

УДК 539.216:546.824-31

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ВОЛНЫ С АНИЗОТРОПНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ПЛАЗМАПОДОБНОГО ТИПА

Е.Ю. ЗАЯЦ, В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ, К.И. КРЕМЕНЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 23 декабря 2014

Приведен анализ сравнения оценочных параметров во временной и частотной областях при воздействии импульсного сигнала гауссовой формы с анизотропной неоднородностью плазмаподобного типа с учетом электродинамических параметров наполнителя. Установлены закономерности трансформации спектральных характеристик импульсного сигнала при воздействии на анизотропную неоднородность.

*Ключевые слова:* импульсная волна, анизотропная среда, оценочные параметры, спектральная характеристика.

### Введение

При взаимодействии импульсных сигналов с анизотропной неоднородностью плазмаподобного типа (АНПТ) происходит раздвоение эхо-импульса. Вслед за мощным импульсом, отраженным от земной поверхности, появляется ослабленный земной толщей импульс, отраженный от АНПТ. Временной промежуток между импульсами соответствует глубине залегания пласта.

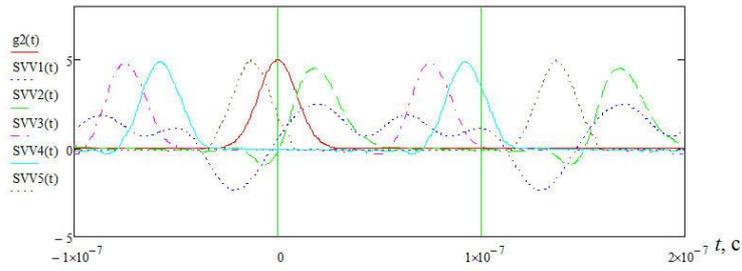
Основой импульсных методов электроразведки является облучение поверхности Земли короткими радио- или видеосигналами и измерения отраженных сигналов от границ с разными электродинамическими параметрами [1].

### Анализ сравнения оценочных параметров во временной области

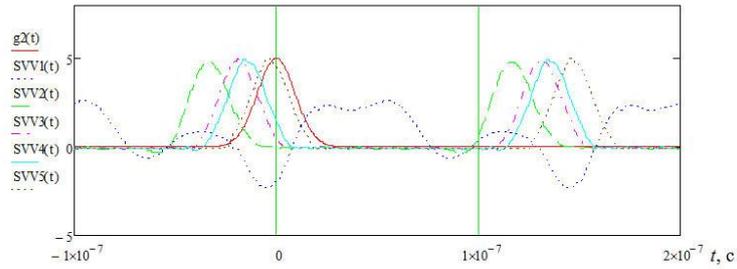
С целью определения параметров самой среды был проведен анализ оценочных параметров во временной области существующих аномальных проявлений для сигнала с параметрами амплитуды ( $U$ ) 5 В, длительности ( $\tau_1$ ) 40 нс и периода повторения ( $T_1$ ) 150 нс. Проведено исследование трансформации формы импульсных сигналов, отраженных от анизотропной среды, в зависимости от изменения таких параметров как концентрация (рис. 1), частота столкновения (рис. 2) при вертикальной и горизонтальной поляризации.

Из рис. 1 видно, что отраженный сигнал приходит на приемную сторону с некоторым запаздыванием. С ростом концентрации при обоих видах поляризации наблюдается увеличение временной задержки рис. 2. С приближением значения концентрации к  $1 \cdot 10^{14}$  сигнал «размывается» во временной области – увеличивается ширина спектра и уменьшается амплитуда.

Так же критерием временных характеристик является трансформация длительности импульса по половинной амплитуде  $\alpha_\tau = \tau_0 \tau_2$ , где  $\tau_0$  – время входного импульса по половинной амплитуде;  $\tau_2$  – время выходного импульса по половинной амплитуде. С уменьшением концентрации увеличивается длительность импульса по половинной амплитуде и, следовательно, уменьшается значение отношения  $\tau$ .

