

Результаты регистрации квадратурных компонент сигнала с помощью наземного измерительного комплекса установки когерентного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн на тестовом полигоне МГУ

С. Ю. Белов*

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра математического моделирования и информатики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2*

(Статья поступила 10.07.2017; Подписана в печать 11.07.2017)

В работе рассматривается задача дистанционной диагностики «шероховатой» земной поверхности и диэлектрических подповерхностных структур в коротковолновом диапазоне радиоволн. Предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Конкретизация осуществлена для ионосферного случая. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку неоднородности диэлектрической проницаемости подповерхностных структур также формируют параметр рассеяния. Данным методом, при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, для оценки сейсмической опасности, опасных природных явлений, изменения экосистем, а также некоторых экстремальных событий техногенного характера. Кроме того, эти методики могут использоваться для развития системы мониторинга, контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. Идея метода определения этого параметра заключается в том, что, располагая синхронной информацией о волне, отраженной от ионосферы и о волне, отраженной от земли и ионосферы (или прошедшей ионосферу дважды при зондировании со спутника), возможно извлекать информацию о параметре рассеяния. В работе представлены результаты регистрации квадратурных компонент сигнала с помощью наземного измерительного комплекса установки когерентного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн на тестовом полигоне МГУ (г. Москва). Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный. Анализ аналитических погрешностей оценки этого параметра позволил рекомендовать новый метод вместо стандартного.

PACS: 94.20.ws.

УДК: 550.388.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, рассеяние радиоволн поверхностью, методика измерения, КВ-диапазон, параметр рассеяния сигнал/шум, ионосфера.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно выявлять некоторые геофизические параметры природных систем. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Данным методом при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска, опасных природных явлений, таких как землетрясения (предвестников землетрясений), а также некоторых экстремальных событий техногенного характера, что является актуальным в теоретических и прикладных задачах инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Также эти методики могут использоваться для развития си-

стемы мониторинга, контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

В работе предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный [1] и одного порядка с известной когерентной методикой. Анализ аналитических погрешностей оценки этого параметра позволил рекомендовать новый метод вместо стандартного [2].

Параметр β_K возвращенного частично рассеянного ионосферного сигнала представляет интерес как важная характеристика «возмущенности», «мутности» статистически неоднородной ионосферной плазмы, показатель надежности работы ионосферных каналов связи, а также диагностических каналов [3]. Оперативная и надежная оценка параметра β_K имеет общефизический интерес (радиофизика, геофизика, оптика и т. д.); конкретизация осуществлена для ионосферного случая [4]. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли на предмет предвест-

*E-mail: Belov_Sergej@Mail.Ru

ников землетрясений, поскольку параметр рассеяния формируется также и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Проблема измерения и учета рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн важна для решения ряда задач, например, при диагностике свойств среды с помощью методов, использующих этот радиодиапазон, когда на трассе происходит промежуточное отражение (рассеяние) от земной поверхности, что представляет интерес для геологоразведочных и экологических исследований [5].

Некоторые результаты работы по исследуемой тематике были представлены на конференциях [6–40].

Важнейшими аспектами при использовании средств космического базирования для целей природопользования и экологического мониторинга являются выбор рабочего диапазона зондирования и вопросы влияния сред на проходящее излучение. Выбор КВ–диапазона позволяет учитывать подповерхностный слой (толщины порядка длины волны падающего излучения).

1. МЕТОД РАСЧЕТА (КОГЕРЕНТНЫЙ И НЕКОГЕРЕНТНЫЙ)

В фиксированной точке приема на поверхности земли (в скалярном приближении) ионосферный сигнал — узкополосный случайный процесс $\mathcal{E}(t)$ — представляет собой суперпозицию «зеркальной» $\mathcal{E}_0(t)$ и рассеянной $\mathcal{E}_P(t)$ по нормальному закону компонент:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}(t) &= \mathcal{E}_0(t) + \mathcal{E}_P(t) = E_{00} \exp i(\omega_0 t - \phi(t)) + \mathcal{E}_P(t) = \\ &= R(t) \exp i(\omega_0 t - \Phi(t)) = [E_c(t) + iE_s(t)] \exp i(\omega_0 t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varphi(t)$, $\Phi(t)$, $R(t)$, $E_m(t)$, $m = c, s$ — медленные на периоде $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ случайные процессы; $E_{00} = \text{const}$.

Параметр рассеяния определяется отношением:

$$\beta_k^2 = \frac{\text{мощность зеркальной компоненты}}{\text{мощность рассеянной компоненты}} = \frac{E_{00}^2}{2\mathcal{E}_P^2}. \quad (2)$$

Здесь и ниже черта «—» означает статистическое усреднение. $E_c(t) = R(t) \cos \Phi(t)$ и $E_s(t) = R(t) \sin \Phi(t)$ — низкочастотные квадратуры ионосферного сигнала, $R(t)$ — огибающая, $\Phi(t)$ — суммарная фаза.

