

Е.Ю. Зыков к.ф.-м.н.;
 А.Д. Акчурин к.ф.-м.н, доцент;
 Казанский федеральный университет
 Казань
 E-mail: Evgeniy.Zykov@kpfu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СЛОЯ F НА ИОНОГРАММАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОЗОНДА «ЦИКЛОН»

В данной работе описываются результаты исследования отражений от ионосферных слоев на ионограммах вертикального зондирования ионозонда «Циклон» с повышенным частотным разрешением.

Были выявлены зависимости изменения отраженного импульса вблизи критических частот F-слоя и исследованы их параметры.

Описание эксперимента и обсуждение полученных данных

Обобщенная блок-схема ионозонда показана на рис 1.

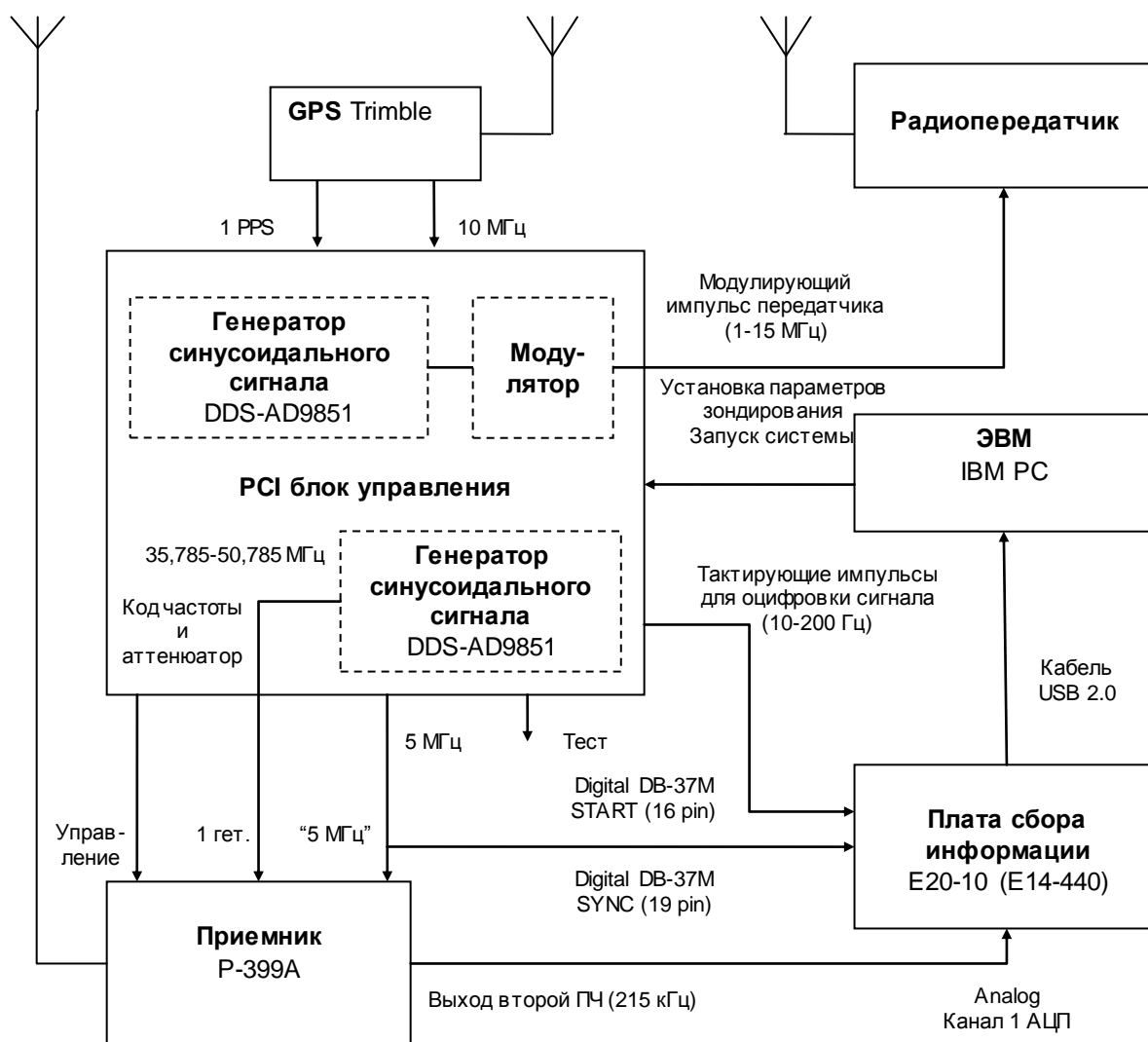


Рис. 1. Структурная схема ионозонда «Циклон-GPS»