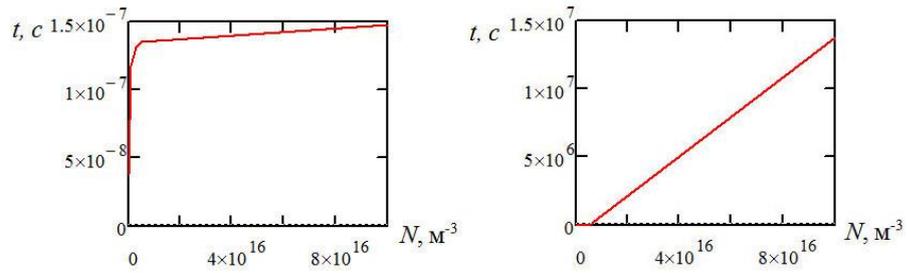


*a*



*б*

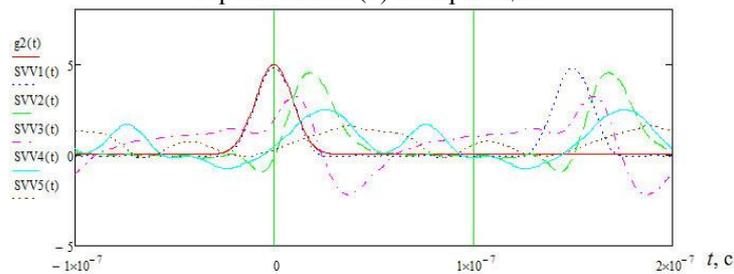
Рис. 1. График отраженного сигнала при изменении концентрации для вертикальной (*a*) и горизонтальной (*б*) поляризаций



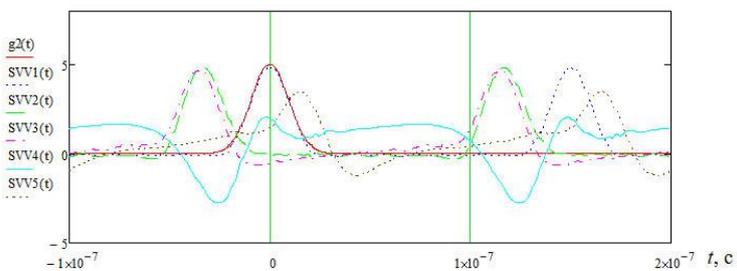
*a*

*б*

Рис. 2. Временная задержка при изменении концентрации для горизонтальной (*a*) и вертикальной (*б*) поляризаций



*a*



*б*

Рис. 3. График отраженного сигнала при изменении частоты столкновения для вертикальной (*a*) и горизонтальной (*б*) поляризаций

При увеличении частоты столкновения при вертикальной поляризации увеличивается время задержки импульса и уменьшается трансформация длительности импульса по половине амплитуде. При горизонтальной поляризации с ростом частоты столкновения уменьшается время задержки и увеличивается длительность импульса по половинной амплитуде (рис. 4). При обоих видах поляризации сигнал размывается во временной области.

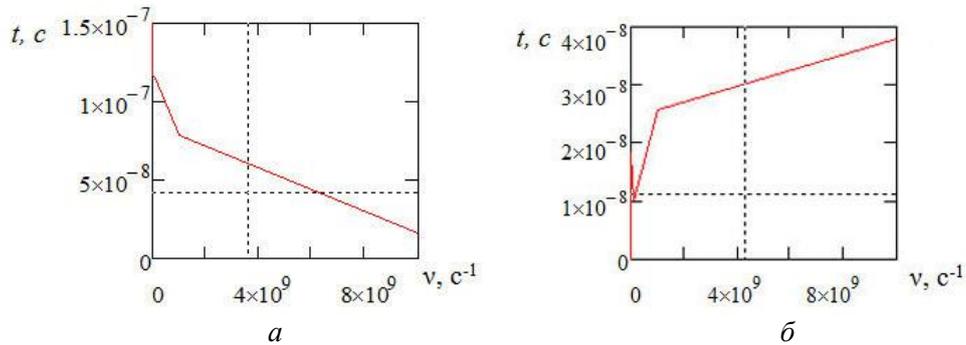


Рис. 4. Временная задержка при изменении частоты столкновения для горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации

Полученные результаты позволяют установить закономерности поведения оценочных параметров временных характеристик от электродинамических параметров АНПТ, что позволяет создавать и уточнять алгоритмы обнаружения и осуществить собственно идентификацию конкретных АНПТ.