При этом индекс $K = E4, R2, R4$ означает экспериментально регистрируемые первичные случайные процессы и соответствующий метод их регистрации: $E4$ — когерентный; $R2, R4$ — некогерентные амплитудные.

Достаточно широко используется для оценки β_K (2) стандартный некогерентный $R2$ -метод, основанный на

соотношении [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\overline{R^2}}{(\overline{R})^2} &= f(\beta_{R2}) = \\ &= \frac{4}{\pi} \cdot \frac{(1 + \beta_{R2}^2) \cdot \exp(\beta_{R2}^2)}{[(1 + \beta_{R2}^2) \cdot I_0(\beta_{R2}^2/2) + \beta_{R2}^2 \cdot I_1(\beta_{R2}^2/2)]^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

$I_n(x)$ — функция Бесселя n -го порядка от чисто мнимого аргумента.

Используя когерентный $E4$ -метод, β_{E4} оценивается по эксцессу γ_{E4} квадратур [5]:

$$\gamma_{E4}(\beta_{E4}) = \frac{\overline{E_m^4}}{(\overline{E_m^2})^2} - 3 = -\frac{3}{2} \cdot \frac{\beta_{E4}^4}{(1 + \beta_{E4}^2)^2}, \quad m = c, s. \quad (4)$$

Следует заметить, что измеряемыми первичными параметрами являются отношения моментов $\overline{R^2}/(\overline{R})^2$, $\overline{E_m^4}/(\overline{E_m^2})^2$ соответственно. Естественно, соотношения (3), (4) получены с учетом определенных моделей структуры ионосферного сигнала. Исследования показали, что вероятностные свойства ионосферного сигнала (1) отражений первой кратности достаточно хорошо описываются моделью Райса со смещенным спектром (РС–модель), на основе которой получены выражения (3), (4). Заметим, что выражение (4) когерентной методики $E4$ обеспечивает на порядок более высокую относительную аналитическую точность оценки параметра β_K .

В настоящей работе предлагается новый некогерентный $R4$ -метод определения β_{R4} по эксцессу γ_{R4} огибающей для РС–модели:

$$\gamma_{R4}(\beta_{R4}) = \frac{\overline{R^4}}{(\overline{R^2})^2} - 3 = -1 - \frac{\beta_{R4}^4}{(1 + \beta_{R4}^2)^2}. \quad (5)$$

Для сопоставления приведенных методов в смысле относительных погрешностей, допускаемых при вычислении β_K , обусловленных видом функциональных зависимостей $f(\beta)$, $\gamma_{E4}(\beta)$ и $\gamma_{R4}(\beta)$, получим выражения (6):

$$\varepsilon_k = \left| \frac{\Delta \beta_K}{\beta_K} \right| = \left| \frac{1}{\beta_K} \cdot \frac{dG_K}{dZ_K} \cdot \Delta(Z_K) \right|, \quad (6)$$

где $K = R2, E4, R4$, $G_K = f, \gamma_{E4}, \gamma_{R4}$, $\Delta(Z_K)$ — абсолютные статистические ошибки измеряемых величин: $Z_K = \frac{\overline{R^2}}{(\overline{R})^2}, \frac{\overline{E_m^4}}{(\overline{E_m^2})^2}, \frac{\overline{R^4}}{(\overline{R^2})^2}$.

Погрешности (включая статистические) для разных методик определения β_K :

$$\begin{aligned} \varepsilon_{R2}(\beta) &= \\ &= \frac{\pi}{8} \cdot \frac{[(1 + \beta^2) \cdot I_0(\beta^2/2) + \beta^2 \cdot I_1(\beta^2/2)]^3}{\beta^2 \cdot \exp(\beta^2) \cdot I_1(\beta^2/2)} \cdot \Delta(Z_{R2}), \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{E4}(\beta) = \frac{(1 + \beta^2)^3}{6 \cdot \beta^4} \cdot \Delta(Z_{E4}), \quad (7)$$

$$\varepsilon_{R4}(\beta) = \frac{(1 + \beta^2)^3}{4 \cdot \beta^4} \cdot \Delta(Z_{R4}).$$

Статистическая ошибка $\Delta(Z_K)$ зависит от объема выборки N и при одинаковых объемах выборки может быть разной для каждого из способов. Чтобы акцентировать внимание на погрешностях за счет различия функциональных зависимостей (3)–(5), нормируем (7) на $\Delta(Z_K)$.

Графики зависимостей $\varepsilon_K^* = \frac{\varepsilon_K}{\Delta(Z_K)}$ для β_{R2} , β_{E4} и β_{R4} приведены на рис. 1. ε_K^* будем ниже называть аналитической (относительной) погрешностью метода.

