



№ _____
№ _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «Радиотехнический институт
имени академика А.Л. Минца»

А.Б. Теппер

« _____ » 2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Открытого акционерного общества «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца» (ОАО РТИ) на диссертацию Лебедева Валентина Павловича «Развитие диагностических возможностей Иркутского радара некогерентного рассеяния для решения задач контроля космических аппаратов и проведения активных космических экспериментов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - Радиофизика

Актуальность темы исследований связана с поиском путей расширения диагностических возможностей наземных радиофизических средств наблюдения за космическими объектами и использования их в качестве наблюдательных средств при постановке активных экспериментов в ближнем космосе. Эта задача решалась соискателем в направлении разработки новых методов и видов измерений для уникального комплекса наземных инструментов ИСЗФ СО РАН, центральным элементом которого является единственный в России Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР).

Известно, что радары некогерентного рассеяния являются наиболее информативным инструментом для исследования ионосферы. Привлечение этих уникальных установок к задачам контроля космического пространства является актуальной задачей и перспективным направлением в современных исследованиях ближнего космоса. Радары некогерентного рассеяния

потенциально способны получать координатную и некоординатную информацию о космических объектах (КО) одновременно, осуществляя контроль среды в которой эти объекты находятся. Такая возможность, в частности, позволяет существенно повысить точность определения эффективной площади рассеяния космических объектов за счет корректного учета фактора вращения вектора плоскости поляризации радиоволны в ионосферной плазме (эффект Фарадея). Использование радаров некогерентного рассеяния (НР) открывает новые возможности при организации активных экспериментов в ближнем космосе, в частности, радары НР могут диагностировать воздействие на ионосферную плазму химических выбросов с борта космических аппаратов, регистрировать возмущения в среде при работе бортовых двигателей и т.д. Высокий потенциал радаров НР и, применяемые на них, современные методы обработки сигналов позволяют рассчитывать на получение дополнительной координатной и некоординатной информации об объектах ближнего космоса.

Поставленные в диссертации задачи потребовали разработки новых методов обработки радиолокационной информации, учитывающих конструктивные особенности Иркутского радара НР.

Все вышесказанное подтверждает актуальность диссертационного исследования Лебедева В.П., выполненного в интересах решения важной научной задачи по исследованию возможностей повышения точности определения координатных и некоординатных характеристик космических объектов.

Сущность решаемой научной работы состоит в развитии диагностических возможностей РЛС на примере ИРНР для решения задач контроля КО и проведения активных космических экспериментов. Для достижения поставленной цели решались следующие научно-технические задачи:

1. Разработка методики и комплекса программ для калибровки диаграммы направленности антенны ИРНР.

2. Разработка модели и методики определения характеристик принятого радиолокационного сигнала с учетом особенностей антенной системы ИРНР. Проведение натурных измерений КО, определение координатных и некоординатных характеристик КО на основе разработанной модели принятого радиолокационного сигнала.

3. Разработка методик и комплекса программ для определения координатных и некоординатных характеристик наблюдаемых КО с учетом эффекта Фарадея.

4. Исследование влияния выхлопных струй бортовых двигательных установок космического аппарата на характеристики радиолокационного сигнала.

Новизна проводимых исследований состоит в том, что достигнуто существенное расширение диагностических возможностей ИРНР, что позволило на уровне точности, предъявляемом к современным РЛС метрового диапазона, получать координатную и некоординатную информацию о наблюдаемом КО и проводить исследования воздействия выхлопных струй бортовых двигательных установок на отражательные характеристики космического аппарата.

