

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники

УДК 621.371.3

Сухачевский

Павел Вячеславович

Рассеяние импульсной радиоволны облаком пассивных диполей

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-39 80 02 – Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения

---

Научный руководитель

Юрцев Олег Анатольевич

д-р техн. наук, профессор

---

Минск 2015

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Дипольные отражатели используются для создания пассивных помех радиолокационным станциям (РЛС). Они применяются для маскировки радиолокационного объекта, движущегося по баллистической траектории. В этом случае они движутся с одной с той же скоростью, что и объект радиолокации. В такой ситуации возникает задача идентификации сигналов, отраженных от объекта и дипольных отражателей, и поиска признаков идентификации. Определенные признаки могут быть получены путем облучения облака пассивных диполей (системы пассивных диполей со случайным расположением диполей в пространстве) и объекта сверхкоротким радиоимпульсом и анализа рассеянного диполями импульса.

Изменение спектра и формы огибающей широкополосного сигнала при его рассеянии объектом радиолокации может быть использовано для распознавания этого объекта. Подобная задача в известных работах решается с использованием уравнений Максвелла в пространственно-временной форме записи. При этом используется метод конечных разностей во временной области (КРВО). Задача решается также с использованием интегральных уравнений электродинамики, записанных в пространственно-временной форме. Возбуждающе воздействие задается в виде сверхкороткого видеоимпульса. При таком возбуждении максимум энергии сигнала расположен вблизи нулевой частоты. В диапазоне частот работы реального радиолокатора максимум энергии сигнала расположен на заданной несущей частоте. Поэтому необходимо знать признаки в рассеянном сигнале с заданной несущей частотой. Заданный радиосигнал раскладывается в дискретный ряд Фурье. Определяется отклик объекта радиолокации на каждую гармонику радиосигнала, т.е. спектр рассеянного сигнала. По этому спектру с помощью обратного дискретного преобразования Фурье определяется рассеянный сигнал (его огибающая). Информация о признаках, характерных для конкретного объекта, содержится в спектре рассеянного сигнала и в форме его огибающей. В диссертации этот метод иллюстрируется на задаче рассеяния широкополосного сигнала системой тонких металлических диполей расположенных в пространстве по случайному закону. В настоящей работе такая система диполей имеет название «Облако диполей». Сама по себе эта задача также имеет прикладное значение: система металлических диполей в виде облака используется для радиомаскировки объектов на баллистической траектории.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Характер изменения спектра импульсной электромагнитной волны при рассеянии радиолокационным объектом является одним из признаков, который используется при распознавании объекта радиолокационными средствами. Пассивные отражатели в виде облака диполей используется для маскировки боевых объектов на баллистической траектории. В литературе не освещен вопрос о рассеянии импульсных волн диполями и изучение его актуально.

Цель работы – исследование закономерностей изменения формы огибающей сверхширокополосного радиоимпульса при изменении геометрии систем пассивных диполей.

Объект исследования – система пассивных диполей.

Предмет исследования – закономерности рассеяния.

В настоящей работе представлена математическая модель рассеяния импульсной радиоволны системами пассивных диполей на основе метода интегральных уравнений. Проведено численное моделирование рассеяние электромагнитной волны системами пассивных дипольных отражателей. Проведен анализ закономерностей рассеяния. Все основные результаты, выводы получены соискателем самостоятельно. Все опытные данные получены во время непосредственной работы соискателя.

