГБУН «ИРЭ им. В.А. Котельникова» РАН, утвержденная на заседании секции Ученого совета ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в Саратовском филиале (протокол №5 от 25 июня 2025 года, п. 4), представила положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Тема диссертационной работы утверждена на заседании секции Ученого совета ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в Саратовском филиале (протокол №5 от 25 июня 2025 года, п. 4).

Научную экспертизу диссертация проходила на заседании секции Ученого совета ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в Саратовском филиале.

На заседании присутствовали: д.ф.-м.н. Филимонов Ю.А., к.ф.-м.н. Фатеев Д.В., д.ф.-м.н. Зайцев Б.Д., д.ф.-м.н. Купцов П.В., д.ф.-м.н. Караваев А.С., к.ф.-м.н. Морозов Ю.А., д.ф.-м.н. Пономаренко В.И., д.ф.-м.н. Прохоров М.Д., к.ф.-м.н. Рожнев А.Г., д.ф.-м.н. Рыскин Н.М., д.ф.-м.н. Ушаков Н.М., к.ф.-м.н. Хивинцев Ю.В., д.т.н. Яфаров Р.К.

Рецензенты диссертации:

Рыскин Никита Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории вакуумной микро- и наноэлектроники (СФ-1) СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, представил положительный отзыв.

Пономаренко Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования в нелинейной динамике (СФ-6) СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения работы принято следующее **заключение**, содержащее оценку выполненной соискателем работы.

Диссертационная работа Любченко Д.О. посвящена исследованию динамических систем, демонстрирующих сложные режимы, отвечающие концепциям грубости и хрупкости, а также разработке схем коммуникации на их основе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. В работе предложен новый подход к классификации и выбору генераторов сложных сигналов для прикладных задач на основе противопоставления двух фундаментальных концепций – грубости и хрупкости – демонстрируя их преимущества и недостатки в контексте задач коммуникации.

2. Разработаны и впервые исследованы схемы скрытой коммуникации, в которых в качестве передатчика и приемника используются генераторы грубых режимов динамики – гиперболического хаоса, ассоциированного с аттрактором типа Смейла-Вильямса, и странной нехаотической динамики, ассоциированной с аттрактором типа Ханта-Отта. Показано, что применение таких систем позволяет эффективно решать фундаментальную проблему – невозможности достижения полной идентичности приёмника и передатчика, обеспечивая устойчивое декодирование информации даже в условиях значительного (до 5%) несовпадения параметров передающей и

принимающей подсистем, что недостижимо для схем на основе негрубого хаоса. Предложен и апробирован альтернативный метод детектирования, основанный на расчете локальной во времени корреляции, эффективность которого обусловлена свойством однородности локальных статистических характеристик грубых систем.

3. Впервые проведено комплексное исследование статистических характеристик режимов обобщенной синхронизации в однонаправленно связанных генераторах грубых сигналов не только в условиях расстройки передающей и принимающей подсистем по параметрам, но и при наличии частотных искажений в канале связи. Установлено и количественно охарактеризовано ключевое преимущество грубых систем: сохранение однородности локальных статистических характеристик при указанных возмущениях, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

4. Построена иерархия приближенных математических моделей консервативного и диссипативного бильярда с геометрией типа волновода с одной гофрированной осциллирующей границей. Впервые для ансамбля частиц в такой системе установлено существование двух качественно различных режимов ускорения Ферми – медленного и быстрого (неограниченного), которые реализуются при значениях начальной скорости ниже и выше критического значения соответственно. Предложена упрощенная приближенная модель бильярда на основе однонаправленно связанных модифицированного отображения Ферми-Паста-Улама и отображения Теннисона-Либермана-Лихтенберга, которая демонстрирует аналогичный эффект.

5. Предложен новый метод организации скрытой коммуникации, основанный на явлении экстремальной мультистабильности, возникающем в моделях в виде диссипативной подсистемы под управлением гамильтоновой. Установлены диапазоны параметров и начальных условий для реализации явления хаотической экстремальной мультистабильности, т. е. сосуществования бесконечного числа хаотических притягивающих множеств в фазовом пространстве системы. Впервые для систем данного класса разработана и проанализирована двухканальная схема связи, в которой по скрытому каналу передается управляющее воздействие, определяющее выбор одного из континуума хаотических аттракторов, а по открытому – синхронизирующий хаотический сигнал.

Достоверность подтверждается согласованностью данных, полученных различными численными методами, их воспроизводимостью при изменении параметров моделирования, а также соответствием фундаментальным теоретическим представлениям о грубой и хрупкой динамике.

Научно-практическая значимость. Разработанные в работе схемы связи на базе генераторов грубых режимов представляют собой готовое к экспериментальной реализации решение для задач широкополосной коммуникации, устойчивое к неизбежным в реальных условиях расстройкам приемника и передатчика по параметрам. Результаты, полученные при

исследовании синхронизации между передатчиком и приемником, вносят значительный вклад в построение теории обобщенной синхронизации грубых систем, демонстрируя подход к исследованию закономерностей в поведении локальных во времени статистических характеристик. Значимым теоретическим результатом является обнаружение и анализ существования двух качественно различных режимов ускорения Ферми – быстрого (классического) и медленного, что вносит вклад в понимание механизмов замедления ускорения Ферми. Предложенная новая схема связи на основе экстремальной мультистабильности в диссипативных системах, находящихся под управлением гамильтоновых, задает новое направление в разработке систем защиты информации с повышенным уровнем скрытности за счет динамического переключения между хаотическими множествами.