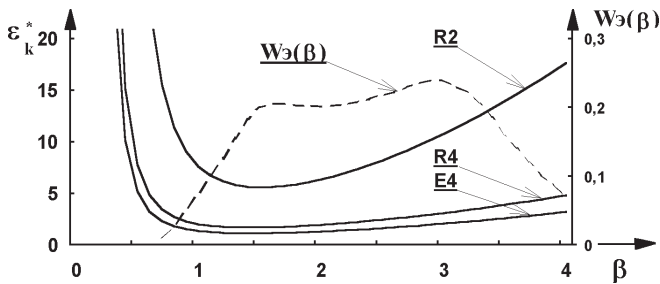


Рис. 1: Графики зависимостей ε_K^* , $K = R2, R4, E4$ (сплошные линии) и экспериментальное распределение $W_{\mathcal{E}}(\beta)$ (пунктир) (слой $F2$, 4.5–9.5 МГц, единичный сигнал)

Экспериментальное распределение $W_{\mathcal{E}}(\beta)$ определяет диапазон изменения β .

Из выражений (4) и (5) видно, что $\varepsilon_{E4}^* = \frac{2}{3} \cdot \varepsilon_{R4}^*$ — одного порядка и существенно (на порядок) превосходят точность измерения стандартной $R2$ -методики. В итоге, анализ аналитических погрешностей оценки параметра β_K позволил рекомендовать метод $R4$ вместо стандартного $R2$. При этом достаточно высокая аналитическая (относительная) точность оценки параметра β_K может быть достигнута с помощью некогерентной аппаратуры, используя выражение (5) метода $R4$. Отметим, что за когерентной методикой $E4$ остается возможность оптимизации статистической ошибки путем соответствующей специальной цифровой обработки ионосферного сигнала [2].

2. ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА

Интерпретация получаемых данных производится на основе статистической мультипликативной модели сигнала. Тестирование метода получения «параметра рассеяния» сигнал/шум в указанной модели произведено на примере двукратного отражения зондирующего сигнала при его вертикальном распространении. В ходе работы рассматривались вопросы чувствительности модели по изучаемому параметру.

В связи с тем, что параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур, данным методом при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, на предмет оценки сейсмической опасности и сейсмического риска [38].

Для тестирования метода при изменении параметра рассеивающей «подложки» в типичных ионосферных условиях был выполнен численный эксперимент на ЭВМ, анализ данных которого показал, что [17]:

1. Метод дистанционной диагностики в КВ-диапазоне чувствителен по исследуемому параметру. При объеме выборки $N \geq 240$ точность определения изучаемого параметра не хуже 5%.
2. Чувствительность метода, его точностные характеристики сохраняются даже при существенном изменении параметров сред распространения.
3. Сопоставление данных численного и натурального экспериментов указывает, что для обеспечения оценки параметра рассеяния в условиях реального эксперимента с точностью сравнимой с аппаратной погрешностью можно рекомендовать увеличивать длительность сеансов наблюдения до $8 \div 10$ минут.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ СИГНАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ КРАТНОСТИ

Для получения необходимых экспериментальных данных используется импульсный метод когерентного приема [8]. Этот метод позволяет регистрировать низкочастотные квадратурные составляющие ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$. По ним возможно определение огибающей $R(t)$ и фазы $\Phi(t)$, то есть функции модуляции сигнала. Аппаратура когерентного приема позволяет также непосредственно регистрировать огибающую и фазу отраженного от ионосферы сигнала. Такой комплексный подход к изучению свойств радиосигнала тем более необходим при изучении кратных ионосферных отражений, где одновременно действует целый ряд факторов, определяющих поле ионосферного сигнала.

Для того чтобы применить аппаратуру когерентного приема к исследованию кратных ионосферных отражений, необходимо обеспечить возможность выделения и одновременной регистрации параметров, относящихся к сигналам разной кратности. При этом необходимо учитывать изменение ряда требований к работе аппаратуры (величин погрешностей, стабильности генераторов, масштабы времени) по сравнению с требованиями к установкам для изучения однократных отражений.

Все вышесказанное и определило пути модернизации аппаратуры когерентного приема для обеспечения

работы по исследованию свойств кратных отражений. В установке используется схема регистрации низкочастотных квадратурных компонент ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$ и огибающей $R(t)$. Модернизация обеспечила регистрацию на ЭВМ упомянутых параметров сигнала одновременно для сигналов различной кратности. Это достигнуто применением специальной многоканальной системы стробирования и регистрации [8]. На рис. 2 представлена структурная схема установки со схемой регистрации и стробирования. Установка позволяет осуществлять одновременную регистрацию параметров кратных ионосферных отражений (рис. 3–5). Ниже рассматривается работа и назначение отдельных блоков.

А. Принцип работы основных блоков

Задающий генератор вырабатывает напряжение синусоидальной формы с амплитудой 1–2 В в диапазоне частот 2–15 МГц. Это напряжение поступает на передатчик, управляемый синхронизирующими импульсами. В результате на передающую антенну поступают прямоугольные радиоимпульсы регулируемой длительности в интервале 100 ÷ 500 мкс. Период следования импульсов 20 мс, что достаточно для приема нескольких кратных отражений за время между посылками. Передатчик имеет импульсную мощность около 12–15 кВт. Излучение происходит с помощью антенны типа «ромб» с диагоналями 50 м и 25 м по горизонтали и вертикали соответственно.