#### Анализ сравнения оценочных параметров в частотной области

Также следует проследить трансформацию спектральных характеристик импульсного сигнала при воздействии на анизотропную неоднородность плазмаловидного типа при вариации параметров диэлектрического наполнителя. На рис. 5 и 6 представлены графики изменения амплитудного (а) и фазового (б) спектров при вариациях концентрации частиц (для вертикальной и горизонтальной поляризации соответственно).

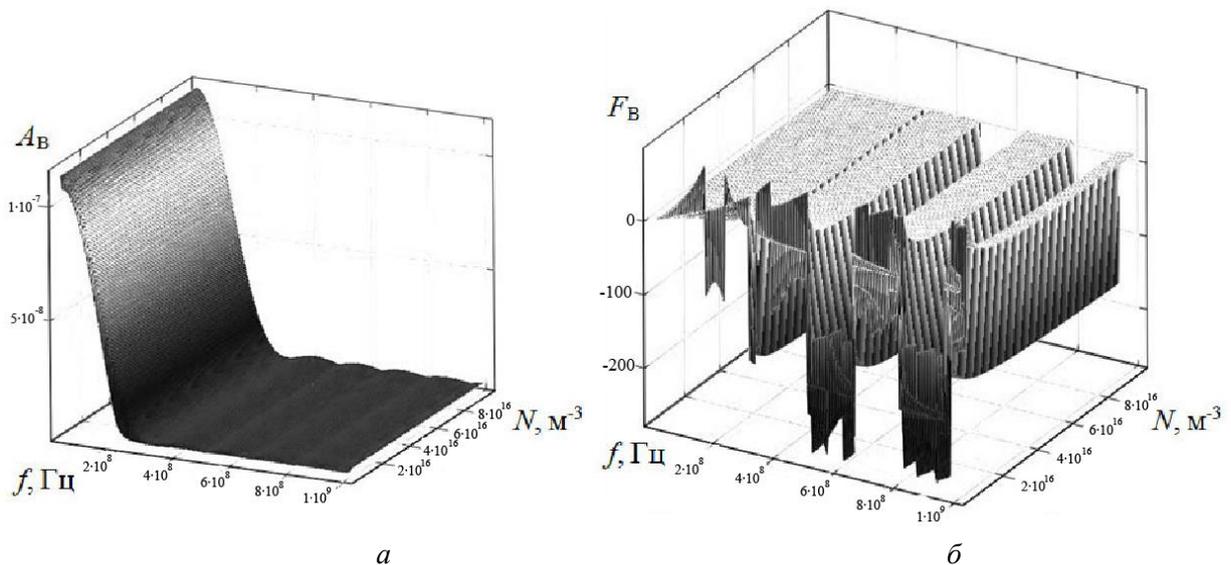


Рис. 5. Амплитудный (а) и фазовый (б) спектры отраженного сигнала при вариации концентрации частиц (вертикальная поляризация)