Личный вклад соискателя. Все защищаемые результаты и положения, вошедшие в настоящую диссертационную работу, получены соискателем лично. Постановка задачи, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научным руководителем, а также с соавтором опубликованных работ к.ф.-м.н. Савиным А.В.

Апробация работы. По результатам диссертационной работы было сделано 29 докладов на международных и всероссийских научных конференциях: International Conference-School Shilnikov Workshop, г. Нижний Новгород, 2021, 2023, 2024 гг.; International Conference Topological Methods in Dynamics and Related Topics, г. Нижний Новгород, 2020 г.; International Conference Saratov Fall Meeting, г. Саратов, 2020, 2022 гг.; Международная конференция «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи», Республика Беларусь, г. Минск, 2023 г.; Балтийский форум: нейронаука, искусственный интеллект и сложные системы, г. Калининград, 2024 г.; Международная конференция «Ломоносов», МГУ, г. Москва, 2023 г.; Международная конференция «Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии», г. Нижний Новгород, 2022 г.; Международная научная школа «Нелинейные волны», г. Нижний Новгород, 2022 г.; Международная школа «Хаотические автоколебания и образование структур», г. Саратов, 2019 г. и др.

Материалы также докладывались на заседаниях Ученого совета СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. Результаты работы были получены в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (FFWZ-2025-0016), а также проекта Российского научного фонда № 21-12-00121.

Выступление на конференции «Ломоносов» (МГУ, Москва, 2023) было удостоено грамоты за лучший доклад. Доклад на конференции «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи» (Республика Беларусь, г. Минск, 2023) был удостоен диплома I степени.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 28 работ, из которых 5 статей в реферируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук или

индексируемых в реферативных базах данных и системах цитирования Web of Science и/или Scopus:

1. Исаева О. Б., Любченко Д. О. Сравнительный анализ схем скрытой коммуникации, основанных на генераторах со странным аттрактором гиперболического типа и со странным нехаотическим аттрактором //Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2024. – Т. 32. – № 1. – С. 31-41.
2. Любченко Д. О., Исаева О. Б. Влияние шума и частотных искажений в канале связи на коммуникационную схему на основе генератора гиперболического хаоса //Радиотехника и электроника. – 2023. – Т. 68. – № 10. – С. 1008-1010.
3. Lubchenko D. O., Savin A. V. Critical velocity for the onset of fast Fermi acceleration //International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2022. – Т. 32. – № 12. – С. 2250177.
4. Любченко Д. О., Исаева О. Б. Режимы обобщенной синхронизации грубых генераторов широкополосного сигнала при наличии частотных помех в канале связи //Журнал радиоэлектроники. – 2024. – № 9. - С. 1684-1719.
5. Любченко Д. О., Исаева О. Б. Особенности широкополосной коммуникации на базе генераторов с грубой динамикой // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2024. – № 2. – С. 2420301.

Ценность научных работ соискателя определяется их вкладом в развитие современных представлений о грубых и хрупких динамических системах, а также открывает возможности для разработки на их основе перспективных прикладных схем связи.

Общая оценка диссертации. Диссертация Любченко Дмитрия Олеговича «Сложные динамические режимы, отвечающие концепции грубости и концепции хрупкости, в приложении для средств коммуникации» представляет собой целостное, законченное исследование, заключающееся в решении задачи современной радиофизики и нелинейной динамики, связанной с разработкой схем хаотической коммуникации на основе систем, демонстрирующих свойства грубости или свойства хрупкости. Материалы диссертации полностью отражены в научных работах, опубликованных автором. Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылок на авторов, а также материалов совместных работ без ссылок на соавторов. Тема и содержание диссертации соответствуют следующим разделам паспорта научной специальности 1.3.4. – Радиофизика:

1. Исследование флуктуаций, шумов, случайных процессов и полей в сосредоточенных и распределенных стохастических системах (статистическая радиофизика). Создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех. Разработка статистических основ передачи информации. Исследование нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в

неравновесных физических, биологических, химических и экономических системах (пункт 4).

2. Разработка теоретических основ новых методов и систем связи, навигационных, активных и пассивных локационных систем, основанных на использовании излучения и приема волновых полей различной физической природы и освоении новых частотных диапазонов (пункт 7).

Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями и дополнениями, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация Любченко Дмитрия Олеговича «Сложные динамические режимы, отвечающие концепции грубости и концепции хрупкости, в приложении для средств коммуникации» рекомендуется к защите на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Заключение принято на заседании секции Ученого совета ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в Саратовском филиале.

Присутствовало на заседании 13 человек из 15, входящих в состав секции Ученого совета ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в Саратовском филиале.

Результаты голосования:

«за» – 13 чел.,

«против» – нет,

«воздержались» – нет.

Протокол № 6 от 17 сентября 2025 г.

Председатель Саратовской секции Ученого совета
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
Ио директора СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
профессор, д.ф.-м.н.



Филимонов Юрий Александрович

Ученый секретарь Саратовской секции Ученого совета
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
зам. директора по научной работе,
к.ф.-м.н.



Фатеев Денис Васильевич