

которых возможно как визуальное наблюдение, так и фотоэлектрический прием лазерных сигналов.

Рассмотрены системы, реализующие эти принципы и позволяющие упростить навигационное ориентирование подвижных объектов, увеличить надежность их наведения, обеспечить безопасность навигации при ухудшенных погодных условиях.

Впервые решена задача построения навигационной системы на основе двух лазерных маяков, позволяющей осуществить движение подвижных

объектов по криволинейным траекториям заданной формы.

Предложены и обоснованы методы расчета мест размещения маяков и законов сканирования их лучей, обеспечивающих движение подвижных объектов по траекториям произвольной криволинейности. Проведена компьютерная апробация расчёта мест размещения маяков на конкретном участке (г. Санкт-Петербург) криволинейной траектории наведения подвижных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства. – М.: Транспорт, 1993. – 120 с.
2. Зуев В.Е., Фадеев В.Я. Лазерные навигационные устройства. – М.: Радио и связь, 1987. – 168 с.
3. Таратынов В.П. Судовождение в стесненных районах. – М.: Транспорт, 1980. – 128 с.
4. Афанасьев В.М., Баскин А.С. Лазерные створные маяки // Судовождение и связь. – 1977. – Вып. 7(102). – С. 3–10.
5. Олихов И.М., Косовский Л.Я. Мобильная лазерная трехцветная навигационная система // Электроника. Наука. Техника. Бизнес. – 1999. – № 3. – С. 25–27.
6. Слободян С.М., Цупин А.А. Лазерные навигационные системы автономных транспортных средств // Зарубежная радиоэлектроника. – 1988. – № 6. – С. 13–20.
7. Слободян М.С., Слободян С.М., Цупин А.А. Лазерный створ системы автоматического наведения // Электромеханические преобразователи энергии: Матер. Междунар. научно-техн. конф. – г. Томск, 17–19 октября 2007. – Томск: ТПУ, 2007. – С. 303–304.
8. Слободян М.С., Цупин А.А., Слободян С.М. Широкоформатный лазерный створ // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 2. – С. 34–39.
9. Ефимов Н.В. Краткий курс аналитической геометрии. – М.: Издательская группа URSS, 2009. – 232 с.

Поступила 01.02.2009 г.

УДК 550.388.2:621.371.25

### ЭФФЕКТЫ НА ГРАНИЦЕ МЕРТВОЙ ЗОНЫ ПРИ РАЗНЕСЕННОМ ПРИЕМЕ ВЧ СИГНАЛОВ

И.И. Иванов, Г.И. Кулешов, Н.А. Коледин, А.Н. Коринный, В.М. Новиков

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Ростов-на-Дону  
E-mail: nvm45@mail.ru

*Сообщается о результатах экспериментов по обнаружению фокусировки на границе мертвой зоны и диагностике перемещающихся ионосферных возмущений при одновременной регистрации вариаций уровней сигналов станции РВМ на частоте 9996 кГц, принимаемых в гг. Шахты и Ростов-на-Дону.*

#### Ключевые слова:

*Ионосферные возмущения, прохождение и распространение радиоволн, мертвая зона, зона тени, уровень сигналов.*

#### Key words:

*Ionospheric disturbance, passing and distribution of radio waves, dead space, blind zone, signal level.*

В настоящее время в ВЧ диапазоне спектра электромагнитных волн работают большое количество радиотехнических систем. Для обеспечения их качественного функционирования требуется оперативное определение характеристик среды распространения излучения. Во многих случаях применяются прогнозирование на основе ионосферных моделей, описывающих усредненное распределение и регулярные изменения электронной плотности. Модельные расчеты показывают наличие фокусировки ВЧ сигналов на границе мертвой зоны (ГМЗ) с увеличением уровней на 6 дБ. В ре-

альных условиях вариации уровней сигнала и углов прихода связаны с ионосферными неоднородностями и перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИВ), для которых широкомасштабная регулярная диагностика не проводится по причине технической сложности, а методы оперативного прогнозирования свойств среды распространения излучения отсутствуют.