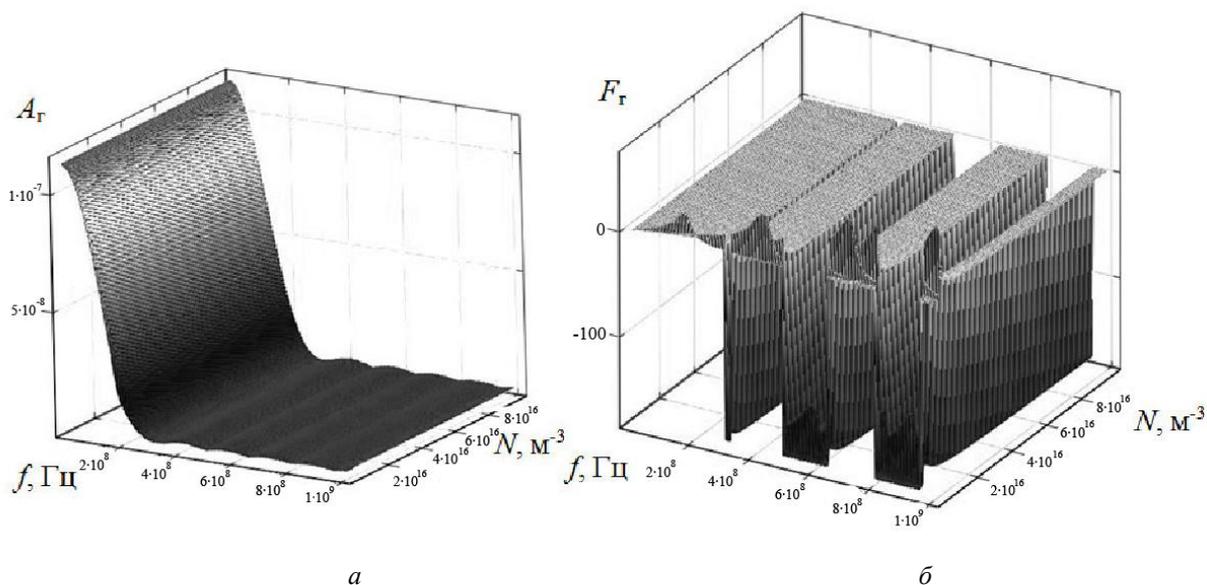


Рис. 6. Амплитудный (а) и фазовый (б) спектры отраженного сигнала при вариации концентрации частиц (горизонтальная поляризация)

Изменение концентрации приводит к изменениям не только в фазовом спектре, но и в амплитудном. При значениях, составляющих  $1 \cdot 10^{15}$ , изменения в амплитудном спектре минимальны, но с уменьшением концентрации частиц изменяется (уменьшается) ширина амплитуды по уровню 0,707 и уменьшается уровень боковых лепестков. Максимальное изменение соответствует значению концентрации  $\approx 1 \cdot 10^{14}$ . Отличием вертикальной и горизонтальной поляризаций при амплитудном спектре является меньший уровень боковых лепестков и длительность по половинной амплитуде.

Фазовый спектр трансформируется больше при вертикальной поляризации, максимально – при значениях концентрации частиц  $1 \cdot 10^{14}$ . С увеличением концентрации как при вертикальной, так и при горизонтальной поляризациях фазовый спектр становится линейным.