Отраженный от ионосферы сигнал принимается на симметричный диполь с длиной луча 14 м, и по двухпроводному кабелю поступает на вход приемника, в нем происходит усиление сигналов. Коэффициент усиления может регулироваться, максимальное его значение 20 дБ. Далее происходит преобразование частоты. В качестве гетеродина в схеме преобразования используется генератор по схеме индуктивной трехточки. Со смесителя приемника напряжение подается на усилитель промежуточной частоты, в котором предусмотрена регулировка, как коэффициента усиления, так и полосы пропускания. Усилитель имеет 4 каскада усиления с трансформаторами промежуточной частоты. Второй и третий трансформаторы имеют регулировку, которая позволяет изменять полосу пропускания в пределах 7–30 кГц.

Усиленное напряжение промежуточной частоты детектируется и поступает на усилитель низкой частоты приемника, а также на АЦП. На контрольный индикатор поступает напряжение низкой частоты с согласующего устройства после приемника и стробирующие импульсы со схемы синхронизации и стробирования. Контрольный индикатор позволяет визуально выбрать сигналы нужных кратностей и определить порядок их регистрации.

Метод когерентного приема предусматривает, в частности, сравнение фаз принятого и излученного сиг-

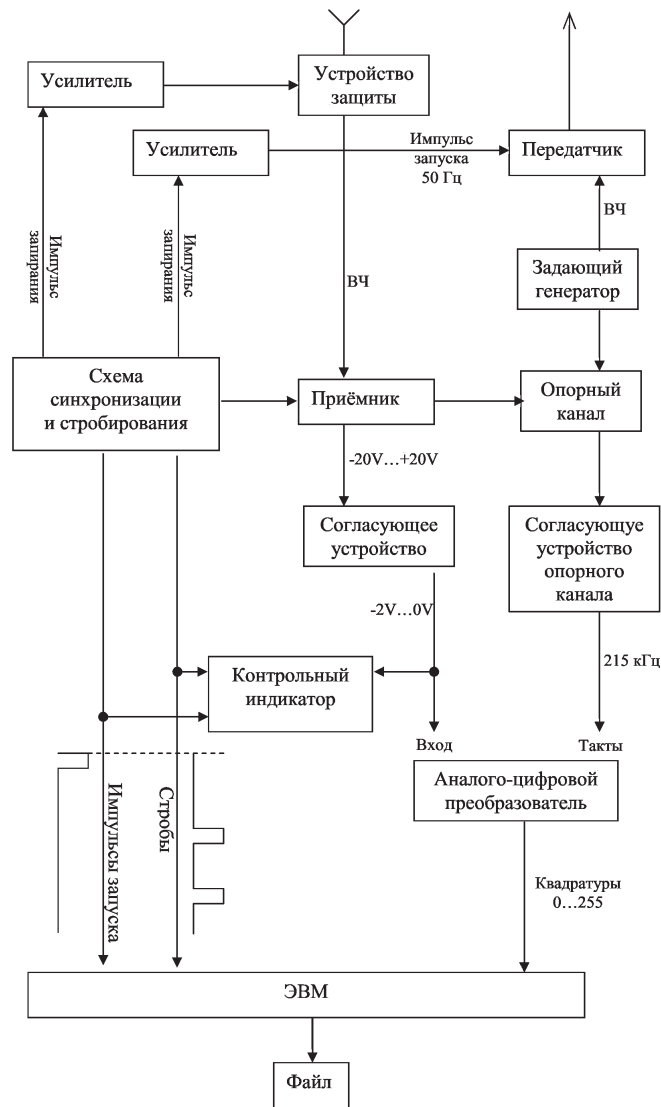


Рис. 2: Функциональная схема экспериментальной установки наземного измерительного комплекса

налов. Для этого необходимо иметь канал опорного напряжения. Так как в данной установке сравнение происходит на промежуточной частоте, то на входе канала опорного напряжения происходит преобразование частоты задающего генератора в промежуточную в блоке смесителя опорного канала. Опорное напряжение промежуточной частоты формируется из напряжения задающего генератора и гетеродина приемника. Далее опорное напряжение поступает в усилитель промежуточной частоты канала опорного напряжения. Усиленное до необходимого уровня опорное напряжение поступает в согласующее устройство опорного канала, где из синусоидального напряжения формируется последовательность импульсов. Полученные импульсы подаются на АЦП. В результате возможна регистрация низкочастотных квадратурных составляющих сигнала, причем даже с использованием ЭВМ с не очень высо-