Прохождение границы мертвой зоны происходит в часы суток восхода и захода Солнца и совпадает со временем существования интенсивных перемещающихся ионосферных возмущений в ио-

носфере, влияние которых рассматриваем, как локальные искривления отражающих поверхностей, вызывающих фокусировку и дефокусировку радиосигналов. При значительных вариациях электронной плотности изменяется внутримодовая лучевая структура, обусловленная появлением фактора многолучевого распространения. Пример модельного расчета флуктуаций уровней отраженных сигналов, доплеровских сдвигов частоты и углов прихода для вертикального зондирования на частоте 10 МГц показан на рис. 1; аналогичные эффекты происходят и при наклонном распространении [1].

Излучение ВЧ радиосигналов реперных источников успешно применяется для ионосферной диагностики уже на протяжении многих лет [2, 3]. В настоящей работе проведены исследования фокусировки на границе мертвой зоны и возможности диагностики перемещающихся ионосферных возмущений при одновременной регистрации вариаций уровней ВЧ сигналов, принимаемых в двух разнесенных пунктах. Используется традицион-

ный метод наклонного зондирования (НЗ) с регистрацией относительных изменений амплитуды сигналов, излучаемых радиостанциями точного времени [3]. Состав аппаратуры, характеристики трасс и методики обработки сигналов описаны в [4]. Расстояние между приемными пунктами 68,4 км, частота сигнала 9996 кГц (станция РВМ, Москва). Одновременная регистрация амплитуды ВЧ поля станции РВМ в пунктах Шахты и Ростов проводилась с мая по сентябрь 2005 г. на протяжении примерно 150 суток, измерения в п. Ростов проводятся непрерывно по настоящее время.

Совместные измерения проведены при минимальной солнечной активности в летний период, т. е. в условиях низких критических частот и высокой вероятности появления спорадического слоя  $E_s$ .

Экспериментальные данные позволяют установить как прохождение границы мертвой зоны в результате регулярных суточных вариаций электронной плотности, так и появление локальных во времени изменений уровней сигналов под действием

