

ходе экспериментов поляризационные электромагнитные свойства образцов могут быть связаны с анизотропией графеноподобных структур, содержащих соответствующие фрактальные проводящие кластеры, образующиеся в процессе получения пленок.

Актуальность данной работы для региона обусловлена решением важной научно-технической проблемы транспортного комплекса РФ, связанной с обеспечением безопасности судоходства на внутренних водных путях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-02-97013).

#### Список литературы:

- [1] Кузнецов А.С., Кутин Г.И. Методы исследования эффекта нелинейного рассеяния электромагнитных волн / Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, №4, 1985. – С.41–53.
- [2] Васенков А.А., Добровольский В.С., Заборонкова Т.М., Тараканков С.П. Использование методов нелинейной радиолокации при проектировании судовых навигационных систем / Проектирование и технология электронных средств, №4, 2009. – С. 42–48.
- [3] Неганов В.А., Осипов О.В. Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами. / М.: Радио и связь, 2006.
- [4] Дидейкин А.Т., Соколов В.В., Саксеев Д.А., Байдакова М.В., Вуль А.Я. Свободные графеновые пленки из терморасширенного графита / Журнал технической физики, т. 80, вып. 9, 2010. – С. 146–149.

**Н.А. Дугин**

ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ФГБНУ НИРФИ

## О ВЛИЯНИИ ПОМЕХ НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ – ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

В данной статье рассмотрен вопрос о влиянии помех на работу радиointерферометра с независимым приемом (или со сверхдлинной базой – РСДБ), применяемого для прецизионного определения положения навигационных космических аппаратов (НКА) системы ГЛОНАСС, и следовательно, на точность позиционирования наземных потребителей. Приводятся результаты экспериментальных работ НИРФИ в области применения РСДБ для определения положения НКА, а также влияния турбулентных возмущений в ионосфере на характеристики радиосигналов, в неблагоприятной помеховой обстановке.

### Введение

Снижение точности позиционирования наземных объектов, а в ряде случаев и полная неработоспособность аппаратуры пользователей глобальной навигационной спутниковой системы (СРНС) ГЛОНАСС, могут быть вызваны неблагоприятными геофизическими факторами (мощными возмущениями в ионосфере Земли) и солнечной активностью. О влиянии промышленных помех на работоспособность навигационных приемников достоверных сведений не найдено, что может быть вызвано уверенностью в хорошей защите рабочих частотных диапазонов СРНС ввиду крайней важности точных навигационных определений в современном мире.

В ФГБНУ НИРФИ с 2010 года проводятся работы по применению радиоинтерферометров с независимым приемом (или со сверхдлинной базой – РСДБ) [1–3] для повышения точности определения координат навигационных космических аппаратов (НКА) СРНС, поскольку погрешность определения положения НКА непосредственно влияет на точность позиционирования наземных потребителей сигналов СРНС.

При приеме излучения радиоисточника на разнесенные антенны РСДБ в процессе обработки определяются два основных параметра: групповая задержка сигнала и частота интерференции, которые являются главными измеряемыми величинами для расчета координат и скоростей КА. Известно, что наличие помех только в одном из приемных пунктов не оказывает существенного влияния на результат корреляционной обработки, если только интенсивность помехи не превосходит определенного уровня, когда полезный сигнал полностью не различим на фоне помех. Кроме того, узкополосные помехи легко выделяются при обработке и не оказывают существенного влияния на результат корреляции. Тем не менее, при высокоточных измерениях помехи ухудшают отношение сигнал/шум и, соответственно, увеличивают погрешность измерений задержки и особенно частоты интерференции.

