

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физ.-мат. наук, старшего научного сотрудника, профессора кафедры радиофизики Южного Федерального университета Вертоградова Г.Г. на диссертацию Подлесного Алексея Витальевича "Развитие диагностических возможностей ионозондов с использованием непрерывных ЛЧМ-сигналов", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 радиофизика.

В настоящее время нерегулярность и нестационарность ионосферной плазмы являются общепризнанными фактами, определяющими фундаментальные свойства ее динамики, а вместе с тем статистические, корреляционные и спектральные свойства распространяющихся через ионосферу сигналов радиоволн различных диапазонов. Эти свойства электромагнитных волн, в свою очередь, определяют основные качественные и количественные показатели работы узкополосных и широкополосных программно-аппаратных комплексов, особенно работающих в декаметровом диапазоне (ДКМВ). Между тем, несмотря на обилие публикаций, касающихся распространения ДКМВ в невозмущенных, естественно и искусственно возмущенных ионосферных условиях, однозначного мнения о статистической модели ионосферного радиоканала в настоящее время не сформировалось. В то же время основным источником информации о структуре и динамике ионосферной плазмы являются методы зондирования, реализующие различные радиофизические принципы исследования сред распространения.

До недавнего времени единственным применяемым на практике способом оптимизации параметров программно-аппаратных комплексов ДКМВ диапазона являлся натуральный эксперимент и их опытная эксплуатация на реальных радиотрассах. Низкая эффективность такого подхода применительно к декаметровому диапазону волн очевидна и объясняется исключительной изменчивостью ионосферного канала, его зависимостью от гелио- и геоциклических, суточных и сезонных вариаций ионосферы, от протяженности и ориентации трассы.

Вместе с тем, все новейшие как широкополосные, так и узкополосные программно-аппаратные комплексы ДКМВ разрабатываются либо целиком в цифровом виде, либо на основе самого широкого применения цифровой техники. Это обстоятельство позволяет в реальном времени, используя различные методы диагностики среды распространения, адаптировать связные, пеленгационные, радиолокационные и навигационные программно-аппаратные комплексы к текущим условиям,

складывающимся на трассе. Понятно, что развитие методов диагностики и прогнозирования регулярной и естественно возмущенной ионосферы является, в связи с этим, одной из актуальных радиофизических проблем, имеющей большое научное и практическое значение.

Известно, что задача определения координат источника радиоизлучения по его пеленгу и углу места в диапазоне ДКМВ имеет большое практическое значение. Основными факторами, ограничивающими точность ее решения, являются погрешности определения углов прихода и неточности задания пространственного распределения электронной концентрации в ионосфере при восстановлении лучевой траектории. Важнейшим параметром ионосферной плазмы, оказывающим определяющее влияние на лучевые характеристики сигналов, является электронная концентрация N_e . Учет ее пространственных изменений представляет значительную трудность. В настоящее время нет ни одного общепризнанного способа, который бы полностью решал проблему. Наиболее точные результаты дает зондирование. Поэтому возникает проблема проведения одновременно с угломерными измерениями в реальном масштабе времени диагностики ионосферной плазмы на основе вертикального и наклонного зондирования на нескольких радиотрассах.

Коррекция эмпирических моделей ионосферы необходима и при решении научных задач, например, вопросов, связанных с исследованием эффектов искусственного воздействия на ионосферу мощным контролируемым ДКМВ излучением. При этом приходится сталкиваться с проблемами учета рефракции при распространении диагностического и рассеянного излучения в пространственно-неоднородной ионосферной плазме.

Аналогичные проблемы возникают при решении задач загоризонтной радиолокации или полуактивной радиолокации.

Как следствие, поставленная в работе цель развития диагностических возможностей сети ЛЧМ-зондирования ионосферы для решения задач исследования ионосферных возмущений различных масштабов и откликов ионосферы на экстремальные события на Солнце, в атмосфере и литосфере Земли, а также задачи решаемые в диссертации, являются актуальными в научном плане и имеют огромное практическое значение для узкополосной и широкополосной радиосвязи, радиопеленгации, местоопределения источников радиоизлучения, навигации, полуактивной радиолокации

Учитывая сказанное, диссертация Подлесного Алексея Витальевича, посвященная созданию современного цифрового ионозонда вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом, удовлетворяющего условиям электромагнитной

совместимости передающих и приемных устройств в одном пункте, и исследованию с его помощью особенностей распространения ДКМВ в естественно возмущенных условиях ионосферы актуальна как в научном, так и прикладном аспектах.

Новизна работы также не вызывает сомнения и определяется использованием не имеющего аналогов разработанного автором диагностического средства «Ионозонда-МС», который существенно дополняет и расширяет возможности традиционных ионозондов и позволяет получить широкий набор характеристик распространения как регулярных ионосферных мод, так и сигналов, рассеянных ионосферными неоднородностями с различными пространственно-временными масштабами.

К новым результатам также относится способ получения передаточной функции ионосферного радиоканала по данным ЛЧМ-зондирования ионосферы без использования квазимонохроматического приближения.

