

АНО ВО Российский Новый Университет

**Влияние перемещающихся
ионосферных возмущений на
характеристики радиосигнала**

Е. В. Михалёва, А. С. Крюковский, Д. С. Лукин, Д. В. Растягаев

Введение

- В работе выполнено математическое моделирование доплеровского изменения частоты, вызванного перемещающимся ионосферным возмущением (ПИВ).
- Настоящее исследование является продолжением экспериментальных и теоретических работ, проводимых с 1968 года на кафедре «Физико-математических проблем волновых процессов» МФТИ, а также в РосНОУ. Наличие ПИВ характерно для динамики ионосферы и особенно актуально для восточносибирского региона РФ.
- Особое внимание в работе уделено зависимости доплеровского смещения частоты Δf , а также запаздывания прихода сигнала t и углов выхода лучей α от несущей частоты радиосигнала f с учетом поляризации радиоволны, распространяющейся в ионосфере в присутствии магнитного поля Земли.

Постановка задачи

- Предполагается, что источник излучения находится в начале координат, а приёмник – на расстоянии 100 км.
- ПИВ движется от приёмника к источнику со скоростью 200 м/с на высоте 200 км. При этом центр неоднородности оказывается посередине трассы, если $x_d = 50$ км.
- Экспоненциальная неоднородность (ПИВ) имеет характерные размеры вдоль трассы 40 км, а поперек трассы – 10 км, однако из-за экспоненциального спада её влияние, как показывают вычисления, значительно больше.
- Модель электронной концентрации ионосферы содержит три слоя: слой E на высоте 108 км, слой F1 на высоте 196 км и слой F2 на высоте 263 км.
- Вектор напряжённости магнитного поля лежит в плоскости выхода луча, направленного на приёмник.
- Численные расчеты выполнялись методом бихарактеристик, построенной на основе работ Д.С. Лукина

Численные результаты

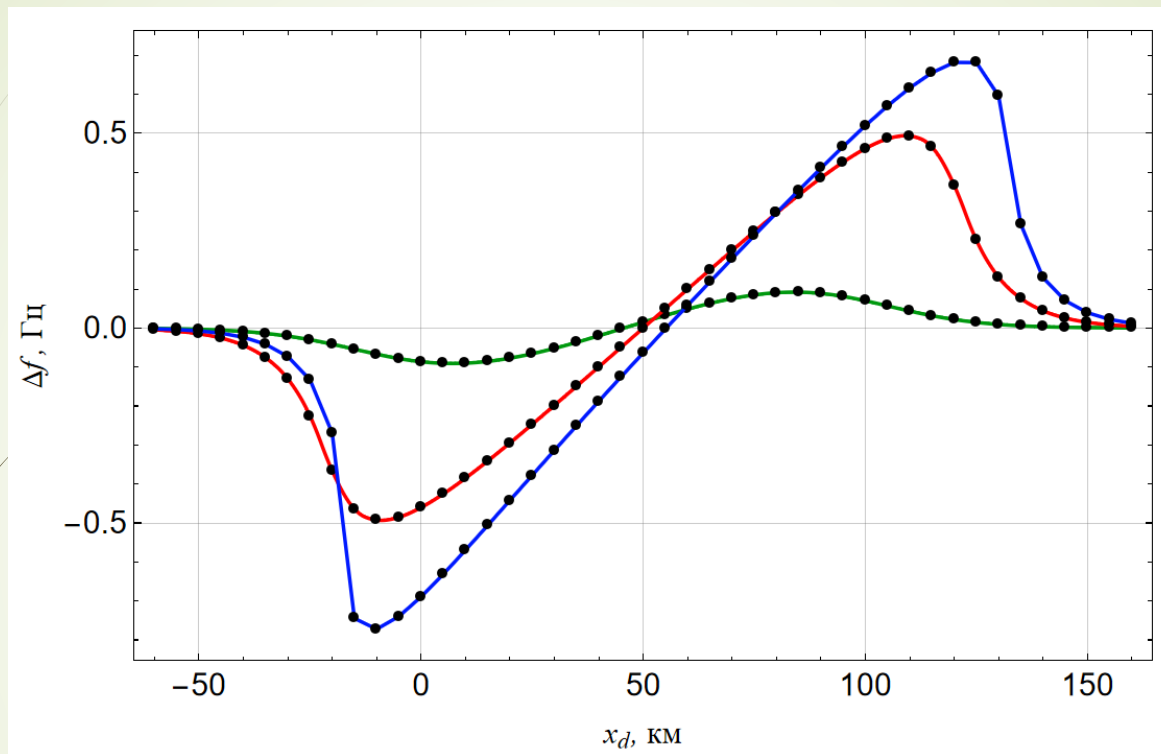


Рис. 1. Зависимость доплеровского смещения частоты Δf от положения центра ПИВ x_d , $f=6$ МГц.