Ионозонд «Циклон-GPS» (модернизации 2010 г.) имеет следующие характеристики:

- диапазон рабочих частот – 1–32 МГц,
- длительность импульса, программируемая – 10–800 мкс,
- мощность передатчика в импульсе – 3–13 кВт,
- частота следования импульсов – 1–200 Гц,
- шаг перестройки частоты программируемый – от 1 кГц,
- количество высотных отсчетов – произвольное,
- дискретность отсчета высоты – 0,8 км, 2,5 км,
- количество частот зондирования – произвольное,
- полоса пропускания приемного устройства – 40 кГц,
- разрядность оцифровки по амплитуде – 14 разрядов АЦП,
- тип используемой антенны – две скрещенные «Дельты»,
- синхронизация шкал времени – GPS-приемник,
- автоматическая обработка сигналов ионосферного зондирования,
- оперативное представление данных в интернет,
- архивация данных и их последующий анализ.

не только типовой режим регистрации ионограмм, но и зондирование последовательностью когерентных импульсов на фиксированных частотах, необходимых для исследования динамики ионосферных слоев.

На радиополигоне Казанского федерального университета были произведены эксперименты по регистрации тонкой структуры критических частот слоя F с повышенным частотным разрешением. Для этого аппаратура ионосферного комплекса «Циклон-GPS» [1] была переведена в минутный режим работы регистрации ионограмм. Шаг по частоте между соседними частотными реализациями составлял $\Delta f=1$ кГц. Усиление РПУ Р-399А («Катран») было выставлено максимально возможным, для возможности наблюдать отражение от слоя F на максимально возможных частотах. Полученные в ходе эксперимента данные на начальном этапе очищались от шумов в автоматическом режиме доработанным штатным программным обеспечением комплекса для их дальнейшей обработки.

Хорошо заметно, что на высотах ~ 300 км наблюдается четкое отражение от X -компоненты слоя F , что позволяет использовать форму и амплитуду отраженного этой компоненты импульса, как эталонную, при исследованиях отражения импульса вблизи критической частоты O -компоненты этого же слоя.

Использование формы излученного импульса, как эталонного, непосредственно невозможно из-за насыщения входных каскадов приемника, ввиду близости последнего к передатчику.

При визуальном исследовании очищенных ионограмм с повышенным частотным разрешением, содержащих отражения как и O , так и X компоненты слоя F , выяснилось что вблизи критической частоты наблюдается не только значительное уширение следа, но тонкая неоднородная структура. Пример подобной ионограммы, содержащую только максимумы отраженного сигнала, приведен на рис. 2, а изменение фазы сигнала – на рис. 3.