Основное содержание работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность, новизна, научная и практическая ценность работы, дается краткий обзор литературы, связанный с основными положениями диссертации, сформулированы основные результаты и защищаемые положения, кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава посвящена исследованию характеристик антенной системы радара и описанию метода измерения двумерной диаграммы направленности. Показано, что учет формы диаграммы направленности позволяет повысить точность определения координатных и некоординатных характеристик КО. В виду сложности конструкции антенной системы ИРНР, выражения для пространственного распределения поля излучения ИРНР содержат ряд параметров, теоретическое определение которых затруднительно. Для устранения имеющейся неопределенности Лебедевым В.П. был разработан оригинальный метод калибровки формы двухмерной ДН по результатам наблюдения космических радиоисточников. Для калибровки были использованы три мощных радиоисточника: Крабовидная туманность, «Кассиопея-А», «Лебедь-А», которые можно считать точечными по сравнению с размерами основного лепестка ДН. По результатам калибровочных измерений определены параметры основных мод электромагнитного поля в раскрыве рупора ИРНР, исследованы дисперсионные характеристики антенны, определяющие зависимость угла наклона ДН ИРНР от несущей частоты (уравнение сканирования). Измерена фазовая характеристика антенны, связывающая разность фаз между сигналами от каждого рупора и угол места объекта локации в радиолокационной системе координат.

Во второй главе описан метод обработки радиолокационных сигналов и определения координатных характеристик наблюдаемых КО. В основе метода определения параметров сигнала лежит процедура минимизации среднеквадратичного отклонения формы принятого сигнала от его модельного представления. Основное отличие предлагаемого соискателем метода от известных ранее заключается в том, что в модельное представление принятого сигнала кроме широко используемых в радиолокационных системах параметров (дальность, радиальная скорость, амплитуда и фаза) включен дополнительно

новый параметр, характеризующий степень искажений формы сигнала. Соискателем показано, что для радара с частотным сканированием величина таких искажений пропорциональна отклонению объекта от центра диаграммы направленности вдоль направления сканирования. Учет такого рода искажений формы вместе с прецизионной калибровкой формы ДН радара позволил автору добиться точности в определении угла на объект в азимутальной плоскости ниже 5 угловых минут. Следует отметить также, что точность определения остальных параметров сигнала при учете этих искажений тоже была повышена. В новом методе при отношении сигнал-шум более 20 Дб достигается погрешность определения дальности до КО не хуже 100 м, лучевой скорости не хуже 10 м/с. Метод позволил автоматизировать процесс регистрации и обработки сигналов от КО на Иркутском радаре ИР. В главе приведена представительная статистика всех зарегистрированных КО за несколько лет применения указанного метода.

Третья глава работы посвящена описанию методов работы с некоординатной информацией от КО, получаемой на ИРНР. Значительный объем в материалах главы составляет раздел исследования влияния эффекта Фарадея на значение измеряемой эффективной площади рассеяния (ЭПР) КО. Для радаров, работающих с одной линейной поляризацией поля это действительно является серьезной проблемой, поскольку зачастую не удается разделить вариации ЭПР, возникающие по причине изменения ракурса КО или изменения свойств его поверхности от изменения мощности отраженного от КО сигнала вследствие вращения плоскости поляризации волны в ионосферном столбе вдоль луча зрения на КО. Автор показывает, что одновременные измерения параметров ионосферной плазмы и радиолокационного сигнала от КО позволяют учесть фазу поляризационного замирания в радиолокационном уравнении и, следовательно, получить достоверную информацию об эффективной площади рассеяния (ЭПР) наблюдаемого КО. Предложенная методика была проверена при наблюдениях сферических космических аппаратов (КА), значения ЭПР сферических КО, полученные с использованием описанной методики хорошо согласуются с теоретическими оценками.