Результаты экспериментальных работ. При проведении экспериментальных работ на РСДБ сети НИРФИ с подключением пунктов в Евпатории (РТ-70, Крым, Украина) и Вентспилсе (РТ-32 «Ирбене», Латвия) базовые расстояния интерферометров составляли 70-1500 км, что практически исключало наличие коррелированных помех. На загородных пунктах радиоастрономических обсерваторий (РАО) НИРФИ и в «Ирбене» (30 км от Вентспилса) помехи отсутствовали во всем рабочем диапазоне частот СРНС, в Евпатории присутствовал мощный шумовой сигнал из-за отсутствия в приемнике фильтра с требуемой полосой пропускания. Однако, при вводе в действие приемных пунктов в НИРФИ на базе рупорной антенны с широкой диаграммой направленности и Нижегородском госуниверситете им.Н.И.Лобачевского (ННГУ) на базе двухметрового радиотелескопа РТ-2 с разнесением всего 3,8 км было зарегистрировано наличие множественных помех, частично принимаемых в обоих пунктах одновременно. В качестве примера на рисунках 1 и 2 приводятся спектры принимаемых сигналов. На рис. 1 - вид спектра сигнала НКА НАВСТАР в пункте «Ирбене» в полосе частот около 100 МГц (на первой промежуточной частоте), хорошо видна структура сигнала – широкополосная часть 20 МГц и узкополосный сильный пик; помех нет. На рис. 2 - вид сигнала НКА ГЛОНАСС в пункте «ННГУ» в полосе частот около 10 МГц (на второй промежуточной частоте), также видна структура сигнала – широкополосная часть 10 МГц и центральный пик (0,5-1) МГц; присутствуют несколько узкополосных помех как в полосе приема, так и вне ее.

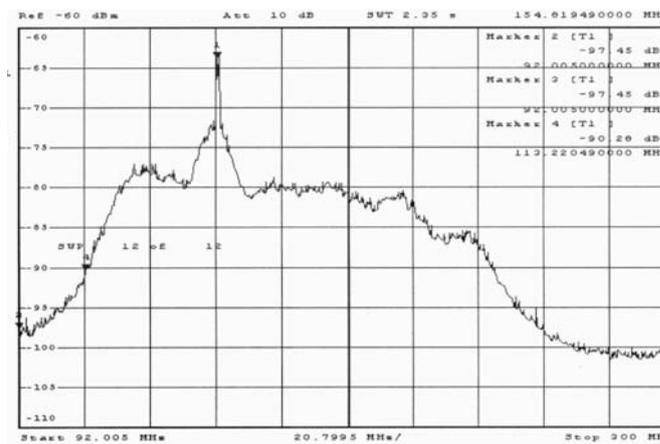


Рис. 1.

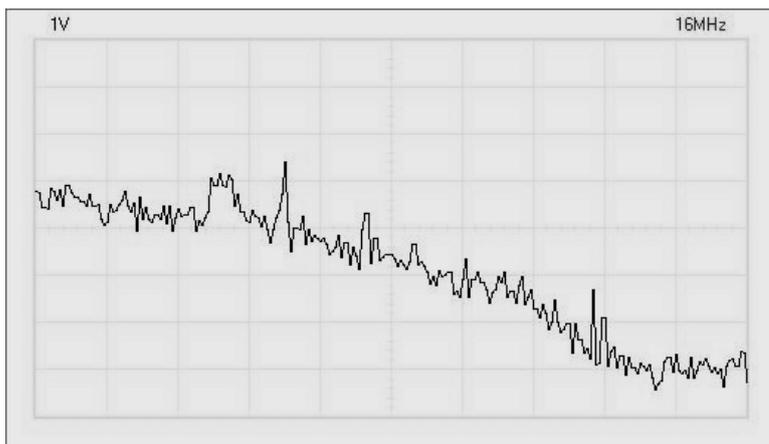


Рис. 2.

Корреляционная обработка полученных экспериментальных данных проводилась на программном корреляторе «НИРФИ-4». На рис. 3 и 4 показаны выходные сигнал интерферометра с базой «НИРФИ-ННГУ» в стандартных для РСДБ координатах. По вертикальной оси отложена амплитуда корреляционного сигнала, по горизонтальным осям – задержка и частота. Узкий пик (на рис. 3 отмечен маркером) соответствует сигналу от НКА СРНС, дополнительные размытые максимумы обусловлены помехами, которые изменялись со временем. Тем не менее, «полезный» сигнал выделяется достаточно четко.