Наконец, несомненной новизной отличаются результаты экспериментальных исследований особенностей естественно возмущенной ионосферы над Азиатской частью России на основе анализа рядов данных долговременных ежеминутных наблюдений.

Достоверность результатов исследований, приведенных в диссертации, подтверждается большим объемом экспериментальных данных, соответствующих невозмущенным и естественно возмущенным условиям распространения на трассах различной протяженности и ориентации; сравнением результатов измерений для невозмущенных ионосферных условий с данными, полученными широко распространенными комплексами зондирования ионосферы.

Научная и практическая ценность диссертационной работы Подлесного А.В. видна из краткого изложения ее содержания.

Диссертация общим объемом 103 страницы машинописного текста, включая 6 таблиц и 41 рисунок, состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 103 наименования оригинальных научных источников.

Во введении автором обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются ее цели и задачи, доказываемая научная новизна и практическая значимость, приводится апробация работы, формулируются основные результаты и положения, выносимые на защиту, дается краткое содержание работы.

Первая глава посвящена анализу недостатков существующих средств вертикального и наклонного ЛЧМ-зондирования ионосферы. Дается определение программно-определяемых радиосистем и разрабатывается архитектура программно-определяемой радиосистемы ЛЧМ-зондирования ионосферы. Приводится достаточно подробное описание разработанного нового ионозонда вертикального и наклонного зондирования ионосфере непрерывным ЛЧМ-сигналом – «Ионозонд МС». Особое

внимание уделено в главе детальному описанию цифровой части нового зонда. Приводятся достигнутые характеристики «Ионозонда МС» и результаты сравнения его работы с широко распространённым ионозондом DPS-4. Показано, что достигнуты лучшие диагностические возможности «Ионозонда МС», несмотря на то, что его мощность составляла 8 Вт, что почти на два порядка меньше мощности передатчика DPS-4.

Вторая глава диссертации посвящена оценке передаточной функции ионосферного радиоканала по данным ЛЧМ-зондирования. Приводится аналитическое обоснование возможности корректного измерения по данным ЛЧМ-зондирования передаточной характеристики ионосферного радиоканала во всем диапазоне частот. Показано, что эта операция может быть выполнена с помощью так называемого корректирующего фильтра. Фильтр компенсирует квадратичный фазовый множитель, что позволяет точно определить частоту зондирования и получить передаточную функцию той части ионосферного радиоканала, которая дает групповые задержки сигнала, ограниченные полосой пропускания корректирующего фильтра. Кроме того, использование корректирующего фильтра позволяет разработать алгоритм удаления помех из исходного сигнала, который, однако, не приводится в диссертационной работе, т.к. по словам автора «выходит за рамки данной работы». На примере ионограмм вертикального зондирования (ВЗ) показывается эффективность разработанного подхода. Качество восстановления передаточной характеристики ионосферного канала иллюстрируется на основе имитационного моделирования в квазимонохроматическом приближении.

Третья глава диссертации представляет наибольший интерес, т.к. содержит результаты экспериментальных исследований при вертикальном и слабо наклонном зондировании (СНЗ) ионосферы с помощью разработанного нового цифрового «Ионозонда МС». Исследования выполнены с помощью сети ЛЧМ-зондирования ИСЗФ СО РФ на протяжении нескольких лет. Особенно интересны результаты исследований дополнительных треков на ионограммах ВЗ и СНЗ в режиме мониторинга с одноминутным разрешением, т.к. традиционные ЛЧМ-ионозонды не в состоянии обеспечить подобный режим работы. Как следствие, автору удалось отследить динамику серпов на соседних ионограммах и объединить их в последовательности. Это позволило говорить о направлении движения серпа и о длительности его наблюдения. В результате автором построена классификация ионограмм с возмущениями пяти типов. Установлена морфология и вероятность появления ионограмм с серпами различных типов. Показано, что вероятность регистрации дополнительных треков в дневные часы суток может достигать 80-90%.

Экспериментально исследованы возмущения, вызванные экстремальными явлениями на Солнце, в магнитосфере, нейтральной атмосфере и литосфере Земли. Приводятся интересные ионограммы, отражающие реакцию ионосферы во время землетрясений в различных токах Земли.

Экспериментально подтверждена эффективность «Ионозонда МС» для диагностики магнитных бурь, во время которых на различных трассах СНЗ наряду со стандартными модами распространения наблюдались сигналы с большими задержками, которые распространялись вне дуги большого круга.

В заключении подведены итоги исследований, сформулированы основные результаты диссертации.

Решенные задачи имеют существенное значение для физики ионосферы, моделирования и прогнозирования систем связи, пеленгации, полуактивной радиолокации и навигации. В ходе решения этих задач разработан ряд фундаментальных вопросов, в частности:

- Разработан по технологии программно-определяемых систем на современной элементной базе цифровой ЛЧМ-ионозонд ВЗ и НЗ с использованием непрерывного ЛЧМ-сигнала, обеспечивающий совместимость работы передающих и приемных средств в пределах одного пункта.