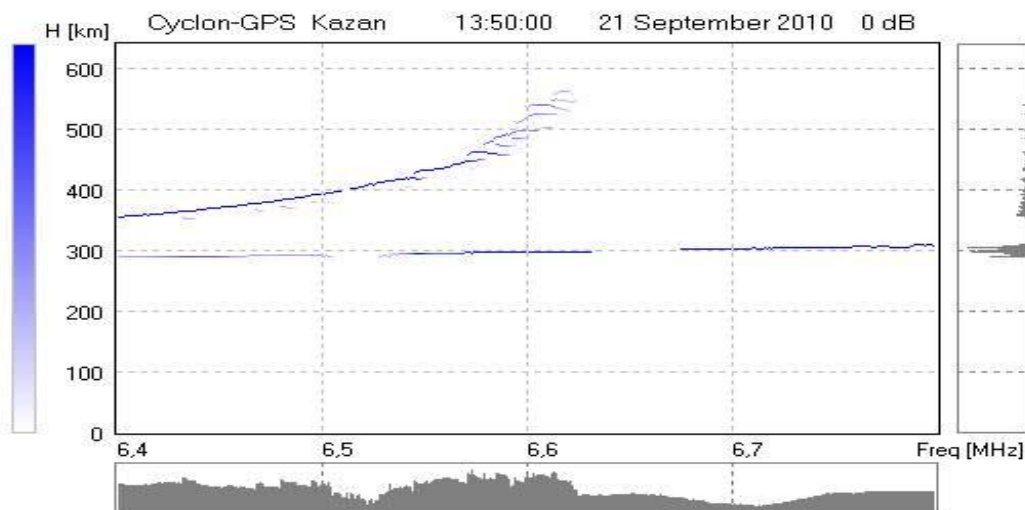


Рис 2. Распределение максимумов отраженного сигнала.

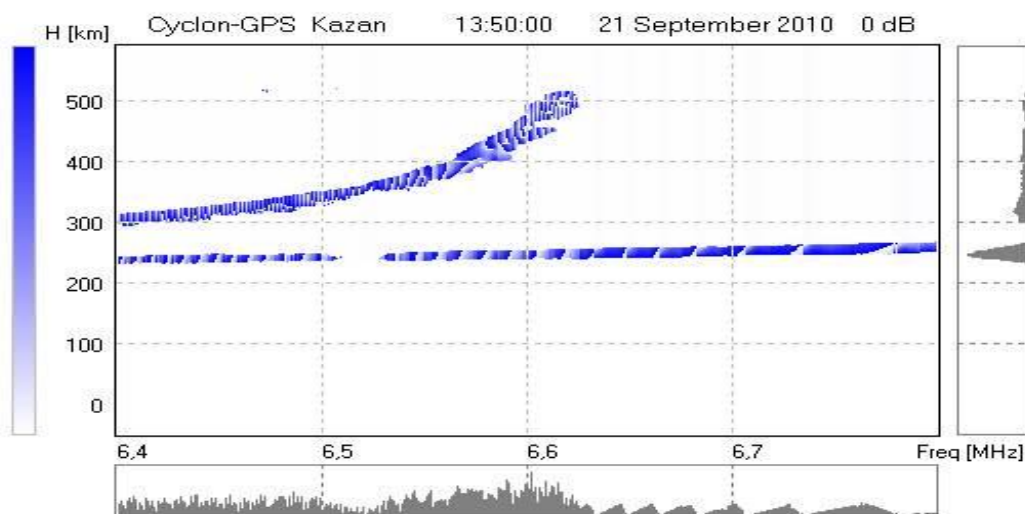


Рис. 3. Та же ионограмма, показано распределение фаз.

Все это свидетельствует о том, что тонкая неоднородная структура присутствует лишь вблизи высот с максимальной плазменной частотой.

Хорошо видно, что отраженный импульс на некоторых частотах претерпевает значительные изменения, как по амплитуде, так и по форме, что делает его непригодным для сравнения с импульсом, отраженным на от X -компоненты. Заметно также, что в некоторых случаях отраженный импульс распадается на цуг более мелких импульсов, следующих друг за другом.

Главной целью нашего исследования было исследование размытие зондирующего импульса в диспергирующей среде, не содержащей мелкомасштабных неоднородностей. Исследования таких неоднородностей задача следующего исследования, поэтому для исследования изменения формы импульса отбирались только те реализации, на которых отраженный от O -компоненты импульс имел один, и только один ярко выраженный максимум.

Хорошо наблюдается также, что при приближении Δf к критической частоте слоя F , амплитуда отраженного импульса постоянно уменьшается от частоте к частоте, а его ширина (абсолютная и/или относительная), наоборот, возрастают. Исследовалось количество появления подобных “уширенных” импульсов. Вблизи критических частот, вероятность появления уширенного импульса значительна и может достигать 90% и более. На частотах же, отстоящих от критической частоты вниз на 300 и более кГц эффект практически перестает наблюдаться.