Синей линией приведены результаты, полученные для обыкновенной волны (о-волны), зелёной линией – для необыкновенной (х-волны), а красной линией показан изотропный случай, то есть результаты вычислений без учёта магнитного поля Земли.

Численные результаты

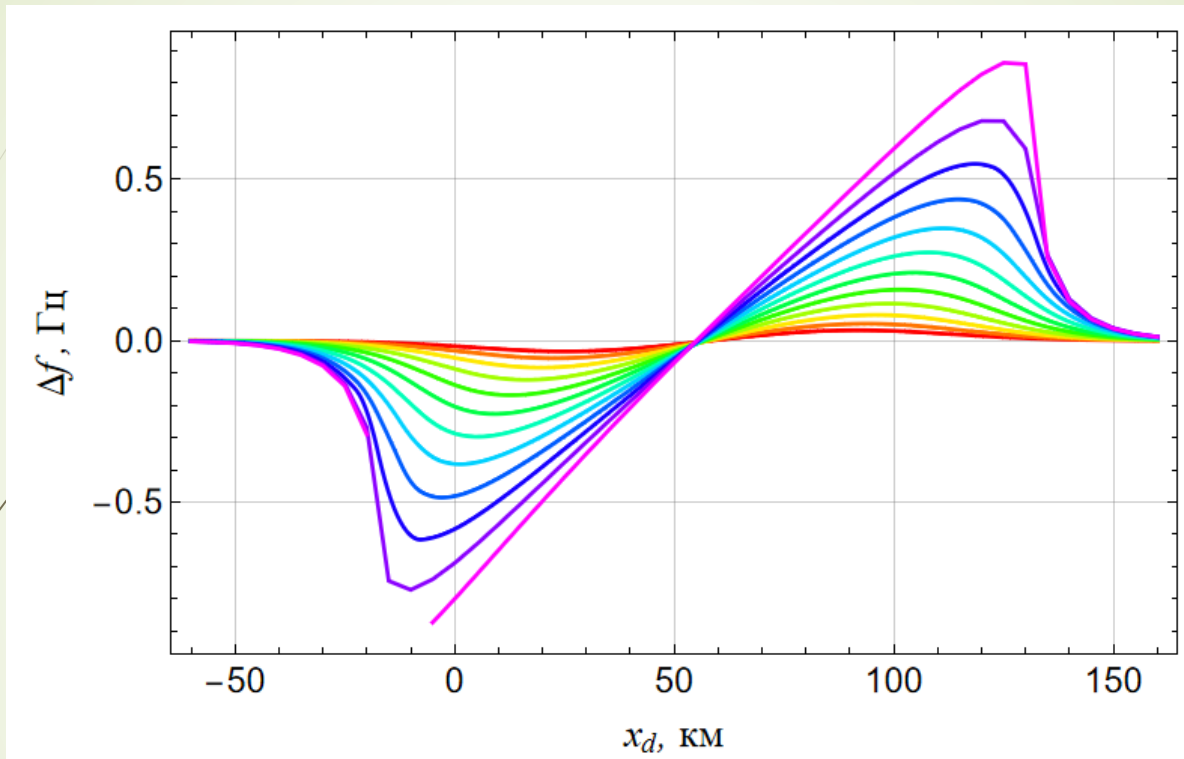


Рис. 3. Зависимости доплеровского смещения частоты Δf от положения центра ПИВ x_d при разных рабочих частотах, от $f=5,0$ МГц (красная линия) до $f=6,1$ МГц (сиреневая линия) с шагом 100 кГц.

Численные результаты

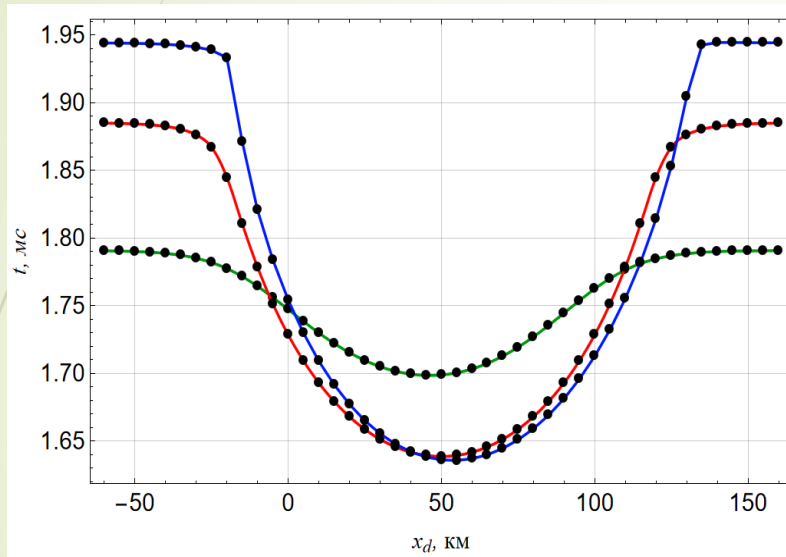


Рис. 2а. $f=6$ МГц. Зависимость от положения центра ПИВ x_d от группового времени t