Результаты работы были представлены на нескольких научных конференциях и опубликованы в сборниках научных трудов этих конференций:

1. Юрцев О.А., Сухачевский П.В., Кеда В.В. «Анализ рассеянного поля диполя в пространственно временной области»/ Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, 18–19 марта 2014 года)

2. Юрцев О.А., Сухачевский П.В. «Рассеяние радиоимпульса линейным диполем» / Третья Всероссийская научно-технической конференция «Электроника и Микроэлектроника СВЧ» // 2 - 5 июня 2014, СПбГЭТУ

3. Yurtsev O.A., Bobkov Y.Y. and Suhachevsky P. «The scattering of radio-frequency pulse signal on a thin wire»/ Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals// 15-19 September, 2014, Kharkiv, Ukraine

4. Юрцев О.А., Бобков Ю.Ю., Романович А.Г., Сухачевский П.В. «Рассеяние широкополосного радиосигнала проволочной антенной» /«Радиолокация, навигация, связь» (RLNC\*2015)//14-16 апреля 2015, Воронеж, Россия

5. Юрцев О.А., Сухачевский П.В. «Рассеяние широкополосного радиосигнала системой диполей» / Четвертая Всероссийская научно-

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность научных исследований, проведенных в диссертации, показана необходимость исследования характеристик рассеяния пассивных дипольных отражателей, применяющихся для маскировки объектов, движущихся по баллистической траектории.

Применение программ на ЭВМ как средства к изучению характеристик рассеяния различных объектов позволило расширить приложение теории рассеяния на объекты произвольных форм. Но вместе с тем имеется ряд неизученных вопросов. Поэтому можно утверждать, что данная работа в определенной степени вносит свой вклад в теорию рассеяния.

В первой главе диссертации проведен обзор большого числа работ по тематике рассеяния радиоволн радиолокационными объектами. В литературе весьма подробно описаны задачи рассеяния на различных объектах сверхкороткого видеоимпульса. Эта задача, в частности, решается путем сравнения спектра рассеянного объектом сигнала с эталонным сигналом, находящимся в базе данных. Чем шире спектр зондирующего сигнала, тем надежнее распознавание. Для радиомаскировки баллистических объектов на траектории используются дипольные пассивные отражатели в виде тонких проводников, движущихся на траектории с такой же скоростью, что и сам объект. Распознавание объекта на фоне дипольных отражателей возможно при наличии в базе данных их характеристик рассеяния в широком диапазоне частот. Такая задача, насколько известно, в литературе не рассмотрена. Поэтому решение данного вопроса актуально и в связи с этим в настоящей работе рассматривается задача рассеяния радиоимпульса облаком пассивных дипольных отражателей.

Во второй главе диссертации описывается математическая модель численного электродинамического моделирования и приводится метод решения задачи определения характеристик рассеяния тонко-проволочных объектов.

Задача определения характеристик рассеяния тонко-проволочных объектов решается в несколько этапов:

1. По облучающей монохроматической электромагнитной волне заданной частоты  $f$  определяется ток в диполе. Используется метод моментов: интегральное уравнение для тока в тонком проводнике Поклингтона, импульсные функции в качестве базисных и весовых.

2. По найденному току в диполе определяется поле рассеяния с использованием метода векторного потенциала.

3. По полю рассеяния определяется одно- и двухпозиционная ЭПР как функция частоты.

4. Заданный радиоимпульс с использованием дискретного преобразования Фурье раскладывается в конечный ряд временных гармоник.

5. Определяется отклик диполя на каждую гармонику, т.е. спектр рассеянного сигнала.

6. По найденному ряду гармоник рассеянного поля с помощью обратного дискретного преобразования Фурье синтезируется рассеянный радиоимпульс.

В третьей главе диссертации описывается алгоритм работы программы численного моделирования, возможности используемой в диссертации математической модели. Показано, что результаты работы математической модели согласуются как с литературными данными [3,22,23], так и с программой электродинамического моделирования ФЕКО.