Важной задачей контроля технического состояния КА является определение его ориентации и скорости движения вокруг центра масс при помощи некоординатной информации. Возможности ИРНР в этом направлении проиллюстрированы в материалах главы на примере анализа амплитудных вариаций зарегистрированных при наблюдении японского геодезического спутника «EGP». Автор показывает, что в динамике амплитуды радиолокационного сигнала, отраженного этим объектом, хорошо видны мелкомасштабные вариации не шумового характера. Спектр этих вариаций

имеет выделенные частоты и устойчив от пролета к пролету данного КА, соотношения амплитуд на этих частотах остаются, как правило, постоянными. Для объяснения природы флуктуаций автором предложена оригинальная модель отражающих свойств поверхности спутника «EGP». Показано, что полученный спектр флуктуаций может быть с хорошей точностью описан моделью двух «блестящих» точек, разнесенных на расстояние порядка диаметра «EGP» и вращающихся вокруг центра масс. При этом из характеристик спектра динамики амплитуды сигнала, отраженного от EGP могут быть определены частота вращения и ориентация оси вращения относительно луча зрения на спутник.

Следующий важный раздел главы отражает результаты исследований, проведенных автором в рамках эксперимента по наблюдению на ИРНР работы бортовых двигателей транспортных грузовых космических кораблей (ТГК) серии «Прогресс». Активные космические эксперименты по исследованию газоплазменных образований, возникающих при работе двигательных установок (ДУ) и их влиянию на отражательные характеристики ТГК проводятся ИСЗФ СО РАН совместно с Ракетно-космической корпорацией «Энергия» им. С.П. Королева и Центральным научно-исследовательским институтом машиностроения (ЦНИИМаш). С 2007 по 2012 гг. было проведено 12 сессий КЭ «Радар-Прогресс», включающих в себя 61 наблюдение КА «Прогресс» с работающими ДУ. За это время на ИРНР использовались различные режимы наблюдений: менялась последовательность излучения и форма зондирующих сигналов, полоса приемного канала, тип приемника. Проведенное автором исследование воздействия газоплазменных образований, возникающих при работе двигателей системы коррекции движения (СКД) на отражательные характеристики ТГК «Прогресс», позволило сформулировать следующие выводы:

1. Влияние выхлопных струй практически не сказывается на координатных характеристиках, но оказывают заметное влияние на некоординатные.

2. Величина эффекта зависит от ориентации ТГК относительно направления падения электромагнитной волны. При инъекции выхлопных струй навстречу радиоизлучению ИРНР («на ИРНР»), что соответствует направлению вдоль силовых линий геомагнитного поля, эффективная площадь рассеяния ТГК уменьшается на 15...50%. При инъекции в других направлениях («на торможение», «на разгон» и «на север») вектора скорости струй ортогональны радиоизлучению ИРНР, изменение ЭПР выражено слабее и наблюдается не в каждом сеансе.

Следует отметить, что в отличие от известных в литературе исследований подобного рода, когда наземными средствами наблюдались эффекты, связанные с работой мощных ракетных двигателей с расходом сотен килограмм топлива в секунду, в описываемом эксперименте использовались относительно маломощные двигательные установки, (порядка 1 кг/сек расхода). Устойчивое наблюдение эффектов в таких условиях имеет важное значение в задачах контроля космического пространства.

В заключении обобщаются результаты исследований и формулируются основные выводы по работе.

В целом, содержание диссертации отражает сущность решаемой научной задачи. В тексте диссертации научные положения, выводы и заключения обоснованы и глубоко аргументированы.

О достоверности и обоснованности полученных результатов свидетельствует их согласованность с решениями, полученными для частных случаев обоснования характеристик и оценки технического состояния систем другими методами и другими авторами. Достоверность результатов обеспечивается также непротиворечивостью выбора исходных данных и ограничений при формулировке задачи диссертационного исследования, корректным использованием математических методов решения задачи и подтверждена результатами моделирования с использованием натурной информации о реальных объектах.

Научная и практическая значимость работы определяется ее результатами.

Научную новизну определяют следующие основные результаты, полученные лично автором:

1. Метод восстановления двумерного пространственного распределения поля диаграммы направленности может использоваться для калибровки поля излучения и приема антенн с различными принципами сканирования, в область обзора которых попадают мощные космические радиоисточники.