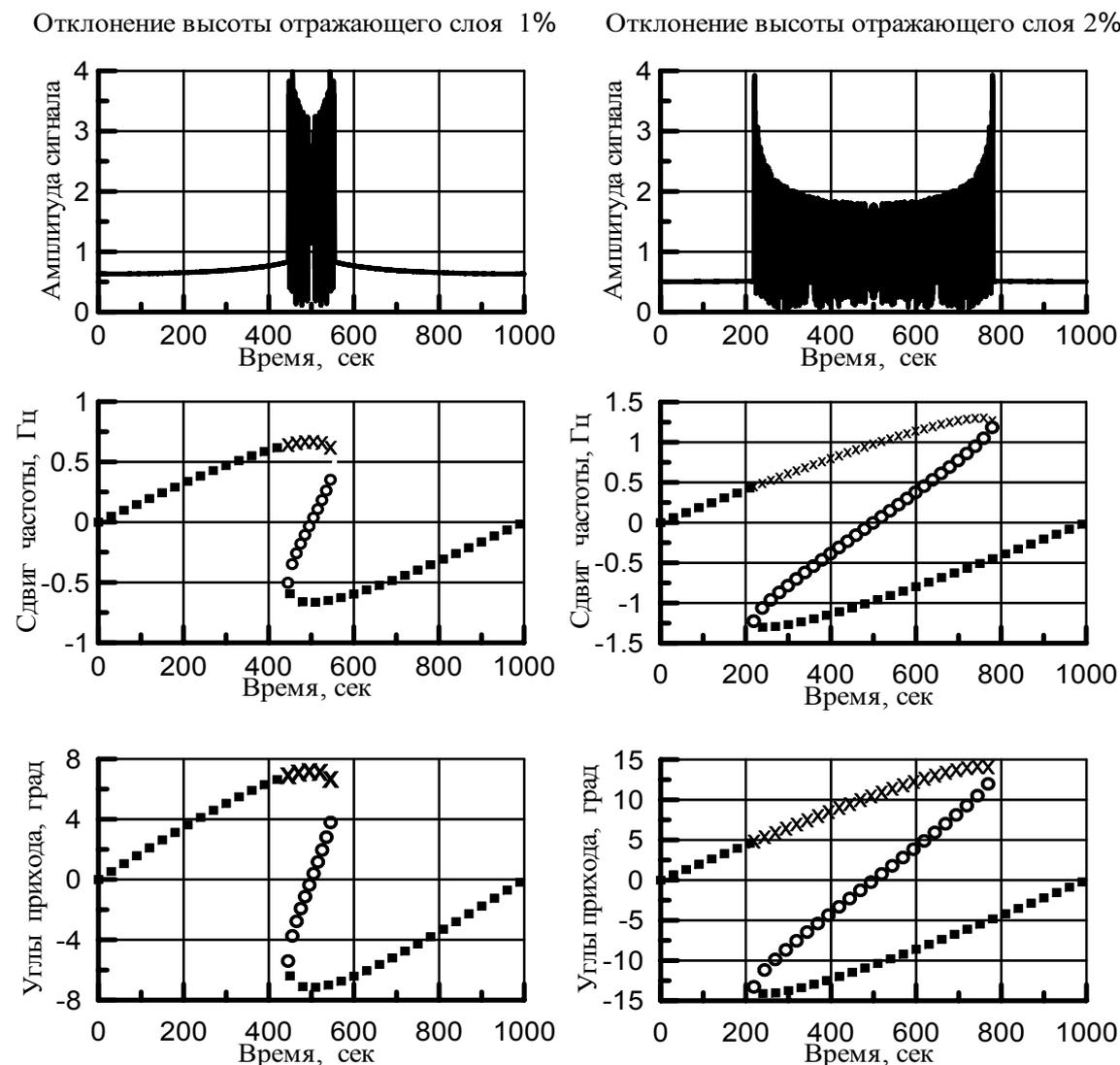
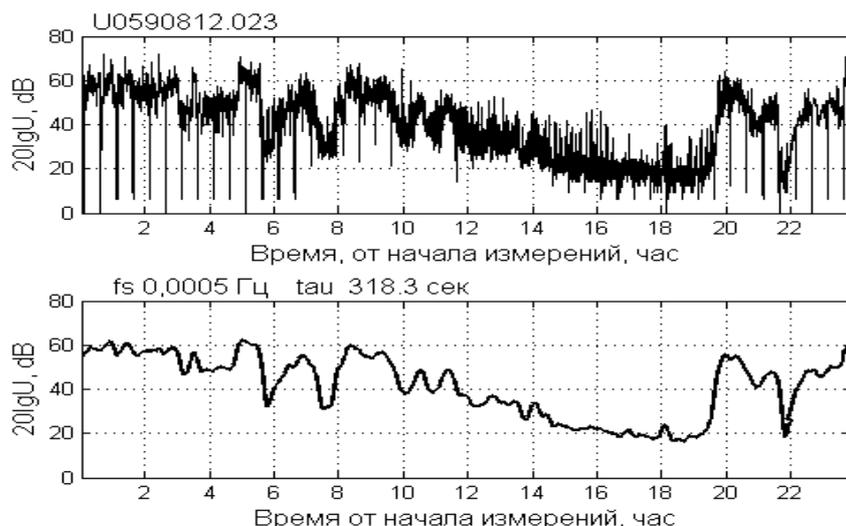


Рис. 1. Изменение характеристик отраженных сигналов под влиянием ПИВ



**Рис. 2.** Суточный ход уровня сигнала в п. Ростов (08-09.09.2005) после первичной обработки и низкочастотной фильтрации. Начало измерений: 12 ч 2 мин МДВ

перемещающихся ионосферных возмущений. Пример вариаций уровня сигналов показан на рис. 2.