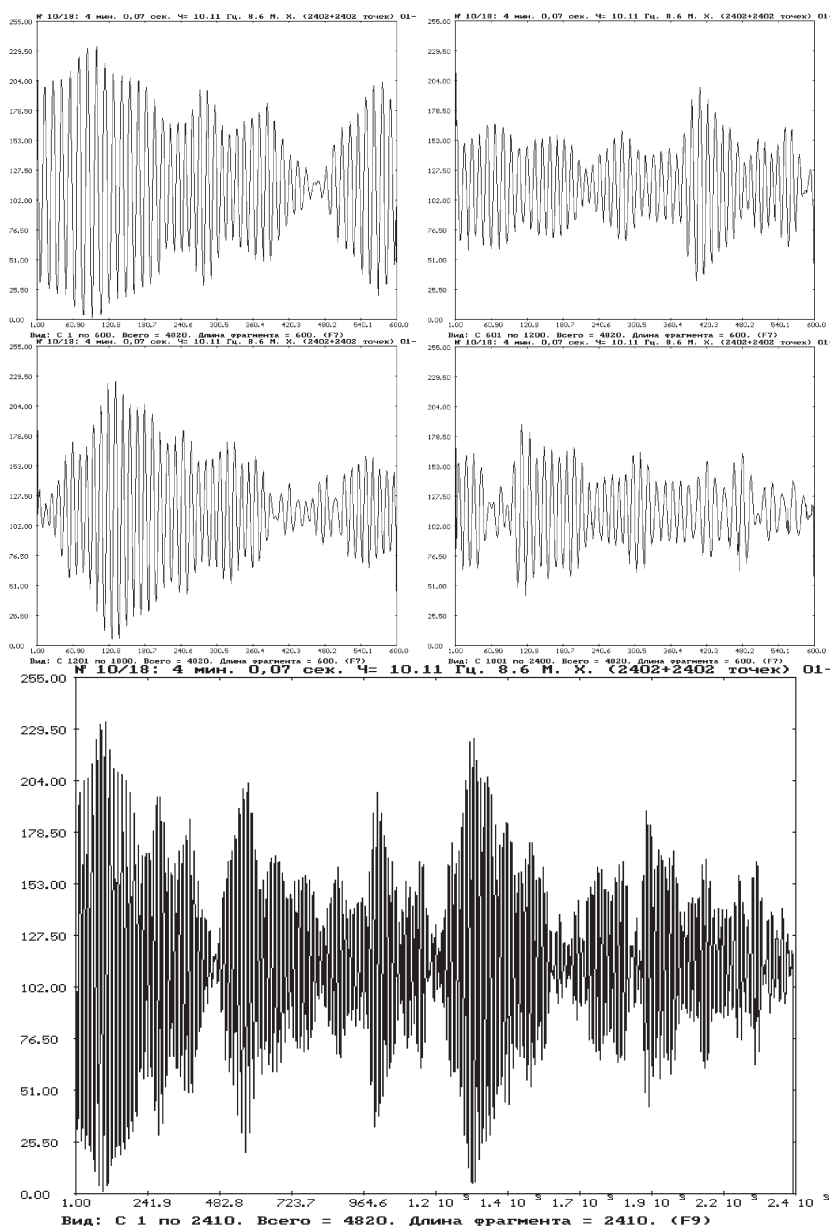


Рис. 3: Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала, однократно отраженного: 1-я, 2-я, 3-я, 4-я минуты и полный сеанс (слева направо сверху вниз)

ким быстродействием за счет применения оригинальных алгоритмов оптимизации (патент [2]).

Для одновременной регистрации параметров сигналов различной кратности существенно изменена функциональная схема регистратора, создана многоканальная система стробирования и специальный синхронизатор. Ранее регистратор обеспечивал запись на кинолентке квадратурных составляющих сигналов различной кратности, а также энергетической огибающей и суммарной фазы.

ЭЛТ является контрольным индикатором в системе для визуального наблюдения и наведения стробов. Изменяя временное положение стробов, можно выбрать нужное отражение, так как различной кратности

соответствуют различные задержки относительно зондирующего импульса. Попадание сигналов различной кратности в соответствующий канал регистратора АЦП обеспечивается схемой синхронизации и стробирования и контролируется по визуальному индикатору. Управление работой измерительного комплекса и согласование его узлов осуществляется схемой синхронизации, на вход которой поступает напряжение частоты 50 Гц, которое запускает все основные блоки установки. С этой частотой формируется модулирующий импульс для управления работой передатчика, импульс записания приемного канала на время зондирующего импульса, а также ряд напряжений для управления работы контрольного индикатора и ЭВМ. Образцы