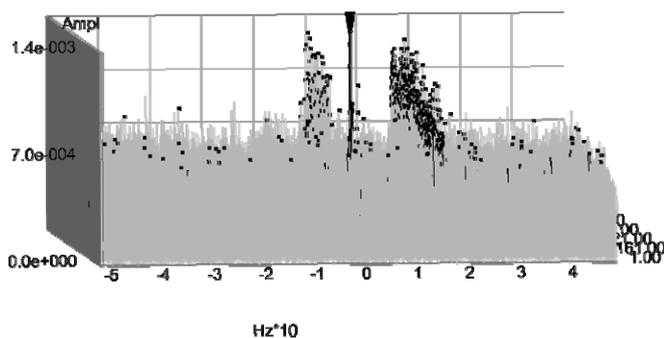


Рис. 3.

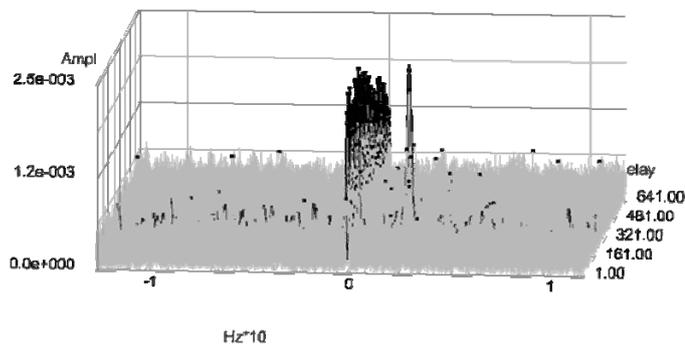


Рис. 4.

На рис. 5 приведен общий вид характерного сигнала интерферометра: корреляционная функция в зависимости от задержки имеет четкий главный максимум с небольшими боковыми максимумами. Данная форма хорошо согласуется с теоретической кривой.

В серию экспериментов по приему сигналов НКА была включена задача по исследованию влияния искусственной турбулентности ионосферы на характеристики сигнала интерферометра. Во время наблюдений сигналы от НКА распространялись через зону ионосферы, нагретую мощным микроволновым излучением стенда НИРФИ «Сура» [4]. В данных экспериментах форма выходного сигнала искажалась. На рис. 6 приведен отклик интерферометра на излучение, прошедшее через возмущенную среду. Как следует из рисунка, амплитуда сильно уменьшилась, боковые максимумы в спектре стали сравнимы с основным. Видимое в ряде случаев «размывание» сигнала по частоте предположительно было вызвано именно воздействием на среду распространения. Но наличие внешней помехи, попадающей в обе приемные антенны (или возможность ее появления), требует более тщательного анализа результатов, так как пока не выработаны достаточно четкие критерии разделения влияния на результат обработки помех и других факторов, в том числе нестабильности среды распространения радиоволн.

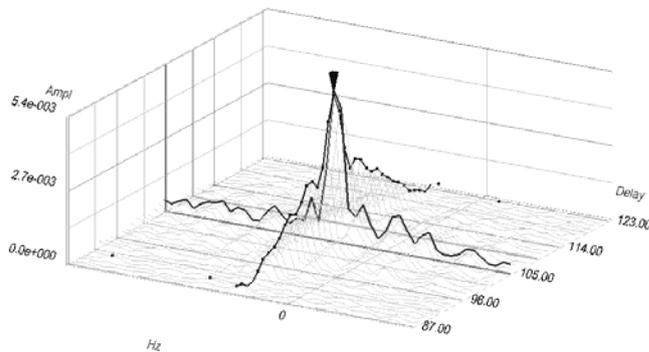


Рис. 5.

