

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательным

технологиям и инновационной  
деятельности

В. Ф. Шишлаков

2021 г.



Ведущей организации на диссертацию Сабитова Т. И. «Матричные имитаторы эхосигналов многоантенных радиолокационных систем», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация.

Диссертационная работа Сабитова Т. И. посвящена обоснованию методов построения когерентных матричных имитаторов, обеспечивающих моделирование эхосигналов радиолокационной системы, имеющей несколько приемных антенн с разнесенными фазовыми центрами и перекрывающимися диаграммами направленности.

#### Содержание работы

Диссертация состоит из списка сокращений, введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 118 наименований и двух приложений.

**В первом разделе** дан обзор исследований по теме работы, сформулированы задачи исследования. Рассмотрены принципы работы известных матричных имитаторов, их возможности по имитации отражений от точечных и протяженных объектов. Отмечено, что наибольшими возможностями по имитации отражений обладают когерентные матричные имитаторы. Показано, что известные матричные имитаторы не позволяют имитировать цели в требуемых положениях одновременно для нескольких приемных антенн. Сформулированы условия, которым должна удовлетворять когерентная модель, лежащая в основе матричного имитатора, для имитации общей цели для нескольких приемных антенн. Предложен подход к синтезу

когерентной модели, которая обеспечивает независимую имитацию целей для каждой приемной антенны.

**Во втором разделе** получены соотношения для синтеза матрицы излучателей, позволяющей имитировать общую цель для двух приемных антенн. Показано, что при условии расположения излучателей в одной плоскости их количество ограничено. Показано, что при условии заданного положения первого излучателя, может быть синтезирована матрица любого углового размера путем наращивания количества излучателей. На основе полученных соотношений разработаны алгоритмы синтеза конфигураций излучателей. Показано, что одномерные матрицы могут быть использованы для синтеза двумерных. Осуществлена апробация полученных результатов с помощью численных экспериментов.

**В третьем разделе** представлено развитие полученных во втором разделе результатов применительно к трехантенным системам. Рассмотрены трехантенные системы, приемные антенны которых расположены произвольно или горизонтально симметрично. Получены соотношения для синтеза матриц излучателей, обеспечивающих имитацию общей цели для трех приемных антенн.

**В четвертом разделе** получены условия, которым должна удовлетворять когерентная модель, позволяющая имитировать независимо для каждой из двух приемных антенн свои цели. Разработана одномерная матрица из пяти излучателей, удовлетворяющей этим условиям. Получены соотношения для синтеза матрицы, а также соотношения для расчета параметров сигналов в зависимости от задаваемых положений целей. Показано, что разработанная одномерная матрица может быть использована для синтеза двумерной. Осуществлена апробация результатов с помощью численных экспериментов.

**В пятом разделе** исследованы вопросы, связанные с ошибками фазировки разработанных матриц излучателей. Проведен сравнительный анализ ошибок моделирования матрицы из пяти излучателей, позволяющей

имитировать независимо для двух антенн свои цели, и эквивалентной по угловому размеру когерентной двухточечной матрицы.

На основе результатов работы для трехантенной системы корреляционного измерителя скорости и угла сноса разработан проект матричного имитатора. Приведены результаты апробации, экспериментально подтверждающие, что такая матрица может быть использована для имитации эхосигналов рассмотренной трехантенной системы.

**В приложениях** показано, что подход к синтезу матрицы, обеспечивающей имитацию общей цели для нескольких приемных антенн, может быть усовершенствован за счет управления начальными фазами сигналов имитатора.

Представлен акт о внедрении результатов диссертационной работы.

#### **Актуальность темы диссертационного исследования**

При разработке перспективных радиолокационных систем находит применение полунатурное моделирование, при котором воссоздается сигнально-помеховая обстановка, соответствующая реальным условиям работы. Это позволяет проводить испытания над радиолокационной системой в лабораторных условиях, что в значительной степени удешевляет процесс разработки за счет сокращения объема натуральных испытаний.

Широкое распространение получили матричные имитаторы благодаря своим неоспоримым преимуществам. С их помощью воссоздают электромагнитные поля на апертуре антенны, соответствующие отражениям от моделируемых объектов. Вместе с тем уровень проработки вопросов синтеза матричных имитаторов ограничен одноантенными системами. При этом распространены системы, работа которых основана на применении нескольких приемных антенн с разнесенными фазовыми центрами. Теоретические и практические вопросы построения матричных имитаторов применительно к многоантенным радиолокационным системам до сих пор не рассматривались.