Нижний график профильтрованной последовательности по флуктуациям уровня позволяет обнаружить наличие волноподобных движений с квазипериодом порядка одного часа в заходные часы и более крупномасштабные образования в восходное время.

На рис. 3 в п. Ростов отслеживается фокусировка на границе мертвой зоны по Х- и О-волне, а также размывание эффекта фокусировки из-за влияния ионосферных неоднородностей. В п. Шахты эффект фокусировки менее выражен. В обоих пунктах присутствуют сигналы до прохождения границы мертвой зоны. Вблизи границы мертвой зоны в зоне тени во многих случаях наблюдаются быстро флуктуирующие сигналы, существенно превышающие уровень шумов, которые можно объяснить рассеянием на мелкомасштабных неоднородностях.

На рис. 4 показан пример двойного прохождения границы мертвой зоны в п. Ростов («возвратная» фокусировка согласно [2]) в вечернее время, вызванного движением крупномасштабной неоднородности в области отражения. Скорость прохождения границы мертвой зоны, оцениваемая по разнице появления Х- и О-волны, оценивается как 0,65 МГц за 120 с, что существенно превышает регулярные суточные изменения. «Возвратная» фокусировка в ряде случаев может быть отождествлена с магнитными возмущениями. График на рис. 4 соответствует началу магнитной бури с резким увеличением вертикальной составляющей геомагнитного поля от фонового уровня до 400 нТл на ст. Москва. В предположении, что в связи с магнитным возмущением на границе полярного овала возникают перемещающиеся ионосферные возмущения типа солитона и распространяются к экватору, их скорость оценивается величиной 500 м/с.

В пространственно-разнесенных точках наблюдаются подобные изменения сигнала, однако, степень подобия невелика. Коэффициенты корреляции более 0,5 достигаются при усреднении за сотни секунд, статистически надежные оценки – при обработке записей длиной в несколько часов. Положение максимума взаимной корреляционной функции имеет размах в пределах плюс-минус десять минут и более. Среднее время запаздывания прохождения границы мертвой зоны на восходе в п. Шахты относительно п. Ростов составило 259 с, среднее время опережения на заходе – 492 с, что при расстоянии между точками наблюдения 50 км соответствует скорости прохождения границы мертвой зоны 193 и 102 м/с. Реально наблюдаемые структуры поля далеки от идеальных и могут существенно изменяться на относительно малых расстояниях порядка 50 км. Близкая к идеальной структура поля на границе мертвой зоны практически наблюдается не более, чем в 3,5 % случаев от общего количества наблюдений. Длительность граничного максимума составляет  $40,7 \pm 27,2$  с, отношение максимальной амплитуды к установившемуся значению сигнала имеет значение  $2,9 \pm 0,8$ . В 50 % случаев регистрируются изменения уровней сигналов с квазипериодом примерно 1 ч; в 10 % – относящиеся к вечерним часам возмущения с квазипериодом до 2 ч. Изменения уровней сигналов, интерпретируемые как уединенные волны типа солитонов, зарегистрированы в 2 % времени наблюдений.

#### Выводы

1. Близкие к идеализированным интерференционные картины при прохождении границы мертвой зоны, создаваемые регулярными суточными вариациями электронной плотности при движении терминатора, практически встречаются не более, чем в 3,5 % случаев.