В четвёртой главе магистерской диссертации приводятся результаты численного моделирования характеристик рассеяния систем пассивных диполей, как с заданным расположением диполей в пространстве, так и со случайным. Выявлены закономерности рассеяния объектов различных конфигураций. Показаны преимущества анализа характеристик рассеяния как во временной области, так и в частотной. Выведены некоторые математические соотношения, позволяющие анализировать характеристики рассеяния радиолокационных объектов. Показано, что при применении рассмотренной в диссертации методики анализа характеристик рассеяния объектов радиолокации, возможно непосредственное определение не только размеров радиолокационных объектов, но и расстояний между их элементами. Полученные, с помощью использованной в диссертации математической модели, результаты сравнивались с результатами коммерческой программы электродинамического моделирования ФЕКО. Показано, что результаты схожи. Показано, что полученные результаты могут быть применены для создания базы данных для распознавания объектов, движущихся по баллистической траектории.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Особенность проведённого исследования в том, что при анализе характеристик рассеяния во временной области применялись радиоимпульсы и рассматривались объекты, расстояния между элементами которых были больше, чем пространственные длительности зондирующих сигналов. Указаны преимущества применения в качестве облучающего колебания радиоимпульса.

По полученным в главе 4 результатам можно судить о пространственных характеристиках объекта: о его размере и расстояниях между его элементами. Показано, что при распознавании объектов радиолокации, для создания баз данных о характеристиках рассеяния радиолокационных объектов, нужно, для более полного понимания характеристик рассеяния радиолокационного объекта, проводить анализ как во временной области, так и по графикам зависимостей ЭПР от частоты. В некоторых случаях удобен анализ во временной области, а в некоторой по графикам зависимостей ЭПР от частоты. Максимальный уровень ЭПР систем диполей пропорционален количеству диполей, как в системах с заданным расположением пассивных диполей в пространстве, так и в системах со случайным расположением диполей в пространстве. В графиках зависимостей ЭПР от частоты содержатся необходимые признаки для распознавания радиолокационных объектов. Выявлено, что по расстоянию между локальными максимумами графиков зависимостей ЭПР от частоты можно непосредственным образом судить о размерах радиолокационного объекта.

Показано, что в некоторых случаях нужно проводить анализ характеристик рассеяния не только по полному полю, но и в отдельности по составляющим поля ЕТНЕТА и ЕРНІ.

При случайном расположении диполей в пространстве, при неизменном размере облака, но при увеличении количества диполей в нём, растёт средний уровень ЭПР. Чем большее количество диполей в системе, тем меньшей должна быть длительность зондирующего импульса.

Из полученных результатов следует, что характерной особенностью возрастания размеров облака дипольных отражателей, при постоянном количестве диполей в облаке, является то, что на графике зависимости ЭПР от частоты уменьшается расстояние между локальными максимумами и их становится больше.

При анализе систем со случайным расположением диполей в облаке, используя приведённую в работе методику, можно оценить количество диполей в облаке.

Таким образом, рассматриваемая в работе методика может быть применена для создания баз данных о характеристиках рассеяния радиолокационных объектов, для их распознавания.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Юрцев О.А., Сухачевский П.В., Кеда В.В. «Анализ рассеянного поля диполя в пространственно временной области»/ Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, 18–19 марта 2014 года)

[2] Юрцев О.А., Сухачевский П.В. «Рассеяние радиоимпульса линейным диполем» / Третья Всероссийская научно-технической конференция «Электроника и Микроэлектроника СВЧ» // 2 - 5 июня 2014, СПбГЭТУ

[3] Yurtsev O.A., Bobkov Y.Y. and Suhachevsky P. «The scattering of radio-frequency pulse signal on a thin wire»/ Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals// 15-19 September, 2014, Kharkiv, Ukraine

[4] Юрцев О.А., Бобков Ю.Ю., Романович А.Г., Сухачевский П.В. «Рассеяние широкополосного радиосигнала проволочной антенной» /«Радиолокация, навигация, связь» (RLNC\*2015)//14-16 апреля 2015, Воронеж, Россия

[5] Юрцев О.А., Сухачевский П.В. «Рассеяние широкополосного радиосигнала системой диполей» / Четвертая Всероссийская научно-технической конференция «Электроника и Микроэлектроника СВЧ» // 1 - 4 июня 2015, СПбГЭТУ