

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук Шипилова Сергея Эдуардовича

на диссертацию Таюрова Антона Викторовича

на тему: «Имитационное моделирование отражающих объектов, распределенных по угловым координатам, с помощью матричных имитаторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы

При создании современных радиотехнических систем (РТС) особое значение имеет возможность предварительной проверки их функционирования в условиях, близких реальной радиоэлектронной обстановке. Для решения этих задач необходимы достоверные методы имитационного моделирования отражённых сигналов от объектов различной протяжённости и пространственной конфигурации.

Использование натуральных экспериментов для подобных целей ограничено высоким уровнем временных и финансовых затрат, сложностью получения повторяющихся условий, а также ограниченной возможностью реализации сложных сценариев.

Развитие лабораторных комплексов на основе матричных имитаторов (МИ) позволяет во многом решать эти проблемы.

В то же время вопросы оценки достоверности имитации матричным имитатором распределённых объектов до настоящего времени исследованы недостаточно.

В большинстве известных работ не рассматривалось влияние параметров антенны РТС и пространственного расположения излучателей матричного имитатора на вероятностные характеристики угловых шумов координат распределённых объектов.

Диссертационная работа Таюрова А.В. направлена на устранение этого пробела. Она посвящена исследованию ошибок имитационного моделирования матричными имитаторами распределённых отражающих объектов, точнее их угловых шумов.

Тематика исследования актуальна, имеет научное и прикладное значение.

Объём и структура работы

Диссертационная работа Таюрова А.В. представлена на 149 страницах и включает (помимо основного текста) 4 приложения, список литературы из 111 наименований, а также 64 рисунка и 15 таблиц.

Работа состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка сокращений, списка литературы и четырёх приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, проанализирована степень её разработанности и выделены нерешённые вопросы, определившие направление работы. Сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Приведены положения, выносимые на защиту, отражён личный вклад автора и обоснована достоверность полученных выводов. Отмечена апробация результатов исследования и приведён перечень основных публикаций по теме диссертации.

В первом разделе приведён обзор механизмов формирования эхосигналов и их характеристик для распределённых радиолокационных объектов, а также существующих

методов их имитационного моделирования. Показано, что наиболее перспективным средством имитации распределённых по угловым координатам объектов являются матричные имитаторы.

Отмечено, что ключевым фактором достоверности имитации таких объектов является точность задания положения замещаемого объекта и параметров его шумов угловых координат. Подчёркнуто, что вопросы достоверности воспроизведения шумов угловых координат ранее рассматривались недостаточно, что позволило сформулировать цель и задачи настоящего исследования.

Во втором разделе рассмотрены ошибки установки углового положения, возникающие при моделировании распределённых объектов с использованием матричных имитаторов.

Проведён анализ пеленгации объекта, замещаемого матрицей, игольчатыми диаграммами направленности. Показано, что ошибка установки углового положения появляется при наличии в полиноме, аппроксимирующем диаграмму направленности антенны, членов четвёртой и более высоких четных степеней. Получены соотношения, связывающие величину ошибки с коэффициентами аппроксимации, разном излучателей матрицы и размерами замещаемого объекта, а также распределением интенсивности экосигналов по его поверхности.

В третьем разделе эти результаты развиты применительно к оценке вероятностных характеристик шумов угловых координат распределённых объектов, имитируемых с использованием матричных имитаторов. Получено выражение для плотности распределения шумов угловых координат и показано, что применение МИ приводит к ошибкам установки математического ожидания и параметра рассеяния шумов угловых координат.

Выведены соотношения, связывающие величину указанных ошибок с коэффициентами аппроксимирующего полинома диаграммы направленности, параметрами замещаемого объекта и разном излучателей матричного имитатора. Выполнены численные оценки, подтверждающие влияние этих факторов на результат имитации, и сформулированы рекомендации по снижению ошибок при моделировании вероятностных характеристик угловых шумов.

В четвёртом разделе рассмотрены вопросы экспериментальной проверки и практического применения полученных результатов. Проведены исследования на лабораторном стенде. Экспериментальные данные, полученные в разделе, подтвердили теоретические зависимости и закономерности, полученные на предыдущих разделах работы.

В заключении перечислены основные результаты работы.

В приложении представлены выводы некоторых формул, а также акты, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Для проверки корректности полученных результатов автором применён комплексный подход, включающий аналитические исследования, численные эксперименты и лабораторные измерения на стенде матричного имитатора.

Согласованность полученных результатов подтверждает обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных результатов подтверждается строгостью используемого математического аппарата, а также согласованностью аналитических, численных и экспериментальных данных.

В диссертации впервые установлены количественные зависимости между параметрами сканирующей антенны, разносом излучателей матричного имитатора, характеристиками моделируемого объекта и погрешностями моделирования функции плотности вероятности распределения шумов угловых координат, их математического ожидания и рассеяния.

Получены новые выражения, связывающие ошибки установки углового положения и вероятностные характеристики шумов угловых координат с размерами имитируемого объекта, формой ДН и положением замещающего объекта.