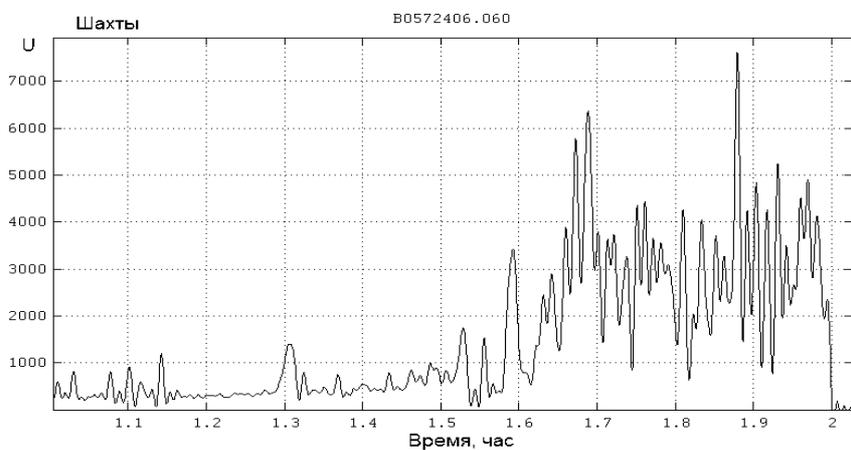
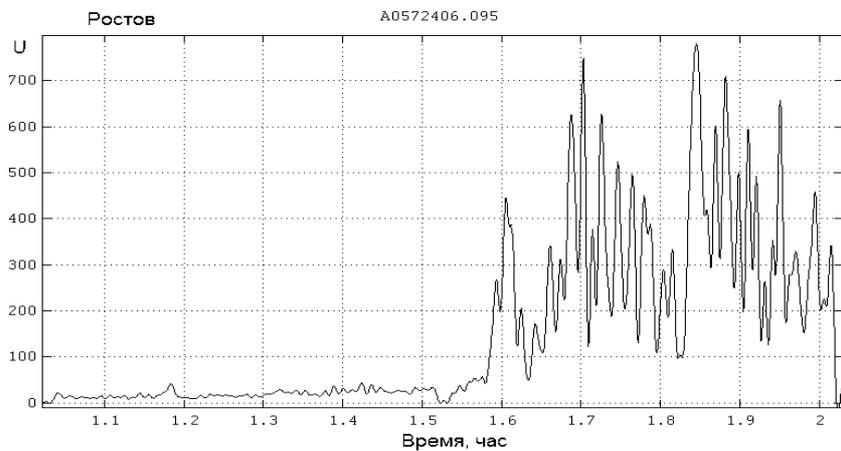


Рис. 3. Результаты одновременных измерений относительных уровней сигналов в п. Ростов – время начала 6 ч 9 м МДВ и п. Шахты – 6 ч 6 м МДВ, 24.07.2005 г.

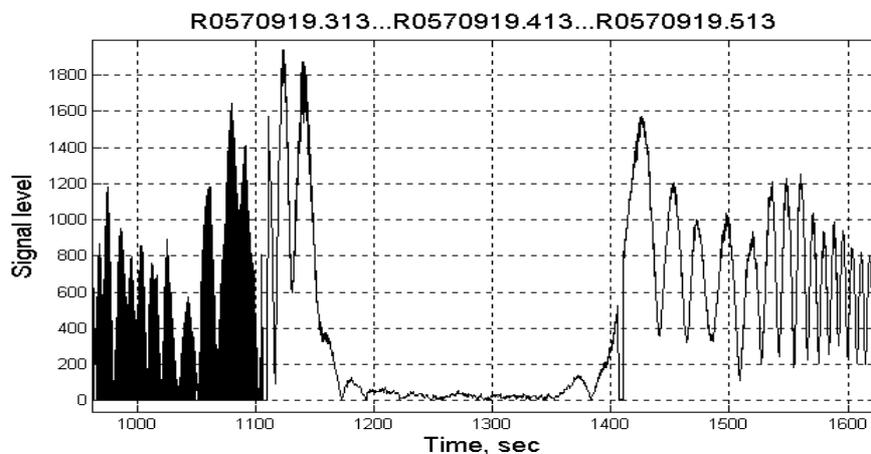


Рис. 4. Двойное прохождение границы мертвой зоны. Начальное время 19 ч 31 мин МДВ