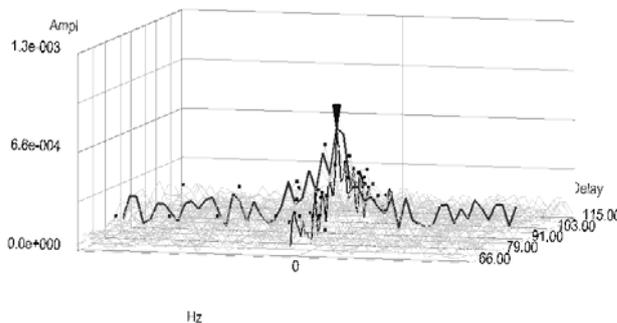


Рис. 6.

**Выводы.** По результатам, полученным в ходе проведения экспериментов по приему сигналов НКА СРНС, можно сделать следующие предварительные выводы.

- при далеко разнесенных пунктах приема помехи некоррелированы и практически не влияют на результат обработки данных;
- узкополосные помехи слабо влияют на результат корреляционной обработки данных при их приеме в двух пунктах;

– сбои позиционирования потребителей возможны при мощных помехах, вызывающих неправильную расшифровку кодового сигнала (солнечная активность, геофизические факторы, приводящие к возмущениям в ионосфере);

– промышленные помехи также могут быть причиной сбойных ситуаций.

Автор выражает благодарность сотрудникам РСДБ-лабораторий и радиоастрономических обсерваторий НИРФИ и Вентспилского международного радиоастрономического центра, проводившим все экспериментальные работы.

Работа поддержана Госконтрактом № П683 от 20 мая 2010г. на выполнение поисковых НИР по направлению «Астрономия, астрофизика и исследования космического пространства» по проблеме «Развитие и применение радиоинтерферометрических методов для исследования космических объектов и характеристик наземных антенных комплексов», номер госрегистрации 01201061443 от 10.09.2010 и грантом РФФИ № 10-02-00875.

#### Список литературы:

- [1] Дугин Н.А., Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Тихомиров Ю.В. Измерение параметров антенн по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР. //Изв. вузов «Радиофизика». 2011. Т. 54, № 3. С. 177–184.
- [2] Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. Особенности работы радиоинтерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР. XVII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» RLNC-2011. – Воронеж, НПФ «Саквоее» ООО, 12–14 апреля 2011 г., Труды т. 3, с. 1858–1869.
- [3] Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. О возможности калибровки радиоинтерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов. IV Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2011). – С.-Петербург, ИПА РАН, 10–14 октября 2011г., Тезисы докладов, С. 120.
- [4] Беликович В.В., Грач С.М., Караштин А.Н., Котик Д.С., Токарев Ю.В. Стенд «Сура»: Исследования атмосферы и космического пространства (обзор) Изв.ВУЗов. Радиофизика, 2007, 50, 545–576.

**Т.М. Заборонкова, Н.Ф. Яшина**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА АНИЗОТРОПНЫХ СТРУКТУРАХ

В статье рассмотрено отражение и преломление электромагнитных волн при нормальном падении на анизотропные плоскостойкие структуры. Получены коэффициенты отражения и преломления при продольной и поперечной по отношению к направлению падения волны ориентации оси анизотропии. Обсуждается влияние гиротропии среды на отражательные характеристики. Предлагается способ диагностики параметров анизотропных и бианизотропных сред.

В работе исследуется нормальное падение электромагнитной волны на плоский анизотропный слой ширины  $d_1$  со стенками конечной толщины  $d_2$ , расположенный в вакууме. Ось гиротропии направлена вдоль оси  $oz$ . Диэлектрическая среда внутри слоя описывается тензором диэлектрической проницаемости, ненулевые компоненты которого равны  $\epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} = \epsilon_{\perp}$ ,  $\epsilon_{zz} = \eta$ ,  $\epsilon_{xy} = -\epsilon_{yx} = -ig$ . Рассматриваются две ориентации оси: продольная и поперечная по отношению к границам слоя. Диэлектриче-