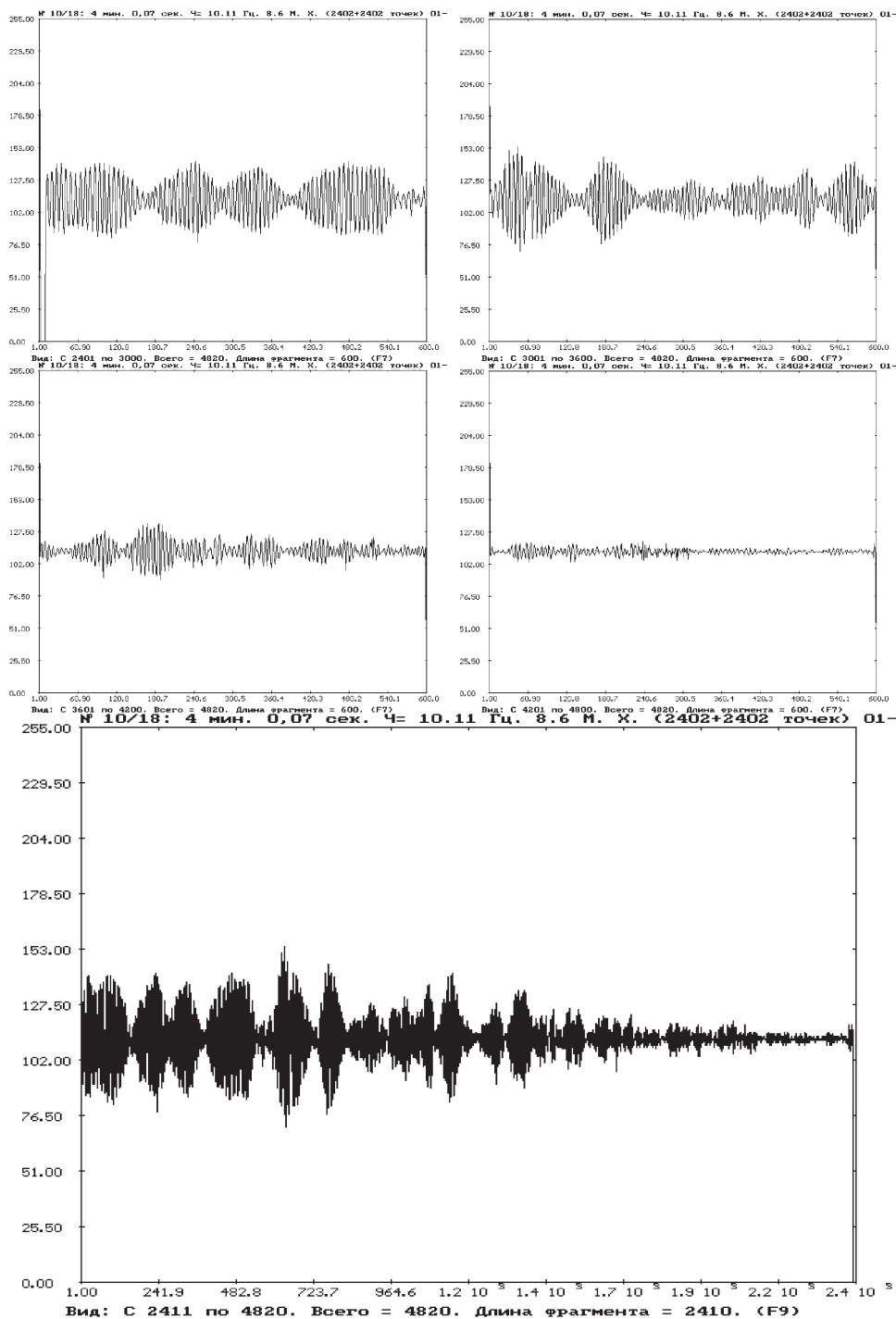


Рис. 4: Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала второго отражения: 1-я, 2-я, 3-я, 4-я минуты и полный сеанс (слева направо сверху вниз)

регистрации квадратурных компонент сигнала с помощью наземного измерительного комплекса установки когерентного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн на тестовом полигоне МГУ для первого и второго отражений приведены на рис. 3, 4, 5.

В. О методике экспериментальных исследований

Ранее были рассмотрены вопросы теории общих методик и способов определения параметров сигнал/шум при исследовании свойств кратных ионосферных отражений: способ определения параметра β для отражений различной кратности; способ определения β_2