2. Методы учета тонких эффектов распространения различных компонент поля возбуждения в антенне ИРНР могут быть полезны при проектировании и эксплуатации антенн бегущей волны других типов.

3. Метод уточнения эффективной площади рассеяния космических объектов с учетом влияния эффекта Фарадея может использоваться на радиолокационных станциях, оснащенных антенной с линейной поляризацией.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, разработанные методы и алгоритмы, внедренные на ИРНР, позволили существенно расширить диагностические возможности РЛС, по измерению координатной и некоординатной информации наблюдаемого КО.

Новые диагностические возможности Иркутского радара некогерентного рассеяния могут быть использованы в задачах контроля космического пространства и при проведении активных экспериментов в космосе.

Все прикладные результаты изложены в виде алгоритмов, методик и прикладных программ, пригодных для получения координатной и некоординатной информации регистрируемых КО на ИРНР с точностью, требуемой для современных РЛС УКВ диапазона.

Полученные в диссертации научные и практические результаты носят обобщающий характер. Их рекомендуется в дальнейшем использовать в программно-алгоритмическом обеспечении на различных РЛС, особенно важны полученные результаты для РЛС, оснащенных антенной системой с линейной поляризацией.

Диссертация не лишена недостатков:

1. Автор использует термины «амплитуда вариаций принятого сигнала» либо «амплитуда вариаций» для обозначения степени искажения принятого сигнала. Эта неудачная терминология затрудняет понимание представленного материала.

2. Автор злоупотребляет использованием аббревиатур, что затрудняет восприятие текста и основных результатов работы.

3. В работе встречаются опечатки.

Однако, отмеченные недостатки не ставят под сомнение полученные автором научные и практические результаты.

Диссертация написана хорошим и доступным языком, в достаточной мере иллюстрирована рисунками и таблицами расчетов.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

Основные результаты ее опубликованы в печатных работах, докладывались на научно - технических конференциях, что позволяет считать апробацию работы достаточной.


Выводы.


1. Диссертация Лебедева В.П. является законченной научной работой. Результаты, полученные автором, имеют научную новизну. Достоверность результатов обусловлена использованием физически обоснованных методов, проверенным численным моделированием, а также сопоставлением данных о космических объектах с данными известных каталогов. Содержание диссертации соответствует заявленной специальности 01.04.03 - Радиофизика. Автореферат работы в полной мере отражает содержание диссертации.

2. По объему исследований, новизне результатов, их научной и практической ценности диссертационная работа «Развитие диагностических возможностей Иркутского радара некогерентного рассеяния для решения задач контроля космических аппаратов и проведения активных космических


экспериментов» является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и может быть рекомендована к защите по специальности 01.04.03 - Радиофизика, а ее автор, Лебедев Валентин Павлович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.


Отзыв составили:

Александр Георгиевич Виноградов 
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
ул. 8 Марта, г. Москва, 127083, тел. (495) 612-99-99, доб. 2373,
e-mail: vinogradov@rti-mints.ru
ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»
начальник отдела 055

Александр Нарциссович Теохаров 
кандидат физико-математических наук
ул. 8 Марта, г. Москва, 127083, тел. (495) 612-99-99, доб. 2358,
e-mail: teokharov@rti-mints.ru
ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»
начальник сектора отдела 055

**Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции № 3 НТС ОАО РТИ
(решение № 6 от 27.10.2015 г.).**

Председатель секции
Владимир Васильевич Сазонов 
доктор технических наук, профессор
ул. 8 Марта, г. Москва, 127083, тел. (495) 612-99-99, доб. 2121,
e-mail: sazonov@rti-mints.ru
ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»
ведущий научный сотрудник группы 004

Ученый секретарь
Дмитрий Иванович Буханец 
доктор технических наук
ул. 8 Марта, г. Москва, 127083, тел. (495) 612-99-99, доб. 2096,
e-mail: dbukhanets@rti-mints.ru
ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»