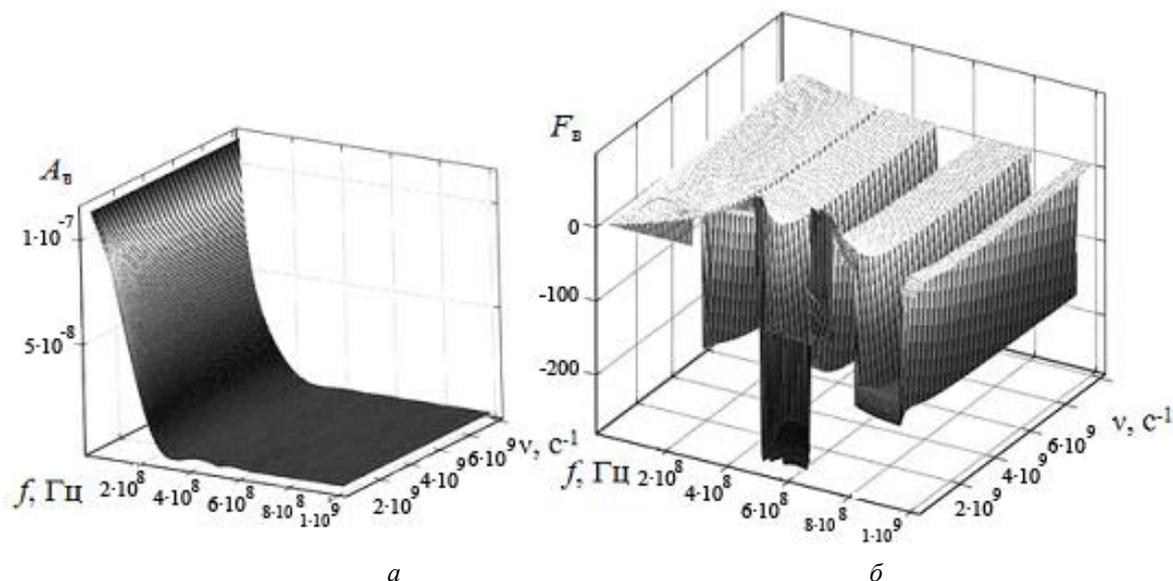


Рис. 7. Амплитудный (а) и фазовый (б) спектры отраженного сигнала при вариации частоты столкновения (вертикальная поляризация)

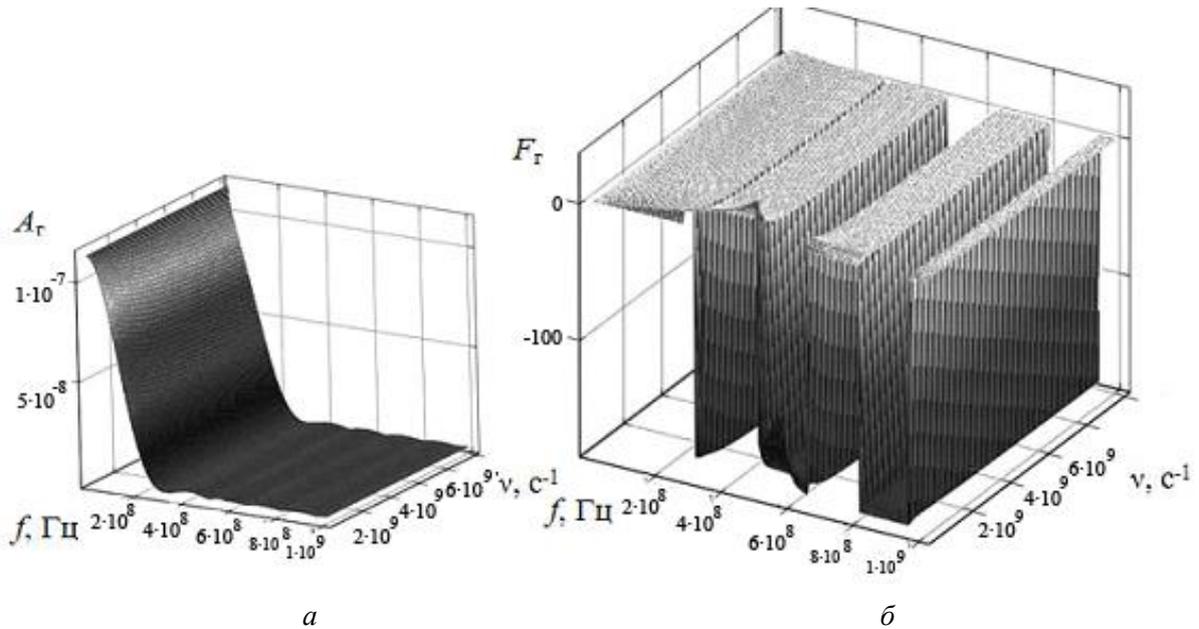


Рис. 8. Амплитудный (а) и фазовый (б) спектры отраженного сигнала при вариации частоты столкновения (горизонтальная поляризация)

Изменения амплитудного спектра максимальны при изменении частоты столкновения (рис. 8). Причем при вертикальной поляризации спектр трансформируется больше чем при горизонтальной. С увеличением частоты столкновения уменьшается длительность импульса по уровню 0,707. Уровень боковых лепестков трансформируется минимально. Так же, как и при проводимости среды, увеличение частоты столкновения влечет изменение ФЧХ. При значениях частоты  $1 \cdot 10^9$  и  $1 \cdot 10^{10}$  в диапазоне от 0 до  $5 \cdot 10^7$  появляется скачок. Такой же скачок, но меньший по уровню, прослеживается и при горизонтальной поляризации. На частоте  $1 \cdot 10^8$  ФЧХ изменяется как при диэлектрической проницаемости, но с большей амплитудой.