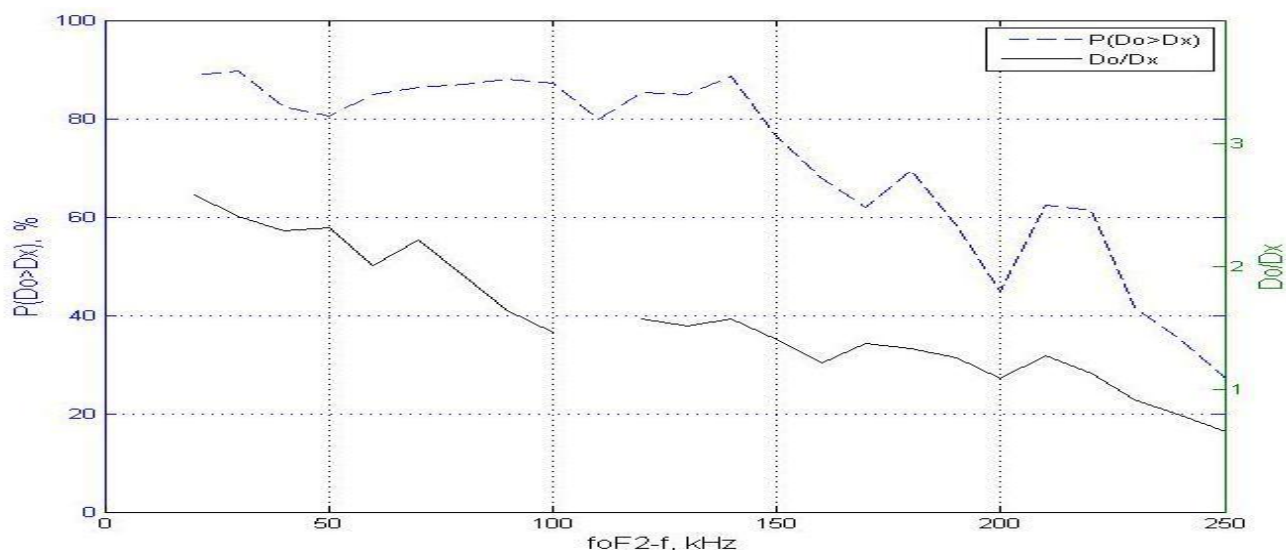


Рис. 4. Вероятность появления того, что длительность D_o отраженного импульса о-компоненты превышает длительность D_x импульса X-компоненты $P(D_o > D_x)$ в зависимости от удаления $\Delta f = (foF2 - f)$ от критической частоты слоя F . Относительная степень такого уширения относительно D_o/D_x также в зависимости от удаления $\Delta f = (foF2 - f)$ от критической частоты слоя F .

При рассмотрении величины уширения, оказалось, что относительное уширение импульса может составлять 2-3 раза, линейно уменьшаясь с уменьшением частоты измерения от критической и перестает наблюдаться примерно на тех же частотах, на которых вероятность появления уширенного импульса становится относительно мала которых вероятность появления уширенного импульса становится относительно мала, что и демонстрирует Рис.4.

Заключение

В результате проведенного эксперимента можно сделать выводы, что:

- Вблизи критической частоты отраженный импульс претерпевает наибольшие изменения, может менять форму, распадаться на ряд отдельных импульсов, его амплитуда может значительно уменьшаться. Все это значительно затрудняет анализ отраженного импульса вблизи критических частот слоя F .

- Вблизи критических частот слоя F также в подавляющем большинстве случаев (~90%) наблюдается уширение отраженного от слоя импульса. Частотная область уширения импульса обычно невелика и не превышает 300 кГц относительно критической частоты.

- Относительное уширение импульса на таких частотах составляет примерно 2-3 раза, увеличиваясь при приближении к критической частоте слоя F .

Работа нуждается в дальнейшем продолжении проведения экспериментальных измерений с повышенным частотным разрешением для получения длинных рядов данных и проведения статистических исследований.

Список литературы

1. Зыков Е.Ю., Шерстюков О.Н., Акчурин А.Д. Программно-аппаратный комплекс вертикального зондирования ионосферы “Циклон-М” // Труды Международной научной конференции “Излучение и рассеяние электромагнитных волн” ИРЭМВ-2005. Таганрог. 20-25 июня 2005. С.428-430.

2. Е.Ю.Зыков, А.Д.Акчурин, А.Л.Сапаев, О.Н.Шерстюков, “Автоматическая интерпретация ионограмм вертикального зондирования”, Физико-математические науки, Учёные записки Казан. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 150, № 3, Изд-во Казанского ун-та, Казань, 2008, 36–45