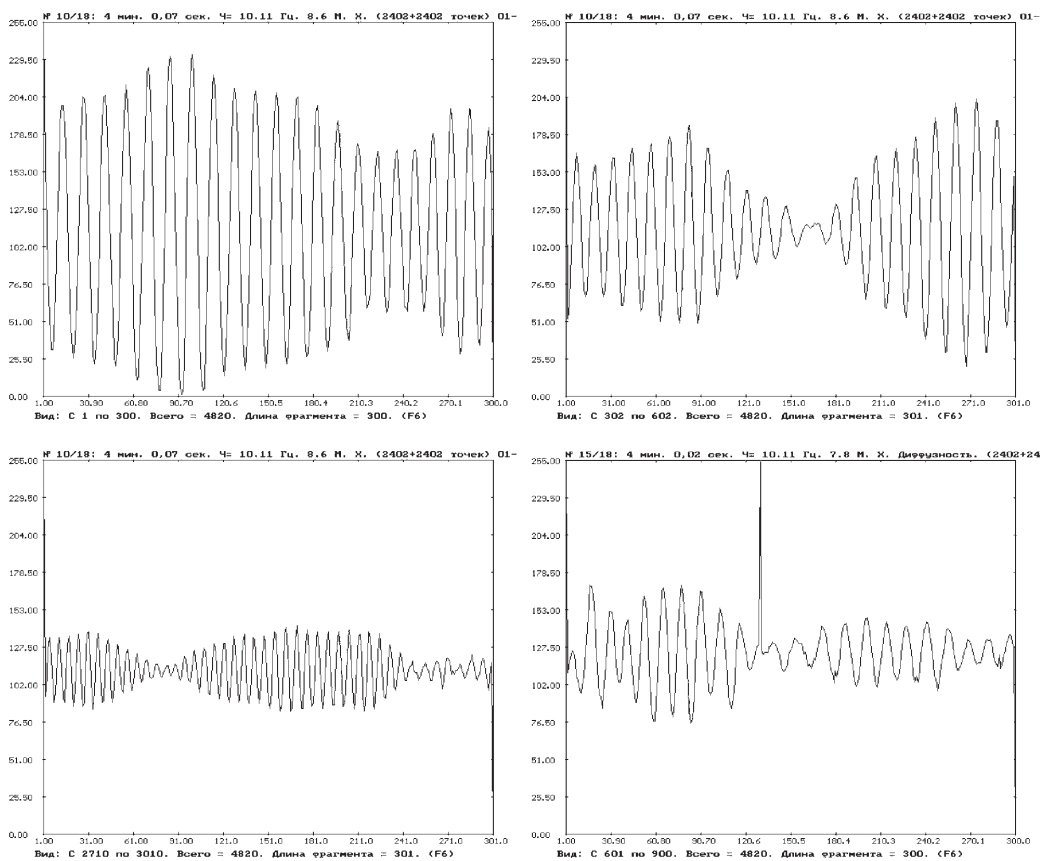


Рис. 5: Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала первого и второго отражений (крупно)

в условиях новой статистической модели для кратных отражений; оценка рассеивающей способности «шероховатой» земной поверхности в КВ-диапазоне [5].

Выполненный сравнительный анализ эффективности различных методик определения параметра β , с одной стороны, позволил обосновать выбор оптимальной методики надежной оценки параметра β в условиях настоящего эксперимента. С другой стороны, анализ имеет более общую значимость, поскольку получение оперативных и надежных сведений о β представляет интерес при решении задач надежности и совершенствования работы каналов связи, а также позволяет судить о механизме ионосферного и земного рассеяния, о структуре сигнала.

Параметр рассеивающей способности «шероховатой» земной поверхности в КВ-диапазоне может зависеть: от пространственной концентрации построек, их распределения и сочетания с открытыми пространствами (степень их поляризации с условно природными элементами); от функционального содержания районов (жилые, производственные или рекреационные), обуславливающего интенсивность и характер деятельности; а также и от неоднородностей диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно проводить диагностику подповерхностных структур, выявлять области изменения этих сред, например, на предмет оценки сейсмической опасности. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур [38].

Анализ аналитических погрешностей оценки параметра β_K позволил рекомендовать метод $R4$ вместо стандартного $R2$. При этом достаточно высокая аналитическая (относительная) точность оценки параметра β_K может быть достигнута с помощью некогерентной аппаратуры, используя метод $R4$ [2].

Автор выражает благодарность профессору Н.Н. Сысоеву за оказанную поддержку в оформлении результатов работы.