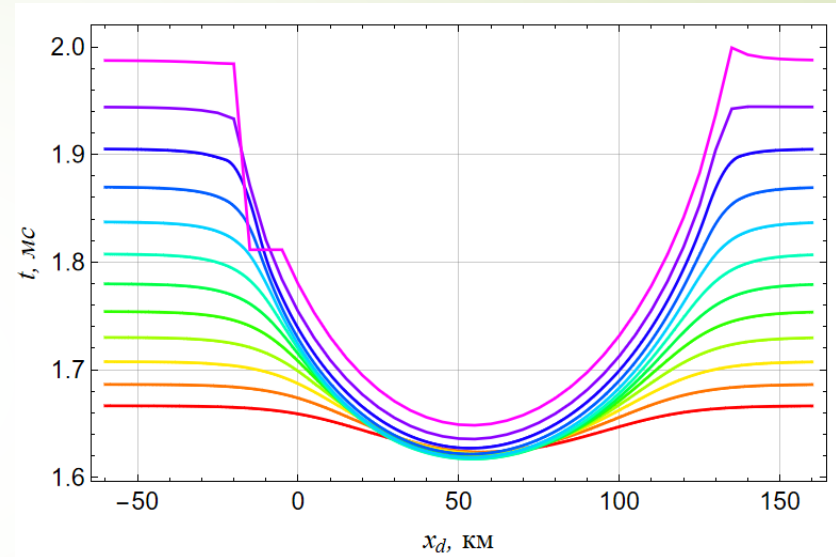


Рис. 4а. Зависимость от положения центра ПИВ x_d при рабочих частотах от $f=5,0$ МГц (красная линия) до $f=6,1$ МГц (сиреневая линия) с шагом 100 кГц от группового времени t

Численные результаты

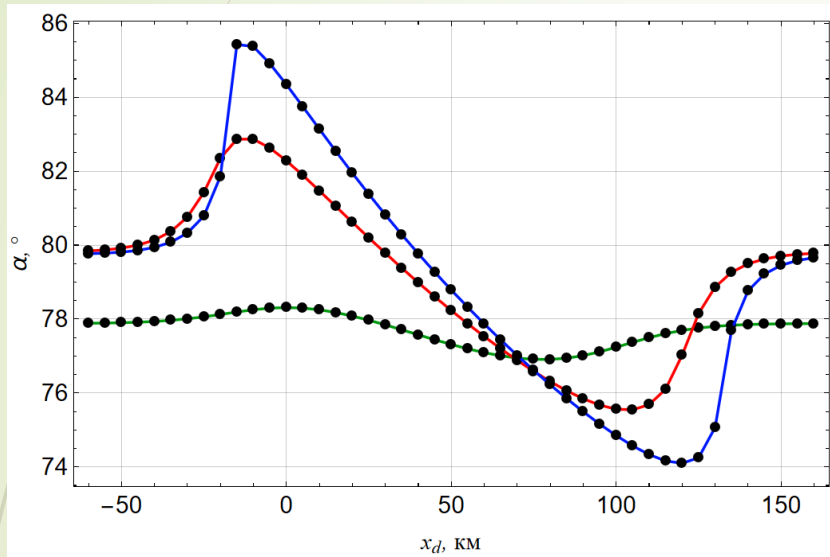


Рис. 2б. $f=6$ МГц. Зависимость от положения центра ПИВ x_d от угла выхода лучей α .