2. В зоне тени вблизи границы мертвой зоны наблюдаются быстро флуктуирующие сигналы, происхождение которых предположительно вызвано рассеянием на мелкомасштабных естественных неоднородностях.
3. «Возвратная» фокусировка сигналов в ряде случаев отождествляется с началом магнитной бури и может объясняться распространением перемещающихся ионосферных возмущений, возникающих в полярной зоне.
4. Повышение информативности наблюдений возможно при одновременном использовании нескольких трасс и набора частот. Пространственный разнос пунктов приема для получения высокой степени подобия вариаций уровней радиосигналов не должен превышать единиц километров. Детальная диагностика ионосферных неоднородностей предполагает применение разделения лучей и измерения их углов прихода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афраймович Э.Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
2. Нагорский П.М., Тарашук Ю.Е., Цыбиков Б.Б. «Возвратная» фокусировка КВ сигнала как индикатор среднемасштабных возмущений // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2001. – Т. 41. – № 6. – С. 841–845.
3. Миркотан С.Ф., Бочков Ю.В. Аппаратура для одновременных трехточечных наблюдений за флуктуациями поля и амплитуды ионосферного сигнала // Ионосферные исследования. – 1968. – № 15. – С. 125–136.
4. Денисенко П.Ф., Иванов И.И., Кулешов Г.И., Новиков В.М., Окорочков А.И. Мониторинг перемещающихся ионосферных возмущений методом наклонного зондирования при разнесенном приеме на фиксированных частотах // Излучение и рассеяние электромагнитных волн (ИРЭМВ-2007): Труды Междунар. научной конф. – Т. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – С. 75–79.

Поступила 06.08.2009 г.

УДК 537.531.3

## ОБРАТНОЕ ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ В ОБЛАСТИ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА КАК ВОЗМОЖНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ

С.Ю. Гоголев, Л.Г. Сухих, А.П. Потылицын

Томский политехнический университет

E-mail: sergei.gogolev@mail.ru

*Рассматривается возможность использования обратного переходного излучения в вакуумном ультрафиолете для диагностики пучков заряженных частиц с микронными и субмикронными размерами. С использованием двух моделей проведено моделирование генерации обратного переходного излучения от молибденовой мишени. Показано, что обе модели хорошо согласуются. Выход излучения в вакуумном ультрафиолетовом диапазоне является достаточным для его использования как инструмента для диагностики пучков.*

#### Ключевые слова:

*Обратное переходное излучение, область вакуумного ультрафиолета, диагностика пучков.*

#### Key words:

*Return transient radiation, vacuum ultraviolet area, beam diagnostics.*

#### Введение

Переходное излучение (ПИ) возникает при движении заряженной частицы в среде с пространственно-неоднородными оптическими свойствами, в частности при пересечении частицей границы двух сред, которые имеют различные макроскопические свойства (диэлектрическую и магнитную проницаемость). Спектр ПИ простирается от миллиметрового-диапазона до рентгеновских длин волн.

На сегодняшний день обратное ПИ в оптической области, испускаемое в направлении зеркального отражения от мишени, широко используется в современных ускорителях для мониторинга попереч-

ного профиля пучка. Использование обратного ПИ в оптической области спектра имеет некоторые принципиальные физические ограничения, которые не позволяют применять его на современных низкочастотных ускорителях, где поперечный размер пучка может достичь субмикронных размеров.

Пространственное разрешение системы, основанной на оптическом ПИ, пропорционально длине волны  $\lambda$  детектирующего излучения. Наилучшее разрешение монитора обратного ПИ для оптических длин волн получено в эксперименте [1] и достигает величины  $\sigma=2$  мкм. Такое разрешение не позволяет измерять профиль субмикронного пучка