Для оценки амплитудного и фазового спектра следует также ввести несколько дополнительных параметров. Они позволяют провести количественное сравнение спектральных характеристик падающей и отраженной волн [2]:

- ширина нормированной АЧХ по уровню 0,707;
- уровень  $N$ -го лепестка АЧХ;
- изменение фазы  $\Delta\varphi(f) = \varphi(f) + \varphi_i(f)$ .

В таблице приведены результаты вычислений для первых двух величин при изменении концентрации и частоты столкновения.

**Значения ширины нормированной АЧХ по уровню 0,707 и уровень  $N$ -го лепестка АЧХ при вариации концентрации и частоты столкновения**

Параметр		Ширина по уровню 0,707		Изменение уровня боковых лепестков	
		Горизонтальная	Вертикальная	Горизонтальная	Вертикальная
Концентрация	$1 \cdot 10^{14}$	$1,42 \cdot 10^7$	$1,36 \cdot 10^7$	$1,55 \cdot 10^{-9}$	$3,96 \cdot 10^{-9}$
	$1 \cdot 10^{15}$	$1,55 \cdot 10^7$	$1,54 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$
	$3 \cdot 10^{15}$	$1,55 \cdot 10^7$	$1,54 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$
	$5 \cdot 10^{15}$	$1,55 \cdot 10^7$	$1,54 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$
	$1 \cdot 10^{17}$	$1,55 \cdot 10^7$	$1,54 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$
Частота столкновения	$1 \cdot 10^{10}$	$8,99 \cdot 10^6$	$1,35 \cdot 10^6$	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$6,8 \cdot 10^{-10}$
	$1 \cdot 10^9$	$1,27 \cdot 10^7$	$5,89 \cdot 10^6$	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$6,8 \cdot 10^{-10}$
	$1 \cdot 10^8$	$1,49 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$2,11 \cdot 10^{-9}$
	$1 \cdot 10^7$	$1,53 \cdot 10^7$	$1,51 \cdot 10^7$	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$2,11 \cdot 10^{-9}$
	$1 \cdot 10^5$	$1,53 \cdot 10^7$	$1,51 \cdot 10^7$	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$2,11 \cdot 10^{-9}$

Максимальное изменение ширины наблюдается при трансформации частоты столкновения, а уровня при изменении концентрации частиц. При трансформации частоты

столкновения при обоих видах поляризации наблюдается сужение главного лепестка, которое связано с существенной потерей энергии импульсного сигнала.

### **Заключение**

Полученные результаты позволяют установить закономерности поведения оценочных параметров временных и частотных характеристик в зависимости от электродинамических параметров АНПТ, что позволяет создавать и уточнять алгоритмы обнаружения и осуществить собственно идентификацию конкретных АНПТ.

## **INTERACTION OF PULSE WAVE WITH ANISOTROPIC ENVIRONMENT OF PLASMA LIKE TYPE**

E. Yu. ZAYATS, V.F. YANUSHKEVICH, K.I. KREMENYA

### **Abstract**

An analysis comparing the estimated parameters in the time and frequency domain with a Gaussian pulsed signal on the anisotropic environment of plasma like type with the electrodynamic parameters of filler is carried out. The regularities of the transformation of the spectral characteristics of the pulse signal subjected to anisotropic heterogeneity are established.

### **Список литературы**

1. *Гололобов Д.В.* Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей. М., 2009.
2. *Гололобов Д.В., Качан И.А., Кунашко К.В.* // Докл. БГУИР. 2010. № 3 (49). С. 5–11.