Диссертационная работа Сабитова Т. И. посвящена обоснованию методов построения когерентных матричных имитаторов, обеспечивающих моделирование эхосигналов радиолокационной системы, имеющей несколько приемных антенн с разнесенными фазовыми центрами и перекрывающимися диаграммами направленности. В работе получены условия к когерентной модели, при выполнении которых обеспечивается замещение моделируемых радиолокационных объектов в положениях, соответствующих требуемым, для всех приемных антенн многоантенной системы. Разработаны алгоритмы синтеза когерентных моделей, лежащих в основе матричных имитаторов эхосигналов многоантенных систем.

#### **Научная новизна полученных результатов**

Получены условия, которым должен удовлетворять матричный имитатор для имитации общей цели для двух/трех точек приема.

Обоснованы методы синтеза матричных имитаторов для имитации целей независимо для каждой антенны многоантенной системы.

Определена взаимосвязь ошибок моделирования и точности задания параметров сигналов имитатора.

#### **Практическая значимость полученных результатов**

Результаты работы позволяют синтезировать матричный имитатор для имитации отражений от цели одновременно для нескольких приемных антенн с разнесенными фазовыми центрами и перекрывающимися диаграммами направленности. Получены соотношения для оценки ошибок моделирования разработанных матриц излучателей, обусловленные нарушениями фазировки излучателей имитатора. Теоретические результаты использованы для разработки проекта матричного имитатора для имитации отражений от движущейся подстилающей поверхности для трехантенного корреляционного измерителя скорости и угла сноса.

#### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация Сабитова Т.И. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержащую теоретическое обоснование методов

построения когерентных матричных имитаторов, обеспечивающих моделирование эхосигналов радиолокационной системы, имеющей несколько приемных антенн с разнесенными фазовыми центрами и перекрывающимися диаграммами направленности.

Основные результаты работы представлены в 24 публикациях. В том числе 9 статей в научных журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций, 6 публикаций в изданиях, включенных в международные базы данных цитирования Web of Science или Scopus.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

#### **Замечания по работе**

При общей высокой оценке диссертационной работы следует сделать несколько замечаний.

1. В соответствии с целью работы разработанные автором технические решения применимы к системам с несколькими приемными антеннами, диаграммы направленности которых перекрываются. При этом нигде в работе не указывается, насколько сильным должно быть это перекрытие, не приводится соответствующей количественной характеристики степени перекрытия диаграмм направленности.

2. Из текста работы не ясно, какова относительная ширина полосы частот является рабочей для разработанных матричных имитаторов.

3. Отсутствуют патенты на разработанные технические решения.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Полученные Сабитовым Т.И. результаты целесообразно использовать для разработки матричных имитаторов в задачах полунатурного моделирования эхосигналов многоантенных радиолокационных систем.

Разработанные автором способы и рекомендации по синтезу матриц излучателей позволяют синтезировать два типа матриц. Первые позволяют имитировать общие цели, которые имеют одно и то же положение для каждой приемной антенны. Вторые позволяют имитировать независимо для каждой

приемной антенны свои цели. Такие матрицы могут быть использованы при испытаниях многоантенных радиолокационных систем на этапах полунатурного моделирования.

### **Заключение**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой обоснованы подходы и методы построения когерентных матричных имитаторов, обеспечивающих моделирование эхосигналов радиолокационной системы, имеющей несколько приемных антенн с разнесенными фазовыми центрами и перекрывающимися диаграммами направленности.

Теоретические результаты диссертационной работы имеют практическое значение и могут быть использованы для разработки матричных имитаторов эхосигналов многоантенных систем.

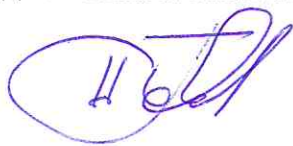
Диссертационная работа Т.И. Сабитова «Матричные имитаторы эхосигналов многоантенных радиолокационных систем» соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Сабитов Тимур Ильясович заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация.

Отзыв обсужден и утвержден на научном семинаре. Присутствовало на заседании 13 человек, результаты голосования: «За» - 13 человек, «Против» - 0 человек, «Воздержалось» - 0 человек, протокол № 10 от «09» ноября 2021 г.

Отзыв составил:

Зав. кафедрой радиотехнических систем,

к.т.н., доцент



Поваренкин Николай Владимирович