- Для комплекса ЛЧМ-зондирования ионосферы разработан корректирующий фильтр обработки непрерывного ЛЧМ-сигнала, позволяющий корректно выполнять оценку передаточной функции ДКМ радиоканала во всем диапазоне частот зондирования, осуществлять детектирование помех и удалять их практически без искажений полезного сигнала.

- Получены результаты диагностики воздействия различных экстремальных явлений на ионосферу в обширной Азиатской части России.

Хотя автором проделан большой объем исследований, диссертация не свободна от недостатков. По материалам диссертации можно сделать следующие замечания, не умаляющие общей ценности диссертационной работы:

1. Понятие «программно-определяемая радиосистема» используется в автореферате без каких-либо пояснений. В диссертации это понятие используется с первых страниц текста, а смысл этого понятия приводится только на 23 странице. В то же время сам автор утверждает, что «определения программно-определяемых радиосистем достаточно противоречивы». Следовало бы продумать форматирование текста работы так, чтобы используемые понятия определялись при первом появлении. В противном случае возникают трудности в понимании работы.

2. Таблица 1.1 содержит характеристики приемника ЛЧМ-сигналов. Указан диапазон частот 1-170 МГц (стр.31). В то же время на стр.33 диссертации сказано, что основная компонента модуля (цифровой части приемника) – высокочастотный АЦП (16 бит 100 МГц). Не находятся ли приведенные характеристики в противоречии друг с другом? Согласно рис.1.8 входной сигнал после ПФ оцифровывается АЦП с максимальной тактовой частотой 100 МГц. Как тогда диапазон частот ЛЧМ-приемника может составлять 1-170 МГц?

3. На мой взгляд в главе 1 слишком большой объем посвящен описанию цифровой части ЛЧМ-приемника тем более, что он построен на стандартной микросхеме. Не очень понятно, для чего автор описывает особенности фильтрации СИС фильтрами, детально приводит описание процедур децимации и фильтрации с помощью корректирующих КИХ-фильтров. Это все хорошо известные особенности в аппаратной реализации процессов цифровой обработки сигналов реального времени. Они в деталях описаны в литературе, например, даже на сайте <http://www.dsplib.ru>. Можно было бы ограничиться полученными коэффициентами и характеристиками фильтров, т.е. таблицами 1.4, 1.5 и рис.1.13.

4. На стр. 45 диссертации сказано, что управление осуществляется персональным компьютером через параллельный LPT-порт. Почему принято такое экзотическое решение для современного программно-аппаратного комплекса? LPT-порт отсутствует у всех современных персональных компьютеров. Требуется установка дополнительного контроллера. Все современные устройства уже много лет управляются по USB или Ethernet. Решение управлять устройствами по LPT-порту обычно выбиралось 15-20 лет назад? Т.е. это решение не может быть признано, как современное.

5. В диссертации на стр.63 сказано, что «описание алгоритмов удаления помехи из исходного сигнала выходит за рамки данной работы». В этом случае нужно указать хотя бы ссылку на работу, в которой этот алгоритм приведен или обоснован. В противном случае вывод №4 в заключении нельзя признать достаточно обоснованным.

6. На рис.3.14 и 3.15 приведены некоторые отдельные ионограммы НЗ на трассах Магадан-Торы и Норильск-Торы. Здесь, как мне кажется, следовало бы привести для каждой из трасс серии последовательных ионограмм, которые бы иллюстрировали динамику появляющихся естественных возмущений в ионосфере. Только в этом случае можно доказать преимущества зондирования с интервалом в 1 минуту, поскольку зарегистрировать отдельные ионограммы со следами возмущений можно и с шагом по времени 5 или 15 минут.

7. На стр. 87 сказано, что «проведенный анализ экспериментальных данных, полученных на станциях ВЗ и сети трасс, на основе математического моделирования

позволил получить ...». При этом не сказано, о каком моделировании идет речь, и тем более нет результатов моделирования, и нет даже ссылок на работы, в которых, возможно, это моделирование изложено!

Диссертация хорошо оформлена.

Все основные результаты и выводы диссертации опубликованы в отечественной и зарубежной научной печати, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования материалов диссертационных работ, представлены на всероссийских и международных конференциях, некоторые результаты защищены патентом.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Заключая отзыв, можно констатировать, что решена важная научная и практическая задача развития радиофизических методов диагностики ионосферной плазмы на основе использования непрерывного ЛЧМ-сигнала. Тема диссертации полностью соответствует паспорту научной специальности 01.04.03 – радиофизика.

Все сказанное дает полное основание считать, что по актуальности, объему исследований и значимости результатов диссертационная работа Подлесного А.В. удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям (пункты 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней») на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика, а Подлесный Алексей Витальевич заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

344090, г.Ростов-на-Дону, ул.Зорге, д.5,

физический факультет Южного федерального университета;

тел./факс: (863)2-97-51-20;

E-mail:vertogradovgg@gmail.com, ggvetrogradov@sfedu.ru;

профессор кафедры радиофизики физического факультета

Государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Южный федеральный университет;

доктор физико-математических наук, специальность 01.04.03 – радиофизика

ученое звание: старший научный сотрудник по специальности «Радиофизика»

Вертоградов Геннадий Георгиевич

1 октября 2018 г.