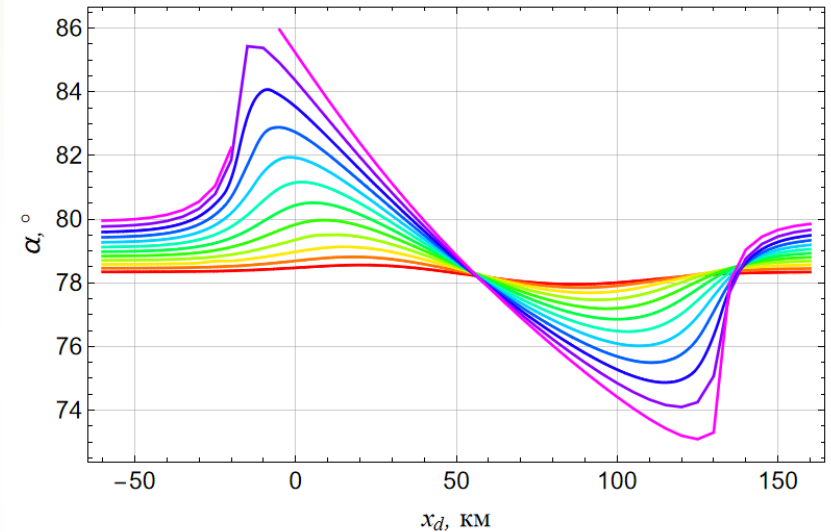


Рис. 4б. Зависимости от положения центра ПИВ x_d при рабочих частотах от $f=5,0$ МГц (красная линия) до $f=6,1$ МГц (сиреневая линия) с шагом 100 кГц от угла выхода лучей α .

Заключение

- Таким образом, в работе исследованы зависимости доплеровского смещения частоты, группового запаздывания и углов выхода лучей из передатчика по направлению к приёмнику от положения центра локальной неоднородности (ПИВ) при различных частотах и при различных поляризациях электромагнитной волны.
- Показано, что форма кривой доплеровского сдвига меняется с ростом рабочей частоты от синусоидальной формы к пилообразной, центр кривой смещается в зависимости от поляризации излучения, кривая группового запаздывания имеет минимум, а область влияния ПИВ в несколько раз превосходит её характерный размер.

Литература

- 1. Лукин Д.С., Школьников В.А. Численный метод расчета эффекта Доплера и приведённой разности доплеровских частот радиоволн, излучаемых когерентно с ИСЗ // Космические исследования, 1968. – Т.6, № 3. – С.389-394.
- 2. Лукин Д.С., Школьников В.А. Исследование влияния регулярных горизонтальных градиентов, локальной и интегральной электронных концентраций ионосферы на величину и характер изменения вдоль орбиты ИСЗ приведённой разности доплеровских смещённых частот // Космические исследования, 1972. – Т.10, № 1. – С.66-72.
- 3. Лукин Д.С., Заец П.Г., Макальский С.А., Чешев Ю.В., Школьников В.А., Палкин Е.А. Доплеровский метод экспериментального исследования квазиволновых процессов в ионосфере // XIII Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Горький, 19–20 июня 1981 г. М.: Наука, 1981. – Т.1. – С. 49–52.
- 4. Заец П.Г., Ипатов Е.Б., Лукин Д.С., Макальский С.А., Палкин Е.А., Чешев Ю.В., Школьников В.А. Экспериментальные исследования доплеровских спектров КВ-сигналов, излучаемых с ИСЗ // XIII Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Горький, 19–20 июня 1981 г. М.: Наука, 1981. – Т.1. – С. 238–240.
- 5. Гузминов П.П., Заец П.Г., Лукин Д.С., Палкин Е.А., Чешев Ю.В. Исследование ионосферы амплитудно-доплеровским методом. постановка эксперимента, методика обработки данных на ЭВМ // Распространение и дифракция волн в неоднородных средах. М.: МФТИ, 1989. – С. 15–23.
- 6. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Растягаев Д.В., Скворцова Ю.И. Численное моделирование распространения пространственно-временных частотно-модулированных радиоволн в анизотропной среде // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 9. С. 40–47.
- 7. Крюковский А.С., Скворцова Ю.И. Математическое моделирование распространения радиоволн в нестационарной плазме с учетом кривизны поверхности Земли и ионосферных слоев // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2016. № 1-2. С. 34–40.
- 8. Крюковский А.С., Скворцова Ю.И. Влияние пространственно-временных возмущений ионосферной плазмы на распространение радиоволн // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59. № 12-3. С. 131–135.
- 9. Куркин В.И., Медведева И.В., Подлесный А.В., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н. Влияние внезапного стратосферного потепления на характеристики среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в азиатском регионе России // Армандовские чтения. Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - Муром 2022.– С. 27–35.
- 10. Вертоградов Г.Г., Урядов В.П., Выборнов Ф.И. Моделирование распространения декаметровых радиоволн в условиях волновых возмущений концентрации электронов // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2018. – Т. 61, № 6. – С. 462–473.
- 11. Казанцев А.Н., Лукин Д.С., Спиридонов Ю.Г. Метод исследования распространения радиоволн в неоднородной магнитоактивной ионосфере. // Космические исследования, 1967. – Т. 5, № 4. – С. 593–600.
- 12. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Кирьянова К.С. Метод расширенной бихарактеристической системы при моделировании распространения радиоволн в ионосферной плазме. // Радиотехника и электроника, 2012. – Т.57, № 9. – С. 1028–1034.



Спасибо за
внимание!