Автором выявлены диапазоны значений параметров, при которых обеспечивается заданная достоверность моделирования, а также выявлены сочетания параметров, приводящие к существенным ошибкам. Эти зависимости уточняют область применимости матричных имитаторов и позволяют количественно оценивать условия, при которых достигается требуемая достоверность имитации распределённых объектов.

Установлено, что ошибка определения углового положения кажущегося центра излучения при использовании матричных имитаторов возникает из-за нелинейности пеленгационной характеристики антенны РТС. Эти эффекты ранее не рассматривались.

В целом полученные результаты уточняют и расширяют теоретическое представление о имитации распределённых отражающих объектов методами полунатурного моделирования с использованием матричных имитаторов.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Научная значимость диссертационной работы Таюрова А.В. заключается в развитии методов анализа достоверности имитации распределённых отражающих объектов с использованием матричных имитаторов.

Полученные автором соотношения позволяют проводить оценку достоверности имитации угловых шумов.

Практическая ценность результатов определяется возможностью их непосредственного использования при проектировании испытательных комплексов радиотехнических систем.

Отдельные результаты исследования использованы при разработке имитационных комплексов АО «Заслон» (г. Санкт-Петербург), а также используются в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета.

Практическая ценность работы также подтверждается выполнением имитационного моделирования реального корабля, обладающего распределённой отражающей поверхностью и испытывающего бортовую качку.

Апробация

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из которых 5 – в журналах из перечня ВАК РФ и 1 – в издании, индексируемом в базах Scopus/Web of Science. 3 публикации выполнены в сборниках конференций, индексируемых в базах Scopus / Web of Science, и 3 публикации – в материалах всероссийских и международных конференций.

Замечания по диссертации

К диссертационной работы Таюрова А.В. имеется ряд замечаний.

1. В формулировках первого и второго защищаемого положения отсутствуют конкретные значения ошибок. Так в первом положении утверждается, что замещение (аппроксимация) точечных объектов приводит к появлению ошибок установки углового положения. Во втором утверждается, что наличие ошибок углового положения приводит к погрешности имитации вероятностных характеристик угловых шумов. Без конкретных цифровых значений такие утверждения являются тривиальными.

2. В тексте работы встречается избыточная детализация математических выкладок, что несколько затрудняет восприятие основных идей. Возникает вопрос о целесообразности получения громоздких аналитических выражений в тех случаях, когда поставленная задача может быть решена численным моделированием. Оправдано ли сохранение полной аналитической формы, если её практическое использование ограничено?

3. В экспериментальной части следовало бы подробнее изложить методику измерений и описать примененные при обработке данных критерии статистической устойчивости, а также используемые методы фильтрации шумов.

4. В диссертации не оговаривается влияние поляризационных особенностей и явлений, характерных для переотражённых сигналов, имитация которых выполняется. Не раскрыты требования к излучающим антеннам матричного имитатора, определяющие их направленность.

5. Не ясно, можно ли с помощью предложенного подхода имитировать произвольные распределённые объекты или существуют ограничения по геометрии и структуре отражающей поверхности. Следовало бы также указать время, необходимое для полного обзора (период сканирования) пространственного сектора с излучателями, что позволило бы оценить способность системы фиксировать перемещения кажущегося центра излучения и выявлять возможные пропуски при наблюдении.

6. В работе встречаются термины, далекие от принятых в научных кругах. Так, например, на 43 странице используется термин «пессимистична ошибка». По ходу диссертации еще встречаются подобные термины.

Указанные замечания не снижают общей оценки диссертации и не влияют на её научную и практическую ценность.

Заключение

Диссертация Таюрова Антона Викторовича «Имитационное моделирование отражающих объектов, распределённых по угловым координатам, с помощью матричных имитаторов» является завершённым научно-квалификационным исследованием, в

котором решена актуальная научно-техническая задача развития теории полунатурного моделирования распределённых радиолокационных объектов.

Полученные результаты отличаются новизной, теоретической обоснованностью и практической значимостью.

Содержание автореферата достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация полностью соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 и его последующих редакций, в том числе пунктам 9-14 раздела II, устанавливающим критерии для кандидатских диссертаций: наличие научной новизны, обоснованности и достоверности полученных результатов, их значимости для науки и практики, апробации и опубликования основных положений.

На основании изложенного автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент
доктор физико-математических
наук, профессор кафедры
радиофизики ФГАОУ ВО
«Национальный
исследовательский Томский
государственный университет»

Шипилов Сергей Эдуардович
«26» ноября 2025 г.

Разрешаю обработку персональных данных.

Контактные сведения официального оппонента:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 36.

тел.: 8 (3822) 529 604, 8 (3822) 529 852

<http://www.tsu.ru>

iro2@mail.tsu.ru

e-mail: s.shipilov@gmail.com

Отзыв получен 28.11.2025
Степанов М.А.

Подпись Шипилова С.Э.

с отзывом ознакомлен 28.11.2025
Томаров А.В.