- [1] *Альперт Я.Л.* Распространение радиоволн в ионосфере. М.: АН СССР, 1960.
- [2] *Белов С.Ю.* Программа регистрации квадратурных компонент n -кратного отраженного от земной поверхности радиосигнала. Свидетельство о регистрации права на программное обеспечение № RU.2016612172 от 19.02.2016 г.
- [3] *Белов С.Ю.* Изв. высших учебных заведений. Физика. 2016. **59**, № 12-3. С. 121.
- [4] *Миркотан С.Ф., Белов С.Ю.* Радиотехника и электроника. 1998. **43**, № 11. С. 1382.
- [5] *Миркотан С.Ф., Белов С.Ю., Захаров В.И.* Радиотехника и электроника. 1999. **44**, № 10. С. 1190.
- [6] *Белов С.Ю.* Физические проблемы экологии (Экологическая физика). № 16. Сборник научных трудов под ред. В. И. Трухина, Ю. А. Пирогова, К. В. Показеева. М.: МАКС Пресс. 2010. С. 31.
- [7] *Белов С.Ю.* Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. Томск. 2009. С. 279.
- [8] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Майкоп, 2015. С. 53.
- [9] *Белов С.Ю.* Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. С. 27.
- [10] *Белов С.Ю.* Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. Красноярск: СФУ, 2015. С. 101.
- [11] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Экология и космос. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. С. 70.
- [12] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Атмосферная Радиация и Динамика. СПб, 2015. С. 103.
- [13] *Белов С.Ю.* Перспективы развития научных исследований в 21 веке. Махачкала: ООО «Апробация». 2014. С. 43.
- [14] *Belov S.Yu.* European Geosciences Union General Assembly 2010. Geophysical Research Abstracts. 2010. **12**. P. 2233. Vienna, Austria.
- [15] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Экология-2015. Архангельск, 2015. С. 6.
- [16] *Белов С.Ю.* Структура, вещество, история литосферы тимано-североуральского сегмента. Сыктывкар: Геопринт, 2015. С. 28.
- [17] *Белов С.Ю.* Ломоносов-2015. М.: МАКС Пресс, 2015.
- [18] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН, 2015. С. 17.
- [19] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Нелинейные волны–2016. ФГБНУ «ФИЦ Институт прикладной физики РАН». Нижний Новгород, 2016. С. 34.
- [20] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН, 2015. С. 343.
- [21] *Белов С.Ю.* Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования. Севастополь: ФГБУН МГИ, 2016. С. 528.
- [22] *Белов С.Ю.* Ломоносов-2016. **1**. М.: МГУ, 2016. С. 171.
- [23] *Белов С.Ю.* Ломоносовские чтения–2017. Физический факультет МГУ, 2017. С. 147.
- [24] *Белов С.Ю.* Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2016. С. 172.
- [25] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Распространение радиоволн. Томск, 2016. **3**. С. 94.
- [26] *Белов С.Ю.* Ломоносов-2017. М.: МАКС Пресс, 2017.
- [27] *Белов С.Ю.* Структура, вещество, история литосферы Тимано–Североуральского сегмента. Сыктывкар: Геопринт, 2016. С. 8.
- [28] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Математика, физика, информатика и их приложения в науке и образовании. М.: МТУ (МИРЭА), 2016. С. 155.
- [29] *Белова И.Н., Белов С.Ю.* Климат и эколого-географические проблемы Российской Арктики. Апатиты. М.А: ООО «КаэМ», 2016. С. 20.
- [30] *Белов С.Ю.* Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология. Севастополь: ФГБУН МГИ, 2016. С. 155.
- [31] *Белов С.Ю.* Ломоносовские чтения–2016. М.: МГУ, 2016. С. 127.
- [32] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН, 2016. С. 302.
- [33] *Белов С.Ю., Белова И.Н.* Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны. Архангельск, 2016. С. 30.
- [34] *Белов С.Ю.* Ломоносов–2017. М.: МГУ, 2017. С. 502.
- [35] *Belov S. Yu.* The Arctic Science Summit Week 2017. Prague, 2017. P. 161.
- [36] *Belov S. Yu., Belova I.N.* IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip «From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary». Moscow, MSU. 2015. P. 29.
- [37] *Belov S. Yu., Belova I.N.* Atmosphere, ionosphere, safety. Kaliningrad, 2016. P. 435.
- [38] *Belov S. Yu., Belova I.N.* IGCP 610 project «From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary» (2013–2017), GNAS Tbilisi, Georgia, 2016. P. 26.
- [39] *Belov S. Yu.* [Data Intensive System Analysis](#) for Geohazard Studies, Geoinformatics research papers. **4**, No. 2, BS4002, 2016. P. 50.
- [40] *Belov S. Yu., Belova I.N., Falomeev S.D.* [Managing Risks to Coastal Regions](#) and Communities in a Changing World. St. Petersburg, 2016.

The results of recording the quadrature components of the signal by means of the ground measuring complex of installation of coherent sounding in the short-wave range of radio waves at the test site of the Moscow State University

S. Yu. Belov

*Department of Mathematical Modelling and Informatics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
Moscow 119991, Russia*

E-mail: Belov_Sergej@Mail.Ru

The problem of remote diagnostics of a «rough» earth's surface and dielectric subsurface structures in the shortwave radio wave band is considered. A new incoherent method for estimating the signal-to-noise parameter is proposed. Specification was carried out for the ionospheric case. This range makes it possible to diagnose a subsurface layer of the earth, since the scattering parameter is also formed by inhomogeneities in the dielectric permeability of subsurface structures. By using this method in the organization of monitoring sounding, it is possible to identify the areas of variation of these media, for example, for assessing seismic hazard, hazardous natural phenomena, changes in ecosystems, and also for some extreme events of anthropogenic nature. Also, these techniques can be used to develop a system for monitoring, monitoring and forecasting emergencies of natural and man-made nature, as well as for assessing the risks of emergencies. The idea of the method for determining this parameter is that, by having synchronous information about a wave reflected from the ionosphere and about a wave reflected from the earth and the ionosphere (or having passed the ionosphere twice when probing from a satellite), it is possible to extract information about the scattering parameter. The paper presents the results of recording the quadrature components of the signal by means of the ground measuring complex of installation of coherent sounding in the short-wave range of radio waves at the test site of the Moscow State University (Moscow). A comparative analysis is performed and it is shown that according to the analytical (relative) accuracy of the definition of this parameter the new method is an order of magnitude larger than the widely used standard method. An analysis of the analytical errors in estimating this parameter allowed us to recommend a new method instead of the standard one.

PACS: 94.20.ws.

Keywords: remote sensing, surface scattering of radio waves, measurement technique, SW-range, the scattering parameter signal/noise ratio, Ionosphere.

Received 10 July 2017.

Сведения об авторе

Белов Сергей Юрьевич — физик, инженер; тел.: (495) 592-80-77, e-mail: Belov_Sergej@Mail.Ru.
